

Neurotecnologias na educação: Avaliação do engajamento, análise da atenção e monitoramento cognitivo dos alunos

Neurotechnologies in education: Assessing student engagement, attention analysis, and cognitive monitoring

Neurotecnologías en la educación: Evaluación del compromiso estudiantil, análisis de la atención y monitoreo cognitivo

Recebido: 30/11/2023 | Revisado: 05/12/2023 | Aceitado: 06/12/2023 | Publicado: 09/12/2023

Tiago da Silva Lacerda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1744-5519>
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: tiago.lacerda@ufrgs.br

Resumo

O estudo tem como objetivo explorar o impacto das neurotecnologias na educação, concentrando-se em sua aplicação para avaliar o engajamento, analisar os estados de atenção e monitorar a sobrecarga cognitiva dos alunos. Destaca-se a proliferação de sensores em dispositivos cotidianos para o acompanhamento de parâmetros fisiológicos. A neurotecnologia emerge como uma ferramenta valiosa para capturar *insights* sobre processos cognitivos, proporcionando métricas relevantes para o engajamento, sobrecarga e atenção dos alunos. A pesquisa realiza uma revisão narrativa da literatura, enfocando oportunidades inovadoras para aprimorar o ensino e aprendizagem, com ênfase nas neurotecnologias como instrumentos promissores para compreender o desenvolvimento cognitivo dos estudantes.

Palavras-chave: Interfaces cérebro-computador; Ondas encefálicas; Ensino.

Abstract

The study aims to explore the impact of neurotechnologies in education, focusing on their application to assess engagement, analyze attention states, and monitor cognitive overload in students. The proliferation of sensors in everyday devices for monitoring physiological parameters is highlighted. Neurotechnology emerges as a valuable tool for gaining insights into cognitive processes, providing relevant metrics for student engagement, overload, and attention. The research conducts a narrative literature review, focusing on innovative opportunities to enhance teaching and learning, with an emphasis on neurotechnologies as promising instruments for understanding students' cognitive development.

Keywords: Brain-computer interfaces; Brain waves; Teaching.

Resumen

El estudio tiene como objetivo explorar el impacto de las neurotecnologías en la educación, centrándose en su aplicación para evaluar la participación, analizar los estados de atención y monitorear la sobrecarga cognitiva de los estudiantes. Se destaca la proliferación de sensores en dispositivos cotidianos para el seguimiento de parámetros fisiológicos. La neurotecnología emerge como una herramienta valiosa para obtener percepciones sobre procesos cognitivos, proporcionando métricas relevantes para la participación, sobrecarga y atención de los estudiantes. La investigación realiza una revisión narrativa de la literatura, enfocándose en oportunidades innovadoras para mejorar la enseñanza y el aprendizaje, con énfasis en las neurotecnologías como instrumentos prometedores para comprender el desarrollo cognitivo de los estudiantes.

Palabras clave: Interfaces cerebro-computador; Ondas encefálicas; Enseñanza.

1. Introdução

Estamos atualmente imersos em uma era definida pela proliferação ubíqua de sensores integrados em dispositivos eletrônicos de uso cotidiano, a exemplo de smartphones e smartwatches, que viabilizam o monitoramento de diversos parâmetros fisiológicos, como a frequência cardíaca, contagem de passos, taxa respiratória, temperatura corporal e padrões de

sono. Simultaneamente, embora nossa compreensão acerca dos intrincados processos que transcorrem no interior do cérebro humano permaneça, em sua maior parte, confinada aos ambientes laboratoriais especializados, as neurotecnologias encontram-se em um estágio de transição, migrando de uma natureza especializada com aplicações restritas para assumirem o papel de ferramentas que nos permitem adquirir uma compreensão mais profunda ao monitorar a nossa atividade cerebral (Farahany, 2023; Stieglitz, 2021).

Projeções indicam que o mercado de neurotecnologia tem potencial para atingir mais de 21 bilhões de dólares até 2026, com aplicações que vão além da saúde, abrangendo o tratamento de distúrbios neurológicos, traumas e dependência química, contribuindo para o bem-estar mental (Farahany, 2023). A sua ampla adoção pode ter impactos significativos e imediatos, especialmente na pesquisa cerebral, onde a coleta de dados era tradicionalmente controlada e restrita à ambientes controlados (Davidesco et al., 2021). Além disso, a massa de dados coletados por dispositivos portáteis e vestíveis, poderá contribuir para a adoção de novas abordagens para problemas antigos (Farahany, 2023; White et al., 2015).

