



Simara Regina de Oliveira Ribeiro

O papel do movimento espontâneo no desempenho da memória operacional em crianças com o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade - TDAH



Simara Regina de Oliveira Ribeiro

O papel do movimento espontâneo no desempenho da memória operacional em crianças com o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade - TDAH

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Molecular da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Medicina Molecular.

Área de concentração: Medicina Molecular
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Débora Marques de Miranda
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage

Universidade Federal de Minas Gerais

R484p Ribeiro, Simara Regina de Oliveira.
O papel do movimento espontâneo no desempenho da memória operacional em crianças com o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade - TDAH [manuscrito]. / Simara Regina de Oliveira Ribeiro. - - Belo Horizonte: 2020.
118 f.: il.
Orientador (a): Débora Marques de Miranda.
Coorientador (a): Guilherme Menezes Lage.
Área de concentração: Medicina Molecular.
Tese (doutorado): Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina.

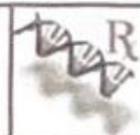
1. Transtorno do Deficit de Atenção com Hiperatividade. 2. Hiperatividade. 3. Memória de Curto Prazo. 4. Comportamento Infantil. 5. Criança. 6. Dissertação Acadêmica. I. Miranda, Débora Marques de. II. Lage, Guilherme Menezes. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina. IV. Título.

NLM: WS 350.8.A8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA MOLECULAR



FOLHA DE APROVAÇÃO

**O PAPEL DO MOVIMENTO ESPONTÂNEO NO DESEMPENHO DA
MEMÓRIA OPERACIONAL EM CRIANÇAS COM O TRANSTORNO DE
DÉFICIT DE ATENÇÃO E HIPERATIVIDADE - TDAH**

SIMARA REGINA DE OLIVEIRA RIBEIRO

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEDICINA MOLECULAR, como requisito para obtenção do grau de Doutor em MEDICINA MOLECULAR, área de concentração MEDICINA MOLECULAR.

Aprovada em 27 de março de 2020, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Debora Marques de Miranda - Orientador
UFMG

Prof(a). Guinermene Menezes Lage
UFMG

Prof(a). Maicon Rêdrigues Albuquerque
UFMG

Prof(a). Tercio Apolinário de Souza
UEMG

Prof(a). Lidiane Aparecida Fernandes
UFMG

Prof(a). Antônio Marcos Alvim Soares Junior
PMMG

Belo Horizonte, 27 de março de 2020.

No uso da razão, deve-se, muitas vezes, derrubar o alicerce do conhecimento acumulado, para repensar novas bases, ou reformá-lo de uma maneira que reflita mais claramente a razão do pensador, tornando, portanto, mais autêntico (Borges, 2015).

Agradecimentos

À Ele, o meu “Maravilhoso Conselheiro, Deus Forte, Pai da Eternidade, Príncipe da Paz”, por tudo, absolutamente tudo!

À Prof.^a Dr.^a Débora Marque de Miranda, pelo aceite mesmo antes de me conhecer, pelas grandes oportunidades de aprendizado, pela paciência, bondade e generosidade nesse meu processo de doutoramento.

Ao Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage, que carinhosamente me atrevo a chamar de “chefe”. Minhas palavras sempre serão reducionistas perto de sua significância para mim. São muitos os exemplos que absorvo e que levo comigo para o meu viver. O seu “fazer ciência” com sagacidade, entusiasmo e amor são admiráveis. Sua humildade, transparência e empatia no trato com todos são refrigérios à alma, gratidão pelo exercício desses dons comigo repetidas vezes.

Aos membros da banca Prof.^a Dr.^a Débora Marques de Miranda, Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage, Prof. Dr. Maicon Rodrigues de Albuquerque, Prof. Dr. Tércio Apolinário de Souza, Prof. Dr. Antônio Marcos Alvim Soares Júnior e Prof.^a Dr.^a Lidiane Aparecida Fernandes agradeço pelas contribuições no decorrer do trabalho e presença neste momento. Aos membros suplentes, que tão generosamente aceitaram fazer parte dessa etapa, Prof. Dr. Vitor Leandro da Silva Profeta a quem agradeço pela leitura e considerações ao longo de todo o trabalho e Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade a quem também agradeço pelo apoio e pronto auxílio com as demandas da estatística.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e ao povo brasileiro, pelo apoio financeiro, sem o qual, seria pouco provável concretizar essa etapa em minha vida acadêmica. Espero retribuir à nação!

Ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Molecular da UFMG, pela oportunidade de estudo e aprendizagem.

Ao Núcleo de Investigações sobre Impulsividade e Atenção (NITIDA), aqui representados pelos professores/doutores Débora Marque de Miranda, Antônio Marcos Alvim Soares Júnior e Danielle de Souza Costa, pela parceria, compartilhamento de informações e acessibilidade aos participantes.

Aos integrantes do grupo de Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM) e ao Núcleo de Neurociências do Movimento (NNeuroM). Foram necessárias muitas contribuições para que essa pesquisa fosse efetivada. Aos professores, os quais tenho grande estima, Dr. Rodolfo Novellino Benda e Dr. Herbert Ugrinowitsch, agradeço o aceite em me receberem junto aos seus e os debates e sugestões ao longo desse processo. Aos colegas de pós-graduação: amado Arthur, meu agradecimento mais que especial por tamanha generosidade demonstrada através dos inúmeros sins ao longo de todo o meu processo de doutoramento. Aos queridos André, Barbara, Cintia, Juliana, Lelis, Nathália, Livia Penido e Paula, agradeço por todo o auxílio durante as coletas. Aos demais amigos que conquisei nesses ambientes, Cristiane's', Crislaine, João, Lidiane, Livia Gallo, Maria, Nádia, Tércio e Vitor, meus agradecimentos pela disponibilidade em ouvir, sugerir e acalentar em momentos diversos. E, aos demais membros desses grupos, cujos nomes aqui não foram citados, o meu agradecimento pelo convívio e possibilidade de aprendizado.

Aos colegas/pesquisadores da medicina, Ana Livia Libard, Gabriela Cintra e Paulo Moraes, agradeço pela disposição em compartilhar os saberes no uso dos equipamentos e por sempre se apresentarem prontos e abertos a me auxiliar na resolução das demandas dessa pesquisa.

Às crianças e seus familiares participantes da pesquisa, que confiaram nos pesquisadores envolvidos e contribuíram de forma singular para a efetivação deste projeto.

Aos meus familiares, agradeço os incentivos, palavras de carinho e orações. À minha amada mãe, mulher guerreira e desprendida que mais uma vez compartilhou do meu sonho e me estendeu a mão da forma mais generosa possível. Às minhas irmãs, pedaços do meu coração, pelo amor incondicional. Em especial: Giselle, gratidão por compartilhar TUDO! Cunha Sílvia, sua nobreza me constrange!

À Fafá e Eletícia, amigas muito queridas, pela crença constante de que essa trajetória seria exitosa e, pela certeza do cuidado de Deus comigo, através de suas ações.

E, por fim, essencialmente, agradeço aos meus amados filhos, Ana Beatriz e Rafael, meus maiores incentivadores a vencer meus medos, ser persistente e resiliente. Sou um alguém melhor com vocês e para vocês!

Resumo

Ocorrendo na maioria das culturas em cerca de 5% da população infantil, o Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) é o transtorno do neurodesenvolvimento mais frequente. Apresenta tríade sintomatológica envolvendo desatenção, hiperatividade e impulsividade. Até o presente momento não possui um marcador biológico, entretanto, diversas alterações neuroestruturais e neurofuncionais são descritas. Modelos teóricos distintos buscam explicar os mecanismos subjacentes ao TDAH, dentre eles, há um modelo que preconiza a ocorrência de uma relação funcional entre a memória operacional (MO), vista como deficitária no TDAH e a movimentação espontânea (ME), aqui associada à hiperatividade motora. Nele, o excesso de ME é compreendido como um mecanismo compensatório que facilita o funcionamento neurocognitivo em crianças com TDAH. Esta pesquisa objetivou investigar o papel da ME no desempenho da MO em crianças com o TDAH. Utilizou como recurso instrumentos objetivos de análises fisiológicas envolvendo actigrafia, EEG e fNIRS, associados a um equipamento escolar denominado bicicleta estacionária. A pesquisa foi desenvolvida através de dois estudos. No primeiro 25 crianças com o TDAH foram avaliadas a fim de verificar as relações entre a ME e esforço cognitivo, engajamento e distração durante a realização de testes de MO. No segundo, 15 crianças com o TDAH foram avaliadas a fim de verificar as relações entre a ME e níveis de hemodinâmica cerebral dos córtex pré-frontal e motor durante a realização de testes de MO e durante a exibição de *trailers* de animação infantil e trechos de videoaulas. De forma geral, podemos reconhecer através dos resultados dessa pesquisa que a ME não pode ser apontada como preditora do desempenho da MO em crianças com o TDAH, refutando pressupostos do modelo teórico adotado, apontando a não ocorrência de uma relação funcional entre a ME e a MO.

Palavras-chave: Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade; Hipercineses; Memória de Curto Prazo; Criança e Comportamento Infantil.

Abstract

Occurring in most cultures in about 5% of the child population, Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is the most frequent neurodevelopmental disorder. It presents symptomatic triad involving inattention, hyperactivity and impulsivity. To date, it does not have a biological marker, however, several neurostructural and neurofunctional changes are described. Different theoretical models seek to explain the mechanisms underlying ADHD, among them, there is a model that advocates the occurrence of a functional relationship between working memory (WM), seen as deficient in ADHD and spontaneous movement (SM), here associated with hyperactivity motor. In it, excess SM is understood as a compensatory mechanism that facilitates neurocognitive functioning in children with ADHD. This research aimed to investigate the role of SM in the performance of WM in children with ADHD. It used objective instruments of physiological analysis involving actigraphy, EEG and fNIRS as a resource, associated with school equipment called a stationary bicycle. The research was developed through two studies. In the first 25 children with ADHD were evaluated in order to verify the relationship between SM and cognitive effort, engagement and distraction during the performance of WM tests. In the second, 15 children with ADHD were evaluated in order to verify the relationship between SM and levels of cerebral hemodynamics of the prefrontal and motor cortex during the performance of WM tests and during the exhibition of children's animation trailers and excerpts from video lessons. In general, we can recognize through the results of this research that SM cannot be considered as a predictor of the performance of WM in children with ADHD, refuting assumptions of the adopted theoretical model, pointing out the non-occurrence of a function relationship between SM and WM.

Keywords: Attention Deficit Hyperactivity Disorder; Hyperkinesis; Short Term Memory; Child and Child Behavior.

Lista de ilustrações

Figura 1 -	1 A- O modelo inicial de três componentes da memória operacional. 1B- Um desenvolvimento adicional do modelo.....	5
Figura 2 -	2 A- Vistas lateral e 2 B- médio-sagital do cérebro mostrando as áreas envolvidas na rede de modo padrão (RMP) e na rede positiva para tarefas.....	9
Figura 3 -	Padrões de disfunção de redes neurocognitivas no transtorno de déficit de atenção / hiperatividade (TDAH).....	12
Figura 4 -	Configuração de fonte-detector multi-distância (tomografia) para identificar a ativação cortical.....	18
Figura 5 -	Fluxograma da seleção dos participantes	23
Figura 6 -	Actígrafo modelo <i>Actiwatch 2</i> . Fabricados e comercializados pela <i>Philips Respironics</i> . 6 A- Actígrafo em sua base. 6 B - Areas de sensor de luz e botão marcador.....	25
Figura 7 -	EEG modelo <i>X-10</i> , fabricados e comercializados pela <i>Advanced Brain Monitoring</i>	26
Figura 8 -	Toca povoada 64 canais. 8A – toca tamanho adulto. 8B - Toca tamanho infantil.....	27
Figura 9 -	Bicicleta estacionária.....	28
Figura 10 -	Sistema 10-20. 12 A- Posicionamento dos eletrodos através da porcentagem. 12 B - Posicionamento resultando dos eletrodos por uma vista superior. Eletrodos utilizados no estudo coloridos de preto.....	29
Figura 11 -	Testes de Memória Operacional. 11 A - Kit para aplicação do WISC III. 11 B - Blocos de Corsi.....	31
Figura 12 -	Cenário do Estudo 1	32
Figura 13 -	Designer do Estudo 1.....	33
Figura 14 -	Geometria utilizada na disposição dos canais para o exame de espectroscopia.....	34
Figura 15 -	Cenário do Estudo 2	35
Figura 16 -	Designer do Estudo 2.....	35
Figura 17 -	Interface gráfica do <i>software B-Alert X10 EEG</i>	37
Figura 18 -	Exemplos da aquisição dos dados do <i>NIRSport</i> via <i>NIRX</i>	40
Figura 19 -	Análise hemodinâmica nas condições conectividade – sem movimentação e movimentação espontânea	66
Figura 20 -	Análise hemodinâmica nas condições referentes aos testes de memória operacional com liberdade e restrição de movimentação.....	66
Figura 21 -	Análise hemodinâmica nas condições videoaula e trailer de animação infantil.....	67

Lista de tabelas

Tabela 1 -	Características físicas do <i>Actiware 2</i>	25
Tabela 2 -	Características do EEG modelo <i>X-10</i>	26
Tabela 3 -	Características do <i>NIRSport</i>	27
Tabela 4 -	Médias e desvios-padrão dos testes de MO (Corsi Direto e Inverso e Dígitos Direto e Inverso), TDE (Leitura, Escrita e Aritmética) e MO.....	43
Tabela 5 -	Médias e desvios-padrão dos escores de esforço cognitivo, engajamento e distração durante a realização dos testes de MO	44
Tabela 6 -	Análise fatorial – Comunalidades.....	45
Tabela 7 -	Matriz de cargas fatoriais.....	45
Tabela 8 -	Correlação para seleção de variáveis.....	46
Tabela 9 -	Médias e desvios-padrão das médias de oxi-hemoglobina em cada condição experimental	65
Tabela 10 -	Correlação para seleção de variáveis.....	67

Lista de Gráficos

Gráfico 1 -	Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição corsi direto	47
Gráfico 2 -	Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição corsi inverso	47
Gráfico 3 -	Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição dígitos direto	48
Gráfico 4 -	Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição dígitos inverso	48
Gráfico 5 -	Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição TDE Leitura	49
Gráfico 6 -	Movimentação espontânea e produto na condição corsi inverso	49
Gráfico 7 -	Movimentação espontânea e engajamento na condição dígitos direto	50
Gráfico 8 -	Movimentação espontânea e distração na condição TDE Leitura	50
Gráfico 9 -	Movimentação espontânea total e hemodinâmica cerebral na condição Movimentação Espontânea	68
Gráfico 10 -	Movimentação espontânea total e hemodinâmica cerebral na condição Corsi Direto	68
Gráfico 11 -	Movimentação espontânea total e hemodinâmica cerebral na condição Videoaula ..	69

Lista de siglas

CCA	Córtex Cingulado Anterior
CP	Córtex Parietal
CPF	Córtex Pré-Frontal
CPF DL	Córtex Pré-Frontal Dorsolateral
DMN	Default Mode Network
DT	Desenvolvimento Típico
EEG	Eletroencefalografia
EEFFTO	Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Educacional
fMRI	Ressonância Magnética Funcional, do inglês <i>Functional Magnetic Resonance Imaging</i>
fNIRS	<i>Functional Near Infrared Spectroscopy</i>
GEDAM	Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora
HC-UFMG	Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais
MO	Memória Operacional
ME	Movimentação Espontânea
NITIDA	Núcleo de Investigações sobre Impulsividade e Atenção
NNeuroM	Núcleo de Neurociências do Movimento
RMP	Rede de Modo Padrão
RFP	Rede Frontoparietal
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
PET	Tomografia por Emissão de Pósitrons, do Inglês <i>Positron Emission Tomography</i>
TDAH	Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

Sumário

1 Introdução.....	1
2 Referencial Teórico.....	5
2.1 Memória Operacional e correlatos neurais	5
2.2 Mecanismos subjacentes e o Modelo Funcional da Memória Operacional do TDAH.....	10
2.3 Instrumentos de medida fisiológica: Actigrafia, Eletroencefalografia e Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho.....	16
2.3.1 Actigrafia	16
2.3.2 Eletroencefalografia.....	17
2.2.3 Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho	17
3 Objetivos	20
3.1 Objetivo Geral	20
3.2 Objetivos Específicos.....	20
4 Hipóteses.....	21
5 Materiais e Métodos	22
5.1 Participantes.....	22
5.2 Critérios de inclusão	22
5.3 Seleção dos participantes.....	22
5.4 Aspectos éticos.....	23
5.5 Local da pesquisa	23
5.6 Instrumentos	24
5.7 Procedimentos da coleta de dados.....	28
5.7.1 Estudo 1.....	28
Delineamento do Estudo 1.....	33
5.7.2 Estudo 2.....	33
Desenho do Estudo 2	35
5.8 Procedimentos para análises dos dados	36
5.8.1 Análise da Actigrafia.....	36
5.8.2 Análise do EEG.....	37
5.8.2.1 Processo de redução de sinais	37
5.8.2.2 Extração das métricas cognitivas	38
5.8.3 Análise da fNIRS	39
5.8.3.1 Pré-processamento dos dados.....	40
5.8.3.2 Teste estatístico dos dados fNIRS	40
5.9 Análise estatística.....	41

6 Resultados	43
6.1 Estudo – 1	43
6.1.1 Análise descritiva das medidas nos testes, movimentação espontânea e métricas cognitivas ..	43
6.1.2 Análise da normalidade dos dados e transformações	44
6.1.3 Análise fatorial exploratória para redução das variáveis relacionadas à memória operacional .	44
6.1.4 Análise de correlação para seleção de variáveis	45
6.1.5 Análise de regressão linear	47
6.2 Artigo Original	51
6.3 Estudo - 2.....	65
6.3.1 Análise da normalidade dos dados e transformações	65
6.3.2 Áreas de ativação em cada condição	66
6.3.3 Análise de correlação para seleção de variáveis	67
6.3.4 Análise de regressão linear	68
7 Discussão	70
8 Considerações Finais	77
Referências.....	79
Apêndice A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE	88
Apêndice B - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido – TALE	92
Apêndice C – Caracterização da Amostra nos Estudos 1	95
Apêndice D – Escores Individuais nos testes de MO e TDE – Estudo 1.....	96
Apêndice E – Escores individuais da média de ME em cada teste/tarefa – Estudo 1.....	97
Apêndice F – Escores individuais do esforço cognitivo, engajamento e distração em cada teste / tarefa– Estudo 1	98
Apêndice G – Caracterização da amostra – Estudo 2	99
Apêndice H – Resultados médios de ME e Hemodinâmica cerebral – Estudo 2	100
Anexo 1 - Aprovação do Comitê de Ética	101

1 Introdução

O Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) é o transtorno do neurodesenvolvimento mais frequente na infância, com estimativas de ocorrência em crianças e adolescentes variando de 5,9% a 7,2%, dependendo da fonte de informação para o diagnóstico. Na adolescência, os sintomas do TDAH persistem em até 70% dos casos, e na vida adulta, estima-se a persistência entre 2,9 a 4,4% dos indivíduos (Biederman & Faraone, 2005). Na infância, o TDAH é um fator de risco para baixo desempenho acadêmico associando-se a maior evasão escolar, maior índice de repetência e maior frequência de troca de escolas quando comparado com crianças sem o transtorno. Os déficits na autorregulação, esquiva de alocação de energia e os déficits atencionais e acadêmicos acumulados, amplificam o esforço no aprendizado e formam uma barreira para efetivação da aprendizagem e, por conseguinte, implicam negativamente no desempenho em tarefas ligadas à leitura, escrita e raciocínio matemático (Ciasca & Moraes, 2012).

Até o momento, não há descrição na literatura de um marcador biológico no TDAH, assim como nos demais transtornos do neurodesenvolvimento. Sua etiologia é multifatorial, envolvendo ambiente e genética (Banerjee et al., 2007). Dentre as condições ambientais, destacam-se na etiologia desse transtorno (a) prematuridade (Aylward, 2002), (b) condições sociais e psicológicas adversas (ex. crescer em uma família pouco coesa ou com conflitos crônicos) (Biederman & Faraone, 2005) e (c) exposições a toxinas como álcool, cigarro, chumbo e bifenis policlorados no período pré-natal (Banerjee et al., 2007). Aspectos genéticos multifatoriais parecem ser os principais fatores que predispõem ao surgimento do TDAH. A partir dos estudos de gêmeos e famílias, estima-se que a herdabilidade desse transtorno seja de aproximadamente 75% (Biederman & Faraone, 2005). Embora ainda não existam estudos que apontem de forma segura para o substrato molecular do TDAH, uma série de evidências mostra frequente repetição desse transtorno em membros de uma mesma família (Hawi *et al.*, 2005), maior concordância do diagnóstico em gêmeos monozigóticos do que em gêmeos fraternos (Sherman et al., 1997), e identificação via varredura genômica de regiões associadas à etiologia do TDAH (Fischer *et al.*, 2002).

A tríade sintomatológica do TDAH, que são os parâmetros clínicos para diagnóstico, envolve desatenção, hiperatividade e impulsividade. A atenção, segundo Gazzaniga et al.,

(2006), é um mecanismo cerebral cognitivo que possibilita alguém processar informações, pensamentos ou ações relevantes, enquanto ignora outros irrelevantes ou dispersivos. Ela pode ser subdividida em duas amplas categorias, com relação ao direcionamento de recursos cognitivos, sendo (a) atenção voluntária – intencional, relacionada com objetivos e metas, e (b) atenção reflexa – espontânea, guiada por estímulos externos. O déficit nessa função cognitiva pode manifestar-se como esquecimento, distração, perda de objetos, desorganização, falta de concentração e falta de atenção aos detalhes (Costa et al., 2014). A hiperatividade é compreendida como atividade motora excessiva, inapropriada e frequentemente irrelevante para a tarefa ou situação na qual o sujeito se encontra envolvido (American Psychiatric Association, 2014). Caracteriza-se pela constante movimentação corporal, falta de domínio sobre o corpo e ações sugestivas de desencontro entre o pensar e o agir (Antony & Ribeiro, 2004). A impulsividade é considerada uma ação não planejada, rápida, que leva a comportamentos imprudentes (Moeller et al., 2001). Manifesta-se através da dificuldade em esperar a sua vez, respostas precipitadas, intromissões e interrupções frequentes em atividades alheias (Costa et al., 2014).

