

PADRÕES DE ATIVAÇÃO NEURAL DURANTE VISUALIZAÇÕES E REALIZAÇÕES DE AÇÕES MOTORAS: UM ESTUDO DE fNIRS

Luiza Bomtempo Mendes (IC) e Ana Alexandra Caldas Osório (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

Pesquisas anteriores mostraram que as mesmas áreas cerebrais são ativadas quando adultos realizam uma ação motora e quando observam essa mesma ação sendo realizada por outras pessoas, refletindo a influência do chamado Sistema de Neurônios-Espelho. Assim, o presente estudo pretendeu analisar – com recurso a espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) – o padrão de ativação neural quando adultos observam e executam ações motoras. Participaram neste estudo piloto sete estudantes universitários destros, do sexo feminino, com média de 23 anos de idade. Os participantes realizaram uma tarefa dividida em duas fases: na Fase de Execução, foi pedido que os participantes pegassem em bolas com a mão dominante e as colocassem lentamente, uma a uma, em uma cesta, e na Fase de Observação, os participantes observaram repetidamente uma mão (da pesquisadora) pegando lentamente uma bola e a retirando do cenário. As mudanças na concentração de hemoglobina oxigenada (HbO₂) e desoxigenada (Hbb) na região sensório-motora foram medidas por meio de fNIRS. Os resultados mostraram que dois participantes apresentaram ativação em canais localizados na área sensório-motora durante a fase de execução, enquanto durante a fase de observação, três participantes registraram ativação em canais localizados nessa mesma região. A existência de muitos canais ruidosos pode explicar porque foi encontrada ativação na área sensório-motora em tão poucos participantes, principalmente durante a fase de execução. Mesmo assim, em cerca de metade da nossa amostra foi possível confirmar o efeito reportado pela literatura – ativação na área sensório-motora quando os participantes apenas observavam outra pessoa realizando a ação.

Palavras-chave: fNIRS. Execução ações motoras. Observação ações motoras.

ABSTRACT

Previous research has shown that the same brain areas are activated when adults perform a motor action and when they observe this same action being performed by other people, reflecting the influence of the Mirror-Neuron System. Thus, the present study aimed to analyze the neural activation patterns – using functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS), when adults observe and perform motor actions. A total of seven female, right-handed university students, with a mean age of 23 years, participated in this study. The participants performed a task divided into two phases: in the Execution Phase, participants were asked to take balls

with the dominant hand and slowly put them in a basket (one by one), and in the Observation Phase, participants observed a hand (researcher) repeatedly taking a ball and slowly removing it from the scene. The changes in the concentration of oxygenated hemoglobin (HbO₂) and deoxygenated (Hbb) in the sensorimotor region were measured by fNIRS. The results showed that two participants had activation in channels located in the sensorimotor area, during the motor action execution phase, while during the observation phase, three participants recorded activation in channels located in this same region. The existence of many noisy channels may explain why activation in the sensorimotor area was found in few participants, especially during the phase of motor action execution. Nevertheless, in about half of our sample we were able to confirm the expected effect, given extant literature – activation in the sensorimotor area when the participants observed another person performing the action.

Keywords: fNIRS. Execution of motor actions. Observation of motor actions.

1. INTRODUÇÃO

A cognição social, que se refere ao processamento de informação de natureza social, contribui largamente para o funcionamento e ajustamento social dos indivíduos, na medida em que nos permite compreender o mundo social que nos rodeia (OSÓRIO et al., 2011). A busca por tentar compreender o processo pelo qual os seres humanos comportam-se em sociedade ou interpretam seus semelhantes é um ramo de estudo que ainda apresenta muitas incógnitas. Segundo Soares (2014) existem algumas vertentes dentro das diferentes ciências que buscam destrinchar este fenômeno, dentre elas surge a Psicologia Cognitiva, como tentativa de entender os processos básicos subjacentes às interações sociais, mais tarde denominada cognição social. A Neurociência, por sua vez, permite analisar a cognição social não apenas em seus aspectos interpessoais, mas, também, em suas localizações e funcionalidades cerebrais, evidenciando a influência de cada estrutura neurológica no comportamento humano (SOARES, 2014).

O presente estudo visou contribuir para a compreensão do desenvolvimento da cognição social e dos correlatos neurais do processamento de informação social, a fim de buscar oferecer subsídios – por meio de um estudo em adultos – para futuros estudos com bebês e crianças pequenas. Pretendemos pesquisar a existência de diferenças entre as áreas cerebrais ativadas durante visualizações e realizações de ações motoras, recorrendo a uma técnica de neuroimagem funcional de uso relativamente recente no contexto científico brasileiro – espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O ser humano aprende acerca dos outros observando as suas ações e comportamentos e entendendo as suas intenções, o que constitui um elemento fundamental na interação social. Essa compreensão de ações nas outras pessoas parece refletir a influência de um sistema chamado de Sistema de Neurônios-Espelho (SNE), que define um conjunto de áreas cerebrais que são ativadas quando realizamos uma ação e quando observamos essa mesma ação sendo realizada (RIZZOLATTI & CRAIGHERO, 2004). O interesse da comunidade científica pela temática cresceu quando o chamado SNE foi identificado, primeiramente em experimentos com macacos (GALLESE et al., 1996; FOGASSI et al., 2005). Descobriu-se que esses neurônios são ativos não apenas quando o sujeito está executando uma ação, mas também ao observar outro indivíduo a executá-la (GALLESE et al., 1996). Esta descoberta no grupo de macacos levantou a questão de saber se o sistema de neurônios-espelho também existe em humanos (por exemplo, RIZZOLATTI, FOGASSI & GALLASE., 2001).

Várias pesquisas têm sido conduzidas com diferentes técnicas de neuroimagem procurando examinar essa questão em adultos. Por exemplo, em um estudo de ressonância magnética funcional (fMRI), foi encontrada uma ativação robusta em regiões do córtex motor quando os participantes observavam uma ação motora sendo realizada (ex., uma mão pegando em um copo) (IACOBONI et al., 2005). Outro estudo usando uma técnica de espectroscopia funcional do infravermelho próximo (fNIRS) também observou que as mesmas áreas motoras eram ativadas quando os participantes realizavam uma ação e observavam uma ação motora a ser realizada ao vivo (SHIMADA & HIRAKI, 2006). De uma forma geral, os achados sugerem que a área do córtex motor primário é parte importante envolvida na compreensão das ações observadas, sendo ativada não só quando nós próprios executamos ações motoras, mas também quando observamos outra pessoa executando essas ações (FILIMON et al., 2007; NISHITANI & HARI, 2000; RIZZOLATTI et al., 2001; SHIMADA & HIRAKI, 2006). Tal sobreposição de ativação contribui para compreensão das intenções subjacentes às ações observadas (GALLESE, 2003).