Essa nova categoria tecnológica abre portas para oportunidades também no âmbito educacional (Babiker et al., 2019; Poulsen et al., 2017; Williamson, 2019), permitindo abordagens educacionais inovadoras, respaldadas por neurotecnologias, que têm o potencial de aprimorar tanto o processo de ensino quanto o de aprendizagem, resultando em benefícios significativos para estudantes e educadores ao longo de suas jornadas acadêmicas (Hernández-Serrano, 2022).

Portanto, o presente estudo visa identificar, possíveis aplicações das neurotecnologias no âmbito educacional, explorando qual o impacto das neurotecnologias na educação, concentrando-se em sua aplicação para avaliar o engajamento, analisar os estados de atenção e monitorar a sobrecarga cognitiva dos alunos. A pesquisa empreende uma revisão narrativa da literatura com o intuito de destacar exemplos de oportunidades proporcionadas por essas inovadoras tecnologias para aprimorar o processo de ensino e aprendizagem. O restante do presente artigo está estruturado da seguinte maneira: a seção 2 delinea o método proposto; a seção 3 proporciona uma introdução ao contexto da aplicação de neurotecnologia na pesquisa científica. A seção 4 explora as oportunidades de aplicação da neurotecnologia em estudos educacionais. Por último, a seção 5 engloba as considerações finais. As neurotecnologias são concebidas como instrumentos promissores capazes de contribuir de maneira significativa para a compreensão do desenvolvimento cognitivo dos estudantes. Este artigo delimitou três áreas específicas de enfoque: avaliação do engajamento dos alunos, análise dos estados de atenção e monitoramento da sobrecarga cognitiva.

2. Metodologia

A identificação de evidências científicas, seja para aplicação prática ou pesquisa, encontra-se diante da necessidade de lidar com a constante expansão do conhecimento (Ribeiro, 2014). Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo desenvolver uma revisão narrativa de literatura, uma abordagem qualitativa que visa fornecer sínteses narrativas compreensivas de informações previamente publicadas, onde os resultados são apresentados de maneira condensada, resumizando os conteúdos de cada artigo (Green, Johnson, Adams, 2006). Tais revisões narrativas, além de constituir instrumentos educativos valiosos, são apropriadas para descrever e discutir o desenvolvimento ou o "estado da arte" de um determinado assunto, tanto do ponto de vista teórico quanto contextual (Rother, 2007), focando em um conjunto amplo de questões relacionadas a um tópico específico (Cook et al., 1997).

Apesar de revisões narrativas geralmente não detalharem as fontes de informação, o método de busca de referências ou os critérios de avaliação e seleção dos trabalhos (Rother, 2007), este trabalho estabeleceu critérios específicos. Foram consideradas fontes provenientes das plataformas ERIC, IEEE Digital Library, Science@Direct, Scopus e a plataforma de busca de trabalhos acadêmicos que respondam questões específicas usando inteligência artificial chamada Elicit.

A estratégia de busca foi orientada pelos descritores "neurotechnology AND education" OR "neurotecnologia e educação" OR "neurotecnología y educación". Na utilização da plataforma Elicit, foi utilizada a questão de pesquisa “quais os impactos das neurotecnologias na educação, no que diz respeito ao engajamento, estados de atenção e sobrecarga cognitiva dos alunos?” para realização da busca. Quanto aos critérios de inclusão, foram aceitos apenas artigos publicados em periódicos nos idiomas português, inglês e espanhol. A pesquisa privilegiou trabalhos primários, periódicos revisados por pares, publicados no intervalo entre 2013 e 2023. Para assegurar a relevância, foram excluídos artigos duplicados, estudos que tratam de neurotecnologias em contextos não relacionados à educação, trabalhos que não abordam neurotecnologias, publicações sem acesso aberto e materiais classificados equivocadamente como artigos.

Essa abordagem metodológica busca oferecer uma revisão abrangente, seguindo critérios na seleção de artigos pertinentes para compreender as aplicações e avanços das neurotecnologias no cenário educacional.

3. Neurotecnologia em Pesquisas Cerebrais

O cérebro desempenha um papel fundamental no aprendizado e desenvolvimento humano, sendo amplamente considerado como um autêntico simulador da realidade, resultante da integração de dados sensoriais com teorias elaboradas, adquiridas e inatas, que moldam a forma como interpretamos novas informações (Deutsch, 2000; Nicoletis, 2017). Essa caracterização se baseia na compreensão de que a unidade funcional do sistema nervoso é composta por populações de neurônios, também conhecidas como grupamentos ou redes neuronais (Cicurel & Nicoletis, 2015; Hodge et al., 2019). Essas populações neuronais são responsáveis por adquirir informações essenciais para o desenvolvimento humano e aprendizado, processando e interpretando informações sensoriais, permitindo a contínua aprendizagem e adaptação a novos desafios por meio de sua plasticidade (Gurnani & Gajic, 2023; Pascual-Leone et al., 2005).

