



CORRELATOS NEURAIIS COM FNIRS DE LEITURA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Palavras-Chave: RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS, SUBSTRATOS NEURAIIS, FNIRS

Autores(as):

LUCAS TEODOSIO, IFGW – UNICAMP

LUIS F. BORTOLETTO, IFGW – UNICAMP

**Prof. Dr. RICKSON C. MESQUITA, IFGW – UNICAMP / ESCOLA DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO,
UNIVERSIDADE DE BIRMINGHAM**

Prof^a. Dr^a. GABRIELA CASTELLANO, IFGW - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O processo de ensino-aprendizagem tem sido foco de diversas pesquisas em Educação, particularmente em campos como Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM, do inglês), nos quais o entendimento do engajamento cognitivo continua crucial para o avanço pedagógico. No entanto, os mecanismos neurais subjacentes conceituais de desenvolvimento em educação científica continuam inexplorados [1]. Ferramentas modernas de neuroimagem - como ressonância a espectroscopia no infravermelho próximo (fNIRS) – já oferecem maneiras não invasivas de monitorar esses processos.

A neuroimagem tradicional enfrenta três importantes limitações em pesquisas educacionais: (1) protocolos experimentais rígidos que eliminam o contexto social; (2) baixa razão sinal-ruído, e (3) altos custos. Avanços recentes em micro-óptica e sensores vestíveis têm possibilitado a existência de sistemas fNIRS portáteis, acessível e que mantém a validade ecológica enquanto captura atividade cortical [2]. Isso explica o crescimento de fNIRS em áreas como Educação [3].

O Ensino de Física apresenta um particular e valioso estudo de caso, tendo em vista que a abstração de conceitos (força, energia e outros) recruta sistemas neurais inerentes à resolução de problemas – um processo pouco entendido a nível de Neurociência [4]. Estudos de fMRI revelaram que resolução de problemas de Física ativa a rede frontoparietal devido ao engajamento de atenção sustentada, memória de trabalho e raciocínio lógico [5, 6]. Nosso laboratório já teve sucesso em monitorar essas regiões usando fNIRS vestíveis durante tarefas cognitivas [7].

Neste estudo, aplicamos o questionário Force Concept Inventory modificado (mFCI) [8] para comparar atividade neural entre as fases de leitura e resposta em 8 estudantes. A hipótese é que existem diferentes padrões de ativação nas regiões cerebrais frontal e parietal, refletindo diferentes demandas cognitivas ao longo das fases.

METODOLOGIA:

Oito estudantes (22 ± 6 anos) foram recrutados para responder o questionário mFCI enquanto monitorados com fNIRS. O áudio dos participantes pensando em voz alta a leitura e a resolução dos problemas também foi gravado. A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Física Médica do Hospital das Clínicas (HC) da UNICAMP. O projeto foi aprovado pelo comitê de ética local e consentimento foi obtido de todos os participantes.

Para a análise da leitura e da resposta, usamos o áudio gravado para determinar os momentos exatos em que o participante estava lendo e respondendo. Primeiro, a qualidade do áudio foi melhorada aplicando amplificação e redução de ruído usando o editor Audacity. Então, usamos Whisper, um modelo de inteligência artificial da OpenAI, para transcrever o áudio. Baseando-se na transcrição e no próprio áudio, adicionamos marcadores ao sinal de fNIRS para distinguir entre os momentos de leitura e resposta.

Para a coleta de dados fNIRS, usamos o sistema comercial NIRScout de ondas contínuas (NIRx Medical Systems, Alemanha). O sistema tem 16 fontes de luz (cada uma equipada com LEDs em dois comprimentos de onda: 760 nm e 850 nm) e 32 detectores de luz. A Fig 1(a) mostra o arranjo de fibra óptica das fibras, que foi previamente desenvolvido pelos pesquisadores para otimizar os pares fonte-detectores, garantindo uma boa cobertura das regiões frontoparietal e occipital envolvidas na tarefa. A Fig. 1(b) apresenta o mapa de sensibilidade do arranjo, desenvolvido através de uma simulação de Monte Carlo.