Muitos dos estudos realizados nesta temática basearam-se em experimentos de neuroimagem, em especial com Ressonância Magnética Funcional (fMRI) e tomografia por emissão de pósitrons (PET) (por exemplo, BUCCINO et al., 2004b e IACOBINI et al., 1999). No entanto, algumas das técnicas usadas têm limitações, por exemplo, a PET requer o uso de radioisótopos, enquanto a fMRI e também a magnetoencefalografia (MEG) exigem o participante permaneça muito quieto, até mesmo imobilizado (LLOYD-FOX et al., 2010). Nesse contexto, o uso da Espectrografia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS, do inglês funcional Near-Infrared Spectroscopy), torna-se uma técnica promissora na avaliação da resposta cerebral, uma vez que não apresenta os fatores limitantes de métodos tradicionais de neuroimagem. Segundo Lloyd-Fox e colaboradores (2010), a fNIRS tem boa resolução temporal, não é ruidosa e proporciona uma medida completa da resposta hemodinâmica do córtex.

Considerando o que foi exposto, o presente estudo pretendeu analisar – com recurso a fNIRS – o padrão de ativação neural, particularmente na região do córtex motor primário quando adultos visualizam ações motoras (ex., pegar em uma bola) sendo realizadas por outra pessoa e quando eles próprios executam uma ação motora. Dados os resultados de estudos prévios (ex. SHIMADA & HIRAKI, 2006), a nossa hipótese era a de que o córtex motor primário seria igualmente ativado durante a visualização e a execução de ações motoras.

3. METODOLOGIA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Os participantes da pesquisa foram sete (N=7) estudantes universitários destros, do sexo feminino, com idades variando entre 18 e 35 anos ($M = 23$ anos; $DP = 5.51$). Foram considerados critérios de exclusão: idade cronológica inferior a 18 anos, deficiência motora, histórico de alterações neurológicas (exs. AVC, paralisia cerebral), presença de doença neurológica, presença de doença psiquiátrica ou médica que implique efeitos secundários neurológicos ou motores, bem como uso de medicamentos que impliquem efeitos secundários neurológicos ou motores e predominância de lateralidade esquerda.

Cinco participantes (71%) não reportaram qualquer histórico de doenças físicas e/ou mentais, enquanto duas (29%) reportaram endometriose, epilepsia do desenvolvimento e síncope do vaso vagal. Quatro participantes (57%) reportaram fazer uso de medicação e cinco (71%) referiram usar drogas lícitas e/ou ilícitas (sendo álcool a mais frequente) de forma não regular. No dia da avaliação nenhum participante reportou ter usado qualquer substância. Além disso, foi possível classificar as famílias em classes sociais, de forma que cinco participantes (71%) pertencem à classe A, um participante (14%) à classe B1 e um participante (14%) à classe B2.

3.2. TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE COLETA

Para a realização da coleta do presente estudo, os participantes compareceram uma vez ao Laboratório de Neurociência Cognitiva e Social da Universidade Presbiteriana Mackenzie. À chegada ao laboratório, foram descritos os objetivos e procedimentos a realizar durante a sessão e quaisquer dúvidas foram atendidas. Depois, foi solicitado que os participantes assinassem o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) para autorizar a sua participação no estudo, após o qual foi realizada a avaliação com fNIRS. No final, os participantes preencheram dois questionários. O procedimento com fNIRS foi gravado em vídeo para posterior análise. A sessão teve uma duração aproximada de 30 minutos.

Os participantes preencheram uma ficha de caracterização sócio-demográfica, de histórico de doenças e uso de medicamentos ou substâncias lícitas/ilícitas e o Inventário de Lateralidade de Edimburgo, para confirmação da lateralidade.

O questionário sociodemográfico incluiu também itens relativos ao conforto domiciliar (como número de banheiros e quartos, disponibilidade de eletrodomésticos e automóveis, etc.), acesso a serviços públicos (água encanada e rua pavimentada) e grau de instrução dos membros da família para determinar a classificação econômica do participante, através da

aplicação do Critério de Classificação Econômica Brasil desenvolvido pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (CCEB 2018/ABEP). Mediante um sistema de pontos atribuídos às respostas dos participantes é possível classificar o estrato socioeconômico do participante em uma das seguintes classes: A, B, C ou D/E, numa escala até 100, em que de 45-100 pontos considerava-se classe A e assim sucessivamente.

Já a Escala de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971) inclui 10 itens de atividades motoras (ex. como segurar uma caneta, uma vassoura ou acender um fósforo) em que o participante deve responder com que mão (esquerda ou direita), preferencialmente, realiza cada atividade. Para determinar o quociente de lateralidade do participante é aplicada a seguinte fórmula: $QL = (Direita - Esquerda)/(Direita + Esquerda) * 100$. A pontuação do quociente de lateralidade pode variar entre - 100 (preferência fortemente pela mão esquerda) e + 100 (preferência fortemente pela mão direita). Nos participantes do estudo, o quociente de lateralidade variou entre +40 e +100, apresentando uma média de 78.04 ($DP = 23.15$), confirmando assim a dominância da mão direita para realização de atividades.

A técnica de neuroimagem utilizada foi a Espectrografia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS). Basicamente, trata-se de uma *“técnica que emprega luz infravermelha, transportada por uma fibra óptica, a qual irradia luz ao escalpo da pessoa sob exame. A luz emitida pelas fontes propaga-se através do crânio e é capturada pelos detectores, desenhando uma curva em forma de banana na estrutura superficial do córtex. Então, as alterações na reflexão das luzes são medidas, com a possibilidade de se distinguir entre os níveis de oxigenação e desoxigenação sanguínea.”* (SCHERER, KAHLAOUI & ANSALDO, 2009, p. 59). Neste estudo foi utilizado o equipamento Brainsight® NIRS-16 da Rogue Resolutions, composto de 8 fontes e 16 detectores de luz, utilizando os comprimentos de onda de 705 e 830 nanômetros (*nm*). Para dar continuidade ao protocolo, foi realizada a colocação da touca de fNIRS de modo que os optodos foram colocados bilateralmente, seguindo uma adaptação do sistema 10-20, sobre a região sensório-motora e região temporal. No presente estudo, o córtex motor primário (hemisfério esquerdo) é a região cerebral de interesse. Assim, foram analisados os canais (pares de fontes e detectores) colocados sobre a região sensório-motora do hemisfério esquerdo (ver Figura 1).

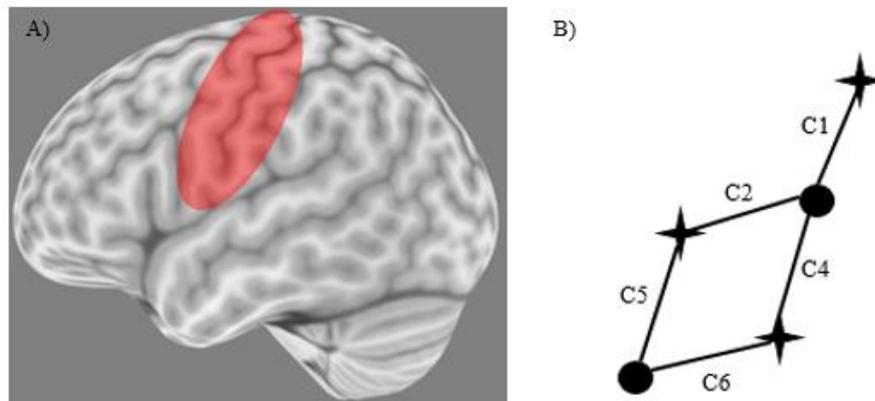


Figura 1. A) identifica a região sensório-motora do hemisfério esquerdo; B) O esquema dos canais localizados na área sensório-motora e que serão foco de análise neste estudo – Canal (C) 1, 2, 4, 5 e 6. Os círculos identificam fontes de luz e as estrelas identificam detectores de luz.