A atividade dessas redes neuronais pode ser registrada e decodificada por diferentes métodos, tanto invasivos, como a eletrocorticografia (ECoG), quanto não invasivos, como a Ressonância Magnética Funcional (fMRI) e a eletroencefalografia (EEG), Espectrografia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS), entre outros, estabelecendo comunicação direta entre a atividade elétrica cerebral e dispositivos externos computadorizados, possibilitando pesquisas para um melhor entendimento de seu funcionamento (Alivisatos et al., 2013; Al-Shargie et al., 2017; Chen & Sun, 2017; Cui et al., 2011; Hill et al., 2012; Kandel et al., 2013; Nicoletis, 2017; Qian et al., 2011; Tang & Lin, 2017; Wallois et al., 2012; White et al., 2015; Zhuang & Ju, 2013).

No presente cenário, a neurotecnologia emerge como um domínio interdisciplinar que amalgama fundamentos da neurociência com tecnologia de vanguarda, almejando a aquisição de sinais de atividade do sistema nervoso central do cérebro e do corpo humano. Este campo tem como objetivo primordial a concepção de instrumentos, dispositivos e procedimentos voltados à investigação, monitoramento e interação com o sistema nervoso humano (Ienca & Andorno, 2017; Stieglitz, 2021; Williamson, 2019).

4. Oportunidades de Aplicação de Neurotecnologia na Educação

No campo educacional, o exame das atividades neuronais possibilita formas de acompanhamento do desenvolvimento da aprendizagem, contribuindo para a pesquisa educacional (Bevilacqua et al., 2019; A. Bos, 2021; A. S. Bos et al., 2019; Davidesco et al., 2021; Dikker et al., 2017, 2021; Farwell & Donchin, 1988; Kleih et al., 2011; Mak et al., 2011; Tokuhama-Espinosa, 2008; Zaro et al., 2010). Abordagens não invasivas, métodos menos complexos e dispositivos de menor custo em comparação com outras técnicas, permitem que os pesquisadores conduzam pesquisas em neurociência em ambientes educacionais, pelo emprego de portáteis (Davidesco et al., 2021). O emprego das tecnologias de EEG vestível e rastreamento

ocular são bons exemplos. A tecnologia EEG, encontrada em vestíveis é capaz de registrar atividades cerebrais espontâneas, coletadas durante atividades de aprendizagem (Gupta & Palaniappan, 2013; Lotte et al., 2015; Tokuhama-Espinosa, 2015; Tokuhama-Espinosa, 2017), com sensores distribuídos pelo couro cabeludo do aluno, através do contato com a pele (Aricó et al., 2020). Ao filtrar e analisar as flutuações de tensões resultantes dos fluxos de corrente nos neurônios, é possível obter gravações ou mapeamentos, permitindo a análise de padrões relacionados a diferentes estímulos externos, fornecendo métricas mentais relevantes ou ainda estabelecendo comunicação direta entre a atividade elétrica cerebral e dispositivos computadorizados externos (Farwell & Donchin, 1988; Hazrati et al., 2013; Jessy, 2009; Katona & Kovari, 2015; Lotte et al., 2015; Rezeika et al., 2018; Wolpaw et al., 2020). A utilização de EEG é muito útil para determinar quando uma resposta cerebral está acontecendo, fornecendo uma rica fonte de dados para explorar diferentes estágios de processamento de informações. Já o rastreamento ocular e outros procedimentos de reconhecimento de expressões faciais, visam monitorar o comportamento do indivíduo, utilizando sensores, imagens e a aplicação de técnicas de inteligência artificial para identificar transições de características na face ou no movimento e estado ocular, coletando e registrando evidências dos diferentes padrões de respostas aos estímulos externos (Gupta et al., 2023).

A integração dos dados provenientes dessas fontes com as medidas convencionais de cognição e aprendizado contribui para a obtenção de uma visão mais ampla e completa da experiência educacional (Antonenko, 2018). Estratégias para entender e aprimorar a qualidade da experiência educacional dos estudantes tem sido alvos de interesse crescente, visto que desempenha um papel essencial na determinação das decisões de continuidade acadêmica, desempenho de alunos (Trotter & Roberts, 2006; Yorke, 2000), enquanto a compreensão aprofundada das experiências dos estudantes é crucial para apoiar seu desenvolvimento e eficácia nas atividades de aprendizagem (Parpala & Hailikari, 2021).