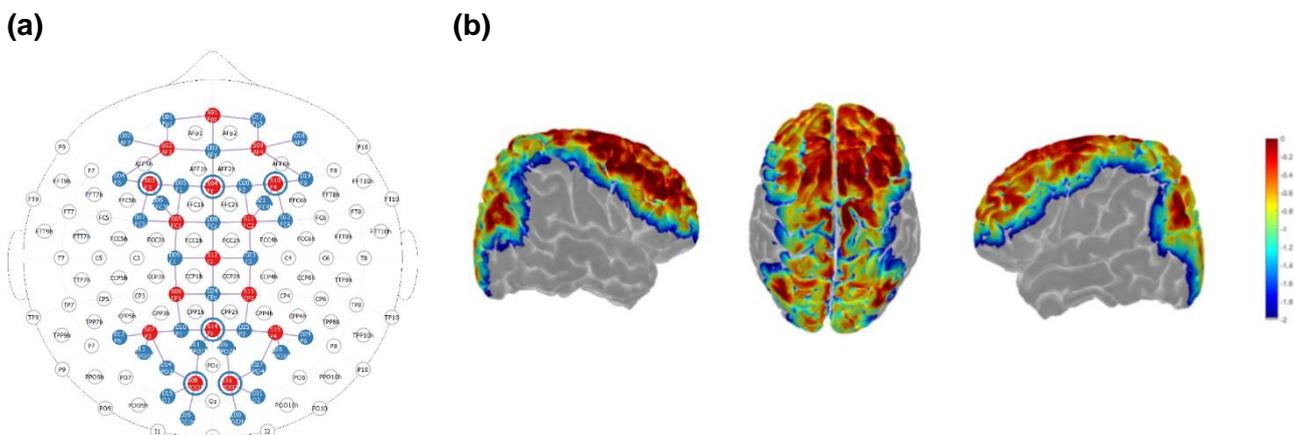


Fig. 1: (a) Esquema óptico do arranjo de fibras ópticas da touca. Fontes são representadas em vermelho e detectores em azul. (b) Mapa de sensibilidade do arranjo óptico. Regiões avermelhadas significam áreas com maior sensibilidade (maior absorção de luz) e regiões azuladas são áreas com menor sensibilidade (menor absorção de luz).

Usamos MatLab (MathWorks, Inc.) para a análise de dados. Implementamos códigos para o processamento da densidade óptica, incluindo a correção de artefatos não fisiológicos, conversão de luz para a variação de concentração de oxihemoglobina (HbO) e desoxihemoglobina (HbR) usando a Lei de Beer-Lambert [9]. Depois de processarmos a atividade neural, inferimos ativações durante os momentos de leitura, resposta e durante toda a atividade.

A determinação da atividade neural relacionada ao estímulo dos momentos de resposta, leitura e total (leitura + resposta) foi feita usando um Modelo Linear Geral (GLM). Para isso, o dado filtrado de cada tipo de hemoglobina foi modelado como a soma de contribuições da hemodinâmica cerebral e fisiologia global, e uma regressão linear foi usada para a identificação de canais com contribuições hemodinâmica significativas ($p \leq 0.05$). Canais para os quais ambos HbO e HbR mostraram uma contribuição significativa foram considerados ativados durante a atividade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A Fig. 2 mostra os mapas de ativação de fNIRS obtidos durante os momentos de leitura, resposta e total para os oito participantes.