Os sintomas do TDAH manifestam-se de forma excessiva, persistente e inadequada para a idade, em diferentes contextos / ambientes e sem a possibilidade de serem atribuídos a outro diagnóstico (Barkley, 2003; American Psychiatric Association, 2013). Suas apresentações clínicas podem diferir entre a) predominantemente desatento, b) predominantemente hiperativo / impulsivo e c) apresentação combinada. Tais apresentações são passíveis a variações entre si e com intensidades distintas em diferentes fases da vida (American Psychiatric Association, 2013), apresentando alta heterogeneidade quanto à evolução clínica e desfechos funcionais, dificultando o desenvolvimento de modelos etiológicos e o estabelecimento de prognósticos (Willcutt, 2012). Pesquisas apontam que os prejuízos comportamentais apresentados por crianças com o TDAH se estendem para além dos três sintomas clínicos diagnósticos, havendo uma associação com outros déficits envolvendo uma ampla gama de funções cognitivas, como controle inibitório (Barkley, 1997; Wodka et al., 2007); memória operacional verbal e não-verbal (Westerberg et al., 2004); planejamento (Sonuga-Barke et al., 2002); processamento de recompensa (Holroyd et al., 2008); tomada de decisão (Garon, Moore & Waschbusch., 2006), processamento de informação temporal (Toplak et al., 2006), além de apresentar insensibilidade às consequências de seus comportamentos (Diamond, 2000; de Castelnau *et al.*, 2007; Cantin *et al.*, 2007).

Dentre as disfunções cognitivas descritas no TDAH, uma tem sido associada, em alguns modelos teóricos mais recentes, como a principal. Trata-se de alterações na memória operacional (MO), que é considerada como um sistema temporário de armazenamento de informações que permite a monitoração e o manejo desses dados. A MO é responsável por manter ativo um volume de informações durante um determinado período de tempo, fornecendo, inclusive, bases para outros processos cognitivos (Malloy-Diniz et al., 2014). Utilizando como premissa a ocorrência de déficits na MO, Rapport et al. (2001, 2008) desenvolveram um modelo explicativo para o TDAH denominado Modelo Funcional da Memória Operacional do TDAH. Através dele, os autores preconizam que uma capacidade diminuída da MO seria o núcleo das disfunções existentes no TDAH e, as dificuldades em recuperar adequadamente informações ativas acarretariam na desatenção. Por sua vez, a hiperatividade ocorreria no transtorno como um mecanismo compensatório devido a uma hipoativação cortical crônica em áreas do córtex pré-frontal, que são áreas vinculadas à MO. Nesse sentido, como estratégia de regulação, haveria uma relação funcional entre a MO e a hiperatividade em crianças com o TDAH propondo que, o aumento da demanda cognitiva em relação à MO leva a um aumento da atividade motora, devido a necessidade de se aumentar os níveis de prontidão cognitiva (Rapport *et al.*, 2008; Rapport *et al.*, 2009).

Tendo como base tal modelo, o excesso de atividade motora tem sido concebido como um mecanismo compensatório que facilita o funcionamento neurocognitivo em crianças com TDAH. Sendo a movimentação espontânea (ME) - movimento produzido naturalmente - nas crianças com TDAH, resultante de uma necessidade intrínseca de estimulação do sistema nervoso central. No entanto, os subsídios utilizados para a elaboração e testagem de modelos teóricos, como o de Rapport et al. (2001, 2008), são advindos de análises a nível comportamental com inferências ao nível neurofisiológico, de modo que, ampliar as possibilidades de testagem desse modelo é importante. Ademais, esse potencial da atividade física para apoiar a aprendizagem autorregulada em sala de aula encorajou a implementação de mesas escolares de bicicletas estacionárias (carteiras com pedais) no Canadá e Estados Unidos da América (Mueller *et al.*, 2017). Depoimentos de professores sugerem que seu uso pelos estudantes tem resultados positivos (Senick, 2017), mas faltam evidências científicas que apoiem a eficácia dessa prática pedagógica (Mueller *et al.*, 2017).

Considerando a perspectiva teórica apresentada, esse estudo foi conduzido visando analisar o papel do movimento espontâneo no desempenho da memória operacional em crianças com o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade. Para esse fim, buscamos através de

análises neurofisiológicas mais diretas, como eletroencefalografia e espectroscopia de luz próxima ao infravermelho, associados ao uso de instrumentos para mensuração da atividade motora, como a actigrafia, ampliar o arcabouço teórico relacionado ao papel do movimento espontâneo no desempenho da memória operacional em crianças com TDAH e, por conseguinte, viabilizar via método dedutivo, a confirmação ou refutação de pressupostos do modelo de Rapport et al. (2009). Com o intuito de cumprir os objetivos traçados nesta pesquisa, optou-se por estruturar as seções da presente tese por Introdução, Referencial Teórico, Objetivos, Hipóteses, Materiais e Método, Resultados, Discussão e Considerações Finais. Como parte integrante dos Resultados e Discussão apresentamos um artigo original.

2 Referencial Teórico

2.1 Memória Operacional e correlatos neurais

A Memória Operacional (MO), também chamada de Memória de Trabalho, é considerada um sistema multicomponente, com capacidade limitada, que está relacionada à manutenção e processamento temporário da informação durante a realização de tarefas cognitivas diversas (Baddeley, 2012). Modelos teóricos distintos são utilizados visando explicar sua estrutura e funcionamento. O Modelo Multicomponente da Memória Operacional (Baddeley, 2000), um dos mais propagados, serviu como referência para a elaboração de outros modelos. Nele, com base no conteúdo da informação, compreende-se a MO como sendo composta por quatro componentes, o executivo central e três componentes escravos: a alça fonológica, esboço visuoespacial e o retentor episódico (figura 1). Proposto por Baddeley e Hitch (1974), o modelo inicialmente não contemplava o componente retentor episódico, somente incorporado ao modelo 26 anos depois (Baddeley, 2000).

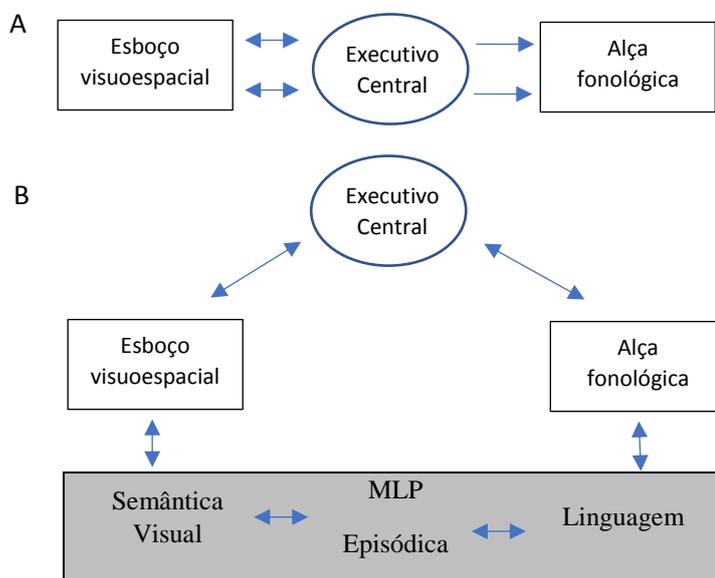


Figura 1¹: 1A - O modelo inicial de três componentes da memória operacional. 1B- Um desenvolvimento adicional do modelo.

¹ Figura adaptada de: Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.

De acordo com suas atribuições, o executivo central, principal componente do modelo, é quem coordena as atividades do sistema, sendo assistido pelos outros três componentes, que são sistemas de manutenção on-line. Compete a ele realizar operações mentais, envolvendo outros sistemas cognitivos, com informações que são temporariamente armazenadas. Ele direciona a atenção para a informação relevante e, por conseguinte, inibe as informações irrelevantes e ações inapropriadas. Define quando uma informação deve ser armazenada, qual sistema de apoio codificará a informação, integra e coordena informações dos demais componentes, permitindo o processamento da informação. Compete à alça fonológica o armazenamento da informação verbalmente codificada, ou seja, a gravação de sequências acústicas ou itens baseados na fala, enquanto o esboço visuo-espacial é responsável pelo processamento e pela manutenção de informações visuais e espaciais. O retentor episódico, responsável por guardar as representações integradas dos sistemas auxiliares, serve como um armazenador auxiliar para quando os três outros componentes estiverem sobrecarregados ou interrompidos. Devido à capacidade de reter uma gama de dimensões, ele age como uma conexão entre os subsistemas da MO e liga esses subsistemas a *inputs* da memória de longa duração e da percepção (Baddeley, 2006; Baddeley, 2012).

Em associações entre as funções e as áreas corticais envolvidas em cada um dos componentes do modelo, Baddeley (2000) descreve que o executivo central é assumido como fracionário e, embora menos compreendido que os demais componentes, as áreas do lobo frontal parecem estar fortemente implicadas. Estudos clínicos de lesões e subsequentemente estudos neurorradiológicos sugerem que a alça fonológica está principalmente associada às áreas de Brodmann, 40 e 44, respectivamente. O esboço visuo-espacial representado principalmente dentro do hemisfério direito (áreas 6, 19, 40 e 47). E, o retentor episódico, assim como o executivo central, aparenta ter múltiplas localizações, mas com estreita relação com as áreas frontais (Baddeley, 2000). Entretanto, em uma revisão dos modelos de MO, desenvolvida por D'Esposito e Postle (2015), os autores destacam acreditar na ocorrência de um erro conceitual na raiz de algumas das pesquisas de sistemas e neurociência cognitiva dos anos 1980-2000 derivado de uma má atribuição da atividade do córtex pré-frontal (CPF) ao funcionamento do retentor episódico do modelo multicomponente e não ao executivo central. Para eles, no modelo há clara divisão entre a representação de estímulos, por um lado, e o controle do comportamento com essas representações por outro, como podemos observar na descrição de

Gazzaniga et al. (2006), em que se evidencia que entre as funções atribuídas a áreas corticais, em associação ao sistema de MO, o córtex pré-frontal lateral é o local de armazenamento primário para a interação entre a informação perceptiva corrente e o conhecimento armazenado, constituindo um componente relevante do sistema. Mas, os mesmos autores destacam que seria errado supor que tarefas de MO somente utilizam o CPF, uma vez que, na maioria dos estudos de imagem a ativação relacionada a tarefas com demandas da MO é observada em muitas áreas corticais, com uma ativação especialmente pronunciada no CPF. Sugerindo que numerosos mecanismos neurais podem apoiar a retenção de informações a curto prazo na MO e muito provavelmente operam em paralelo (D'Esposito e Postle, 2015).

Dentre as diversas redes neurais envolvidas nos processos cognitivos uma se destaca como sendo a rede neural da MO. Trata-se da rede frontoparietal (RFP), também conhecida como circuito de controle executivo, que envolve o córtex pré-frontal dorsolateral (CPF_{DL}), o córtex cingulado anterior (CCA) e o córtex parietal (CP) (Chein et al., 2011; Kim et al., 2015). Estando o CPF_{DL} envolvido em tarefas relacionadas às funções executivas (Kim et al., 2015) e atualização de informações (Murty et al., 2011), o CCA com controle da atenção (Osaka et al., 2003), e o CP com o processamento perceptivo sensorial (Andersen & Cui, 2009). Mas, outras áreas cerebrais também têm sido associadas à rede neural da MO havendo áreas distintas relacionadas à MO verbal e à MO visuoespacial. Em recente estudo de metanálise, Emch et al. (2019) identificaram que em tarefas com demandas da MO verbal, há ocorrência do acionamento de áreas frontoparietais, cerebelo direito e estruturas dos gânglios da base (Emch et al., 2019). Já para a MO visuoespacial, ainda não está claro quais regiões neurais estão associadas. A atividade neuronal persistente no CPF é associada à manutenção do conteúdo quando o estímulo visual não está mais presente. Achados recentes sugerem que a representação precisa é codificada nas regiões iniciais do córtex visual e no sulco intraparietal e, regiões neurais adicionais podem ser acionadas a depender da complexidade do objeto, como o central occipital lateral, que mantém a precisão da memória experimental na MO visuoespacial (Zhao et al., 2020). Os mecanismos sensoriais diferentes entre a MO verbal e a MO visuoespacial podem influenciar o desempenho da MO como um todo, a depender da natureza da tarefa (Chai et al., 2018).

Para D'Esposito e Postle (2015) os mecanismos neurais envolvidos na MO são de alta dimensionalidade e nem sempre podem ser capturados e investigados diretamente usando técnicas neurofisiológicas. Para os autores, MO não deriva de um sistema discreto, mas uma propriedade do cérebro que suporta a consecução bem-sucedida de objetivos comportamentais

que estão sendo realizados por qualquer um dos vários sistemas. Dentre os mecanismos neurais que provavelmente estão subjacentes à função de MO, eles evidenciam cinco:

1) Atividade neural persistente: que se refere a capacidade dos neurônios de gerar atividade mesmo na ausência de estímulos externos;

2) Representações hierárquicas no CPF: a existência de um gradiente funcional ao longo do eixo anterior-posterior do córtex lateral frontal em que as regiões anteriores influenciam mais o processamento nas regiões posteriores. Neste sentido, o CPF não armazena informações, mas sim, controla as outras regiões do cérebro em que as informações são realmente armazenadas;

3) Sinalização de cima para baixo: esse mecanismo coloca menos ênfase na função de armazenamento no CPF e, em vez disso, enfatiza seu papel no controle de cima para baixo sobre todas as outras regiões do cérebro onde as informações são realmente armazenadas;

4) Conectividade de longo alcance: que se refere à sincronização da atividade entre regiões cerebrais distribuídas; e

5) Neuromoduladores do tronco cerebral: dado que neurônios neuromodulatórios dessa região enviam projeções para todas as áreas do cérebro. Sua influência na função cognitiva é inquestionável, inclusive para a MO em que se destaca o papel crítico da dopamina.

A consideração de todos esses mecanismos juntos, e não isoladamente, deve fornecer uma imagem mais clara das bases neurais do controle cognitivo. Além do que, qualquer compreensão dos mecanismos básicos da MO leva diretamente a uma maior compreensão dos aspectos mais complexos da cognição humana (D'Esposito e Postle, 2015).

As funções cognitivas surgem da ativação e cooperação de redes espacialmente distribuídas, mas funcionalmente vinculadas, que compartilham informações continuamente. A dinâmica entre os estados funcionais dessas redes tem sido objeto de investigação de muitos pesquisadores (Van Den Heuvel & Pol, 2010). A denominada Rede de Modo Padrão (RMP), do inglês *Default Mode Network* (DMN), apresentada por Raichle et al. (2001), se refere a uma rede neural ativa no cérebro em repouso e inibida na ocorrência de um estímulo externo que acarrete em um envolvimento cognitivo. Sua estrutura topológica muda dinamicamente ao longo do tempo, podendo ser uma antes de uma tarefa cognitiva e outra após sua realização, sendo diretamente influenciada pela natureza da tarefa realizada (Lin et al., 2017). A RMP (figura 2) conecta o córtex pré-frontal medial, o cíngulo posterior ou precuneus e o córtex

parietal posterior, entre outras regiões (Aboitiz et al., 2014). Ela se antagoniza com a “rede positiva para a tarefa”, sistema múltiplo que envolve sub redes, tais como: rede atencional dorsal; rede atencional ventral; rede de saliência; rede afetiva; rede somatossensorial, rede visual e rede frontoparietal (RFP), como descrito anteriormente, a rede da MO (Gao, et al., 2019).

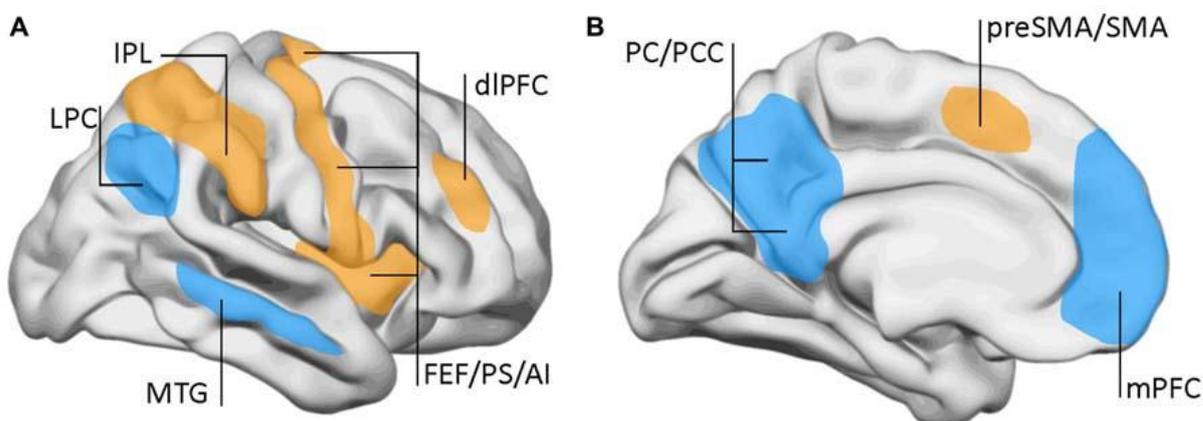


Figura 2².

2 A - Vistas lateral e 2 B - médio-sagital do cérebro mostrando as áreas envolvidas na rede de modo padrão (RMP) e na rede positiva para tarefas.

Legenda: RMP (azul): LPC, córtex parietal lateral; mPFC, córtex pré-frontal médio; MTG, giro médio-temporal; PC, precuneus; PCC, córtex cingulado posterior. Áreas de rede positiva para a tarefa (amarelo / laranja): IA, ínsula anterior; dIPFC, córtex pré-frontal dorsolateral; FEF, campos oculares frontais; LIP, lobo parietal inferior (aspecto anterior); preSMA, área pré somatomotora; PS, sulco pré-central; SMA, área somatomotora.

O mecanismo que envolve a relação entre a RMP e a rede positiva para tarefa, conhecido como anticorrelação, se refere a um antagonismo estrito entre a ativação e inibição dessas redes, de forma que, a ativação da RMP está associada a forte inibição da rede positiva, e vice-versa (Aboitiz et al., 2014). O padrão de ativação entre a RMP e a rede positiva para tarefas, anteriormente compreendido como sendo geral à todas as sub redes da rede positiva foi melhor compreendido com novos estudos. Em específico, a relação entre as redes RMP e RFP, anteriormente descritas funcionalmente vinculadas em anticorrelação durante todo o processamento cognitivo sustentado, passou a ser vinculado apenas durante a fase de

² Figura extraída de Aboitiz, F., Ossandón, T., Zamorano, F., Palma, B., & Carrasco, X. (2014). Irrelevant stimulus processing in ADHD: catecholamine dynamics and attentional networks. *Frontiers in psychology*, 5, 183.

manutenção da MO, neste caso a visual, ou seja, quando a atenção é focada em um estímulo memorizado que já não é mais visto, de forma que a RFP iniba a ação da RMP. Por outro lado, durante as fases de codificação e recuperação, quando a estimulação externa está presente, ocorre um acoplamento entre RMP e RFP, sugerindo a existência de uma alternância dinâmica de conectividade funcional entre "tarefa positiva" e "tarefa negativa". Essa organização diferenciada reforça a hipótese de um envolvimento direto da RMP nas funções cognitivas, representada por uma interação dinâmica, em vez de estática, com redes positivas para tarefas específicas, como a rede da MO (Piccoli, et al., 2015).

Os possíveis comprometimentos em situação de falha da RMP levaram Sonuga-Barke & Castellanos (2007) a desenvolverem o Modelo de Modo Padrão. De acordo com os autores, a incapacidade de mudar de um estado cognitivo em repouso para um ativo resultaria em maior variabilidade no desempenho em tarefas atencionais, o que poderia ser compreendido como um mecanismo subjacente a alguns transtornos psiquiátricos, dentre eles o TDAH. Por outra via, outro modelo propõe que uma disfunção relacionada à MO é a característica principal do TDAH. Proposto inicialmente por Rapport et al. (2001, 2008) o Modelo Funcional da Memória Operacional do TDAH postula que as deficiências na inibição da resposta são um subproduto dos déficits da MO, pois a ativação das informações na MO precede a decisão de suspender ou atrasar uma resposta comportamental. Nessa perspectiva, as disfunções vistas na RMP são compreendidas como resultantes de uma atuação disfuncional da MO, sendo ela também a precursora para todas as alterações comportamentais associadas ao TDAH (Rapport et al., 2001; Kofler et al., 2018). Ambos modelos foram testados utilizando como medida o tempo de reação para início e finalização de tarefa após dado estímulo. Os resultados encontrados suportam com mais clareza o Modelo Funcional da Memória Operacional do TDAH compreendendo que as variações do tempo de reação são secundárias a déficits subjacentes à MO, principalmente ao executivo central (Kofler et al., 2014; Alderson et al., 2010).

2.2 Mecanismos subjacentes e o Modelo Funcional da Memória Operacional do TDAH

Diferenças morfológicas entre o cérebro com o TDAH e o cérebro típico são apresentados em estudos de revisão sistemática e metanálise. Castellanos (2004), em uma revisão, descreve haver redução do volume cerebral total (3%), com maior proeminência em áreas frontoestriatais, associadas à redução cerebelares. Valera et al. (2007) em estudo de

metanálise, evidencia que dentre as áreas cerebrais alteradas nesse transtorno, as regiões descritas com maior frequência envolvem regiões cerebelares, esplênio do corpo caloso, volume total do hemisfério cerebral direito, além de diferenças significativas em regiões frontais. Já Ellison-Wright et al. (2008) também utilizando metanálise, descrevem somente a perda de volume do putâmen direito como significativa em todos os estudos utilizados por eles. As diferenças de resultados vistas nesses estudos podem ser compreendidas à luz da evolução dos equipamentos de imagem cerebral e de reformulações para análises de resultados. Em estudo mais recente, através de morfometria cortical, Silk et al. (2016) descrevem haver em sujeitos com o TDAH, menor volume cortical (7,3%), menor área de superfície (4,3%) e menor espessura cortical média (2,8%) em comparação ao controle.

Um atraso na maturação cortical pode estar associado a diferentes trajetórias de desenvolvimento na adolescência e além, uma vez que, em crianças com o TDAH pode ser visto padrão atípico da superfície cortical e uma diminuição de sua extensão, associados a anomalias de estruturas subcorticais como tálamo, amígdala, accumbens e hipocampo (Shaw & Rabin, 2009; Hoogman et al., 2017). Em análise prospectiva, crianças diagnosticadas com o TDAH ainda na infância, 33 anos mais tarde, quando na fase adulta, apresentaram reduções anatômicas da substância cinzenta, independentemente dos sintomas do TDAH persistirem ou não nesta fase. Análises exploratórias sugerem que a remissão diagnóstica pode resultar da maturação compensatória dos circuitos pré-frontal, cerebelar e talâmico (Proal et al., 2011). Além disso, atrasos maturacionais (maturação funcional atrasada / interrompida) e aberrações na conectividade funcional (inter / intra redes) em algumas redes neurais podem contribuir diretamente para as diferenças de sintomas do TDAH na infância e adolescência (Tao et al., 2017; Tang et al., 2018).