Frente à rápida evolução das neurotecnologias, as próximas seções enfatizam seu potencial transformador no âmbito educacional. A análise do engajamento, atenção e sobrecarga cognitiva dos alunos, por meio de ferramentas como o EEG e rastreamento ocular, proporciona uma visão mais aprofundada do processo de ensino e aprendizagem. A crescente adoção de dispositivos portáteis e vestíveis amplia a coleta de dados em ambientes educacionais, abrindo portas para abordagens inovadoras e personalizadas. Essas descobertas não apenas contribuem para uma compreensão mais profunda do desenvolvimento cognitivo dos alunos, mas também indicam a possibilidade de redefinir estratégias pedagógicas com base em evidências objetivas, promovendo benefícios tangíveis tanto para estudantes quanto para educadores ao longo de suas jornadas acadêmicas.

4.1 Engajamento dos alunos nas atividades em grupo

O engajamento cognitivo é caracterizado como a disposição dos indivíduos para se envolverem em tarefas que demandam esforço, determinação, aplicação de estratégias e autorregulação. A avaliação do envolvimento dos alunos durante atividades de trabalho em grupo tornou-se possível com o advento de técnicas específicas (Sinatra et al., 2015). Dispositivos de neurotecnologia podem auxiliar na análise e intervenção durante estas atividades.

Os estudos conduzidos por Bevilacqua et al. (2019) e Dikker et al. (2017) empregam dispositivos de eletroencefalografia (EEG) portáteis e sem fio para a coleta de dados neurofisiológicos de estudantes, com o objetivo de identificar evidências das interações sociais dinâmicas e a retenção de conteúdo. Os autores ressaltam que cada vez mais, pesquisas indicam que, durante atividades conjuntas, as pessoas se encontram "acopladas" nos níveis motor, perceptivo e cognitivo, tanto em coordenações planejadas quanto em ações improvisadas e a utilização dessa ferramenta permite a obtenção de informações que podem não ser prontamente discerníveis por meio de observações comportamentais convencionais. Essa abordagem, por exemplo, viabiliza a análise da atividade cerebral sincronizada entre os membros do grupo, indicando potencialmente um elevado envolvimento cognitivo (Bevilacqua et al., 2019; Dikker et al., 2017).

Ao utilizar o EEG para mensurar o engajamento cognitivo, é razoável antecipar que períodos de alta sincronia cerebral estarão correlacionados a um envolvimento coletivo elevado entre os alunos, enquanto períodos de baixa sincronia cerebral pode ser associada a comportamentos desconectados da tarefa proposta (Bevilacqua et al., 2019).

Essa metodologia, centrada na sincronia cerebral, não apenas confirma a relevância desse indicador para avaliar o envolvimento cognitivo, mas também ressalta a eficácia do EEG como uma ferramenta valiosa para elucidar dinâmicas complexas durante atividades em grupo. Essas descobertas contribuem para a compreensão aprofundada do engajamento cognitivo dos alunos e têm implicações importantes para o desenvolvimento de estratégias pedagógicas eficazes.

4.2 Compreensão mais profunda do desenvolvimento cognitivo por meio da análise da atenção

A avaliação da eficácia dos métodos de ensino está intrinsecamente relacionada à atenção do aluno durante as aulas, uma variável crucial que desempenha um papel fundamental no processo de assimilação de conhecimento, influenciando o acúmulo de informações na memória do aprendiz (Gupta et al., 2023). Assim, diversos estudos têm explorado o uso do eletroencefalograma (EEG) para mensurar o nível de atenção dos alunos, destacando a importância da intensidade da atenção no contexto de materiais audiovisuais e mídias interativas, como por exemplo, vídeos, palestras, realidade aumentada (Bos, 2021; Bos et al., 2019; Ko et al., 2017; Poulsen et al., 2017).

Além do EEG, há uma tendência em empregar o monitoramento do estado ocular e expressões faciais do aluno como ferramentas para determinar seu nível de atenção. No contexto do ensino presencial, a observação das expressões faciais dos alunos tem sido uma prática eficaz para que os professores avaliem a compreensão dos estudantes. No entanto, essa abordagem enfrenta desafios consideráveis em ambientes de ensino online, nos quais a visualização simultânea de todos os alunos se torna um obstáculo. No trabalho de Gupta et al., (2023), um modelo de atenção do aluno é proposto para detecção e monitoramento do estado ocular, visando determinar o nível de atenção do aluno e proporcionar um mecanismo de feedback em tempo real ao professor. A abordagem proposta utiliza um método de Histograma de Gradiente Orientado (HOG) em conjunto com o algoritmo de Máquina de Vetores de Suporte (SVM) para o reconhecimento facial. Posteriormente, o modelo calcula uma proporção adaptativa dos olhos para cada aluno, possibilitando a avaliação do seu nível de atenção. A eficácia do modelo é avaliada por meio de testes em um conjunto de dados em tempo real e validada utilizando diferentes classificadores, como SVM, árvore de decisão e floresta aleatória.