O paradigma consistiu em duas fases: Fase de Observação e Fase de Execução. Durante a Fase de Observação (Figura 2 A), com duração aproximada de 7 minutos, o participante visualizou uma bola em movimento pendular (condição controle) durante 6 a 10 segundos (intervalos randomizados), seguida de uma condição experimental (Figura 2 B) em que o participante observou uma mão (da pesquisadora escondida atrás de uma cortina) pegando lentamente numa bola e a removendo do cenário (4 segundos). Foram realizadas 30 repetições de cada condição (controle e experimental), sendo que em metade das vezes a mão da pesquisadora apareceu do lado direito e nas restantes vezes, do lado esquerdo do cenário. Já na Fase de Execução, durante aproximadamente 2 minutos, foi pedido ao participante que pegasse em alguns objetos (uma bola) com a mão dominante (direita) e as colocasse, lentamente, em uma cesta. Foram realizados 8 ensaios, com intervalos de aproximadamente 12 segundos entre cada ação executada pelo participante. Todos os estímulos foram apresentados ao vivo e a sua apresentação registrada no arquivo de dados fNIRS com recurso a um pedal.

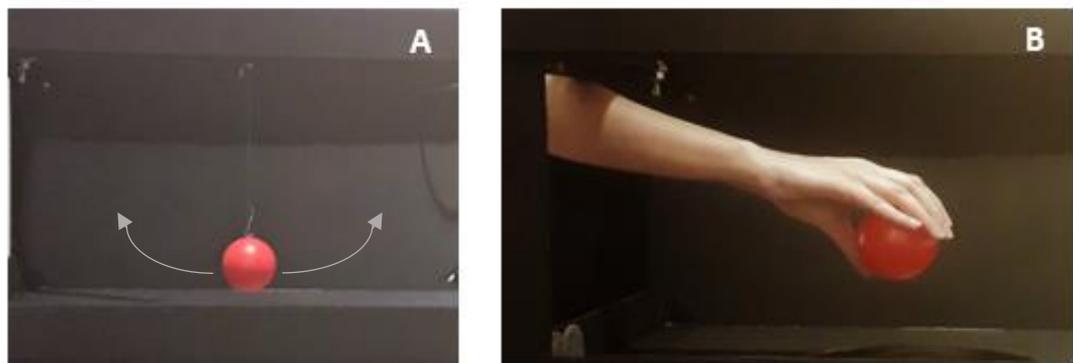


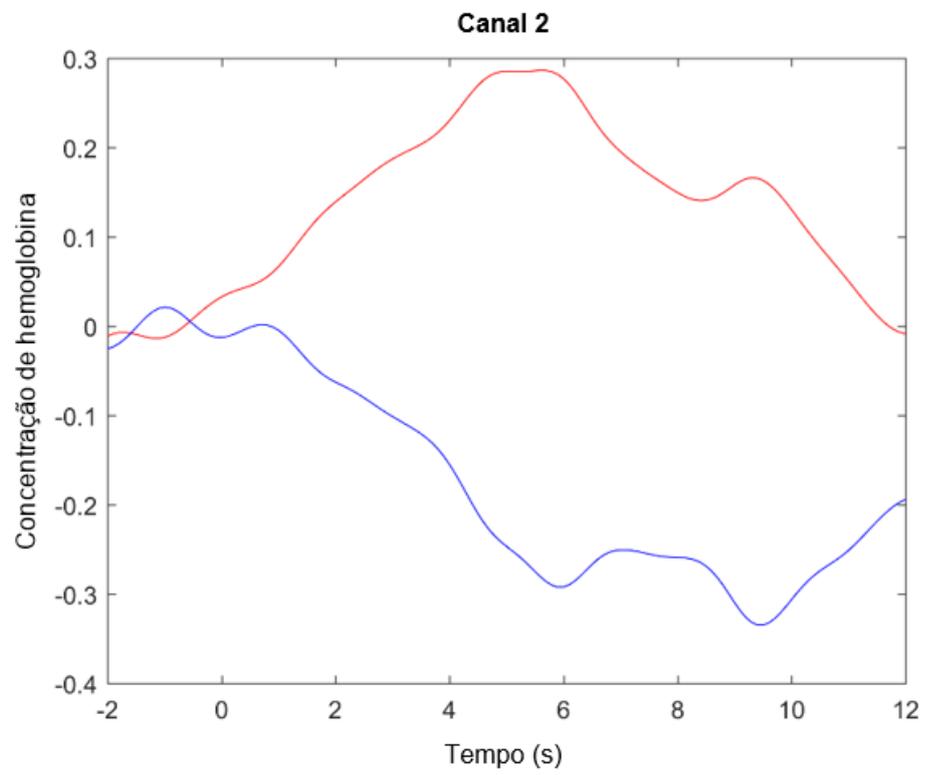
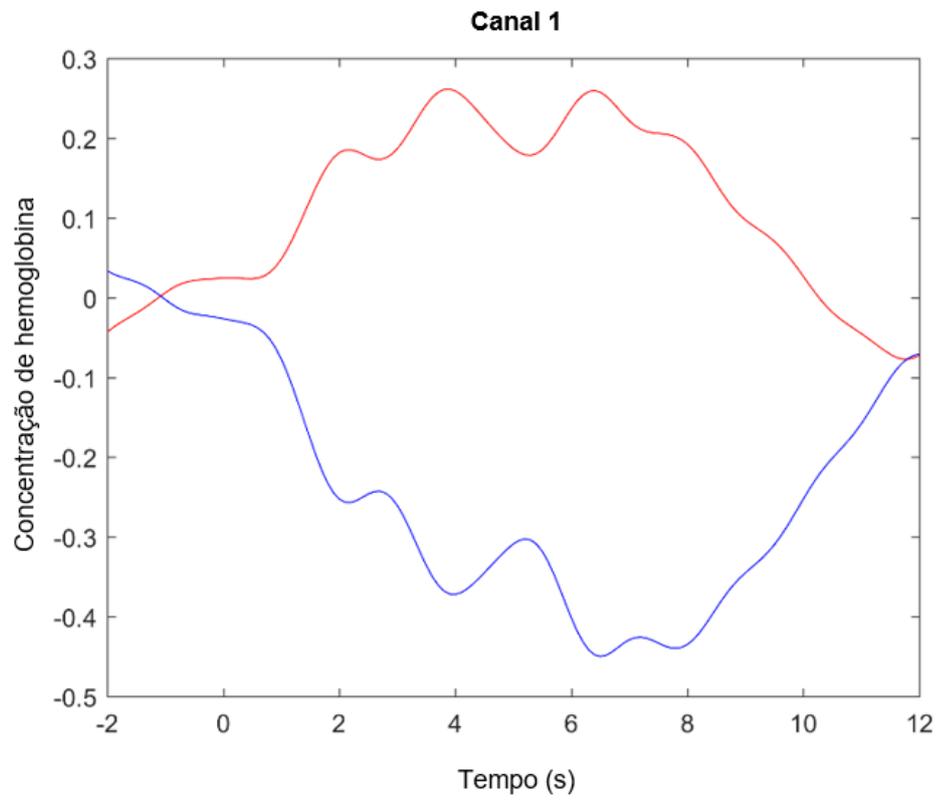
Figura 2. Fase de Observação: A) condição controle; B) condição experimental.