Padrões significativos de hipoatividade frontal em pacientes com TDAH, afetando o córtex cingulado anterior, córtex pré-frontal dorsolateral, pré-frontal inferior e córtex orbitofrontal, bem como regiões relacionadas, incluindo núcleos da base, tálamo e porções do córtex parietal são descritos (Dickstein et al., 2006). Alterações da conectividade estrutural e várias redes neurais funcionais candidatas podem ser de particular importância (Elton et al., 2014). Conforme aponta Konrad & Eickhoff (2010), embora ainda existam grandes limitações metodológicas na análise de medidas de conectividade derivadas de neuroimagem in vivo não invasiva, evidências convergem para a patologia da substância branca e a conectividade anatômica interrompida no TDAH. Em estudo de metanálise, Gao, et al. (2019) mostraram alterações conectivas envolvendo as redes RMP, RFP e outras redes da rede positiva, neste

caso, rede afetiva, rede atencional dorsal, rede atencional ventral e rede somatossensorial, em sujeitos com o TDAH envolvendo hiper e hipoconectividade em distintas áreas, conforme apresentado na figura 3.

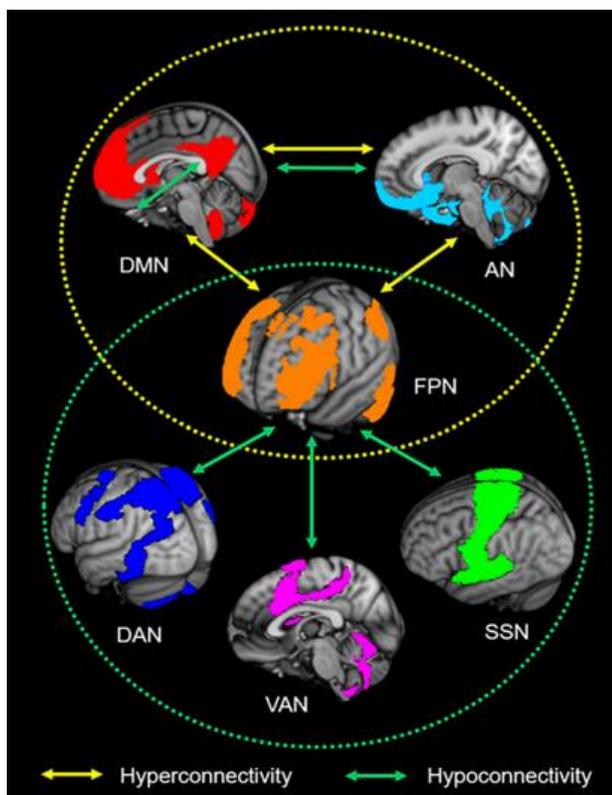


Figura 3³

- Padrões de disfunção de redes neurocognitivas no transtorno de déficit de atenção / hiperatividade (TDAH).

Legenda: O círculo amarelo representa a interação aberrante entre a rede de modo padrão (DMN), rede frontoparietal (FPN) e rede afetiva (AN) no TDAH. O círculo verde representa o TDAH associado hipoconectividade entre a FPN e a rede atencional dorsal (DAN), rede atencional ventral (VAN) e rede somatossensorial (SSN).

De acordo com Tao et al. (2017), a diminuição da conectividade funcional em crianças com TDAH exibe correlações significativamente positivas com o índice de hiperatividade e os escores impulsivos apresentados por elas, sendo que, quanto maiores as pontuações hiperativas e impulsivas maiores são as interações funcionais nas redes cerebrais relacionadas ao controle

³ Figura extraída de: Gao, Y., Shuai, D., Bu, X., Hu, X., Tang, S., Zhang, L., ... & Huang, X. (2019). Impairments of large-scale functional networks in attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analysis of resting-state functional connectivity. *Psychological medicine*, 49(15), 2475-2485.

desses comportamentos e menos integradas são suas redes. Estes mecanismos parecem estar subjacentes à disfunção executiva no TDAH. Pruij et al. (2019) acrescentam que a ocorrência de alterações distintas relacionadas à apresentação clínica do TDAH envolve também a rede visual-medial e sensório-motoras, com as alterações na rede visual-medial relacionadas principalmente ao comportamento desatento, e o aumento da conectividade funcional em redes sensório-motoras predominantemente relacionado ao aumento dos sintomas de hiperatividade / impulsividade e pior resultado em uma ampla gama de medidas, mais fortemente da MO (Pruj et al., 2019).

Apesar da conectividade aberrante ser apresentada em diversas redes no TDAH, a conectividade funcional significativamente reduzida nessas crianças envolve predominantemente a RFP e a RMP, com alterações conectivas intra e inter redes, com (a) diminuição da conectividade funcional da RFP, principalmente de conexões de longo alcance; (b) menor integração conectividade funcional entre as regiões da RMP; e (c) oscilação conectiva desregular e interações interrompidas entre a RFP e a RMP (Tao et al., 2017). Tanto na RFP quanto na RMP a conectividade funcional é modulada pela carga da MO, ou seja, pelo nível de dificuldade imposta pela tarefa (Newton et al., 2011). Como resultante dos déficits conectivos na interação dessas redes, comparadas a crianças com desenvolvimento típico (DT), crianças com TDAH oscilam mais entre estados de atenção e desatenção, além de manterem por menor tempo os estados atencionais (Kofler *et al.*, 2008).

Há na literatura científica evidências de que déficits na MO fazem parte do quadro clínico do TDAH. Pievsky & McGrath (2018) em revisão sistemática e resumo quantitativo de 34 metanálises que versam sobre o desempenho neurocognitivo de indivíduos com TDAH, apresentam que sujeitos com esse transtorno se diferem em médias padronizadas de 96% no desempenho neurocognitivo quando comparados com seus pares típicos, sendo a MO um dos domínios neurocognitivos evidenciados como deficitários. Ramos et al. (2019) em estudo de metanálise envolvendo quarenta e nove trabalhos publicados entre 1990 e 2016 sobre a MO verbal em crianças e adolescentes com o TDAH, utilizando como instrumento de medida o Teste Dígitos Spam Inverso, reafirmaram ser a MO um domínio-chave da disfunção cognitiva no TDAH. Os autores identificaram uma associação negativa entre o desempenho da MO e a idade, indicando que as dificuldades verbais de desempenho dessa memória parecem diminuir com o aumento da idade, provavelmente pela própria maturação do sistema nervoso central. Um dos objetivos traçados nesta pesquisa foi identificar características da MO verbal nas três possibilidades de apresentação clínica do TDAH. No entanto, esse objetivo não foi alcançado

em razão da heterogeneidade da amostra. Outros estudos apontam para exigência de processamento e sobrecarga de armazenamento no executivo central (Rapport *et al.*, 2008), dificuldade de armazenamento na alça fonológica (Bolden *et al.*, 2012), e índices mais baixos de registro e codificação no esboço visuo-espacial (Friedman *et al.*, 2017).

No Modelo Funcional da Memória Operacional do TDAH, proposto por Rapport *et al.* (2001, 2008), baseado no Modelo Multicomponente da Memória Operacional (Baddeley, 2000), hipotetizou-se que os sintomas comportamentais do TDAH e as deficiências funcionais vistas no transtorno seriam subprodutos da interação entre as demandas ambientais e o funcionamento prejudicado da MO, resultando em vulnerabilidades neurobiológicas. Apoiados nessa hipótese, os autores inferiram que a disfunção na MO seria fruto da maturação cortical tardia associada à hipoativação cortical crônica em áreas relacionadas à MO (Rapport *et al.*, 2001, 2008). Sucessivos estudos foram desenvolvidos após a apresentação do modelo visando compreender melhor a interação entre as características diagnósticas do TDAH, debilidades nos componentes da MO e seus mecanismos funcionais.

Rapport *et al.* (2008) identificaram que déficits tanto na MO verbal quanto na visuoespacial eram identificadas em crianças com o TDAH abrangendo o executivo central, alça fonológica e esboço visuoespacial, os dois últimos em associação ao retentor episódico, uma vez que é este quem armazena as informações dos dois subsistemas. O sistema com principal destaque para debilidades foi o executivo central, precedido pelo armazenamento visuoespacial e posteriormente pelo fonológico (Rapport *et al.*, 2008). Em outro estudo, Rapport *et al.* (2009), verificaram que crianças com o TDAH eram significativamente mais ativas do que as crianças de DT, com maiores índices de movimentação espontânea (ME) durante tarefas com alta exigência da MO. No estudo, o componente executivo central foi funcionalmente associado ao excesso de ME, ou seja, à hiperatividade. O mecanismo ocorreria para dois propósitos, primeiro, aumentar a ativação cortical pré-frontal (o aumento da ME acarretaria aumento da ativação em áreas circunvizinhas) – promovendo maior engajamento na tarefa; e segundo, em menor proporção, para encerrar uma tarefa aversiva imposta - por meio de um comportamento de fuga (Rapport *et al.*, 2009). Em 2010, Kofler e colaboradores observaram que os déficits na MO são funcionalmente relacionados à desatenção em crianças com o TDAH. Duas condições distintas foram elencadas como promotoras da desatenção, sendo a primeira quando havia sobrecarga na capacidade de armazenamento da memória (situação já esperada, sendo regular também para crianças típicas) e, a segunda quando havia exigência do processamento executivo central, cujo efeito fora evidente mesmo sob cargas

cognitivas baixas. Tais resultados levaram a compreensão de que os processos executivos centrais são responsáveis por grandes diminuições de magnitude no comportamento atento de crianças com TDAH (Kofler et al., 2010). Os resultados dos dois últimos estudos citados, coletivamente evidenciaram que comportamentos desatentos e hiperativos em crianças com TDAH estavam funcionalmente relacionados a deficiências do executivo central.

Em 2015, Sarver e colaboradores observaram que crianças com TDAH exibiram maiores taxas ME e menores taxas de comportamento atencioso em comparação a crianças de DT. Neste estudo foi identificado um padrão oposto de relações com o desempenho da MO entre os dois grupos. Taxas mais altas de ME previram positivamente o desempenho da MO verbal para crianças com TDAH, no entanto, taxas mais altas de ME previram negativamente o desempenho da MO verbal para crianças típicas, sugerindo uma ligação positiva entre a hiperatividade e o desempenho de tarefas de MO em crianças com o TDAH. Fundamentados nos achados da pesquisa, os autores sugerem que crianças com TDAH podem regular sua ME como comportamento compensatório para aumentar a excitação do sistema nervoso central durante tarefas que desafiam suas funções neurocognitivas subdesenvolvidas e / ou que requerem atividade neural sustentada (Sarver et al., 2015). No mesmo ano, apoiada no estudo de Sarver et al. (2015), outra pesquisa foi desenvolvida com vista a compreender melhor a relação entre a MO, mais pontualmente o executivo central, e a ME em crianças com o TDAH. Nela, Kofler et al. (2015) identificaram que demandas do executivo central evocam de forma confiável o aumento dos níveis de ME em crianças com TDAH, independentemente da modalidade de estímulo, e que, a diminuição da demanda do executivo central não implica diretamente em uma diminuição das taxas de movimentação (Kofler et al., 2015).

Tomados em conjunto, os resultados atuais fornecem suporte a modelos explicativos do TDAH que têm como base a proposição de uma relação funcional entre a MO e a ME. Os estudos apresentados nessa revisão mostram que as inferências realizadas sob os processos subjacentes aos mecanismos envolvendo MO e ME advém de pesquisas neurocognitivas suportadas por análises comportamentais. Ampliar as possibilidades de entendimento desse mecanismo com a utilização de medidas fisiológicas mais diretas parece ser um caminho promissor.

2.3 Instrumentos de medida fisiológica: Actigrafia, Eletroencefalografia e Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho

Existe uma necessidade crescente de encontrar medidas objetivas e marcadores do TDAH (De Crescenzo et al., 2014). Os instrumentos de medida que apresentaremos a seguir são todos embasados em técnicas seguras e de monitorização não-invasiva. A actigrafia, instrumento para mensuração da atividade motora, em nosso estudo da ME; a eletroencefalografia, como instrumento para a mensuração atividade elétrica cerebral, em nosso estudo relacionado métricas cognitivas de esforço, engajamento e distração; e, a espectroscopia de luz próxima infravermelha, para análises da hemodinâmica cerebral.

2.3.1 Actigrafia

A actigrafia tem sido utilizada em pesquisas relacionadas ao TDAH com objetivos de investigação distintos. Em específico, com fins de análise da relação entre a MO e a ME o instrumento foi utilizado pela primeira vez no estudo de Rapport et al. (2009) permitindo maior confiabilidade de resultados relacionados à atividade motora. Antes disso a atividade motora / hiperatividade, era comumente avaliada por meio de questionário ou escala psicométrica (Martinussen & Tanock, 2006).

A actigrafia constitui modelo de avaliação cronobiológica barata, não invasivo e de fácil utilização em diversos ambientes (Peterson et al., 2016). Ela é uma técnica utilizada para análise de movimentos desde a década de 1970, mas foi ao fim dos anos 90 que novos aparelhos com aprimoramento dos modelos de aferição matemática com correlações estatísticas surgiram e a actigrafia passou a incluir o acelerômetro em suas propriedades (Ancoli-Israel et al., 2003). Através de um pequeno dispositivo, semelhante a um relógio, chamado de actígrafo, colocado no pulso, tornozelo ou cintura do avaliado, o nível de movimentação é continuamente capturado e registrado. Além do acelerômetro, o dispositivo possui um sensor de luminosidade capaz de registrar também a intensidade da luz, o que propicia analisar ritmos circadianos, parâmetros do sono e avaliar a atividade em situações em que a quantificação da movimentação física for desejada. Para o registo de eventos com demandas temporais reduzidas com o enfoque na atividade motora, método adotado nesta pesquisa, basta pressionar um botão marcador na lateral do dispositivo, no início e término de cada espaço temporal (Respironics, 2013).

2.3.2 Eletroencefalografia

A atividade neural é um processo eletroquímico que pode ser mensurado através de eletrodos posicionados em regiões específicas no escalpo. Essa mensuração é possível porque os tecidos do cérebro, crânio e escalpo conduzem pacificamente as correntes elétricas produzidas pela atividade sináptica. A técnica de registro desses sinais é denominada eletroencefalografia (EEG) (Gazzaniga et al., 2006). Do ponto de vista biofísico, um determinado eletrodo ativo no escalpo mede o campo elétrico que é gerado pela soma dos potenciais pós-sinápticos momentâneos no cérebro. Devido ao volume de condução, campos elétricos se espalham no cérebro e atingem de forma atenuada a superfície do couro cabeludo. Cada eletrodo mede uma parte local deste campo e, com um número suficiente de eletrodos distribuídos por todo o couro cabeludo, esse campo elétrico pode ser medido e reconstruído formando um mapeamento cerebral fiel, com boa resolução espacial e temporal. Um novo mapa é gerado em cada instante na faixa de milissegundos (Michel & Murray (2012).

A utilização do EEG tem muitas aplicações clínicas, uma vez que, os padrões normais da função cerebral são bem estabelecidos e consistentes entre indivíduos. Entretanto, ele é limitado em oferecer compreensão dos processos cognitivos porque o registro tende a refletir a atividade cerebral global. Na pesquisa, uma estratégia utilizada para compreender como a atividade cerebral é modulada por uma tarefa é extrair uma resposta evocada dos sinais globais do EEG. Nesta abordagem, traços do EEG de uma série de tentativas são colocados juntos, alinhando os registros de acordo com a tarefa requerida e retirando variações da atividade elétrica cerebral não relacionadas a tarefa (Gazzaniga et al., 2006).

2.2.3 Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho

A Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho, do inglês, *Functional Near Infrared Spectroscopy* (fNIRS), é uma técnica não-invasiva, utilizada como indicador metabólico indireto de atividade neuronal, detectando mudanças no fluxo cerebral regional, no volume e na oxigenação sanguínea que acompanha a atividade neural (da Silva et al., 2016). Como o tecido biológico é relativamente transparente à luz na extensão do infravermelho próximo (780-2500 nm), quando uma fonte instalada no escalpo dispara uma luz dessa natureza, ela penetra o couro cabeludo, perpassa o crânio e demais estruturas até atingir o tecido

cerebral, e depois, se dissipa. Um detector colocado a cerca de dois centímetros de distância da fonte capta as alterações de luz difusa que chegam até a região em que ele está instalado. Como a dispersão da luz no tecido é uma constante, a diferença entre a luz emitida e a captada corresponde a alterações nas propriedades ópticas do tecido abaixo, entre a fonte e o detector, ou seja, do canal. Para análise de uma região de interesse, pares de fontes e detectores são espalhados pelo escalpo, formando vários canais (figura 7). Desse modo, a quantidade de luz captada pelo detector pode ser calculada, identificando mudanças de intensidade em diferentes comprimentos de onda e propiciar uma medida indireta da atividade do tecido, fornecendo informações sobre a variações na concentração de oxihemoglobina (HbO₂), desoxihemoglobina (HHb) e de hemoglobina total (HbT), permitindo avaliar de forma quantitativa e qualitativa a hemodinâmica e a ativação neuronal. (Boas, et al., 2014; Ye et al., 2009).

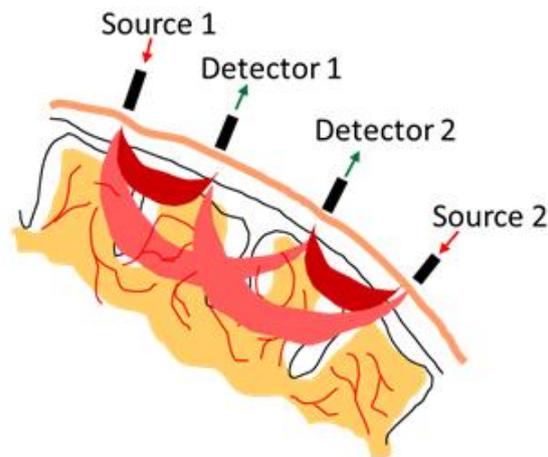


Figura 4⁴

Configuração de fonte-detector multi-distância (tomografia) para identificar a ativação cortical.

A fNIRS é semelhante ao PET (tomografia por emissão de pósitrons, do inglês *Positron Emission Tomography*) e fMRI (ressonância magnética funcional, do inglês *Functional Magnetic Resonance Imaging*) mas com menor resolução espacial (da Silva et al., 2016), porém, com mais possibilidades de análise da atividade neural funcional em tarefas mais naturais, enquanto o indivíduo interage com o ambiente, uma vez que os instrumentos utilizados para análises da atividade cerebral (emissores e detectores de luz) são acoplados a uma toca

⁴ <https://nirx.net/fnirs-and-nirx/>

usada pelo participante durante as análises, dando-o liberdade de movimentação (Vanderwert & Nelson, 2014). Considerada uma ferramenta promissora para a avaliação do funcionamento do córtex cerebral infantil, a fNIRS contribuiu para ampliar o conhecimento sobre os aspectos relacionados ao neurodesenvolvimento e à cognição em crianças (de Oliveira et al., 2015). Uma combinação de fatores incluindo a natureza não invasiva e fácil transporte do equipamento; os avanços técnicos na concepção de matrizes ópticas que permitem análises de várias regiões do cérebro em recém-nascidos, lactentes e crianças; a capacidade de relatar uma série de medidas relacionadas a problemas neurovasculares, que podem ter um significado particular na caracterização do desenvolvimento cerebral típico e atípico, contribuem fortemente para que a fNIRS seja uma ferramenta adequada para análises na população infantil (Boas et al., 2014).

O uso da fNIRS em crianças com o TDAH é descrito em diversos estudos (Weber et al., 2005; Moser, et al., 2009; Negoro, et al., 2010; Xiao, et al., 2012; Inoue, et al., 2012; Miao et al., 2017; Gu et al., 2018; Yasumura et al., 2019; Sutoko et al., 2019) com vista a elucidar as alterações neuronais envolvendo principalmente o controle atencional, controle inibitório e mecanismos da MO. Os achados dessas pesquisas mostram diversas alterações conectivas, com mudanças na função do lobo frontal, redução na ativação do CPF, alterações cerebrais disfuncionais em tarefas de MO envolvendo a RFP, dentre outros. Até o presente momento não identificamos na literatura estudos que relacionem alterações da hemodinâmica cerebral associados à ME e à MO.

3 Objetivos

3.1 Objetivo Geral

Investigar o papel da movimentação espontânea no desempenho da memória operacional em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade.

3.2 Objetivos Específicos

- Verificar as relações entre a movimentação espontânea e esforço cognitivo, engajamento e distração durante a realização de testes de memória operacional em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção / Hiperatividade.
- Verificar as relações entre a movimentação espontânea e níveis de hemodinâmica cerebral dos córtex pré-frontal e motor durante a realização de testes de memória operacional em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção / Hiperatividade.
- Comparar os níveis de movimentação espontânea e níveis de hemodinâmica cerebral dos córtex pré-frontal e motor durante a exibição de um *trailer* de animação infantil e trechos de videoaulas em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção / Hiperatividade.

4 Hipóteses

H1: Crianças com Transtorno de Déficit de Atenção / Hiperatividade com maiores níveis de movimentação espontânea terão maiores índices de esforço cognitivo e engajamento e menores índices de distração durante a realização de testes de memória operacional.

H2: Crianças com Transtorno de Déficit de Atenção / Hiperatividade com maiores níveis de movimentação espontânea terão maiores níveis de ativação cortical, com maior índice de hemodinâmica tanto no córtex pré-frontal quanto no córtex motor, durante a realização de testes de memória operacional.

H3: Crianças com Transtorno de Déficit de Atenção / Hiperatividade terão níveis de atividade motora espontânea e níveis de ativação cortical maiores, com maior índice de hemodinâmica tanto no córtex pré-frontal quanto no córtex motor, durante a exibição dos trechos das videoaulas quando comparados ao *trailer* de animação infantil.

5 Materiais e Métodos

5.1 Participantes

Participaram dessa pesquisa 27 crianças de 8 a 12 anos de idade, com diagnóstico de TDAH realizado no ambulatório do Núcleo de Investigações sobre Impulsividade e Atenção (NITIDA) do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais – HC-UFMG. Dois estudos distintos foram contemplados nesta pesquisa, sendo o primeiro com a participação de 25 crianças e o segundo com a participação de 15, havendo a participação de crianças em ambos estudos. A amostra foi definida por conveniência.