4.3 Sobrecarga cognitiva

A sobrecarga cognitiva, uma preocupação persistente em várias disciplinas do conhecimento, decorre da exposição contínua a um volume de informações que excede a capacidade de processamento humano (Pilli & Mazzon, 2016). A eficiente gestão dessa carga cognitiva é de extrema importância, uma vez que, se não for administrada de maneira adequada, pode resultar na incapacidade dos indivíduos em compreender ou assimilar informações devido ao excesso de demanda cognitiva (Antonenko & Niederhauser, 2010).

Técnicas como o eletroencefalograma (EEG) e o rastreamento ocular são empregadas para estimar a carga cognitiva durante tarefas de aprendizagem, proporcionando dados mais precisos em comparação com métodos baseados em entrevistas, por exemplo. Essas abordagens abrem perspectivas para a adaptação da apresentação de informações aos alunos, destacando a importância de ajustar tanto o conteúdo quanto o design instrucional aos recursos limitados da memória de trabalho dos aprendizes (Antonenko & Niederhauser, 2010; Gerjets et al., 2014; Walter et al., 2017; Wang & Antonenko, 2017). Esta abordagem destaca a importância de adaptar o conteúdo e o design instrucional aos recursos limitados da memória de trabalho dos alunos (Sweller et al., 1998).

5. Considerações Finais

Em síntese, o presente artigo buscou explorar as potenciais aplicações das neurotecnologias no âmbito educacional, reconhecendo a rápida evolução dessas ferramentas e seu impacto transformador. Ao abordar especificamente a avaliação do engajamento dos alunos, a análise dos estados de atenção e o monitoramento da sobrecarga cognitiva, utilizando instrumentos como o EEG e o rastreamento ocular, revelamos *insights* valiosos para aprimorar o processo de ensino e aprendizagem.

A crescente adoção de dispositivos portáteis e vestíveis amplia as possibilidades de coleta de dados em ambientes educacionais, abrindo portas para estratégias inovadoras e personalizadas. A integração desses dados, com medidas convencionais de avaliação dos processos cognitivos, proporciona uma visão mais abrangente da experiência educacional, contribuindo para estratégias pedagógicas fundamentadas em evidências objetivas. Ao destacar a importância do engajamento cognitivo, da atenção do aluno e do gerenciamento da sobrecarga cognitiva, este estudo delineou áreas relevantes para a implementação efetiva de neurotecnologias na educação, promovendo benefícios tangíveis para estudantes e educadores ao longo de suas jornadas acadêmicas.

O avanço contínuo nesse campo oferece promissoras perspectivas para a evolução das práticas educacionais, alinhadas ao desenvolvimento cognitivo dos alunos. O estudo dessas áreas não apenas contribui para a compreensão aprofundada do desenvolvimento cognitivo dos alunos, mas também sinaliza a possibilidade de redefinir estratégias pedagógicas com base em evidências objetivas, promovendo benefícios tangíveis para estudantes e educadores ao longo de suas jornadas acadêmicas.

Como perspectivas para trabalhos futuros, almeja-se conduzir uma revisão sistemática da literatura, com o intuito de aprofundar a indagação de pesquisa e ampliar o alcance do presente estudo.