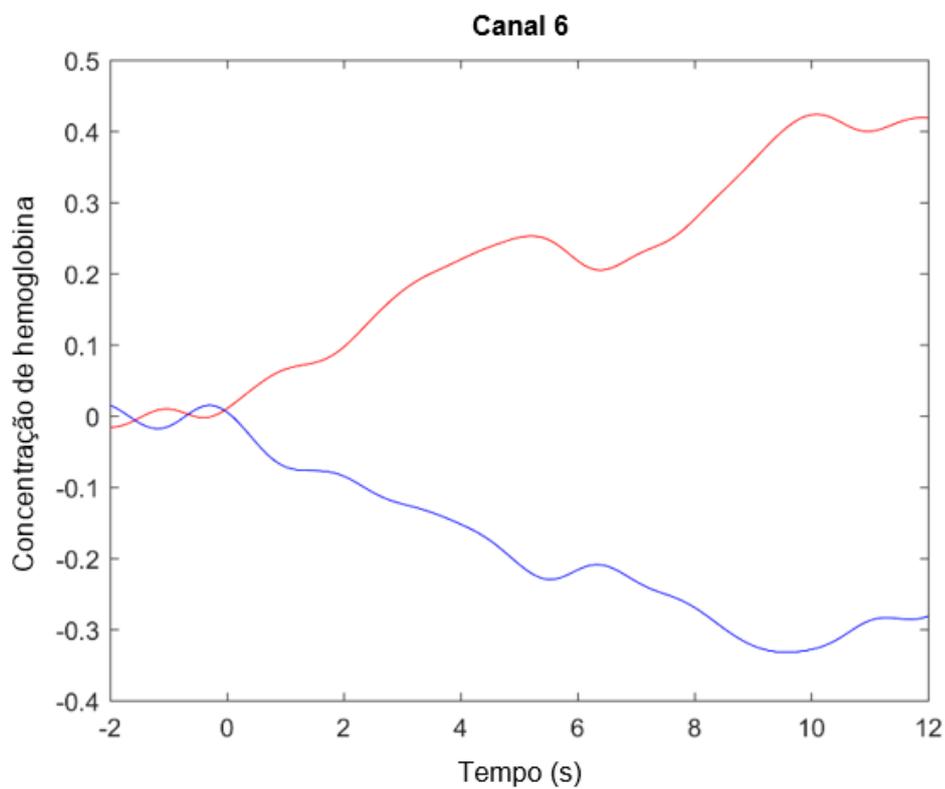
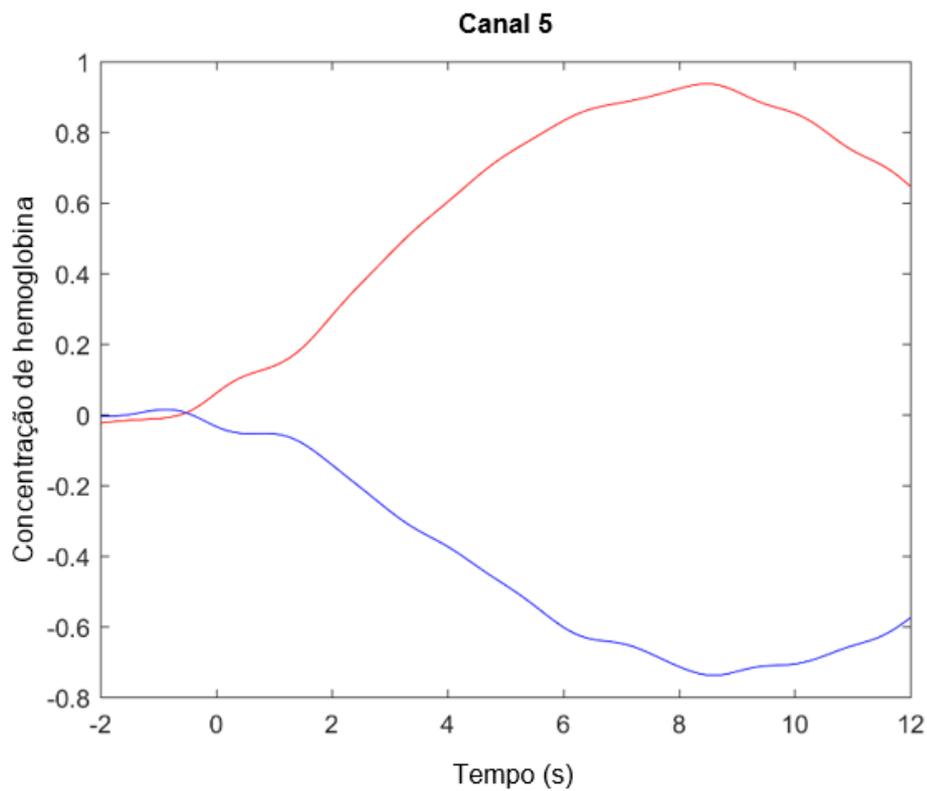
4. RESULTADO E DISCUSSÃO

O processamento dos dados foi realizado em MATLAB, procedendo-se à remoção dos canais ruidosos e artefatos de movimento. Posteriormente, calculou-se a média de concentração de hemoglobina oxigenada e desoxigenada com base no número total de ensaios realizados em cada fase. A seguir são apresentados gráficos representando a resposta hemodinâmica nos canais da área sensório-motora (hemisfério esquerdo) que mostraram ativação, através de um aumento significativo de hemoglobina oxigenada e diminuição significativa de hemoglobina desoxigenada. Os resultados são apresentados em separado para a fase de observação e de execução. A linha vermelha retrata a concentração média de hemoglobina oxigenada e a linha azul refere-se à concentração de hemoglobina desoxigenada.

A figura 3 apresenta os participantes e respectivos canais que mostraram uma ativação significativa durante a Fase de Execução. No gráfico, o ponto 0 identifica o momento em que os participantes iniciavam a ação de pegar a bola, sendo seguida de um período de descanso até ao 12º segundo. Quanto aos resultados, mais especificamente, apenas dois participantes (Participante 4 e 5) registraram ativação na área sensório-motora durante a tarefa de pegar uma bola e colocar em uma cesta. Foi ainda verificado um maior número de canais ativados no participante 4, sugerido um maior recrutamento dessa região. Foi ainda possível observar um número elevado de canais ruidosos durante esta tarefa (Participante 1: 6 canais; Participante 2: 0 canais; Participante 3: 8 canais; Participante 4: 9 canais; Participante 5: 2 canais; Participante 6: 32 canais; e Participante 7: 7 canais), o que pode explicar porque tão baixo número de participantes registraram uma ativação significativa durante uma tarefa que devia eliciar ativação na área sensório-motora, segundo dados obtidos por pesquisas prévias. Importa salientar que fNIRS é uma técnica de uso relativamente recente no cenário científico brasileiro, e nova para a nossa equipe de pesquisa. Assim, foram necessárias muitas horas de treinamento de aplicação da técnica e de aprimoramento do paradigma. Além disso, e dada a complexidade do processamento e análise de dados desta natureza, contamos com o auxílio de pesquisadores do Laboratório de Óptica Biomédica (Instituto de Física “Gleb Wataghin” da UNICAMP). Ainda assim, estamos cientes que se trata de uma amostra muito reduzida, tendo prosseguido com a coleta e análise de dados adicionais (de participantes de ambos os sexos) mesmo após a entrega do presente trabalho de Iniciação Científica.