5.2 Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão adotados foram: ser diagnóstico com o TDAH pelo NITIDA; estar em classe escolar equivalentes a faixa etária; não apresentar deficiência físico/motora que fosse impeditivo para o uso da carteira estacionária (carteira com pedais) ou que por algum motivo estivessem impedidas de realizar atividade física; não ser o TDAH um transtorno comórbido, havendo outro transtorno do neurodesenvolvimento com maiores implicações do que o próprio TDAH; realizar a suspensão da(s) medicação (ões) de tratamento do TDAH 24 horas antes do horário agendado para a coleta de dados.

5.3 Seleção dos participantes

A busca por participantes adotou como critério o convite à todas as crianças diagnosticadas com o TDAH e acompanhadas pelo NITIDA no período da ocorrência da pesquisa, que estivessem dentro da faixa etária estipulada. No acesso ao banco de dados dos pacientes, foi verificado que na faixa etária dos 08 aos 12 anos havia 47 crianças. Após tentativa de contato, via números telefônicos disponíveis, com os pais ou responsáveis, 42 crianças foram convidadas. O processo entre o convite e a participação efetiva em cada estudo é descrita na figura 10. Enquanto a caracterização da amostra em cada estudo é descrita nas tabelas 4 e 5.

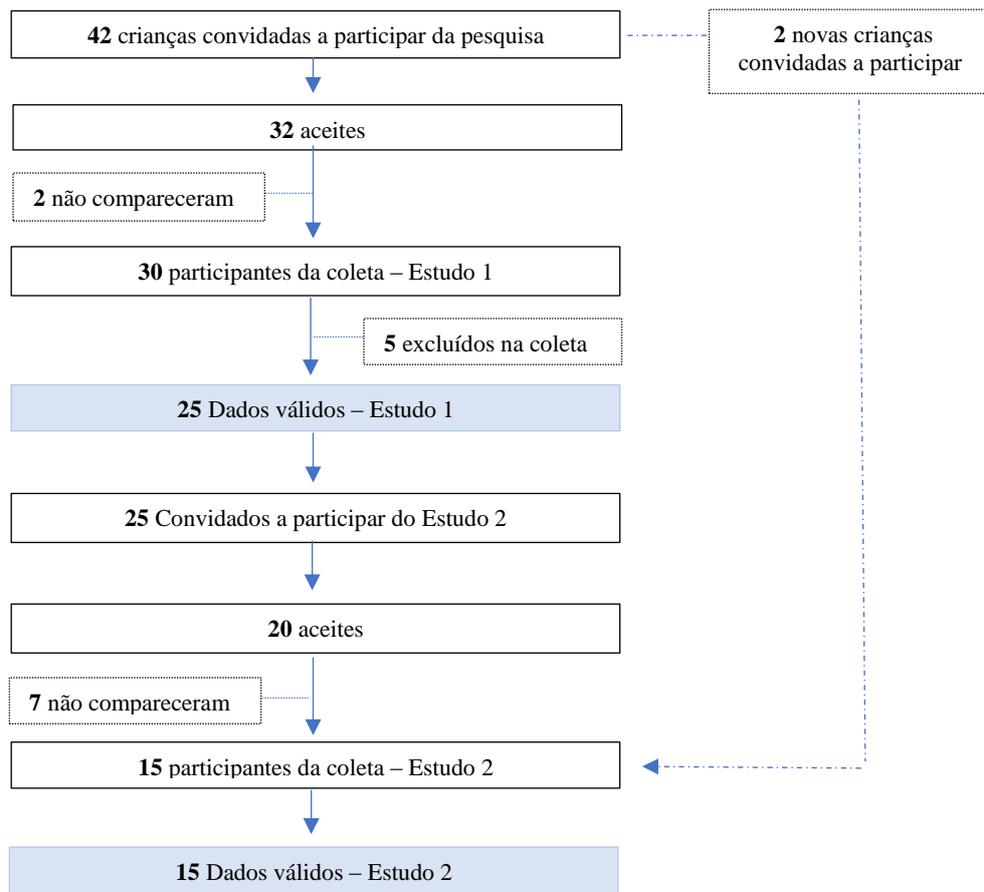


Figura 5
Fluxograma da seleção dos participantes

5.4 Aspectos éticos

Esse estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG sob o protocolo 80322317.8.0000.5149 (ANEXO 1). Todos os pais / responsáveis das crianças que participaram do estudo foram previamente informados sobre os procedimentos da pesquisa e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (APÊNDICE 1), assim como as crianças assinaram um Termo de Assentimento Livre e Esclarecido - TALE (APÊNDICE 2).

5.5 Local da pesquisa

Esta pesquisa foi realizada nas dependências do Núcleo de Neurociências do Movimento (NNeuroM), vinculado ao Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem

Motora (GEDAM) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Educacional da UFMG (EEFFTO - UFMG).

5.6 Instrumentos

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

1) Instrumentos para medidas fisiológicas: dois actígrafos, modelo *Actiwatch 2*, *Philips Respironics* (figura 4). Suas características podem ser vistas na Tabela 1. Um aparelho de eletroencefalografia (EEG), modelo *X- 10* com 10 canais da empresa *Advanced Brain Monitoring* (figura 5). Suas características estão descritas na Tabela 2. Software *B-Alert*, da mesma empresa, para captura, processamento e análise dos dados do EEG. Um aparelho de espectroscopia de luz próxima ao infravermelho *NIRSport* da *Medical Technologies LLC* (figura 5). Suas características podem ser vistas Tabela 3. *O software* de aquisição *NIRS X* da mesma empresa. Uma descrição mais minuciosa de cada um desses instrumentos é apresentada na próxima sessão.

2) Componente eletrônico: um microcomputador Dell modelo *Optiplex 3010* com Monitor Dell LED de 21,5 polegadas.

3) Mobiliário escolar: uma bicicleta estacionária - equipamento escolar fabricada especificamente para essa pesquisa tendo como base modelos já existentes (Figura 11) e uma carteira escolar com prancheta regulável.

4) Testes: Teste de Desempenho Escolar (TDE) (Stein et al., 2004), para avaliar leitura, aritmética e escrita e Testes neuropsicológicos, sendo respectivamente, Tarefa de Repetição de Dígitos da Escala de Inteligência Wechsler para Crianças, do inglês, *Wechsler Intelligence Scale for Children* (WISC III) (Cruz, 2005), e teste dos Blocos de Corsi.

5) Material didático: duas videoaulas sendo uma da “Academia Khan”, plataforma *online* gratuita que oferece cursos de diferentes áreas do conhecimento, e outra do “Um pouco sobre tudo”, canal *online* com vídeos destinados a conteúdos da Educação Básica, com os temas

“soma de números decimais”⁵ e “preposição”⁶. 6) Material de recreação: um vídeo de animação infantil “Homem Aranha no Aranhaverso”⁷, da *Sony Pictures Animation*.



Figura 6⁸

Actígrafo modelo *Actiwatch 2*. Fabricados e comercializados pela *Philips Respironics*. 6 A- Actígrafo em sua base. 6 B - Áreas de sensor de luz e botão marcador.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO ACTIWARE 2

Características	Valor
Tamanho	43mm x 23mm x 10mm
Peso	16g
Duração da bateria	30 dias (recarregável)
Acelerômetro	Piezoelétrico
Taxa de amostragem	32Hz
Faixa do sensor de luz	400 – 900 nm (photopic)
Resistência a água	1m por 30 min
Memória	1 Mbit (não volátil)

Tabela 1⁹

Características físicas do *Actiware 2*

⁵ https://www.youtube.com/watch?v=zmVzcvqop_4&t=30s

⁶ https://www.youtube.com/watch?v=dAgKv_aHusA&t=25s

⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=SS6ABPkfmBE&t=13s>

⁸ <http://www.actigraphy.com/solutions/actiwatch/actiwatch2.html>

⁹ Adaptada de <http://www.actigraphy.com/solutions/actiware/>



Figura 7¹⁰
EEG modelo X-10.

CARACTERÍSTICAS DO EEG MODELO X-10

Características	Especificações
Canais	9 EEG com ganho fixo referenciado
Taxa de amostragem	256 amostras / segundo
Faixa dinâmica	Ganho fixo $\pm 1.000 \mu V$
Resolução	16 bits, CMRR 105 dB
Características do passa-banda	0,1Hz HPF, 100Hz 5ª ordem LPF
Impedância de entrada	100 GO
Ruído Movimento / posição da cabeça	$\sim +2 \mu V$ a 10 Hz e impedância de 5k Ω a 256 s / s Ângulos obtidos com o acelerômetro de 3 eixos e 12 bits
Banda de RF	2,4 a 2,48 GHz (banda ISM)
Modo de transmissão	Bidirecional com XSeries Bluetooth - dongle USB
Faixa de transmissão de dados	~ 10 metros, linha de visão com antena a bordo
Potência de transmissão	Classe Bluetooth 2 + 4dBm
Consumo de energia do sistema	~ 40 mA a 3,7 V
Capacidade de carga	Padrão 2 x baterias Li-ION - 460 mAH, 11 horas de uso contínuo Opcional 4 x baterias Li-ION - 920 mAH, 22 horas de uso contínuo
Tempo de execução da bateria	8+ horas
Carregamento da bateria	Carregado internamente com cabo personalizado e carregador de parede USB
Monitoramento de impedância on-line	Iniciado pelo computador host usando o link bidirecional
Dimensões da unidade principal	Tamanho: 5 "(L) x 2,25 "(L) x 1" (A); Peso: 0,11 kg com bateria padrão
Controle de usuário	Ligado desligado
LEDs indicadores	Verde / âmbar
Frequências Detectadas	Delta, Theta, Alfa, Beta, Gama e Gama Alta
Compatibilidade – Programas	Windows 8, 7 e XP, PC com processador de 2,0 GHz ou superior e 1 GB de RAM
Tamanho estimado do arquivo por minuto	~ 45 KB / Min / canal
Locais do sensor	Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, POz, P3, P4
Tamanhos de faixa do sensor	Pequenas e médias
Gel de eletrodo	Eletrólitos e conservantes altamente condutivos em base não iônica, hipoalergênica, tamponada ao pH da pele

¹⁰ <https://www.advancedbrainmonitoring.com/xseries/x10/>

Tabela 2¹¹
 Características do EEG modelo X-10



8 A

8B

Figura 8¹²
 Toca povoada 64 canais. 8A – toca tamanho adulto. 8B - Toca tamanho infantil.

CARACTERÍSTICAS DO NIRSPORT

Características	Especificações
Fontes máximas	8 (até 16 em configuração tandem)
Detectores máximos	8 (até 16 em configuração tandem)
Fluxos máximos de canal de dados	64 (até 128 em configuração tandem)
Taxa de amostragem	2.5Hz - 62.5Hz
Tipo de iluminação da fonte	LED
Comprimentos de onda da fonte	760nm e 850nm
Principais recursos de medição	Múltiplos tempos e estado de ganho dinâmico alternado 10 ^{^5}
Faixa dinâmica e sensibilidade do detector	60 dBopt; <1 pW
Sensor de Detecção	Si Photodiode
Gatilho / Conexão de Evento	Entrada TTL de 4 bits
Software de aquisição de dados	NIRStar (incluído)
Software de topografia	nirsLAB (incluído)
Software para tomografia	NAVI (incluído)
Chapelaria	NIRScaps: totalmente personalizável, st todas as faixas etárias. Multi-modal (incluído)
BCI / Neurofeedback	Módulo opcional para NIRStar
Compatibilidade multimodal	EEG, tDCS, Rastreamento ocular, Rastreamento de movimento
Acessórios Incluídos	NIRScaps, Mochila, Bolsa de transporte, Cabo de acionamento, Tablet PC, Placa de sistema / Tablet
Acessórios opcionais	Gatilho de controle remoto, divisor de gatilho ativo, módulos fMRI / TMS, ponta plana
Configuração de Hyperscanning	Até 2 matrizes bilaterais laterais de 8 fontes / 8 detectores para dois assuntos
Matrizes de sonda de distâncias múltiplas / de curta distância	Sim
Discriminação em profundidade 3D?	Sim
Fase e técnica espectroscópica	Fase monofásica, onda contínua
Faixa de temperatura	10C a 40C (em operação), -15C a 70C (armazenamento)
Umidade	20% - 80% de umidade relativa sem condensação
Tensão e consumo de energia	15 - 21 VCA (50 - 60Hz); 39VA Consumo máximo
Dimensões (LxAxL) e Peso	105 mm x 170 mm x 40 mm; 660g

¹¹ Adaptada de <http://www.advancedbrainmonitoring.com/xseries/x10/>

¹² <https://nirx.net/>

Tabela 3¹³

Características do *NIRSport*, instrumento fabricado e comercializado pela *Medical Technologies LLC*.



Figura 9¹⁴

Bicicleta estacionária

5.7 Procedimentos da coleta de dados

5.7.1 Estudo 1

Todas as crianças participantes tiveram suas medicações suspensas 24 horas antes do horário agendado para a coleta. Os pais / responsáveis pelas crianças foram informados sobre os objetivos da pesquisa e todos os procedimentos que seriam adotados durante a realização dos testes. Após assinatura do TCLE e do TALE, cada criança foi conduzida individualmente a sala de coleta, e o novo ambiente foi apresentado. Neste momento era permitido à criança assentar-se na bicicleta estacionária e pedalar livremente, a fim de adaptar-se ao equipamento. Sequencialmente os actígrafos eram instalados nos tornozelos e a criança era convidada a assentar-se na carteira escolar. Imediatamente após, o sistema de EEG era instalado. Inicialmente, foram medidas as distâncias entre pontos anatômicos do crânio da criança (nasion ainion e de uma crista da helix a outra) para que a fita de eletrodos do EEG adequada a tais medidas fosse escolhida. O posicionamento dos eletrodos na fita seguiu o sistema internacional 10-20, sendo posicionados sobre as regiões: Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3 e P4 (Figura 12). As regiões F; C e P correspondem respectivamente às áreas pré-frontal, central e parietal. Sobre cada eletrodo da fita havia uma espuma de contato umidificada com um gel condutor para que

¹³ Adaptada de *Medical Technologies LLC, guia NIRSport, 2015.*

¹⁴ <http://www.agazeta.redegazeta.com.br>

fosse criada uma interface eletrodo eletrólito e assim permitir a captura da corrente elétrica cerebral. Quatro outros eletrodos de referência foram fixados, sendo dois nos processos mastoideos, um no ponto médio da clavícula direita e um na extremidade esternal da 9ª costela esquerda. Após todo o equipamento estar ligado, o *software B-Alert* sincronizava o EEG ao microcomputador, e a impedância dos eletrodos foi avaliada. A métrica utilizada pelo sistema foi de 95% de captura dos sinais com boa qualidade, conforme protocolo descrito no manual de uso do *X-10 Hardware* (Advanced Brain Monitoring, 2009).

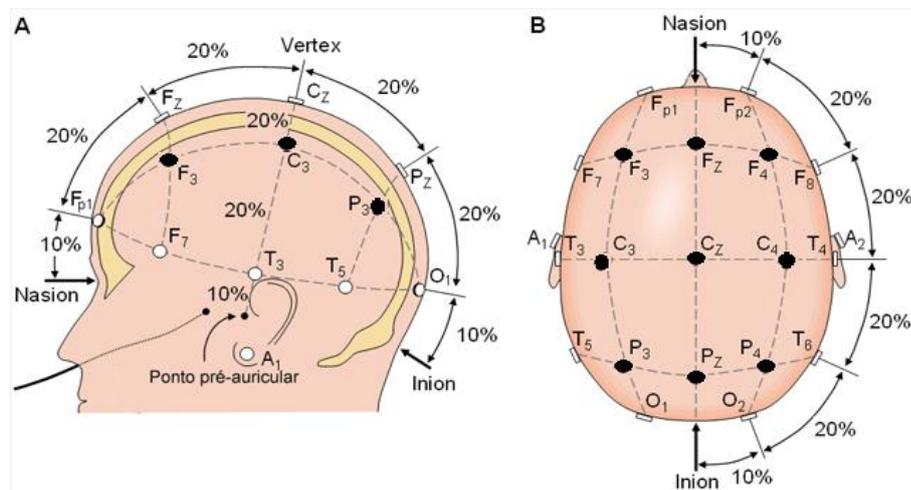


Figura 10¹⁵

Sistema 10-20. 12 A- Posicionamento dos eletrodos através da porcentagem. 12 B - Posicionamento resultando dos eletrodos por uma vista superior. Eletrodos utilizados no estudo coloridos de preto.

Posteriormente a criança recebeu instruções sobre a coleta de dados (delineamento e tarefas). Primeiramente, elas realizaram 3 tarefas cognitivas do *software B-Alert* para definição do *baseline*. A primeira trata-se de uma tarefa de vigilância de 3 escolhas (*3-Choice Vigilance Task*) que consiste em realizar toques o mais rápido possível nas setas para a direita e para a esquerda do teclado de acordo com o aparecimento de três estímulos diferentes: triângulo (estímulo principal com ocorrência de 70%) que corresponde ao toque na seta da esquerda e triângulo invertido e losango (estímulos secundários com ocorrência de 30% no total), que correspondem ao toque na seta da direita. O intervalo entre os estímulos variava entre 1,5-10 segundos, sendo menor no início da sessão de prática (demanda de maior estado de alerta) e maior ao final (identificação de sonolência) (Berka et al., 2007).

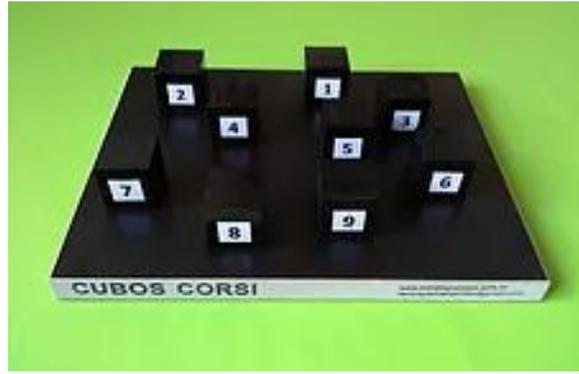
¹⁵ <http://www.neurosoft.com.br/>

A segunda trata-se de uma tarefa de vigilância psicomotora visual (*Visual Psychomotor Vigilance Task*) na qual a criança deve teclar a barra de espaço do teclado juntamente com o aparecimento de um estímulo (círculo vermelho). O intervalo entre estímulos se mantinha em 2 segundos durante toda a sessão e a tarefa tinha duração aproximada de 3 minutos. A terceira e última tarefa do *software* é de vigilância psicomotora auditiva (*Auditory Psychomotor Vigilance Task*) que se assemelha à segunda tarefa, diferindo-se apenas quanto ao estímulo que passa a ser sonoro. Nela o participante deve teclar a barra de espaço juntamente com o estímulo, que ocorre de 2 em 2 segundos. A tarefa também teve duração aproximada de 3 minutos e durante a sua execução o participante permaneceu de olhos fechados, conforme protocolo do teste. Ao todo, as tarefas de *baseline* demandam cerca de 10 minutos. É a partir do *baseline* que o *software* calcula as métricas relacionadas ao esforço cognitivo. Após a medição do *baseline* a criança foi convidada a assentar-se na bicicleta estacionária.

A partir desse momento foram iniciadas as etapas de testes, contemplando o TDE e os testes de MO, além das videoaulas. As ordens das etapas foram aleatorizadas. A MO verbal foi avaliada através da tarefa de repetição de dígitos do WISC-III (figura 13A), e a MO visuo-espacial através do Testes de Blocos de Corsi (figura 13B). A tarefa de repetição de dígitos é composta por oito séries para ordem direta e sete para inversa, havendo um aumento gradual da quantidade de dígitos em cada série. A ordem direta é aplicada em primeiro lugar, seguida pela inversa, que é administrada independentemente se o examinando fracassa totalmente na ordem direta. Cada item é formado de dois conjuntos de dígitos constituindo em duas tentativas, sendo ambas aplicadas (Cruz, 2005). O instrumento para a tarefa de Blocos de Corsi (ordem direta e inversa) consiste em uma base quadrada com 9 blocos de madeira enumerados de 1 a 9 distribuídos aleatoriamente, com a numeração visível apenas para o avaliador. A tarefa consiste em, após o experimentador tocar os blocos, em uma ordem previamente definida, o voluntário tocar os mesmos blocos em conformidade com o que fora apresentado pelo experimentador. A dificuldade para a realização da tarefa é crescente. Inicia-se com a sequência de apenas dois blocos e, havendo respostas assertivas, a sequência é ampliada até 9 itens, podendo ser utilizadas as ordens direta e inversa. A tarefa foi interrompida quando o voluntário errou uma dada sequência 2 vezes consecutivas.



11 A



11 B

Figura 11¹⁶

Testes de Memória Operacional. 13 A - Kit para aplicação do WISC III. 11 B - Blocos de Corsi.

A videoaula padronizada foi realizada através do vídeo da Academia Khan, com o conteúdo “soma de números decimais” e do Um pouco sobre tudo com o conteúdo “preposição”. O conteúdo apresentado estava vinculado a área avaliada no TDE, sendo videoaula de “soma de números decimais” para o TDE de aritmética e videoaula de “preposição” para o TDE de leitura e escrita. Por sua vez, o TDE, em seus três subtestes, apresenta uma escala de itens em ordem crescente de dificuldade, que são apresentadas ao participante independente de seu ano escolar, uma vez que cada subteste pode ser interrompido em caso de os itens apresentados serem impossíveis de serem resolvidos pela criança. Ele foi desenvolvido para ser aplicado para crianças de idade escolar entre a 1ª e 6ª séries do Primeiro Grau, atuais 2º a 7º ano do Fundamental. Os conteúdos abordados nos subtestes versam sobre: escrita - escrita de nome próprio e de palavras isoladas apresentadas sob a forma de ditado; aritmética - solução oral de problemas e cálculos de operações aritméticas por escrito; e leitura - reconhecimento de palavras isoladas do contexto (Stein et al., 2004). A definição da ordem dos subtestes aplicados também foi aleatorizada.

Ao início e término de cada tarefa ou teste os botões laterais dos actígrafos foram acionados para que ocorressem as marcações dos *triggers*, podendo assim haver o registro da ME específica em cada um dos períodos. A época adotada para o estudo foi de 15 segundos, ou seja, em cada um desses períodos uma média da atividade motora foi processada e arquivada na memória de cada um dos dispositivos. Os equipamentos de EEG e actigrafia permaneceram ligados e capturaram dados durante todo o período da coleta.