Referências

- Alivisatos, A. P., Chun, M., Church, G. M., Deisseroth, K., Donoghue, J. P., Greenspan, R. J., McEuen, P. L., Roukes, M. L., Sejnowski, T. J., Weiss, P. S., & Yuste, R. (2013). The Brain Activity Map. *Science*, 339(6125), 1284–1285. <https://doi.org/10.1126/science.1236939>
- Al-Shargie, F., Tang, T. B., & Kiguchi, M. (2017). Assessment of mental stress effects on prefrontal cortical activities using canonical correlation analysis: An fNIRS-EEG study. *Biomedical Optics Express*, 8(5), 2583 – 2598. <https://doi.org/10.1364/BOE.8.002583>
- Antonenko, P. D. (2018). Educational Neuroscience: Exploring Cognitive Processes that Underlie Learning. Em T. D., L. L., C. D. Parsons (Org.), *Mind, Brain and Technology. Educational Communications and Technology: Issues and Innovations*. (p. 27–46). Springer, Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-02631-8_3
- Antonenko, P. D., & Niederhauser, D. S. (2010). The influence of leads on cognitive load and learning in a hypertext environment. *Computers in Human Behavior*, 26(2), 140–150. <https://doi.org/10.1016/J.CHB.2009.10.014>
- Aricó, P., Sciaraffa, N., & Babiloni, F. (2020). Brain–Computer Interfaces: Toward a Daily Life Employment. *Brain Sciences*, 10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/brainsci10030157>
- Babiker, A., Faye, I., Mumtaz, W., Malik, A. S., & Sato, H. (2019). EEG in classroom: EMD features to detect situational interest of students during learning. *Multimedia Tools and Applications*, 78(12), 16261–16281. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-7016-z>
- Bevilacqua, D., Davidesco, I., Wan, L., Chaloner, K., Rowland, J., Ding, M., Poeppel, D., & Dikker, S. (2019). Brain-to-Brain Synchrony and Learning Outcomes Vary by Student–Teacher Dynamics: Evidence from a Real-world Classroom Electroencephalography Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(3), 401–411. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01274
- Bos, A. (2021). Universidade Federal do Rio Grande do Sul centro interdisciplinar de novas tecnologias na educação programa de pós-graduação em informática na educação andrea solange bos intensidade da atenção do estudante: registros de EEG no contexto de audiovisual e mídias interativas [Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <http://hdl.handle.net/10183/235241>
- Bos, A. S., Herpich, F., Kuhn, I., Guarese, R. L. M., Tarouco, L. M. R., Zaro, M. A., Pizzato, M., & Wives, L. (2019). Educational Technology and Its Contributions in Students' Focus and Attention Regarding Augmented Reality Environments and the Use of Sensors. *Journal of Educational Computing Research*, 57(7), 1832–1848. <https://doi.org/10.1177/0735633119854033>
- Chen, C.-W., & Sun, C.-W. (2017). Combination of Electroencephalography and Near-Infrared Spectroscopy in Evaluation of Mental Concentration during the Mental Focus Task for Wisconsin Card Sorting Test. *Scientific Reports*, 7(1), 338. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00448-6>
- Cicurel, R., & Nicoletis, A. L. M. (2015). *O cérebro relativístico: Como ele funciona e por que ele não pode ser simulado por uma máquina de Turing*. Kios Press.