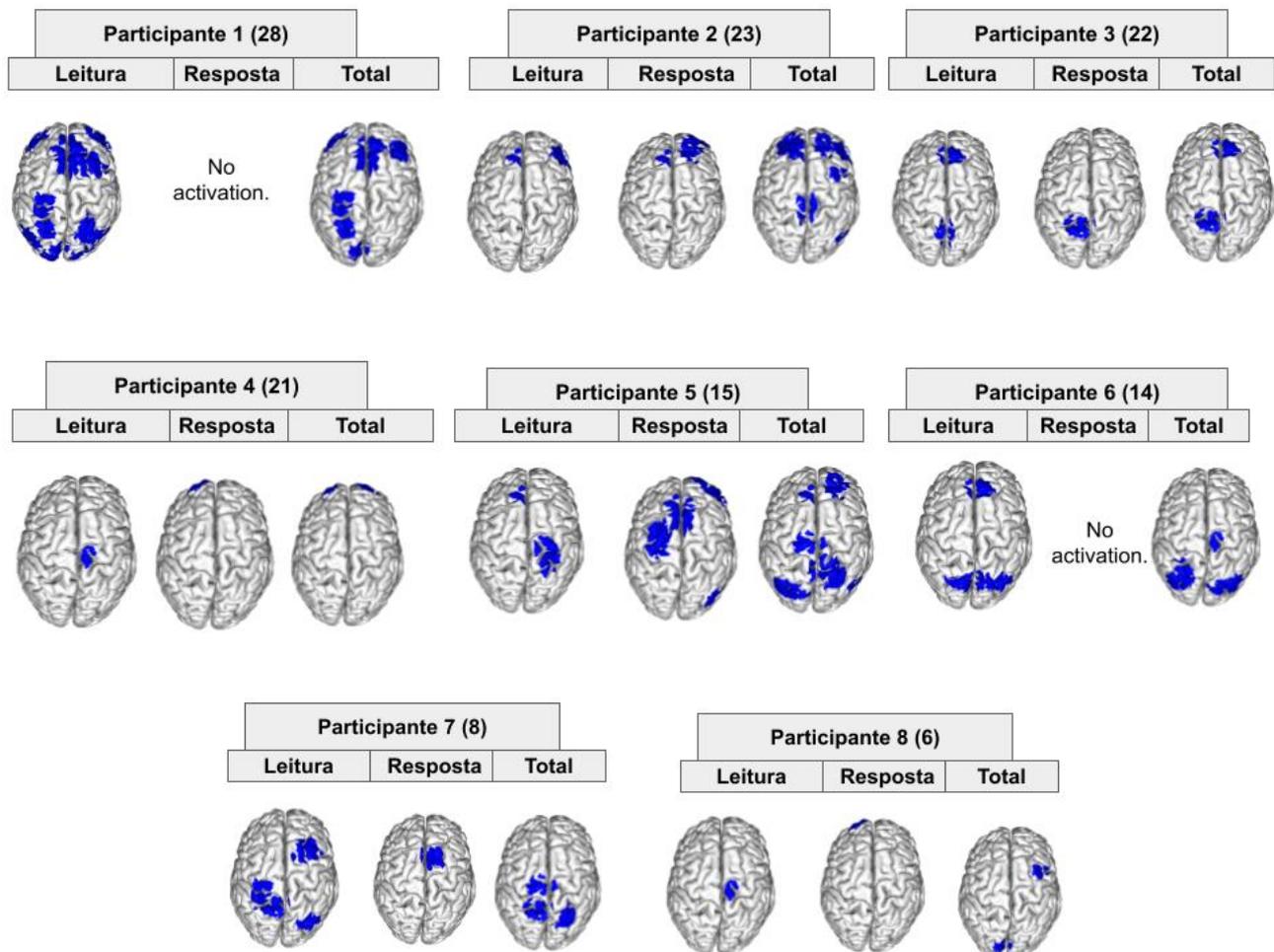


Fig. 2: Ativações corticais durante os momentos da tarefa de leitura, resposta e total. Os números entre parênteses indicam o total de acertos.

Durante os momentos de leitura, encontramos ativações no giro frontal superior direito para metade dos participantes (4/8) e no giro frontal superior esquerdo, giro frontal médio direito, giro angular direito e no pré-cúneo esquerdo para três dos oito participantes. Durante os momentos de resposta, detectamos ativações no giro frontal superior esquerdo e no giro frontal médio direito, também para três dos oito participantes. Ao longo de todo o protocolo, a mais frequente ativação ocorreu no giro frontal

médio direito para cinco dos oito participantes e no giro pós-central esquerdo para a metade dos participantes.

O presente estudo pretendeu analisar padrões de ativações corticais com fNIRS em estudantes resolvendo problemas de Física, tendo a hipótese que fases de leitura e resposta deveriam ter diferentes padrões. Tais padrões encontrados realmente são diferentes entre as tarefas de leitura e resposta para cada sujeito; e eles também são diferentes entre os sujeitos. Portanto, olhamos para áreas ativadas que apareceram com maior frequência entre os sujeitos para cada tarefa. Maioria das ativações encontradas pertencem ao córtex frontal. A região cortical frontal é associada com tarefas cognitivas complexas e, de fato, foi mostrado que é ativada durante resolução de problemas de Física em estudos anteriores usando fMRI e tomografia de emissão de pósitrons (PET) [1, 4-6].

As principais diferenças observadas entre os momentos de leitura e resposta são nas regiões do giro frontal superior direito, giro angular direito e pré-cúneo esquerdo, os quais são ativados durante a leitura, mas não durante a resposta. O giro frontal superior direito tem um papel crucial em controle cognitivo, controle de impulso e inibição motora [10]. O giro angular localiza-se na junção dos lobos parietal, temporal e occipital e ele é conhecido por suas funções cognitivas incluindo linguagem, memória e processamento espacial [11]. Também se sabe desde o início do século passado que lesões ao giro angular pode causar déficits aritméticos [12]. O pré-cúneo é também localizado no córtex e também tem um importante papel em várias funções cognitivas, como a memória episódica, representações espaciais, atenção e integração das informações [13]. Portanto, o giro frontal superior, o giro angular e o pré-cúneo são ativados durante a leitura mas não durante a resposta, pois eles estão ligados à demandas cognitivas específicas: o giro superior frontal superior media o controle de impulso para evitar conclusões prematuras, o giro angular recruta sistemas de linguagem e memória para a compreensão textual, e o pré-cúneo sustenta a atenção, integra as informações e processa representações espaciais – crítico para a resolução de problemas da Física.