¹⁶ <http://www.edipsico.pt/WISC-III.htm> / <http://www.estrategiajogos.com.br/testes-neuropsicologicos>.

Com o propósito de que a amostra do estudo 1 também participasse do estudo 2 o TDE foi dividido em duas etapas, sendo português, envolvendo os subtestes de leitura e escrita e matemática, envolvendo o subteste de aritmética. De forma randomizada metade das crianças participantes do estudo 1 realizaram os subtestes de português e a outra metade o de matemática. A ordem inversa ocorreu no Estudo 2, com aqueles que participaram de ambos estudos.

Para a coleta dos dados desse experimento foram necessárias a permanência de 3 pesquisadores na sala de coleta durante todo o período de captura dos dados, sendo estes responsáveis pela aplicação dos testes, captura dos dados do EEG e acionamento e controle da actigrafia (figura 14). O tempo médio de coleta de cada sujeito foi de aproximadamente 1 hora e 30 minutos.

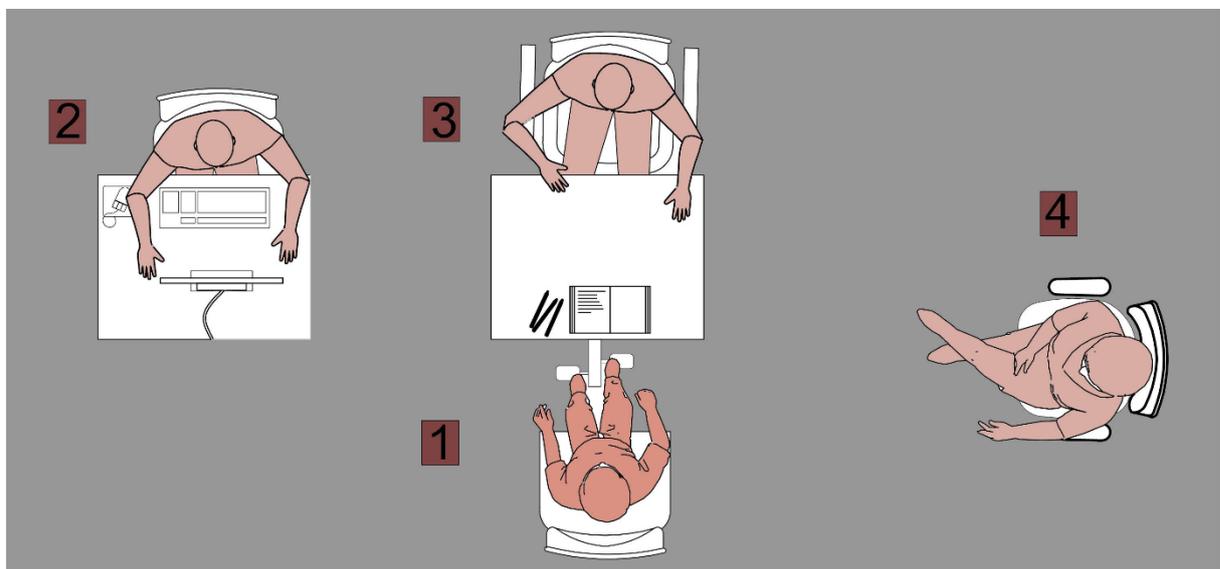


Figura 12

Cenário do Estudo 1

- 1- Criança participante; 2 Pesquisador responsável pelo equipamento de EEG; 3 Pesquisador responsável pela aplicação dos testes; 4 Pesquisador responsável pelo equipamento de actigrafia

Delimitação do Estudo 1

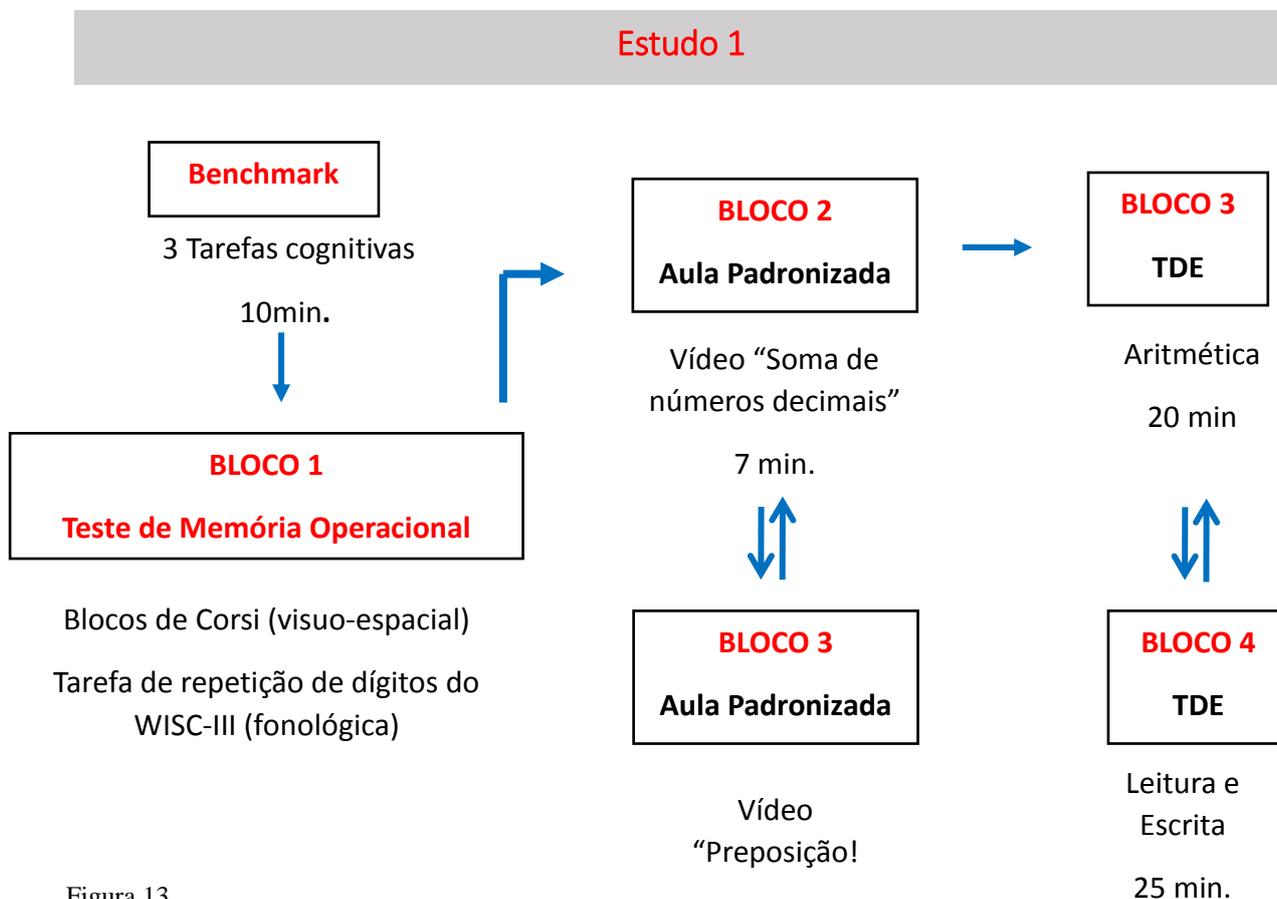


Figura 13
Designer do Estudo 1

5.7.2 Estudo 2

A amostra para esse estudo foi composta por 13 crianças participantes do estudo 1 e duas novas crianças, pacientes recém acompanhadas pelo NITIDA, todas com auto relato de preferência manual direita. A janela temporal entre o estudo 1 e o 2 foi de 6 meses. Para os dois novos participantes da pesquisa as assinaturas dos TCLE's e dos TALE's foram requeridas. De igual maneira aos procedimentos adotados no estudo 1, cada criança foi novamente conduzida individualmente à sala de coleta, foram ambientadas e os actígrafos foram instalados. Em seguida, a criança foi posicionada na bicicleta estacionária e o equipamento de NIRS foi instalado.

Utilizamos uma combinação de 8 fontes e 8 detectores que formaram 24 canais dispostos sobre o escalpo cobrindo, unilateralmente - hemisfério esquerdo, as regiões pré-

frontal e motora seguindo a orientação do Sistema Internacional 10-20 de EEG (Figura 16). A escolha foi realizada por compreender serem tais áreas as de principal interesse em conformidade ao estabelecido no modelo teórico adotado (Rapport et al., 2009). A criação de cada canal consistiu em um conjunto emissor-detector espaçados por 2 centímetros, em conformidade com as recomendações do fabricante.

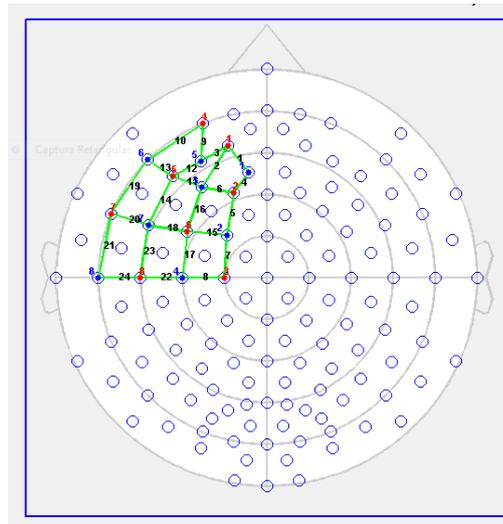


Figura 14
Geometria utilizada na disposição dos canais para o exame de espectroscopia.

Após a medição do *baseline* foram iniciadas as fases de testes. Os procedimentos adotados na sequência foram os mesmos descritos no estudo 1, com a utilização dos testes de MO e videoaulas, seguidas do TDE, com o acréscimo para este estudo, da etapa contendo a exibição do vídeo de animação infantil “Homem Aranha no Aranhaverso”. As ordens de execução das etapas da coleta foram randomizadas. Apesar da distância temporal entre a coleta do estudo 1 e do estudo 2 ter sido de seis meses, havendo com isso a possibilidade de reaplicação dos testes de MO sem a necessidade de alterações dos protocolos dos mesmos, optou-se por inverter a ordem sequencial numérica entre os testes Corsi e Dígitos para maior confiabilidade nos resultados.

Para a coleta dos dados desse experimento foram necessárias a permanência de 2 pesquisadores na sala de coleta durante todo o período de captura dos dados, sendo estes responsáveis pela aplicação dos testes, captura dos dados do fNIRS e acionamento e controle da actigrafia (figura 17). O tempo médio de coleta de cada sujeito foi de aproximadamente 1 hora.

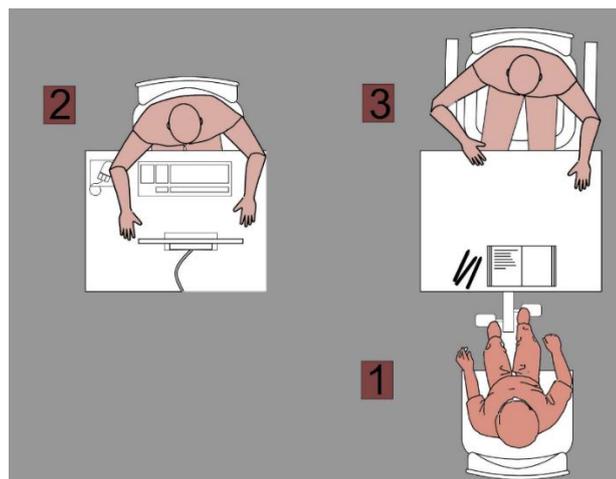


Figura 15

Cenário do Estudo 2: 1 Criança participante; 2 Pesquisador responsável pelo equipamento de fNIRS; 3 Pesquisador responsável pela aplicação dos testes e equipamento de actigrafia.

Desenho do Estudo 2

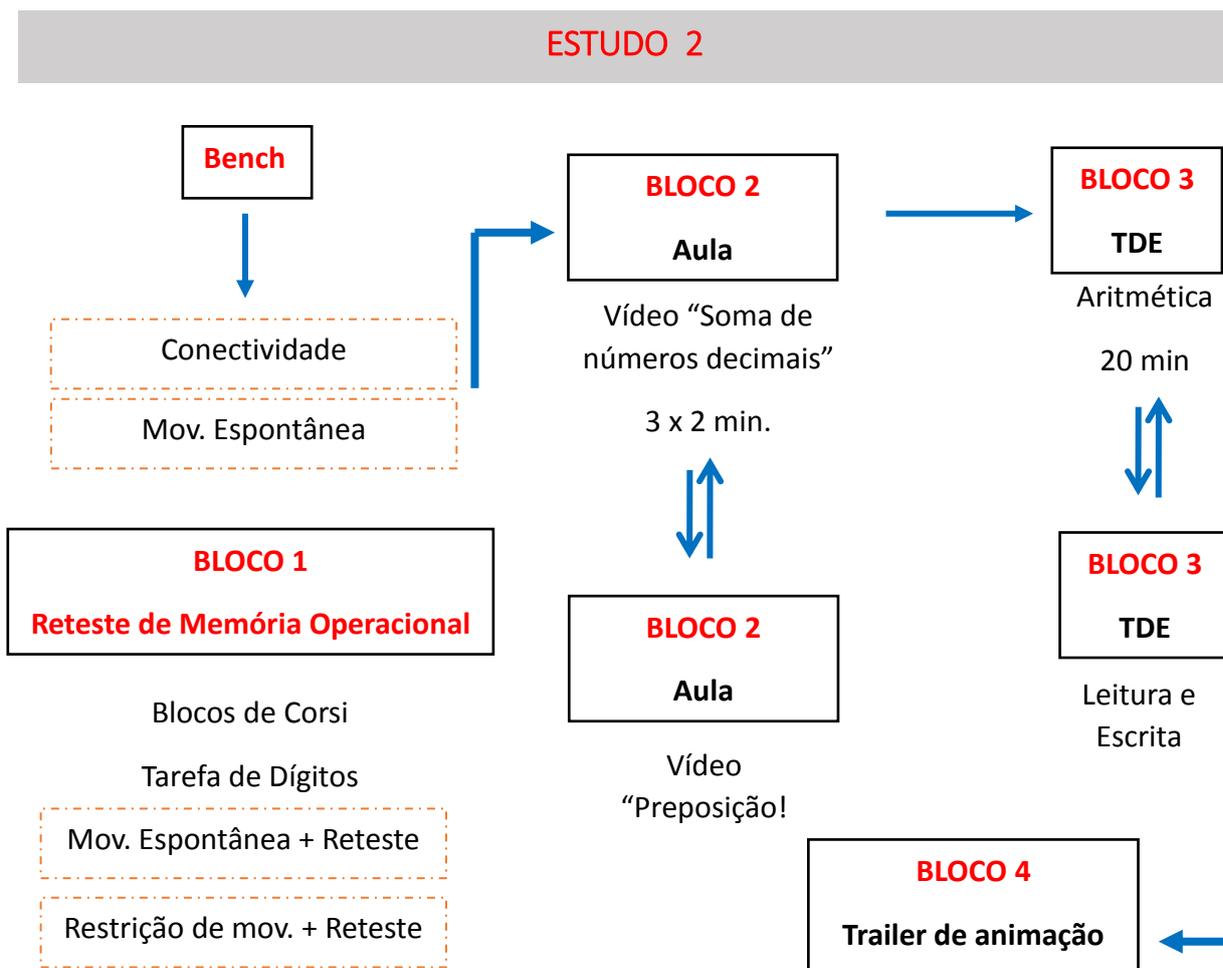


Figura 16
Designer do Estudo 2

3 x 2 min.

Durante os testes de MO as crianças passaram por condições distintas quanto à restrição ou liberdade de movimentação, em que, na ocorrência de liberdade de movimentação nos testes Blocos de Corsi, ocorria a restrição de movimentos no teste de Dígitos. A ordem dessas condições entre os participantes também foi aleatorizada.

5.8 Procedimentos para análises dos dados

5.8.1 Análise da Actigrafia

Os dados coletados pelo *Actiwatch 2* foram recuperados e analisados pelo *software Actiware* (versão 6.0.9), também desenvolvido e comercializado pela *Philips Respironics*. O programa funciona no sistema operacional *Windows* e permite a configuração e recuperação dos dados nos diversos modelos de actígrafos *Actiwatch*. Além da análise dos dados, o *software* gerencia dados, gera relatórios clínicos e gráficos personalizáveis, e é capaz de exportar os dados obtidos em formato bruto (raw data) ou processados. O *Actiware* utiliza algoritmos próprios, desenvolvidos pela *Philips Respironics*, que foram validados através da polissonografia (Respironics, 2013).

A principal medida fornecida pelo actígrafo é a contagem de atividade, um valor numérico usado para quantificar as medidas registradas pelo acelerômetro, que tem uma taxa de amostragem de 32 leituras por segundo (32Hz). Ao serem processadas, fornecem uma contagem de atividade em um dado intervalo de tempo fixo denominada época. A duração da época é previamente determinada no momento da configuração do dispositivo utilizando o *software* (Respironics, 2013).

Com a utilização do *software Actiware* os dados arquivados pelos actígrafos foram processados e posteriormente descarregados no computador. As médias da ME, de ambas as pernas, em cada tarefa ou teste foram calculadas utilizando planilhas no sistema operacional *Windows*. Os resultados finais de cada uma das crianças foram importados para o *software IBM Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* (versão 21), para análises posteriores envolvendo outras variáveis.

5.8.2 Análise do EEG

5.8.2.1 Processo de redução de sinais

Os dados coletados pelo EEG X-10 são recuperados e analisados pelo *software B-Alert X10 EEG* também da *Advanced Brain Monitoring*. O *software* combina ferramentas de processamento e análise em tempo real e *off-line*. A interface gráfica do usuário em tempo real exibe os indicadores métricos do estado cognitivo e da carga de trabalho ao longo do tempo e os mapas de calor do EEG para visualização de dados (figura 6). Os fluxos de dados de descontaminação brutos e automatizados estão disponíveis para visualização em tempo real e *off-line* (Advanced Brain Monitoring, 2009). Sua saída inclui métricas de (de 0 a 1) calculadas para cada época de 1 segundo (1Hz). Essas métricas têm utilidade comprovada no rastreamento de mudanças fásicas e tônicas nos estados cognitivos e na previsão de erros resultantes de fadiga ou sobrecarga (Stevens et al., 2007).

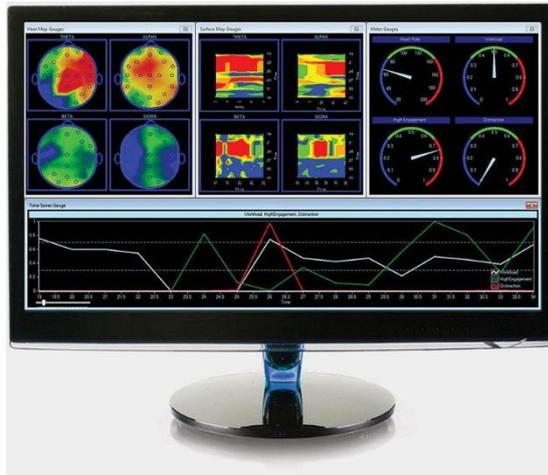


Figura 17¹⁷

Interface gráfica do *software B-Alert X10 EEG*

As métricas extraídas fornecem medidas objetivas de parâmetros de (a) esforço cognitivo (*workload*)- medida relacionada à carga de MO, raciocínio analítico, integração de informação e dificuldade mental demandadas pela tarefa e pode refletir um subconjunto de Funções executivas; e estados cognitivos, (b) índice de engajamento - relacionado a processos que envolvem coleta de informações, varredura visual e atenção; e (c) distração – medida que infere quando e quanto o sujeito está disperso em outras demandas além da requeridas na tarefas

¹⁷ [http:// www.advancedbrainmonitoring.com/xseries/x10/](http://www.advancedbrainmonitoring.com/xseries/x10/)

cognitivas de interesse, como por exemplo, ruídos do ambiente, casos de frustração, tédio ou confusão (Poythress et al., 2006). Métricas essas muito relacionadas com características do TDAH e de interesse nessa pesquisa.

Cada canal de EEG foi analisado usando técnicas de processamento de sinal que identificaram e filtraram ou excluíram épocas que contivessem artefatos (ruídos). O processo descrito a seguir foi realizado pelo *software B Alert*. Todo o registro feito pelo EEG passou por uma filtragem com uma frequência de corte de 60Hz. Após, os dados foram decompostos usando uma transformação de *wavelets* em: 0–2, 2–4, 4–8, 8–16, 16–32, 32–64 e 64–128Hz. Valores encontrados na faixa *wavelets* de 64-128 Hz foram identificados como atividade muscular excessiva (excesso de movimentação da cabeça) e foram rejeitados a partir de análises adicionais. Para a filtragem do piscar de olhos foi realizada uma análise de funções discriminantes dos valores absolutos dos coeficientes de *wavelets* de 2-4 a 32-64 Hz. Os pontos associados à piscada de olhos assim como os de controle e atividade da banda teta (4-7Hz) foram selecionados para a análise de função discriminante, uma vez que, as piscadas de olhos acontecem em frequência semelhantes à da banda teta, sendo necessário distinguir cada um desses. A região contaminada por piscadas foi substituída pela média dos coeficientes de *wavelets* de 0–2, a 4–8Hz dos dados não-contaminados próximos às regiões de piscada de olhos. Após essa filtragem, o sinal de EEG foi novamente reconstruído. Os pontos de dados associados a picos, excursões ou saturação foram recuperados da memória e substituídos por valores zero, desde o ponto anterior ao início do artefato no qual os dados cruzam o zero até o ponto posterior ao artefato no qual o zero é cruzado novamente. Por último, as potências absoluta e relativa do EEG foram calculadas, formando a densidade espectral para cada época de 1 segundo, usando uma janela sobreposta de 50%. Os valores da potência espectral foram escalados para acomodar a inserção de valores zero como substitutos dos artefatos excluídos. Para cada canal, os valores da potência espectral foram gerados a cada 1Hz bin numa frequência de 1-40Hz. O mesmo ocorreu com a da potência espectral total (Poythress, 2006; Advanced Brain Monitoring, 2009).

5.8.2.2 Extração das métricas cognitivas

Foram realizadas funções discriminantes quadráticas e funções discriminantes lineares calculadas com base nas densidades espectrais de potência absoluta e relativa de segundo a

segundo em cada época de 1 Hz bin (1-40Hz). Os dados provenientes dos canais do EEG foram relativizados pelo padrão único de cada criança, identificado através do *baseline*. A carga cognitiva - mental *workload*, foi derivada de um algoritmo de função discriminante linear de duas classes (intervalo de 0,0 a 1,0), sendo valores próximos a zero como baixo índice de *workload* e valores próximo a 1 como alto índice de *workload*. Já o índice de estado cognitivo envolvendo engajamento e distração pode ser classificado em quatro estados distintos (intervalo de 0,0 a 1,0), sendo sonolência para valor de 0,1; distração para 0,3; baixo engajamento para 0,6 e alto engajamento para 0,9 (Advanced Brain Monitoring, 2009; Berka et al, 2007; Poythress, 2006).