- Cui, X., Bray, S., Bryant, D. M., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2011). A quantitative comparison of NIRS and fMRI across multiple cognitive tasks. *NeuroImage*, 54(4), 2808–2821. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.069>
- Davidesco, I., Matuk, C., Bevilacqua, D., Poeppel, D., & Dikker, S. (2021). Neuroscience Research in the Classroom: Portable Brain Technologies in Education Research. *Educational Researcher*, 50(9), 649–656. <https://doi.org/10.3102/0013189X211031563>
- Deutsch, D. (2000). *A Essência da Realidade* (1º ed, Vol. 1). Pearson Education.
- Dikker, S., Michalareas, G., Oostrik, M., Serafimaki, A., Kahraman, H. M., Struiksmas, M. E., & Poeppel, D. (2021). Crowdsourcing neuroscience: Inter-brain coupling during face-to-face interactions outside the laboratory. *NeuroImage*, 227, 117436. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2020.117436>
- Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., Rowland, J., Michalareas, G., Van Bavel, J. J., Ding, M., & Poeppel, D. (2017). Brain-to-Brain Synchrony Tracks Real-World Dynamic Group Interactions in the Classroom. *Current Biology*, 27(9), 1375–1380. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2017.04.002>
- Farahany, N. A. (2023). *The Battle for Your Brain: Defending the Right to Think Freely in the Age of Neurotechnology* (Vol. 1). St. Martin's Publishing Group.
- Farwell, L. A., & Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70(6), 510–523. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(88\)90149-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(88)90149-6)
- Gerjets, P., Walter, C., Rosenstiel, W., Bogdan, M., & Zander, T. O. (2014). Cognitive state monitoring and the design of adaptive instruction in digital environments: lessons learned from cognitive workload assessment using a passive brain-computer interface approach. *Frontiers in Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00385>
- Green, B. N., Johnson, C. D., & Adams, A. (2006). Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. *Journal of chiropractic medicine*, 5(3), 101–117. [https://doi.org/10.1016/S0899-3467\(07\)60142-6](https://doi.org/10.1016/S0899-3467(07)60142-6)
- Gupta, B., Sharma, R., Bansal, R., Soni, G. K., Negi, P., & Purdhani, P. (2023). An adaptive system for predicting student attentiveness in online classrooms. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 31(2), 1136–1146. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i2.pp1136-1146>
- Gupta, C. N., & Palaniappan, R. (2013). *Using EEG and NIRS for brain-computer interface and cognitive performance measures: a pilot study*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1504/IJCPS.2013.053576>
- Gurnani, H., & Gajic, N. A. C. (2023). Signatures of task learning in neural representations. *Current Opinion in Neurobiology*, 83, 102759. <https://doi.org/10.1016/J.CONB.2023.102759>
- Hazrati, M. Kh., Husin, H. M., & Hofmann, U. G. (2013). Wireless brain signal recordings based on capacitive electrodes. *2013 IEEE 8th International Symposium on Intelligent Signal Processing*, 8–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/WISP.2013.6657474>
- Hernández-Serrano, M. J. (2022). *Neurotechnology in the classroom: Current research and future potential*. <https://www.revistacomunicar.com/pdf/76/presentacion-en.pdf>
- Hill, N. J., Gupta, D., Brunner, P., Gunduz, A., Adamo, M. A., Ritaccio, A., & Schalk, G. (2012). Recording human electrocorticographic (ECoG) signals for neuroscientific research and real-time functional cortical mapping. *Journal of visualized experiments: JoVE*, (64), 3993. <https://doi.org/https://doi.org/10.3791/3993>
- Hodge, R. D., Bakken, T. E., Miller, J. A., Smith, K. A., Barkan, E. R., Graybiuk, L. T., Close, J. L., Long, B., Johansen, N., Penn, O., Yao, Z., Eggermont, J., Höllt, T., Levi, B. P., Shehata, S. I., Aevermann, B., Beller, A., Bertagnolli, D., Brouner, K., ... Lein, E. S. (2019). Conserved cell types with divergent features in human versus mouse cortex. *Nature*, 573(7772), 61–68. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1506-7>
- Ienca, M., & Andorno, R. (2017). Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life Sciences, Society and Policy*, 13(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0050-1>
- Jessy, P. (2009). *Analysis of EEG Signals for EEG-based Brain-Computer Interface*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:60021022>
- Kandel, E. R., Markram, H., Matthews, P. M., Yuste, R., & Koch, C. (2013). Neuroscience thinks big (and collaboratively). *Nature Reviews Neuroscience*, 14(9), 659–664. <https://doi.org/10.1038/nrn3578>
- Katona, J., & Kovari, A. (2015). EEG-based computer control interface for brain-machine interaction. *International Journal of Online Engineering*, 11(6), 43–48. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v11i6.5119>
- Kleih, S. C., Kaufmann, T., Zickler, C., Halder, S., Leotta, F., Cincotti, F., Aloise, F., Riccio, A., Herbert, C., Mattia, D., & Kübler, A. (2011). Out of the frying pan into the fire—the P300-based BCI faces real-world challenges. *Progress in Brain Research*, 194, 27–46. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53815-4.00019-4>
- Ko, L.-W., Komarov, O., Hairston, W. D., Jung, T.-P., & Lin, C.-T. (2017). Sustained Attention in Real Classroom Settings: An EEG Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00388>
- Lotte, F., Bougrain, L., Clerc, M., & Clerc Electroencephalography, M. (2015). Electroencephalography (EEG)-based Brain-Computer Interfaces. in *Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services for Quality of Life, Introducing an information system for successful support of selective attention in online courses Springer*, , 153–162. <https://doi.org/10.1002/047134608X.W8278i>
- Mak, J. N., Arbel, Y., Minett, J. W., McCane, L. M., Yuksel, B., Ryan, D., Thompson, D., Bianchi, L., & Erdogmus, D. (2011). Optimizing the P300-based brain-computer interface: current status, limitations and future directions. *Journal of Neural Engineering*, 8(2), 25003. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/8/2/025003>
- Nicolelis, M. (2017). *Muito além do nosso eu: A nova Neurociência que une cérebro e máquinas e como ela pode mudar nossas vidas*. Editora Planeta.