Participante 4





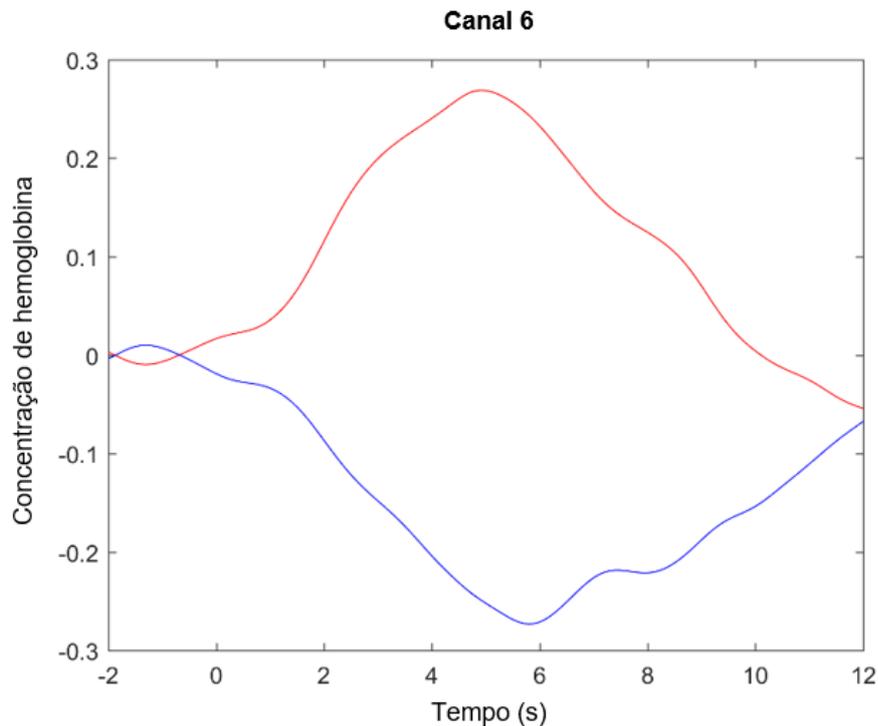
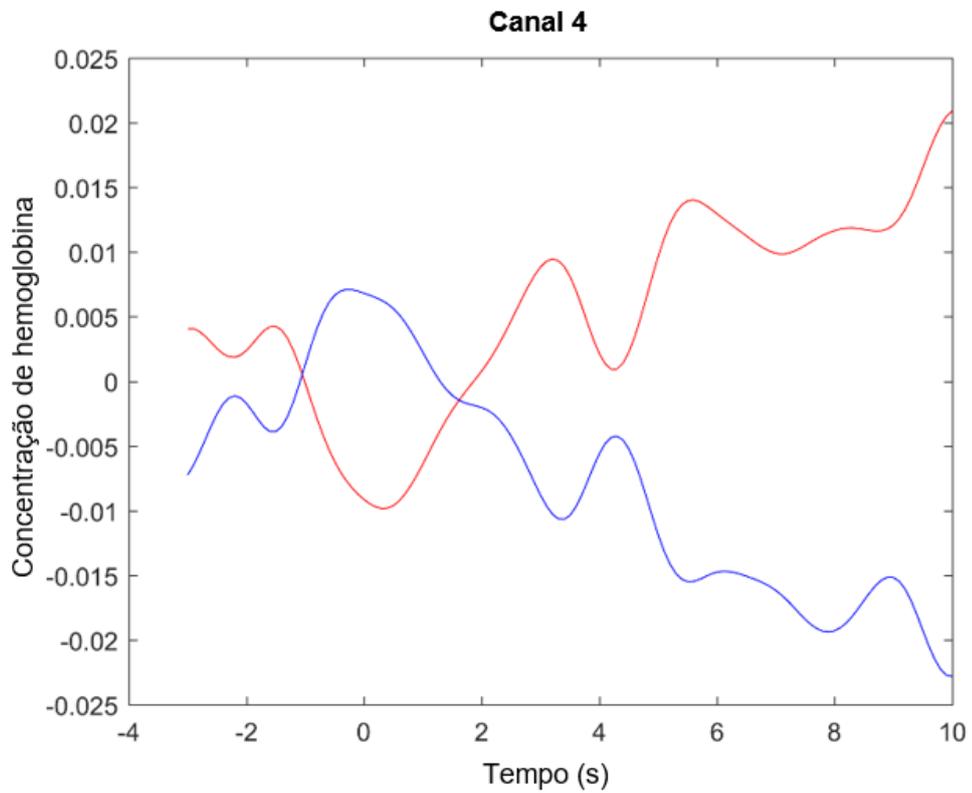
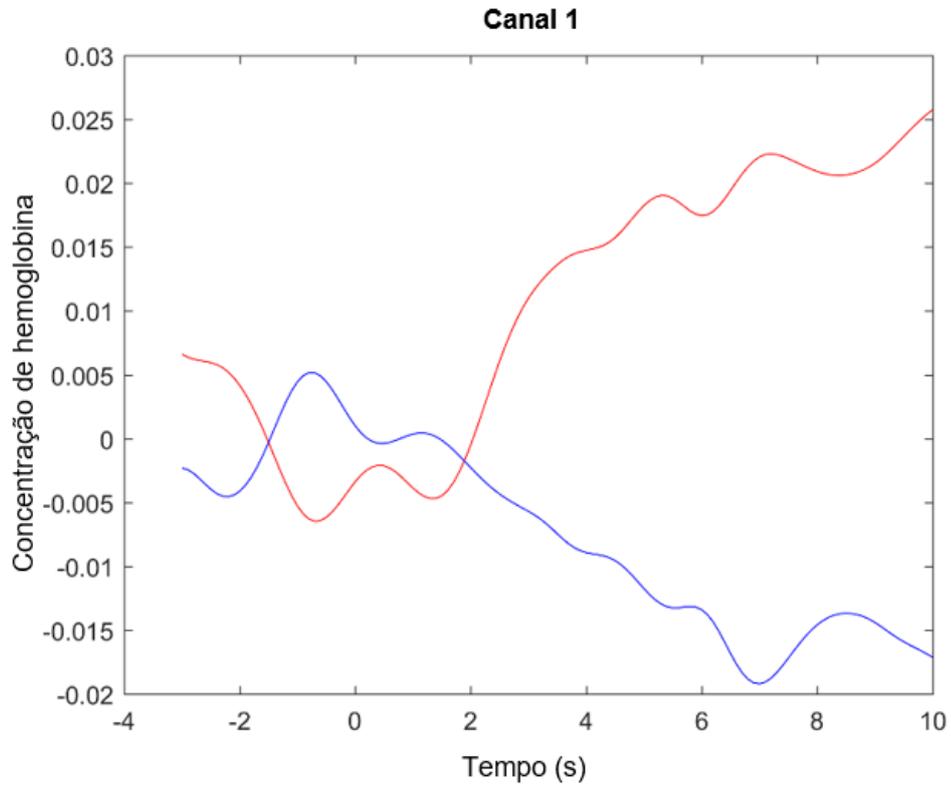
Participante 5

Figura 3. Fase de Execução - Identificação dos participantes e dos canais da área sensório-motora que mostraram ativação significativa.