Entretanto, como mencionado anteriormente, nossos resultados não mostram um padrão de ativação comum devido à natureza complexa de resolução de problemas de Física, a qual pode engajar diferentes regiões do cérebro nos participantes. Uma amostra maior de participantes pode ajudar a encontrar melhores padrões.

Na literatura de Neurociência em resolução de problemas, protocolos baseados em fMRI são amplamente usados. Enquanto fMRI é uma técnica poderosa, ela remove o participante do seu contexto natural social-ecológico. Nosso protocolo baseado em fNIRS oferece uma vantagem em permitir as medições em condições de maior validade ecológica. Porém, uma das limitações de fNIRS é sua inabilidade de monitorar regiões corticais profundas do cérebro, as quais podem estar envolvidas em processos de linguagem.

Nosso estudo tem algumas limitações, primeiramente o tamanho da amostra. Outro grande desafio foi o tempo para o processamento de dados: o dado de cada participante leva horas de

processamento de áudio, revisão manual e, depois, análise no MatLab. Adicionalmente, a coleta de dados por si só consome bastante tempo, a qual tem um demorado recrutamento dos participantes.

No futuro, pretendemos aumentar o tamanho da nossa amostra e dividir os participantes em grupos baseados em performance (muitas vs. Poucas respostas corretas) para comparar as diferenças de ativações entre eles. Também planejamos analisar leitura e resposta separadamente para respostas corretas e incorretas, a qual pode revelar distintos padrões neurais associados com sucesso versus não sucesso em momentos de resolução de problemas.

CONCLUSÕES:

Diante do que foi exposto neste estudo, encontramos, de fato, diferentes padrões de ativações em momentos de leitura e resposta ao longo da resolução de um mFCI. As regiões que foram ativadas nos momentos de leitura mas não de resposta foram o giro frontal superior direito, giro angular direito e pré-cúneo esquerdo, as quais podem ser associadas a funções específicas ligadas à leitura. No futuro, pretendemos aumentar o tamanho da nossa amostra e realizar análises de performance e de respostas corretas e incorretas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BARTLEY, J.E. et al. Brain activity links performance in science reasoning with conceptual approach. **npj Science of Learning**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2019.
- [2] QUARESIMA, V.; FERRARI, M. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for assessing cerebral cortex function during human behavior in natural/social situations: a concise review. **Organizational Research Methods**, v. 22, p. 46-68, 2019.
- [3] FERRARI, M.; QUARESIMA, V. A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. **NeuroImage**, v. 63, p. 921-935, 2012.
- [4] MASON, R.A.; JUST, M.A. Neural representations of physics concepts. **Psychological Science**, v. 27, n. 6, p. 904-913, 2016.
- [5] BARTLEY, J.E. et al. Meta-analytic evidence for a core problem solving network across multiple representational domains. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 92, p. 318-337, 2018.
- [6] RIEKKI, T. et al. Intuitive physics ability in systemizers relies on differential use of the internalizing system and long-term spatial representations. **Neuropsychologia**, v. 109, p. 10-18, 2018.
- [7] TEODOSIO, L.F. et al. Analysis of the Neural Correlates of Problem Solving in Physics Measured with Functional Near-Infrared Spectroscopy. **Anais do 10th BRAINN Congress. Journal of Epilepsy and Clinical Neurophysiology**, v. 29, p. 8, 2024.
- [8] HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force concept inventory. **The Physics Teacher**, v. 30, n. 3, p. 141-158, 1992.
- [9] NOVI JUNIOR, S.L. **Investigation of functional neuroplasticity in the human brain with near-infrared spectroscopy**. Tese de Doutorado, Campinas, 2022.
- [10] HU, S.; IDE, J.S.; ZHANG, S.; LI, C.R. The Right Superior Frontal Gyrus and Individual Variation in Proactive Control of Impulsive Response. **Journal of Neuroscience**, v. 36, n. 50, p. 12688-12696, 2016.
- [11] SE GHIER, M.L. The Angular Gyrus: Multiple Functions and Multiple Subdivisions. **The Neuroscientist**, v. 19, n. 1, p. 43-61, 2012.
- [12] GERSTMANN, J. Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia and acalculia—Local diagnostic value. **Archives of Neurology and Psychiatry**, v. 44, n. 2, p. 398-408, 1940.
- [13] CAVANNA, A.E.; TRIMBLE, M.R. The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. **Brain**, v. 129, n. 3, p. 564-583, 2006.