5.8.3 Análise da fNIRS

O dispositivo utilizado nessa pesquisa foi o *NIRSport*, instrumento desenvolvido para fins de pesquisa, fabricado e comercializado pela *Medical Technologies, LLC*. Suas características podem ser vistas na Tabela 3. O *NIRSport* é um módulo portátil, multicanal de comprimento de onda dupla (760 e 850 nm), que combina 8 fontes de LED e 8 detectores ativos leves que formam até 64 canais de dados. Possui variadas opções de tocas que possibilitam ajustes para uso em distintas populações (figura 8). Ele permite mensuração de dados topográficos, dados tomográficos e espectroscopia de todo o córtex, produzindo discriminação em 3D de neuroativação em profundidade. O *software* de Aquisição do *NIRSport* é o *NIRS X* (figura 9). O processamento dos dados é feito pelo *software NIRStar*. Os recursos do *software* disponíveis envolvem média de visualizações em bloco de vários eventos em tempo real; ativação mostrada em telas 2D, 3D e MNI; inclui *software* de apresentação embutido: *NIRStim*; diagnóstico de *hardware* automatizado; BCI / *Neurofeedback* - processamento em tempo real; criação e carregamento de configurações de sensores flexíveis; monitoramento *on-line* da qualidade do sinal; registro 3D da posição do sensor óptico; padrão de fonte de iluminação programável; *hyperscanning*: experimentos com vários sujeitos; fácil exportação para *nirsLAB* e formato de dados aberto (Medical Technologies LLC, 2015).

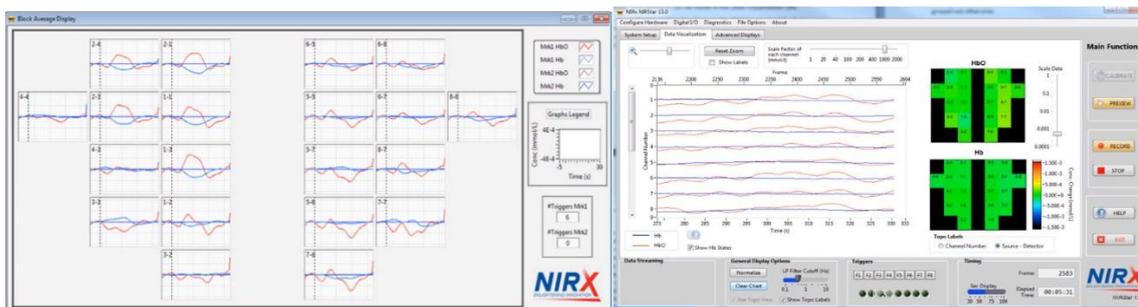


Figura 18¹⁸

Exemplos da aquisição dos dados do *NIRSport* via *NIRX*.

5.8.3.1 Pré-processamento dos dados

A leitura da variação da atenuação luminosa foi realizada obtendo-se dados específicos de cada canal, com seus coeficientes e ganhos individuais. Houve a utilização de filtros entre 0,003 Hz e 0,5 Hz, com a finalidade de eliminar interferências no sinal óptico de origem fisiológica, principalmente respiração e batimentos cardíacos e artefatos gerados por agitação excessiva da cabeça. As concentrações hemodinâmicas foram calculadas a partir da intensidade medida usando a lei de Beer-Lambert modificada (Lima & Backer, 2011), baseada no método de medição da atenuação da luz, pelo efeito da influência das propriedades dos diferentes materiais, no meio em que a luz atravessa. Após, análises individuais foram conduzidas e a resposta hemodinâmica média, assim como, as regiões de interesse ativadas por meio do aumento da HbO foram identificadas.

5.8.3.2 Teste estatístico dos dados fNIRS

O módulo de Análise de Dados do NIRSLab utiliza funções presentes no pacote *freeware* SPM (Statistical Parametric Mapping), que fornecem a possibilidade de gerar estatísticas de séries temporais de estado hemodinâmico. A primeira etapa consistiu na análise intra sujeito (teste nível 1) e a segunda inter sujeitos (teste nível 2). Dados dos 15 participantes nas condições conectividade, movimentação espontânea, corsi direto, corsi inverso, dígitos direto, dígitos inverso, vídeo aula e trailer foram obtidos em quantidades de frames variados,

¹⁸ *Medical Technologies LLC, guia NIRSport, 2015*

em conformidade ao tempo gasto em cada uma das condições. Comparações entre os níveis hemodinâmicos foram realizadas entre as condições: 1) conectividade e movimentação espontânea; 2) corsi direto com liberdade de movimentação e corsi direto com restrição de movimento; 3) corsi inverso com liberdade de movimentação e corsi inverso com restrição de movimento; 4) dígitos direto com liberdade de movimentação e dígitos direto com restrição de movimento; 5) dígitos inverso com liberdade de movimentação e dígitos inverso com restrição de movimento; 6) vídeo aula matemática e trailer de animação e 7) vídeo aula português e trailer de animação.

5.9 Análise estatística

Para a caracterização da amostra realizou-se uma análise descritiva dos dados com a média, como medida de tendência central e o desvio padrão, como medida de dispersão. A análise de normalidade foi realizada pelo teste de Shapiro-Wilk. Os dados classificados como *outliers* foram examinados para identificação de erros de digitação e outros possíveis problemas. As variáveis que não apresentaram distribuição normal foram tratadas com função logarítmica, logarítmica (dados +1), raiz quadrada e raiz quadrada (dados +1).

Uma análise fatorial exploratória foi conduzida na tentativa de agrupamento das medidas de memória operacional em um número menor de fatores latentes. A carga fatorial assumida foi de 0,75 em razão do tamanho da amostra (Fávero et al., 2009).

Correlações de Pearson (para variáveis paramétricas) e Spearman (para variáveis não paramétricas) foram realizadas para avaliar a relação entre o nível de movimentação espontânea, métricas cognitivas (esforço cognitivo, engajamento e distração), escores dos testes de memória operacional (corsi direto e inverso e dígitos direto e inverso) e escores do TDE (leitura, escrita e aritmética). Nesse modelo, os coeficientes padronizados considerados como variáveis dependentes (Y) foram: 1) Produto; 2) Esforço cognitivo; 3) Engajamento e 4) Distração. Os níveis de movimentação espontânea foram considerados as variáveis independentes (X). Cada teste foi considerado como uma condição, totalizando sete condições distintas. O nível de significância adotado foi de 25% para a seleção das variáveis que seriam conduzidas a regressões lineares simples. O *software IBM Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) (versão 21) foi o escolhido para as análises.

Análises subsequentes com a subdivisão da amostra em conformidade com a apresentação clínica do TDAH avaliando a relação entre a movimentação espontânea e a memória operacional foram realizadas utilizando o modelo linear multinível. A descrição detalhada dessa análise pode ser vista no Artigo 1.

A relação entre a movimentação espontânea e a hemodinâmica cerebral nos córtex pré-frontal e motor foram realizadas utilizando os mesmos procedimentos descritos nas análises envolvendo as métricas cognitivas, acrescidos das estatísticas de séries temporais do estado hemodinâmico - fornecidas através do pacote freeware SPM (Statistical Parametric Mapping) do NIRSlab, e da conversão dos dados em z-score (Van Den Berg et al., 2016), em que individualmente, cada ponto da série temporal, de cada canal, em cada condição, foi subtraído pela média da série temporal de todos os canais, em cada condição e dividido pelo desvio padrão da série temporal de todos os canais, em cada condição, como indicado na seguinte equação:

$$Z_{c,t}^{(i)} = \frac{S_{ct}^{(i)} - \mu_{ct}}{\sigma_{ct}}$$

Em que, $S_{ct}^{(i)}$ é o valor individual do ponto na série temporal, μ_{ct} a média individual da série temporal de todos os canais em uma determinada condição e σ_{ct} o desvio padrão individual da série temporal de todos os canais em uma determinada condição (Röhrich et al., 2018). Posteriormente, a média da série temporal do z-score foi obtida para as análises de regressão.

6 Resultados

6.1 Estudo – 1

Participaram da pesquisa 25 crianças (17 meninos e 8 meninas), em idade de 08 a 12 anos (M idade = 9.56, DP = 0.86). A caracterização da amostra está apresentada no Apêndice C. Os escores individuais de cada uma das crianças nos testes de MO e TDE estão apresentados no Apêndice D. Os escores individuais da ME em cada um dos testes / tarefas estão apresentados no Apêndice E. Os escores individuais de esforço cognitivo, engajamento e distração em cada teste / tarefa estão apresentados no Apêndice F.

6.1.1 Análise descritiva das medidas nos testes, movimentação espontânea e métricas cognitivas

As médias e os desvios-padrão da média dos participantes nos produtos dos testes de MO e TDE e nas ME ocorridas durante cada teste são apresentados na tabela 4.

Teste	Média e desvio-padrão dos Produtos	Média e desvio-padrão da Movimentação Espontânea
Corsi Direto	32,72 ± 14,50	30,73 ± 41,57
Corsi Inverso	27,52 ± 14,31	30,20 ± 31,83
Dígitos Direto	40,84 ± 22,39	55,06 ± 48,22
Dígitos Inverso	10,24 ± 5,93	53,36 ± 58,58
TDE Leitura	51,00 ± 20,59	72,08 ± 56,08
TDE Escrita	20,36 ± 11,63	35,57 ± 33,68
TDE Aritmética	16,82 ± 6,52	10,60 ± 18,31

Tabela 4
Médias e desvios-padrão dos testes de MO (Corsi Direto e Inverso e Dígitos Direto e Inverso), TDE (Leitura, Escrita e Aritmética) e MO.

As médias e os desvios-padrão da média dos escores de esforço cognitivo, engajamento e distração dos participantes em cada um dos testes são apresentados na tabela 5.

Teste	Média e desvio-padrão dos escores das métricas cognitivas		
	Esforço cognitivo	Engajamento	Distração
Corsi Direto	0,51 ± 0,11	0,63 ± 0,12	0,24 ± 0,23
Corsi Inverso	0,53 ± 0,12	0,63 ± 0,12	0,23 ± 0,21
Dígitos Direto	0,50 ± 0,12	0,63 ± 0,12	0,26 ± 0,22
Dígitos Inverso	0,51 ± 0,11	0,61 ± 0,13	0,28 ± 0,23
TDE Leitura	0,48 ± 0,13	0,61 ± 0,13	0,24 ± 0,23
TDE Escrita	0,50 ± 0,13	0,59 ± 0,13	0,29 ± 0,23
TDE Aritmética	0,56 ± 0,09	0,64 ± 0,11	0,21 ± 0,19

Tabela 5

Médias e desvios-padrão dos escores de esforço cognitivo, engajamento e distração durante a realização dos testes de MO (Corsi Direto e Inverso e Dígitos Direto e Inverso) e TDE (Leitura, Escrita e Aritmética).

6.1.2 Análise da normalidade dos dados e transformações

O teste Kolmogorov-Smirnov indicou que nas condições Corsi Direto, Corsi Inverso, Dígitos Direto, TDE Leitura e TDE Aritmética algumas variáveis apresentaram distribuição normal ($p > 0,05$) enquanto outras não. Foram realizadas tentativas de normalização através de transformações logarítmica, logarítmica (dados +1), raiz quadrada e raiz quadrada (dados +1). Todas as variáveis apresentaram distribuição normal em dada transformação, entretanto sem que uma mesma transformação fosse capaz de normalizar a distribuição de todas as variáveis de uma mesma condição. Por este motivo, em tais condições o teste de Spearman foi definido para as análises de correlação. Na condição Dígitos Inverso as variáveis esforço cognitivo e engajamento apresentaram distribuição normal e movimentação espontânea, produto e distração foram normalizadas com raiz quadrada. Na condição TDE Escrita todas as variáveis apresentaram distribuição normal. Em ambas condições o teste de Pearson foi adotado para as análises de correlação.

6.1.3 Análise fatorial exploratória para redução das variáveis relacionadas à memória operacional

Os pressupostos da amostra para realização da análise fatorial, com valor do teste de Kaiser-Meyer-Olkin de 0,56 e teste de esfericidade de Bartlett significante ($p < 0,001$) foram preenchidos. Foi estabelecido valor mínimo de carga fatorial de 0,75 para aceitação de uma

variável dentro de um dos fatores gerados e uma comunalidade de no mínimo 0,50. Os resultados referentes à comunalidades podem ser vistos na tabela 6 e os valores da matriz de carga fatorial na tabela 7.

Variáveis	Comunalidades
Corsi Direto	0,719*
Corsi Inverso	0,636*
Dígitos Direto	0,236
Dígitos Inverso	0,743*

Tabela 6
Análise fatorial - Comunalidades
Nota: * = Comunalidade acima de 0,50

A análise da matriz de cargas fatoriais indicou apenas um fator independente.

Variáveis	Fator
Corsi Direto	0,848*
Corsi Inverso	0,797*
Dígitos Direto	0,486
Dígitos Inverso	0,862*

Tabela 7
Matriz de cargas fatoriais
Nota: * = Cargas fatoriais acima de 0,75

A variável Dígitos Direto apresentou carga fatorial inferior 0,75, não sendo possível o agrupamento das variáveis de memória operacional em um único fator.

6.1.4 Análise de correlação para seleção de variáveis

Análises de correlação entre a movimentação espontânea e as variáveis de memória operacional, TDE e métricas cognitivas podem ser vistas na tabela 8. O critério de 25% foi adotado para definição das variáveis a serem introduzidas no modelo de regressão.

		Movimentação Espontânea	
		Coefficiente de correlação	P-valor
Corsi Direto	Produto	-0,05	0,80
	Esforço cognitivo	-0,30	0,14
	Engajamento	-0,18	0,40
	Distração	0,20	0,33
Corsi Inverso	Produto	-0,42	0,03*
	Esforço cognitivo	-0,25	0,22
	Engajamento	-0,07	0,72
	Distração	0,02	0,93
Dígitos Direto	Produto	0,15	0,46
	Esforço cognitivo	-0,27	0,20
	Engajamento	-0,28	0,18
	Distração	0,32	0,12
Dígitos Inverso	Produto	-0,09	0,68
	Esforço cognitivo	0,62	1,00
	Engajamento	-0,09	0,65
	Distração	-0,10	0,62
TDE Leitura	Produto	-0,08	0,78
	Esforço cognitivo	-0,32	0,27
	Engajamento	-0,12	0,69
	Distração	-0,33	0,24
TDE Escrita	Produto	0,09	0,75
	Esforço cognitivo	-0,18	0,55
	Engajamento	-0,08	0,79
	Distração	-0,22	0,45
TDE Aritmética	Produto	0,07	0,83
	Esforço cognitivo	-0,39	0,26
	Engajamento	-0,70	0,03*
	Distração	0,46	0,18

Tabela 8

Correlação para seleção de variáveis

Nota: * Correlação que atingiu o valor de significância mínimo de 25%. Nas condições Dígitos Inverso e TDE Escrita o teste realizado foi de Pearson. Nas demais, foi realizado teste de Sperman.

As análises de correlação indicaram associação entre a movimentação espontânea e o esforço cognitivo em 6 das 7 condições (86%), com o valor de significância definido de 25%, sendo eles: Corsi Direto, Corsi Inverso, Dígitos Direto, Dígitos Inverso, TDE Leitura e TDE Aritmética. Também houve associação entre a movimentação espontânea e o produto na condição Corsi Inverso; engajamento na condição Dígitos Direto; distração na condição TDE Leitura; engajamento e distração na condição TDE Aritmética. Um dos pressupostos para a regressão linear é de haver número amostral mínimo de 10 sujeitos para cada variável independente. Como na condição TDE Aritmética não se atendia a essa demanda, número amostral igual a 9, tais variáveis foram excluídas das análises de regressão linear.

6.1.5 Análise de regressão linear

Os pré-requisitos de número amostral, valores independentes e relação linear entre a variável independente e as dependentes e resíduos independentes foram atingidos.

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea não prevê o esforço cognitivo durante a realização do Corsi Direto [$F(1,23) = 3,029$, $p = 0,1$; $R^2 = 0,10$].

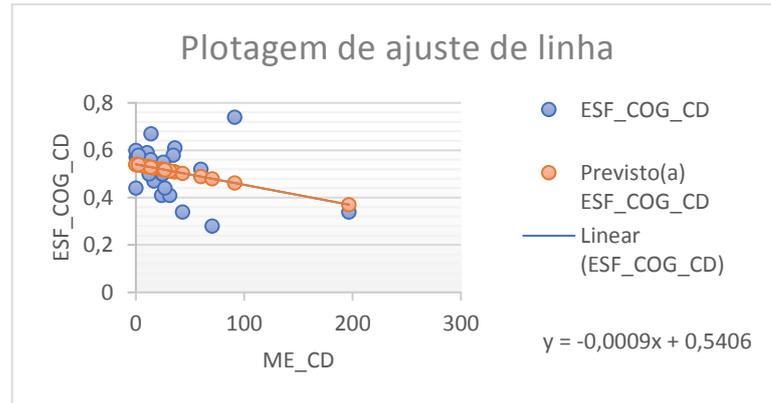


Gráfico 1
Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição corsi direto

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea não prevê o esforço cognitivo durante a realização do Corsi Inverso [$F(1,23) = 0,167$, $p = 0,7$; $R^2 = 0,01$].

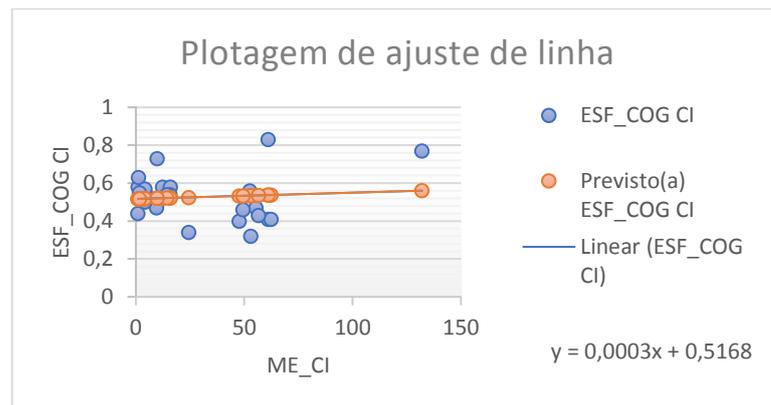


Gráfico 2
Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição corsi inverso

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea não prevê o esforço cognitivo durante a realização do Dígitos Direto [$F(1,23) = 0,517$, $p = 0,5$; $R^2 = 0,02$].

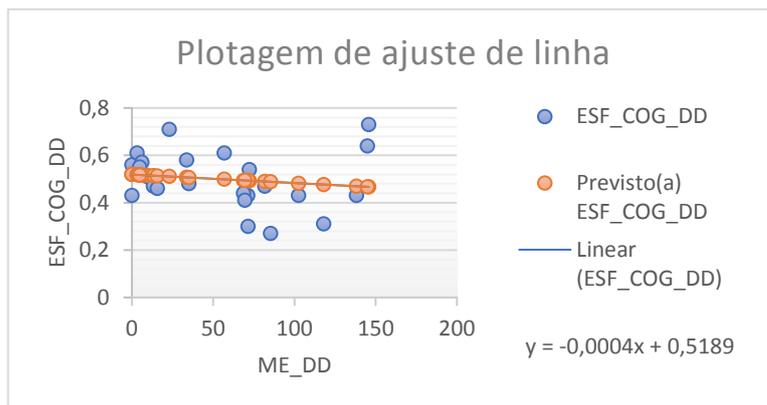


Gráfico 3
Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição dígitos direto

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea não prevê o esforço cognitivo durante a realização do Dígitos Inverso [F(1,23) = 0,000, p = 1,0; R² = 0,00].

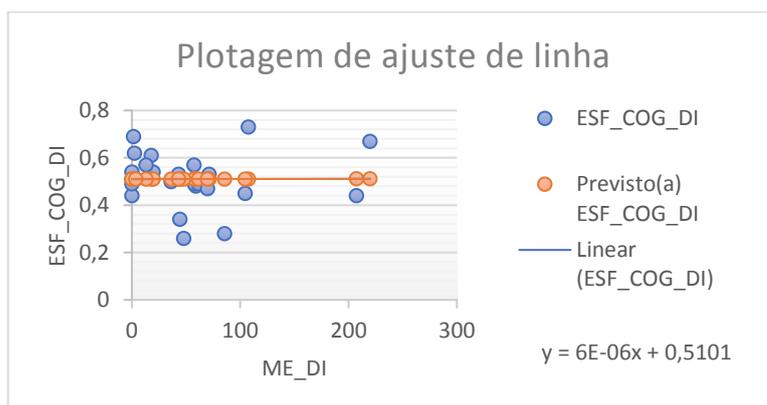


Gráfico 4
Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição dígitos inverso

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea não prevê o esforço cognitivo durante a realização do TDE Leitura [F(1,12) = 1,176, p = 0,3; R² = 0,09].

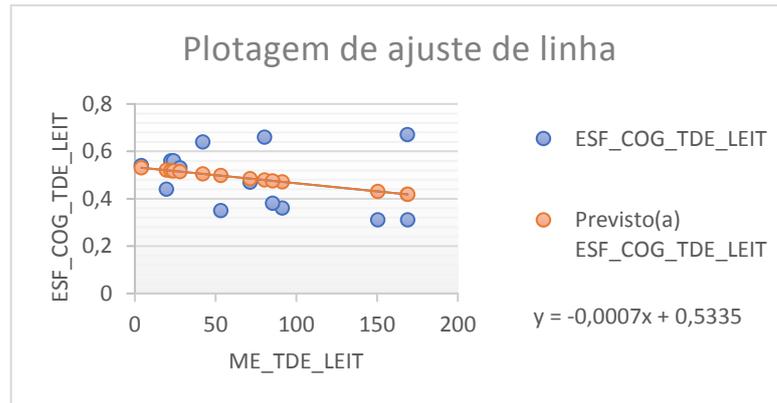


Gráfico 5
Movimentação espontânea e esforço cognitivo na condição TDE Leitura

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea não prevê o produto durante a realização do Corsi Inverso [$F(1,23) = 2,199$, $p = 0,2$; $R^2 = 0,09$].