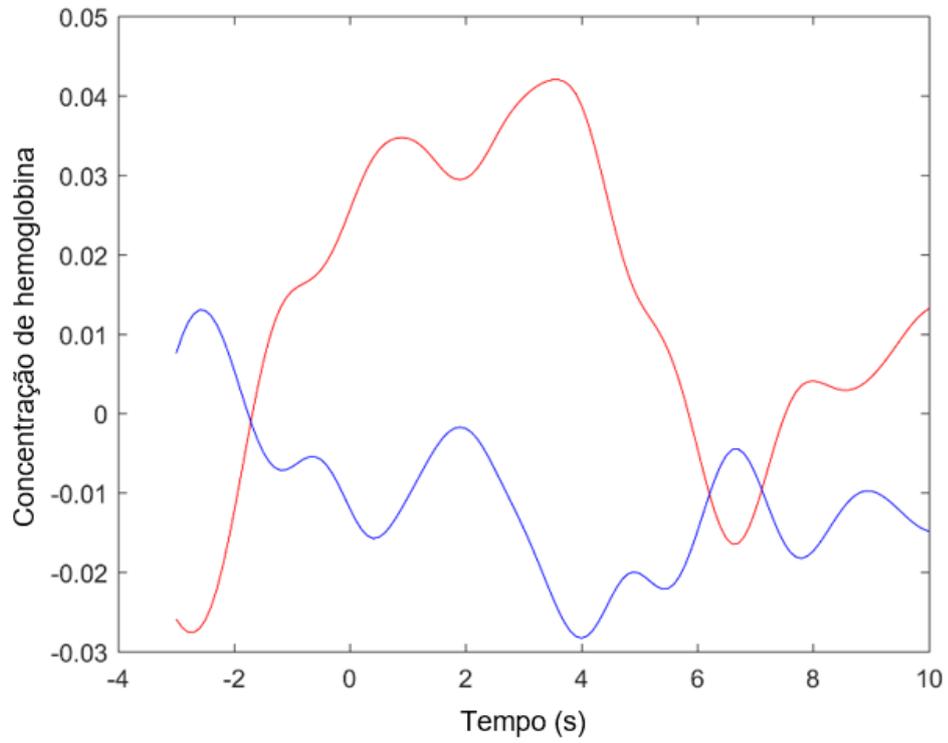
Por sua vez, o gráfico 4 identifica os participantes e respectivos canais que mostraram ativação em canais da área sensório-motora durante a Fase de Observação. O gráfico contrasta a resposta hemodinâmica durante a condição controle e experimental da seguinte forma: o período temporal entre -3 e 0 refere-se à condição controle (visualização do movimento do pêndulo) que serviu como descanso e/ou condição controle; o período temporal entre 0 a 4 segundos representa o momento da condição experimental em que o participante observa a mão da pesquisadora pegando a bola e a removendo do cenário; e o restante período de 4 a 10 segundos reflete de novo o movimento do pêndulo. Especificamente sobre os resultados, 3 participantes (Participante 3, 5 e 6) mostraram ativação significativa em canais posicionados sobre a área sensório-motora durante a fase de observação, em que os participantes permaneciam imóveis apenas observando a ação sendo executada por outra pessoa. No entanto, também nesta fase foram observados alguns canais ruidosos (Participante 1: 5 canais; Participante 2: 0 canais; Participante 3: 8 canais; Participante 4: 9 canais; Participante 5: 2 canais; Participante 6: 12 canais; Participante 7: 9 canais).