- Parpala, A., & Hailikari, T. (2021). How Can Student Experience Be Used to Raise the Academic Standards of Teaching? Em J. T. E. and P. A. and O. B. Shah Mahsood and Richardson (Org.), *Assessing and Enhancing Student Experience in Higher Education* (p. 191–209). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80889-1_8
- Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F., & Merabet, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 28(1), 377–401. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144216>
- Pilli, L., & Mazzon, J. A. (2016). Information overload, choice deferral, and moderating role of need for cognition: Empirical evidence. *Revista de Administração*, 51, 36–55. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:73607689>
- Poulsen, A. T., Kamronn, S., Dmochowski, J., Parra, L. C., & Hansen, L. K. (2017). EEG in the classroom: Synchronised neural recordings during video presentation. *Scientific Reports*, 7(1), 43916. <https://doi.org/10.1038/srep43916>
- Qian, T., Wu, W., Zhou, W., Gao, S., & Hong, B. (2011). ECoG based cortical function mapping using general linear model. *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2347–2350. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6090656>
- Rezeika, A., Benda, M., Stawicki, P., Gembler, F., Saboor, A., & Volosyak, I. (2018). Brain-Computer Interface Spellers: A Review. *Brain sciences*, 8(4), 57. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/brainsci8040057>
- Ribeiro, J. L. P. (2014). Revisão de investigação e evidência científica. *Psicologia, Saúde e Doenças*, 15(3). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36232744009>
- Rother, E. T. (2007). Revisão sistemática X revisão narrativa. *Acta Paulista De Enfermagem*, 20(2), v–vi. <https://doi.org/10.1590/S0103-21002007000200001>
- Sinatra, G. M., Heddy, B. C., & Lombardi, D. (2015). The challenges of defining and measuring student engagement in science. *Educational Psychologist*, 50(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.1002924>
- Stieglitz, T. (2021). Why Neurotechnologies? About the Purposes, Opportunities and Limitations of Neurotechnologies in Clinical Applications. *Neuroethics*, 14(1), 5–16. <https://doi.org/10.1007/s12152-019-09406-7>
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251 – 296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Tang, Y.-W., & Lin, Y.-D. (2017). Brain Activity Monitoring System Based on EEG-NIRS Measurement System. *Applied Mechanics and Materials*, 870, 351–356. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:116453419>
- Tokuhamas-Espinosa, T. (2008). *The Scientifically Substantiated Art of Teaching: A study in the development of standards in the new academic field of neuroeducation (mind, brain, and education science)*.
- Tokuhamas-Espinosa, T. (2015). *The new science of teaching and learning: Using the best of mind, brain, and education science in the classroom*. Columbia University's Teachers College Press.
- Tokuhamas-Espinosa, T. (2017). Mind, Brain, and Education Science: An International Delphi Survey 2016-2017. *Quito, Ecuador: Author*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14259.22560>
- Trotter, E., & Roberts, C. A. (2006). Enhancing the early student experience. *Higher Education Research & Development*, 25(4), 371–386. <https://doi.org/10.1080/07294360600947368>
- Wallois, F., Mahmoudzadeh, M., Patil, A., & Grebe, R. (2012). Usefulness of simultaneous EEG–NIRS recording in language studies. *Brain and Language*, 121(2), 110–123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bandl.2011.03.010>
- Walter, C., Rosenstiel, W., Bogdan, M., Gerjets, P., & Spüler, M. (2017). Online EEG-Based Workload Adaptation of an Arithmetic Learning Environment. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2017.00286>
- Wang, J., & Antonenko, P. D. (2017). Instructor presence in instructional video: Effects on visual attention, recall, and perceived learning. *Computers in Human Behavior*, 71, 79–89. <https://doi.org/10.1016/J.CHB.2017.01.049>
- White, S. W., Richey, J. A., Gracianin, D., Bell, M. A., LaConte, S., Coffman, M., Trubanova, A., & Kim, I. (2015). The Promise of Neurotechnology in Clinical Translational Science. *Clinical Psychological Science*, 3(5), 797–815. <https://doi.org/10.1177/2167702614549801>
- Williamson, B. (2019). Brain Data: Scanning, Scraping and Sculpting the Plastic Learning Brain Through Neurotechnology. *Postdigital Science and Education*, 1(1), 65–86. <https://doi.org/10.1007/s42438-018-0008-5>
- Wolpaw, J. R., Millán, J. D. R., & Ramsey, N. F. (2020). Brain-computer interfaces: Definitions and principles. *Handbook of clinical neurology*, 168, 15–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63934-9.00002-0>
- Yorke, M. (2000). The Quality of the Student Experience: What can institutions learn from data relating to non-completion? *Quality in Higher Education*, 6(1), 61–75. <https://doi.org/10.1080/13538320050001072>
- Zaro, M. A., Rosat, R. M., Ribeiro, M. L. O., Spindola, M., Azevedo, A. M. P. de, Bonini-Rocha, A. C., & Timm, M. I. (2010). Emergência da Neuroeducação: a hora e a vez da neurociência para agregar valor à pesquisa educacional. *Ciências & Cognição*, 15, 199–210. http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212010000100016&nrn=iso
- Zhuang, J., & Ju, Y. S. (2013). *Deployable MEMS Devices for Minimally Invasive Monitoring of Cortical Activities*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:112020286>