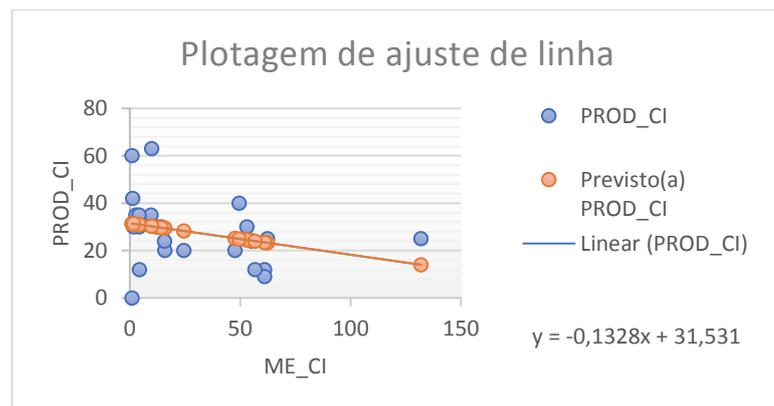


Gráfico 6
Movimentação espontânea e produto na condição corsi inverso

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea não prevê o engajamento durante a realização do Dígitos Direto [$F(1,23) = 0,859$, $p = 0,4$; $R^2 = 0,36$].

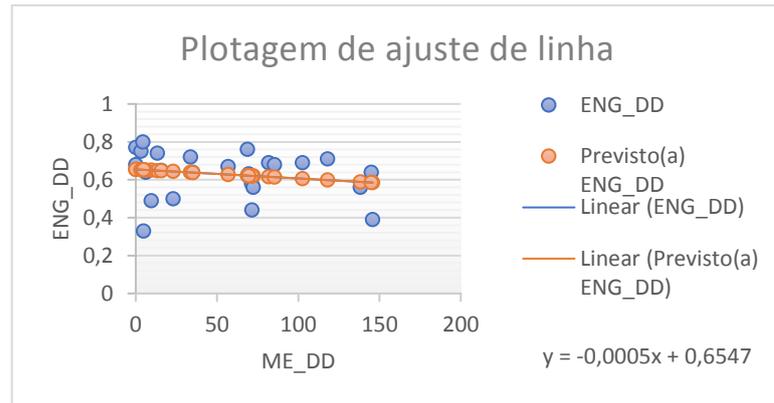


Gráfico 7
 Movimentação espontânea e engajamento na condição dígitos direto

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea não prevê a distração durante a realização do TDE Leitura [$F(1,12) = 1,238, p = 0,3; R^2 = 0,09$].

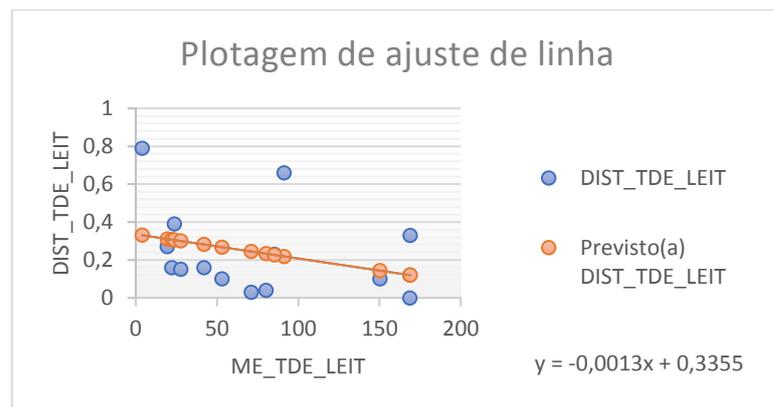


Gráfico 8
 Movimentação espontânea e distração na condição TDE Leitura

6.2 Artigo Original

The relationship between spontaneous movement and working memory in different clinical presentations of Attention Deficit Hyperactivity Disorder

The Attention Deficit and Hyperactivity Disorder (ADHD) is one the most frequent neurodevelopmental disorders in childhood, affecting 5.9 to 7.2% of children and adolescents, depending on the source of information for the diagnosis (Polanczyk et al., 2007; Sharp et al., 2009; Willcutt, 2012; Thomas et al., 2015). The core ADHD symptoms involve inattentive, hyperactive-impulsive, and combined (Tzang & Chang, 2009). ADHD significantly influences several domains such as cognitive, social and motor functions. ADHD is a risk factor for low academic performance, being associated with difficulties in finishing studies, higher indices of repentance, more frequent school changes, and higher levels of school dropout (Barkley, 1997).

The ADHD behavioral problems are associated with neuropsychological deficits involving different domains such as decision making, impulse control, inattentiveness, and insensitivity to dysfunctional behavior consequences (Diamond, 2000, Castenau er al., 2007, Cantin et al., 2007). Deficits in autoregulation and allocation of energy and effort create barriers to promote effective learning. Difficulties in working memory entail problems with comprehension and problem solutions, negatively implicating in reading, writing, and mathematical reasoning (Ciasca & Moraes, 2012). Some theoretical models emphasize hyperactivity as one of the main links that relates working memory performance with the ADHD symptoms.

Rapport et al. (2001, 2008), based on the working memory model proposed by Baddeley (1996), developed a model of deficits in working memory. Working memory is described as a set of memory processes used to construct, maintain, and manipulate cognitive representations of incoming stimuli. Working memory plays a pivotal role in (a) organizing behavior, generating and maintaining input stimuli representations; (b) searching memory traces for matches thereto; and (c) accessing and maintaining representations of behavioral responses appropriate to input stimuli. Disruption of these working memory processes results in disorganized or dysfunctional responses to environmental stimuli.

The working memory model postulates that increased movement rate is associated with increased demand of working memory processes. The attempt to maintain a satisfactory performance on the task is sustained by increased arousal (Rapport et al., 2008). Children with ADHD must compensate

for the chronic cortical under-arousal because of the prefrontal area hypo-activation (Dickstein et al., 2006). Therefore, an increased rate of movement compensates for the low level of cortical activation, consequently increasing arousal and task performance. In this sense, movement overflow (excessive muscular activity) in children with ADHD has been understood as a compensatory mechanism that facilitates neurocognitive functioning (Sarver et al., 2015).

Rapport et al. (2009) and Sarver et al. (2015) found a significant relationship between performance in cognitive tasks and motor activity. Higher rates of gross movements were positively associated with phonological working memory performance in children with ADHD (Sarver et al., 2015). ADHD children with higher rates of motor activity were those with better scores in cognitive tests (Rapport et al., 2009). Vogt et al. (2018) found that children with difficulties in alerting functions (inattentive children) showed significant increased motor activity during a continuous performance task. Hartanto et al. (2016) showed that more intense movements are associated with better performance in ADHD children, but not in children with typical development. Moreover, ADHD children demonstrated more intense motor activity than the control group during correct (but not erroneous) trials. Overall, these findings suggest that the higher rates and intensities of motor activity observed in ADHD when performing cognitive tasks reflect compensatory efforts to modulate attention and alertness.

Studies examining the relationship of working memory performance, motor activity and cortical activation in children with ADHD are needed to further explain the complex interplay involving these processes (Rapport et al., 2009). An interesting way of investigating the use of cognitive resources during task performance is the analysis of mental workload (Lelis-Torres et al., 2017). Mental workload is defined as a finite mental resource used to perform a task under specific operational conditions (Jiang et al., 2015). Perceptual, cognitive, and motor loads affect the level of mental workload (Wickens et al. 2008). If ADHD children increase their motor activity in order to improve working memory function, it is expected that mental workload will increase more when children produce movements than in conditions without motor activity. Our first hypothesis is that increased motor activity induces a greater mental workload and, consequently, better working memory performance.

Since the clinical symptoms are differentiated by diverse behaviors (Tzang & Chang, 2009), one would expect distinguished relationships of working memory performance and motor activity in children with inattentive, hyperactive-impulsive or combined symptoms. For example, it is possible that inattentive symptom could be better benefited by spontaneous movements than hyperactive symptom. Although little research has investigated ADHD subtype differences across working memory components, some evidences has shown that working memory deficits are more pronounced in inattention dimension

than hyperactivity-impulsivity dimension (Willcutt et al., 2005). Thus, differentiated analyses of each ADHD clinical symptoms can reveal some specificities in the relationship between working memory performance and motor activity

Beyond the basic neurophysiological findings, this type of study provides support for incorporating techniques into learning environments, such as classrooms, promoting improved working memory performance of ADHD children. Facilitating the emergence of motor activity in classroom may enhance learning via working memory improvements. This motor activity should be spontaneous, a naturally produced movement of ADHD children resulting from an intrinsic necessity of central nervous system stimulation. The potential of physical activity to support self-regulated learning in classroom has encouraged the implementation of stationary bicycles school desks across Canada and United States of America (Mueller et al., 2017). Positive testimonials suggest that their use by students has positive outcomes (Senick, 2017), but empirical evidence supporting the efficacy of this pedagogical practice is lacking (Mueller et al., 2017). We adopted in the present study a stationary bicycle school desk for children executing working memory tests with the possibility of generating spontaneous movement when engaged in task performance.

METHOD

Participants

This study included 25 children, aged 8 to 12 years (17 men, 8 women, age $M = 9.6$, $SD = 0.86$), diagnosed with ADHD by the clinic of the Research Center for Impulsivity and Attention (NITIDA) Hospital das Clínicas, Federal University of Minas Gerais (UFMG). Children were grouped according to the clinical presentation, with Inattentive Group 10 (7 men, 3 women, age $M = 10$, $SD = 0.81$), Hyperactive Group 6 (5 men, 1 women, age $M = 9.3$, $SD = 1.03$) and Combined group 9 (5 men, 4 women, age $M = 9.4$ $SD = 0.53$). This study included children diagnosed with ADHD and associated comorbidities. Children with a history of traumatic brain injury with loss of consciousness, epilepsy or seizures or neurological disorders.

Sample Characterization

	Voluntary	Age	Sex	School year	Intelligence (Percentile)	Diagnosis with clinical presentation
Inattentive Group	1	10	M	6 ^o	60	ADHD - I (I-8 / 0-H)
	2	11	M	7 ^o	99	ADHD - I (I-8 / 0-H)
	3	9	M	5 ^o	95	ADHD - I (I-9 / H-5)
	4	10	W	6 ^o	25	ADHD - I (I-9 / H-3)
	5	10	M	6 ^o	5	ADHD - I (I-6 / H-2)
	6	10	M	5 ^o	50	ADHD - I (I-9 / H-4)
	7	11	M	6 ^o	99	ADHD - I (I-7 / H-3)
	8	9	W	5 ^o	37	ADHD - I (I-9 / H-5)
	9	9	M	4 ^o	50	ADHD - I (I-8 / H-3)
	10	11	W	6 ^o	37	ADHD - I (I-8 / H-4)
Hyperactive Group	1	8	M	3 ^o	84	ADHD - H (I-4/H-8)
	2	10	W	5 ^o	40	ADHD - H (I-5 / H-8)
	3	10	M	5 ^o	30	ADHD - H (I-0 / H-8)
	4	10	M	6 ^o	30	ADHD - H (I-4 / H-6)
	5	8	M	3 ^o	40	ADHD - H (I-1 / H-8)
	6	10	M	4 ^o	50	ADHD - H (I-1/H-6)
Combined Group	1	9	M	4 ^o	60	ADHD - C (I-6 / H-6)
	2	10	W	6 ^o	84	ADHD - C (I-9 / H-9)
	3	10	M	5 ^o	95	ADHD - C (I-7 / H-7)
	4	9	W	5 ^o	95	ADHD - C (I-9 / H-9)
	5	10	W	6 ^o	40	ADHD - C (I-8 / H-8)
	6	9	M	5 ^o	50	ADHD - C (I-9 / H-8)
	7	9	M	4 ^o	5	ADHD - C (I-9 / H-6)
	8	9	W	4 ^o	60	ADHD - C (I-9 / H-9)
	9	10	M	6 ^o	95	ADHD - C (I-7 / H-9)

Table 1 - sample characterization

Instruments and procedures

Apparatus

We used a Dell laptop (model Optiplex 3010), a ten-channel B-Alert X10 sensor headset (Advanced Brain Monitoring Inc., Carlsbad, CA, USA) and the B-Alert software (Advanced Brain Monitoring Inc., Carlsbad, CA, USA) to acquire, process, and analyze the electroencephalography (EEG) data. Two actigraphy devices (model Actiwatch 2, Philips Respironics) with a capture frequency of 32 Hz, equipped with a triaxial accelerometer and an event trigger button were used to register the children's spontaneous movements. The Actiware software (6.0.9 version, Philips Respironics) was used to retrieve and analyze the actigraphy data. An adjustable cycloergometer school desk designed specifically to this study was used during the performance of the working-memory tests.

Neuropsychological tests

We used two neuropsychological tests. To assess verbal working-memory performance, we used the forward and backward WISC-III digit span tasks, while we used the forward and backward Corsi block-tapping task to assess visuospatial working-memory performance.

The WISC-III digit span task is composed of eight forward series and seven backward series, with a gradually increasing number of digits in each series. Each series has two distinct trials, with the same number of digits. In the forward test, the child must repeat the sequence of numbers in the same order as the experimenter. In the backward test, the child must repeat the numbers in the exact inverse order as the experimenter. The task finishes when the child makes a mistake in both trials of a series.

The Corsi block-tapping task uses a square base with nine wooden blocks numbered from 1 to 9, with a random distribution, and numbered only in the experimenter side. In this task, the experimenter touches a set of blocks in a predetermined order, and immediately after the end of the sequence the child must repeat the sequence in the same order (forward test) or in the exact inverse order (backward test). The task has nine series, with two distinct same-length trials each. The number of blocks touched gradually increases in each new series. The task finishes when the child makes a mistake in both trials of a series.

All procedures of data gathering occurred within the facilities of Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (Gedam) in the School of Physical Education, Physiotherapy and Occupational Therapy from UFMG. Before signing written informed consent, the children's parents or guardians were notified about the objectives of our research, and we provided detailed explanation of

all procedures adopted. Children also signed written informed consent in which language was adapted to their full comprehension. Afterward, children were individually conducted into the lab's room. We familiarized children with the room where the tests were performed so they were comfortable with space and equipment before starting the study procedures. The actigraphy devices, shaped like wristwatches, were positioned around both the children's ankles. Later, child sit onto the cicloergometer, and we placed the EEG device onto the child's head. Nine electrodes were placed on the scalp according to the international 10-20 system of EEG. Three (F3, Fz, F4) were positioned over the pre-frontal cerebral area, associated with executive function and planning, three (C3, Cz, C4) were positioned over the motor and somatosensory region, while the other three (P3, POz, P4) were placed over the parietal area, associated with attention and sensory integration. After positioning the device, we connected it and evaluated the impedance via B-Alert software. After assuring the high-quality of signals, we initialized data acquisition.

Children performed initially three standard cognitive tasks (approximately 3 min each) used by the B-Alert software to acquire baseline data, an individualized EEG profile required for the index of cognitive state (workload metrics). The first is a 3-Choice Vigilance Task, which consists on correctly pressing the right and left arrows of a keyboard as soon as one of the three stimuli appeared on the screen. The triangle (most occurrent stimulus) matched the left arrow, while both the reversed triangle and the diamond matched the right arrow. The interval in-between stimuli ranged from 1,5 to 10 seconds, with smaller intervals at the beginning of practice (demanding a greater alertness state) and larger at the end of practice (identifying sleepiness) (BERKA et al., 2007). The second is a Visual Psychomotor Vigilance Task, in which child must press the space bar on the keyboard together with the appearing of the stimulus on the screen (big red circle). The 2 s interval in-between stimuli are maintained throughout the task. The third and last task required by the software is an Auditory Psychomotor Vigilance Task, which differs from the second task only regarding the nature of the presented stimulus. Instead of a visual stimulus, children must coordinate their movements with a sound. They performed this whole task with closed-eyes.

After acquiring the baseline data, the pedals of the desk were unlocked allowing spontaneous movement, and we started the working-memory tests. The order of test presentation was counterbalanced across participants. For each one of the two neuropsychological tests, the forward condition was always performed before the backward condition, which was administered independently of the performance of the child in the forward condition. We marked the beginning and end of each task by pressing the trigger button in the Actigraphy device and by pressing the start/stop button of the B-Alert software immediately before and after the start and finish, respectively, of each task.

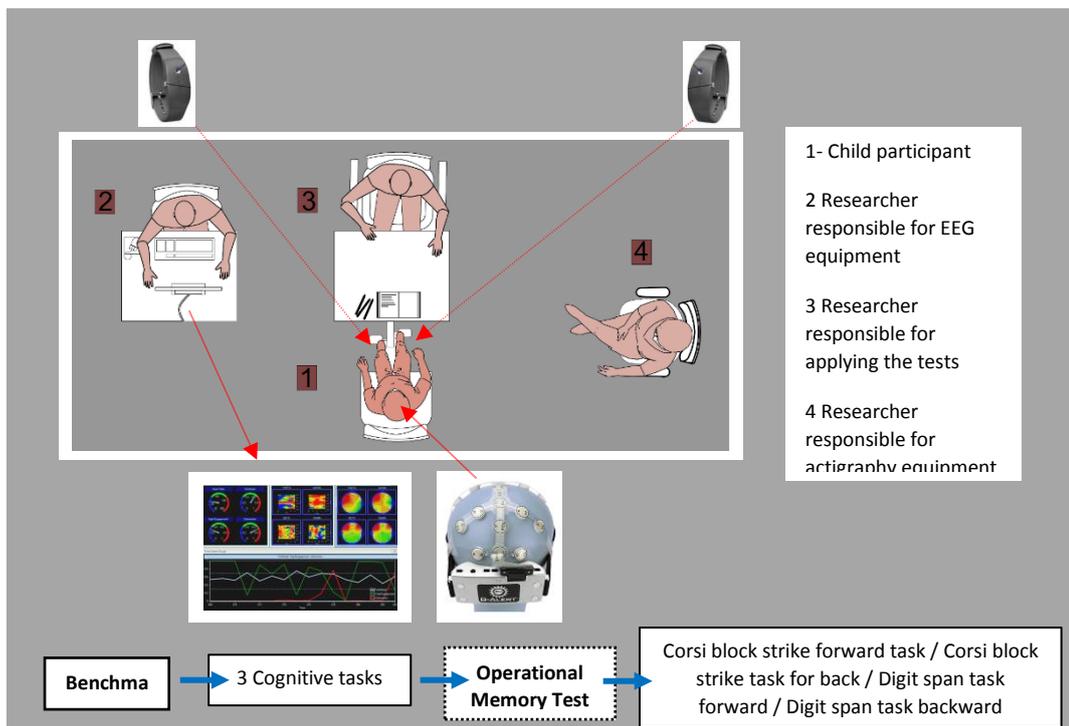


Figure 1 - Design of the experiment

Measures

Spontaneous movement levels were considered as independent variables (X). The standardized coefficients considered as dependent variables (Y) were: 1) Product; 2) Mental workload and 3) Engagement. The period of performance of each Working Memory test (WM) was considered a condition, totaling 4 different conditions: Corsi block strike forward task; Corsi block strike task for back, Digit span task forward; and Digit span task backward.

Statistical Analysis

For the characterization of the sample, a descriptive analysis of the data was performed with the mean, as a measure of central tendency and the standard deviation, as a measure of dispersion. The normality analysis was performed using the Shapiro-Wilk test. The data classified as outliers were examined for typing errors and other possible problems.

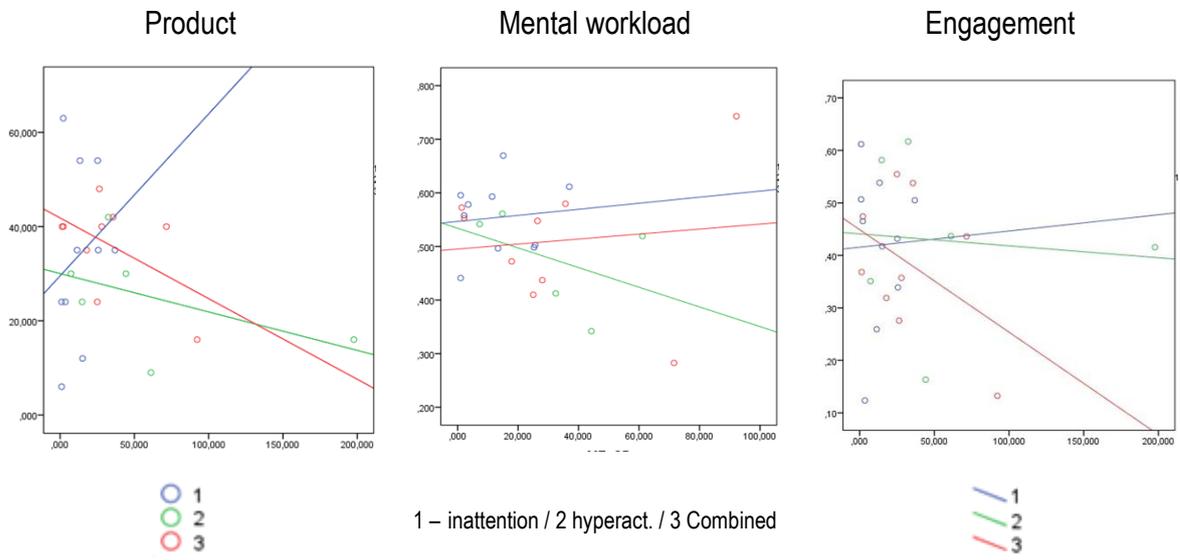
The Multilevel Linear Model (MLM) was used considering the occurrence of predictor variables at different hierarchical levels contemplated within a grouping. In this study, the hierarchical levels adopted

were: level 1 - ADHD; level 2 - clinical presentations (inattentive, hyperactive, combined); level 3 - the relationship between Spontaneous Movement (SM) and Work Memory (WM). In this sense, when using MLM to analyze the relationships between SM and WM in ADHD. It was assumed that clinical presentations interfere in different ways in the results of each test.