Participante 3

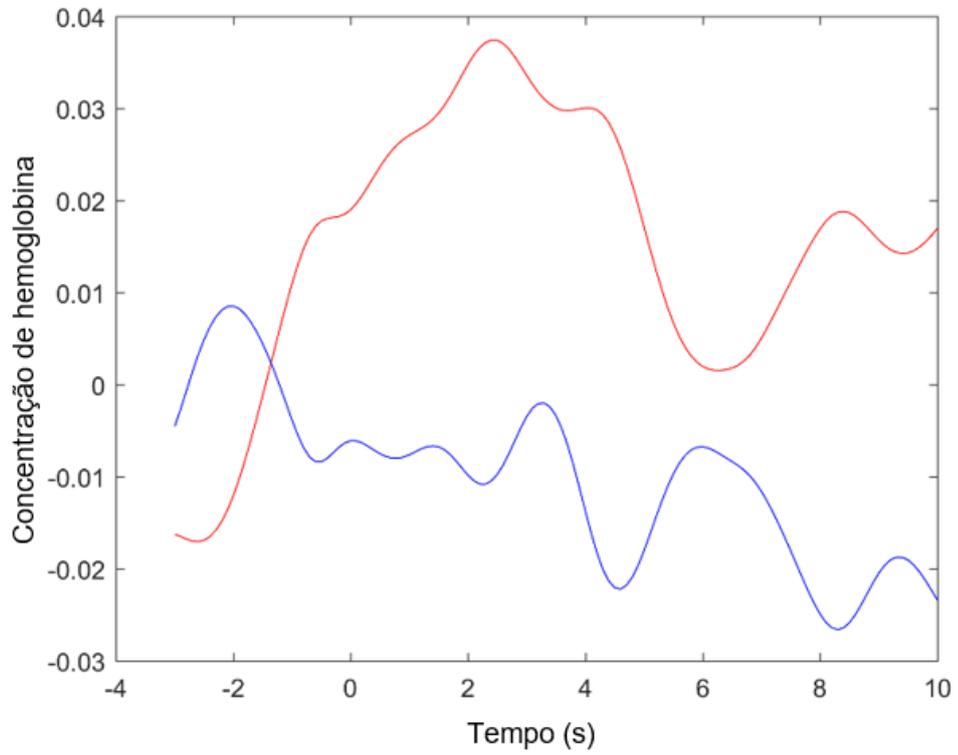


Participante 5

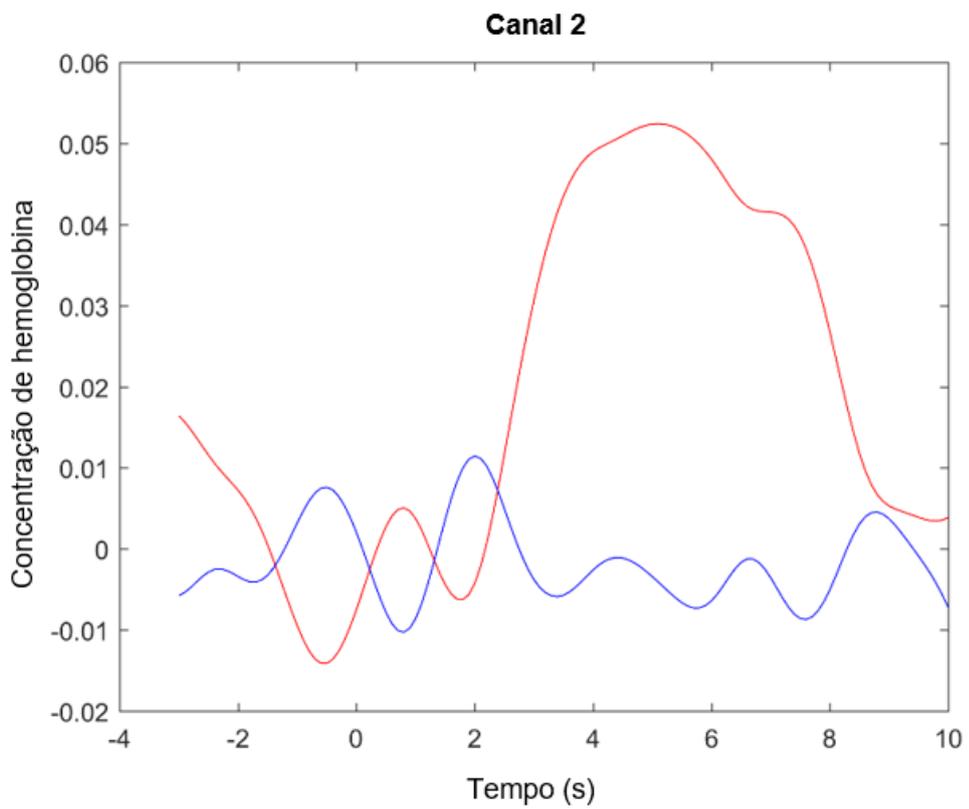
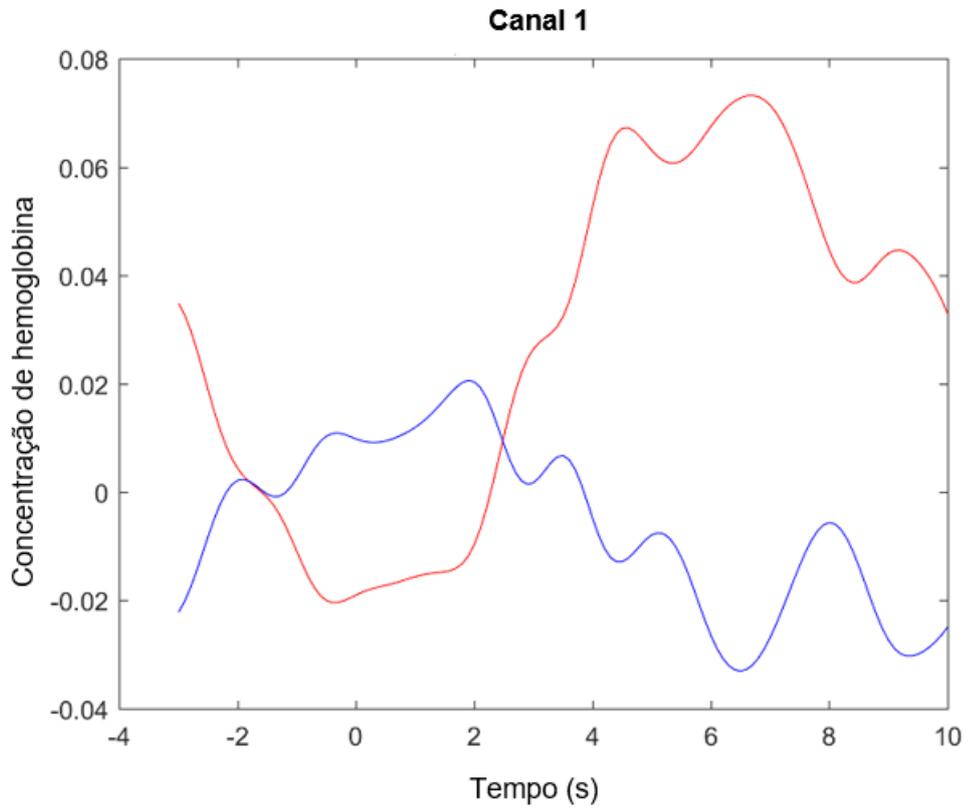
Canal 1



Canal 2



Participante 6



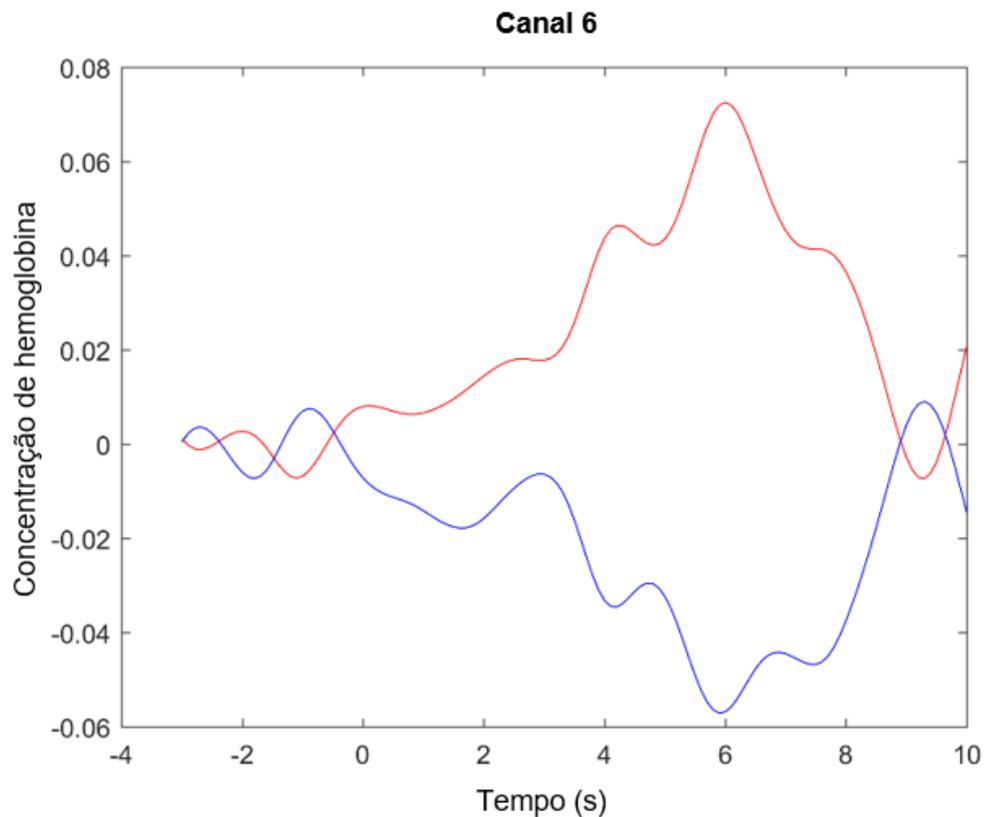


Figura 4. Fase de Observação - Identificação dos participantes e dos canais da área sensório-motora que mostraram ativação significativa.

O presente estudo apresenta os resultados de um teste-piloto realizado com 7 participantes para examinar as áreas cerebrais ativadas – particularmente a área sensório-motora – durante a observação e execução de ações motoras. Em aproximadamente metade dos participantes, foi possível encontrar ativação na área sensório-motora enquanto observavam uma ação motora (pegar em uma bola) a ser executada por outra pessoa, por oposição à observação de uma bola em movimento pendular – à semelhança de estudos anteriores (ex., SHIMADA & HIRAKI, 2006). Contrariamente ao que esperávamos, apenas dois participantes registraram ativação na área sensório-motora durante a fase em que eles próprios executavam a mesma ação motora. Este último resultado é particularmente inesperado, considerando que a execução de uma ação motora teoricamente geraria ativação motora mais robusta.

No sentido de compreender os resultados obtidos e as dificuldades encontradas, apontamos algumas limitações que devem ser analisadas e consideradas de forma a fazer melhorias no paradigma/tarefas usadas antes deste estudo ser realizado com uma amostra maior de participantes. Por um lado, a quantidade de canais ruidosos resultou em um menor número de canais que puderam ser analisados e que limitaram os resultados obtidos. Assim,

considerando aqueles participantes que não apresentaram canais ativados, não é possível garantir que tal se deve à presença de ruído ou se ausência efetiva de ativação. Em estudo futuro, uma forma de tentar ultrapassar este problema e reduzir a probabilidade de ter ruído passa por uma melhor remoção dos fios de cabelo entre os optodos e o couro cabeludo, permitindo maior absorção da luz. Também ao nível do software de aquisição dos dados NIRS deve ser feita uma análise dos parâmetros de qualidade do sinal para otimização dos dados obtidos. Por fim, é possível que as tarefas usadas precisem ser reformuladas, no sentido de aumentar a duração da condição controle (Fase Observação), aumentar a duração da ação motora realizada pelo participante (Fase de Execução), bem como o número de ensaios realizados na Fase de Observação, além de um número maior de participantes que permita análise estatística dos dados.

Apesar das limitações citadas, por tratar-se de um estudo piloto, a presente pesquisa permitiu testar o paradigma e apontar questões que precisam ser aprimoradas, o que permitirá dar continuidade e aprimoramento à pesquisa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo piloto, foi possível desenvolver conhecimento e experiência de uso com uma técnica de neuroimagem relativamente recente – fNIRS – e de grande utilidade para o estudo da cognição social humana. Apesar das importantes limitações supracitadas, os dados obtidos oferecem confirmação parcial da ativação da região motora enquanto adultos observam e realizam uma ação motora de preensão. Este estudo, ao qual seguimos agregando novos dados de mais participantes, pode servir de parâmetro para pesquisas futuras analisando esta técnica junto de amostras de idades precoces (bebês), elucidando sobre os timings de emergência e padrões de funcionamento do sistema de neurônios-espelho no início do desenvolvimento humano. A larga maioria dos estudos sobre o desenvolvimento da cognição social no primeiro ano de vida recorreu a avaliações comportamentais por observação direta ou por relato parental – que embora ricas e muito interessantes, poderão não oferecer um real quadro das capacidades de compreensão de informação social, particularmente em idades muito precoces quando estas habilidades ainda não são verbalizadas e a manifestação comportamental ainda está em uma fase incipiente. Entender como os indivíduos processam informação social e quais os mecanismos cerebrais envolvidos na compreensão de ações e intenções nos outros pode ainda informar sobre comprometimentos em amostras com distúrbios de desenvolvimento. Por exemplo, indivíduos com Transtorno do Espectro Autista, os quais são caracterizados por grandes dificuldades na interação social principalmente na compreensão de intencionalidade (ex., CHARMAN et al.,

1997), parecem mostrar também alterações no funcionamento do sistema de neurônios-espelho (ex., PERKINS et al., 2010).

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos à Dra. Vera Lúcia Esteves Mateus e ao Prof. Dr. Rickson Coelho Mesquita e sua equipe, em especial Sérgio Luiz Novi Júnior Novi e Giovanni Hering Scavariello, por toda orientação e ajuda que me foram dadas. Sem vocês a finalização deste trabalho não teria sido possível.

6. REFERÊNCIAS

BUCCINO, Giovanni; BINKOFSKI, Ferdinand; RIGGIO, Lucia. The mirror neuron system and action recognition. **Brain and language**, v. 89, n. 2, p. 370-376, 2004.

CHARMAN, Tony et al. Infants with autism: An investigation of empathy, pretend play, joint attention, and imitation. **Developmental psychology**, v. 33, n. 5, p. 781, 1997.

FILIMON, Flavia et al. Human cortical representations for reaching: mirror neurons for execution, observation, and imagery. **Neuroimage**, v. 37, n. 4, p. 1315-1328, 2007.

FOGASSI, Leonardo et al. Parietal lobe: from action organization to intention understanding. **Science**, v. 308, n. 5722, p. 662-667, 2005.

GALLESE, Vittorio. The manifold nature of interpersonal relations: the quest for a common mechanism. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 358, n. 1431, p. 517-528, 2003.

GALLESE, Vittorio et al. Action recognition in the premotor cortex. **Brain**, v. 119, n. 2, p. 593-609, 1996.

IACOBONI, Marco et al. Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. **PLoS biology**, v. 3, n. 3, p. e79, 2005.

IACOBONI, Marco et al. Cortical mechanisms of human imitation. **Science**, v. 286, n. 5449, p. 2526-2528, 1999.

LLOYD-FOX, Sarah; BLASI, Anna; ELWELL, C. E. Illuminating the developing brain: the past, present and future of functional near infrared spectroscopy. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 34, n. 3, p. 269-284, 2010.

NISHITANI, Nobuyuki; HARI, Riitta. Temporal dynamics of cortical representation for action. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 97, n. 2, p. 913-918, 2000.

OLDFIELD, Richard C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, v. 9, n. 1, p. 97-113, 1971.

OSÓRIO, Ana et al. Metodologias de avaliação do desenvolvimento da cognição social da infância até à idade pré-escolar. **Análise Psicológica**, v. 29, n. 2, p. 259-274, 2011.

PERKINS, Tom et al. Mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. **Journal of clinical neuroscience**, v. 17, n. 10, p. 1239-1243, 2010.

RIZZOLATTI, Giacomo; CRAIGHERO, Laila. The mirror-neuron system. **Annu. Rev. Neurosci.**, v. 27, p. 169-192, 2004.

RIZZOLATTI, Giacomo; FOGASSI, Leonardo; GALLESE, Vittorio. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. **Nature reviews neuroscience**, v. 2, n. 9, p. 661, 2001.

SCHERER, Lilian; KAHLAOUI, Karima; ANSALDO, Ana Inés. Espectrografia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS): a técnica e sua aplicação em estudos da linguagem pp. 57-62. **Neuropsicologia Latinoamericana**, v. 1, n. 1, 2009.

SHIMADA, Sotaro; HIRAKI, Kazuo. Infant's brain responses to live and televised action. **Neuroimage**, v. 32, n. 2, p. 930-939, 2006.

SOARES, Maurício da Silveira. A cognição social e suas funcionalidades neurológicas nas condutas antissociais. 2014.

Contatos: luizabtmendes@gmail.com e ana.osorio@mackenzie.br