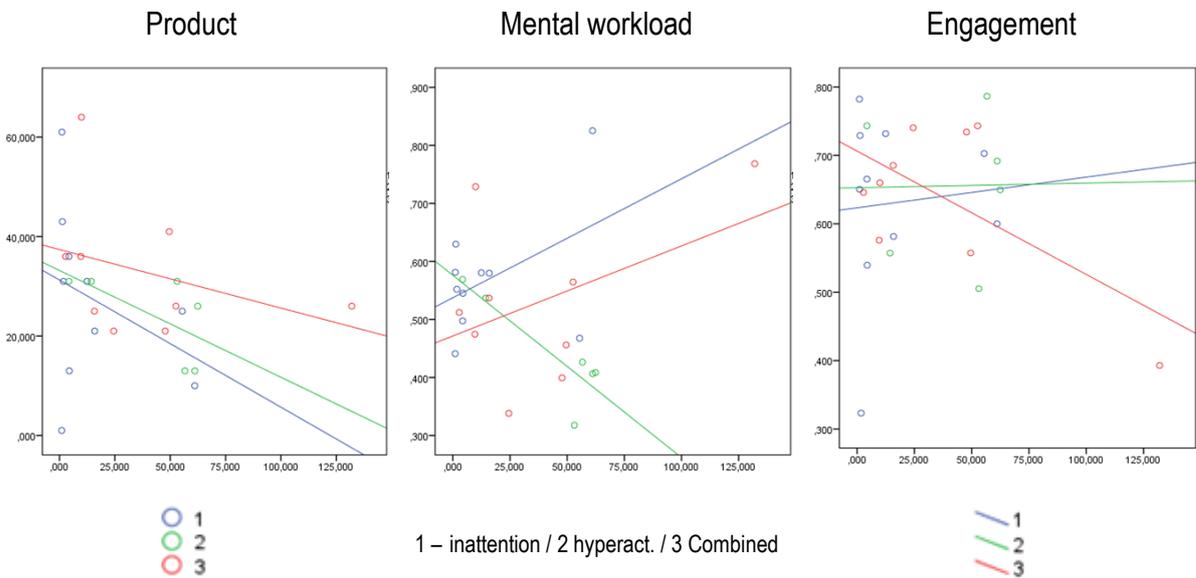
Results

	Resid. SIG	Number. <i>Df</i>	Denom. <i>df</i>	F	Sig. Test Type III	R ² inattention	R ² hyperact.	R ² Combined
CF_SM_Prod	0,971	1	25	2,400	0,134	+ 0,053	- 0,244	- 0,272
CF_SM_Work	0,354	1	25	3,374	0,078	+ 0,010	- 0,181	+ 0,012
CF_SM_Eng*	0,323	1	0,908	0,447	0,634	+7,029E-4	+0,009	+0,194
CB_SM_Prod	0,394	1	25	2,389	0,135	-0,114	-0,388	-0,119
CB_SM_Work	0,695	1	3,939	0,074	0,800	+0,194	-0,756	+0,192
CB_SM_Eng	0,066	1	25	1,143	0,295	+0,006	-2,570E-4	-0,400
DF_SM_Prod	0,193	1	25	0,204	0,655	+1,079E-4	+0,166	+0,013
DF_SM_Work	0,713	1	25	0,525	0,475	+0,062	-0,335	-0,003
DF_SM_Eng*	0,115	1	23	1,201	0,284	+0,007	+0,236	+0,005
DB_SM_Prod	0,102	1	25	0,352	0,558	+0,023	-0,569	-0,208
DB_SM_Work	0,302	1	7,572	0,000	0,985	+0,061	-0,063	+0,004
DB_SM_Eng	0,064	1	25	0,227	0,638	+4,286E-4	-0,013	-0,131

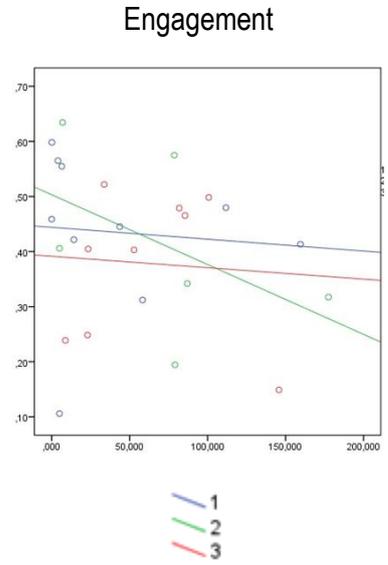
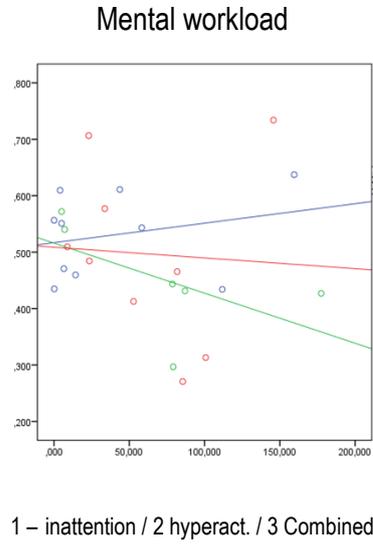
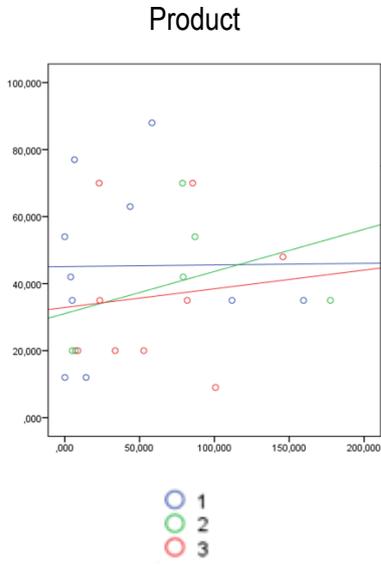
Corsi block strike forward task



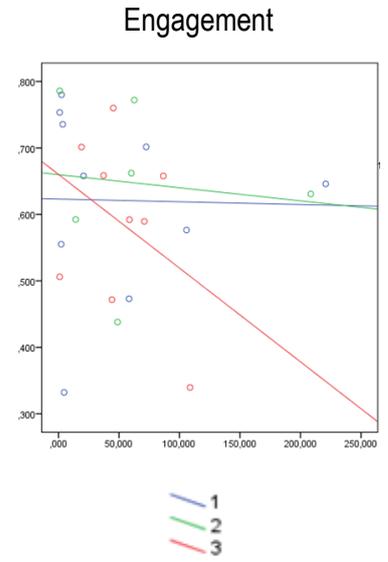
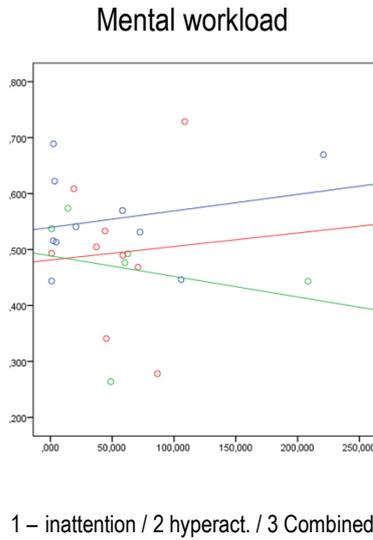
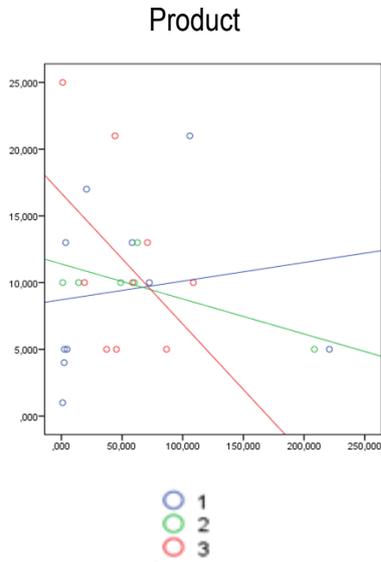
Corsi block strike task for back



Digit span task forward



Digit span task backward



	Corsi block strike forward task			Corsi block strike task for back			Digit span task forward			Digit span task backward		
	Prod	Work	Engaj	Prod	Work	Engaj	Prod	Work	Engaj	Prod	Work	Engaj
Inattention	5% ↑	1% ↑	0%	11% ↓	19% ↑	0%	0%	6% ↑	0%	2% ↑	6% ↑	0%
Hyperact	24% ↓	18% ↓	0%	39% ↓	76% ↓	0%	16% ↑	33% ↓	24% ↓	56% ↓	6% ↓	1% ↓
Combined	27% ↓	1% ↑	19% ↓	11% ↓	19% ↑	40% ↓	1% ↑	0%	0%	21% ↓	0%	13% ↓

Table 3 Trend analysis of the relationship between SM and WM according to the clinical presentation of ADHD

Discussion

The present study aimed to investigate the relationship of working memory performance, motor activity and mental workload in children with ADHD. Based on the model proposed by Rapport et al. (2009), we assumed that spontaneous movement would beneficiate working memory performance. Moreover, we hypothesized that mental workload would increase more when children produce movements than in conditions without motor activity. Our results did not support our hypothesis because no significant relationship was found, even when differentiated analyses among clinical symptoms were conducted.

These results did not support the working memory model in ADHD proposed by Rapport et al. (2001, 2008). The working memory model postulates that increased movement rate is associated with increased demand of working memory processes. Increased arousal facilitates a satisfactory performance on the task at hand (Rapport et al., 2008). Therefore, the chronic cortical under-arousal observed in children with ADHD must be compensate when the movement rate is increased (Dickstein et al., 2006). In this model, movement overflow in children with ADHD is understood as a compensatory mechanism that facilitates neurocognitive functioning (Sarver et al., 2015).

A claiming of Rapport et al. (2008) was the necessity of studies examining the relationship of working memory performance, motor activity and cortical activation. We adopted in the present study a cognitive metric obtained through electroencephalographic analysis called mental workload (Lelis-Torres et al., 2017). However, the results did not show a significant relationship among increased motor activity, working memory, and mental workload. This result can be interpreted in two possible ways. The first one is based on the assumption that mental workload is sensible enough to capture the relation between motor activity and working memory. In this way, our results did not support the model of working memory performance compensation via prefrontal activity proposed by Rapport et al.

(2009). Mental workload has been a sensible measure to identify increased demand on working memory (Berka et al., 2007), and our results can refute the theoretical model tested.

A second possible way of explanation is based on the rationale that mental workload via electroencephalography is not enough sensible to investigate the relationship of working memory performance, motor activity and cortical activation. The original proposition presented by Rapport et al. (2008) was that children with ADHD compensate the prefrontal area hypo-activation. It is possible that a sensible analysis to investigate this relationship is evaluating the changes in prefrontal hemodynamics. Chronic cortical under-arousal observed in ADHD (Dickstein et al., 2006) would be observed by techniques such as fNIRS and fMRI.

Our results did not also support the previous findings involving only behavioral analysis. Higher rates of spontaneous movements were positively associated with phonological working memory performance in children with ADHD (Sarver et al., 2015). The same effect is observed in cognitive tests (Rapport et al., 2009). This discrepancy can be explained by the constrained imposed in the present study. The participants were constrained to perform their movements on stationary bicycle. Nowadays, stationary bicycle has been used as a technique into learning environments, such as classrooms. The aim of its use is to promote improvement in working memory performance of ADHD children via motor activity. Our results suggest caution in the use of this technique, since different from studies that did not use similar implement, we did not find benefits of the use of stationary bicycle to improve working memory performance. A possible explanation is that this type of constraint could not facilitate the emergence of spontaneous movements. The potential of physical activity to support self-regulated learning in classroom has encouraged the implementation of stationary bicycles school desks across Canada and United States of America (Mueller et al., 2017), but needs more studies to understand better if the technique is positive to ADHD children.

The inherent limitations of the studies involving children with ADHD were present in our studies. We experienced during the data collection children who deny using the EEG cap, children who deny to use the bicycle pedals, and children who desist to finish the experiment. A bigger sample in future studies is recommended when observing all this limitations experienced in our study.

References

- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(1), 5-28.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological bulletin*, 121(1), 65.
- Berka, C. EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. *Aviat Space Envir Md*. **78**, B231–B244 (2007).
- Cantin, N., Polatajko, H. J., Thach, W. T., & Jaglal, S. (2007). Developmental coordination disorder: exploration of a cerebellar hypothesis. *Human Movement Science*, 26(3), 491-509.
- Ciasca, S. M., Moraes, C. (2012). Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade e Transtorno de Aprendizagem: Diferenças e Semelhanças. **Revista Debates em Psiquiatria**. Ano 2, nº1, p. 6– 9.
- de Castelnau, P., Albaret, J. M., Chaix, Y., & Zanone, P. G. (2007). Developmental coordination disorder pertains to a deficit in perceptuo-motor synchronization independent of attentional capacities. *Human Movement Science*, 26(3), 477-490.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child development*, 71(1), 44-56.
- Dickstein, S. G., Bannon, K., Xavier Castellanos, F., & Milham, M. P. (2006). The neural correlates of attention deficit hyperactivity disorder: An ALE meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(10), 1051-1062.
- Hartanto, T. A., Krafft, C. E., Iosif, A. M., & Schweitzer, J. B. (2016). A trial-by-trial analysis reveals more intense physical activity is associated with better cognitive control performance in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Child Neuropsychology*, 22(5), 618-626.
- Jiang, X., Zheng, B., Bednarik, R., & Atkins, M. S. (2015). Pupil responses to continuous aiming movements. *International Journal of Human-Computer Studies*, 83, 1-11.
- Lelis-Torres, N., Ugrinowitsch, H., Apolinário-Souza, T., Benda, R. N., & Lage, G. M. (2017). Task engagement and mental workload involved in variation and repetition of a motor skill. *Scientific reports*, 7(1), 14764.
- Mueller, J., Wudarszewski, A., & Avitzur, Y. (2017). Learning in Motion: Teachers' Perspectives on the Impact of Stationary Bike Use in the Classroom. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 16(3), 15- 28.
- Rappoport, M. D., Alderson, R. M., Kofler, M. J., Sarver, D. E., Bolden, J., & Sims, V. (2008). Working memory deficits in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): the contribution of central executive and subsystem processes. *Journal of abnormal child psychology*, 36(6), 825-837.
- Rappoport, M. D., Bolden, J., Kofler, M. J., Sarver, D. E., Raiker, J. S., & Alderson, R. M. (2009). Hyperactivity in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): a ubiquitous core symptom or

manifestation of working memory deficits?. *Journal of abnormal child psychology*, 37(4), 521-534. Dickstein, S. G., Bannon, K., Xavier

Sarver, D. E., Rapport, M. D., Kofler, M. J., Raiker, J. S., & Friedman, L. M. (2015). Hyperactivity in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): Impairing deficit or compensatory behavior?. *Journal of abnormal child psychology*, 43(7), 1219-1232.

Senick, J. (2017). Saskatoon teachers use stationary bikes to help students concentrate. Global News, January.

Tzang, R. F., & Chang, Y. C. (2009). Behavior problems and subtypes of attention-deficit hyperactivity disorder with comorbidities. *The Kaohsiung journal of medical sciences*, 25(10), 530-536.

Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human factors*, 50(3), 449-455.

Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., & Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Biological psychiatry*, 57(11), 1336-1346.

6.3 Estudo - 2

Participaram da pesquisa 15 crianças (9 meninos e 6 meninas), em idade de 08 a 11 anos (M idade = 9,4, DP = 0,74). A caracterização da amostra está apresentada no Apêndice G. Os escores individuais da movimentação espontânea total (MET) e hemodinâmica cerebral média (oxi-hemoglobina) em cada condição estão descritos no Apêndice H.

A média da MET dos participantes foi de 78,13 (DP = 41,82). As médias e os desvios-padrão da média dos participantes na hemodinâmica cerebral durante cada condição são apresentados na tabela X.

Teste	Média e desvio-padrão da oxi-hemoglobina
Conectividade	2,73 ± 41,82
Movimentação Espontânea	0,38 ± 4,40
Corsi Direto	-1,57 ± 4,45
Corsi Inverso	-2,21 ± 5,11
Dígitos Direto	-0,72 ± 3,06
Dígitos Inverso	1,52 ± 3,95
Videoaula	-0,72 ± 4,00
Trailer	0,26 ± 3,78

Tabela 9
Médias e desvios-padrão das médias de oxi-hemoglobina em cada condição experimental

6.3.1 Análise da normalidade dos dados e transformações

O teste Kolmogorov-Smirnov indicou que a variável MET e as variáveis hemodinâmicas nas condições Movimentação Espontânea, Corsi Direto, Corsi Inverso, Dígitos Direto, Videoaula e Trailer apresentavam distribuição normal ($p > 0,05$). As variáveis hemodinâmicas Conectividade e Dígitos Inverso passaram pelas transformações logarítmica, logarítmica (dados +1), raiz quadrada e raiz quadrada (dados +1) e permaneceram sem distribuição normal. Foram adotados os testes de Pearson e Spearman para as análises de correlação.

6.3.2 Áreas de ativação em cada condição

Para a verificação das áreas de ativação nas diferentes condições, comparou-se todas as respostas das 15 crianças, realizando-se uma análise estatística das ativações em cada canal, com o uso do NIRSlab. Para facilitar a visualização das áreas mais oxigenadas a escala foi padronizada em índices de 0 a 5, partindo da cor azul escuro, menor oxigenação, até o vermelho, maior oxigenação.

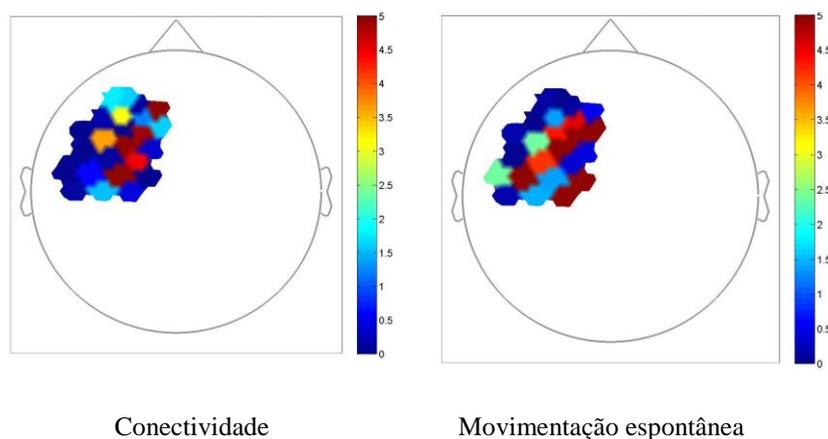


Figura 19
Análise hemodinâmica nas condições conectividade – sem movimentação e movimentação espontânea

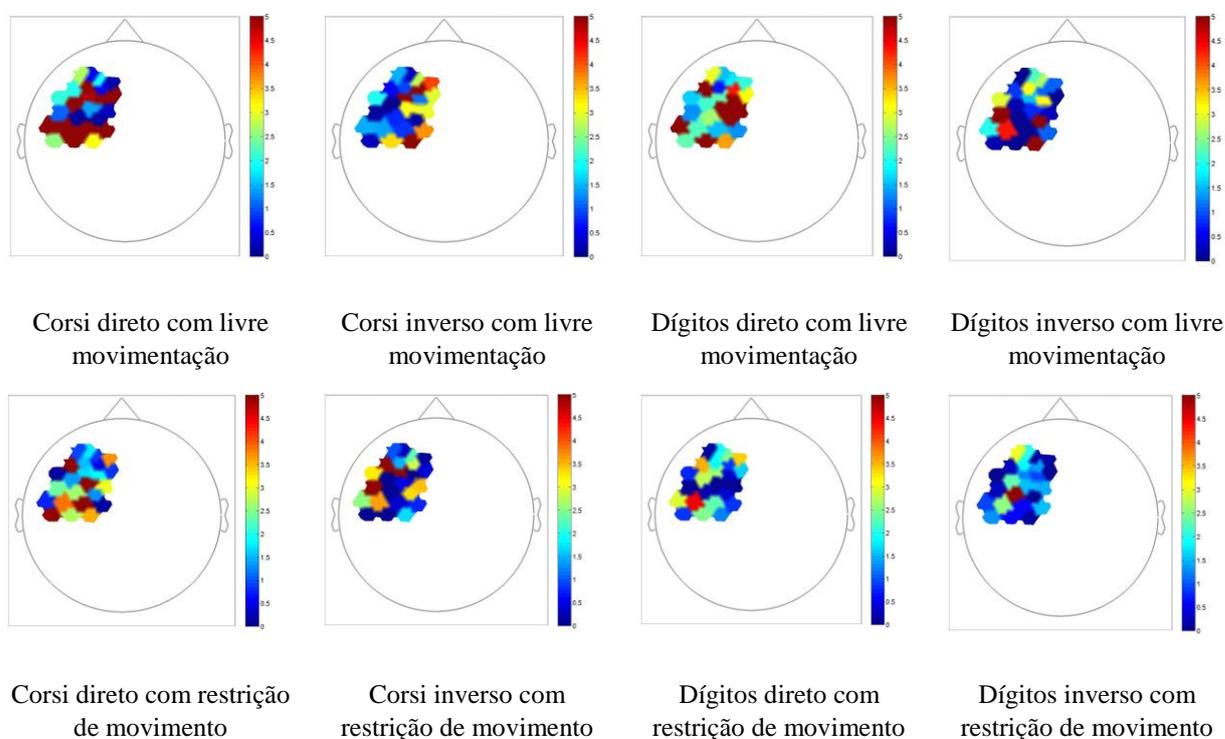


Figura 20
Análise hemodinâmica nas condições referentes aos testes de memória operacional com liberdade e restrição de movimentação.

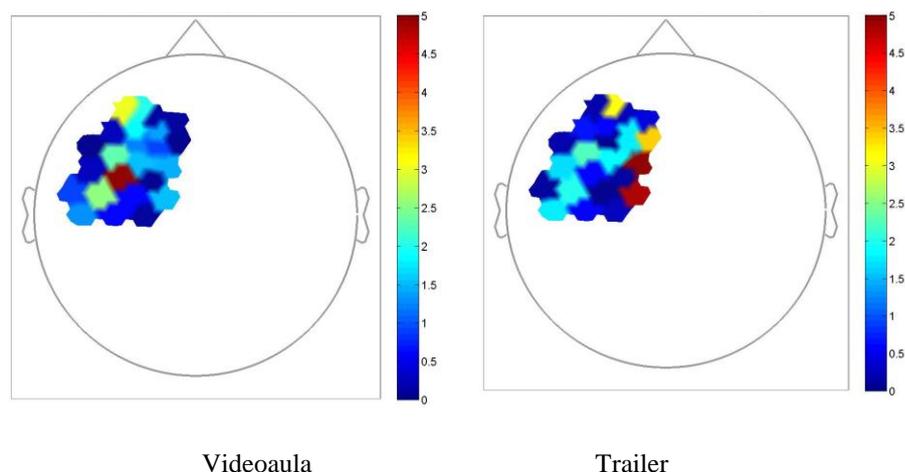


Figura 21
Análise hemodinâmica nas condições videoaula e trailer de animação infantil

6.3.3 Análise de correlação para seleção de variáveis

Análises de correlação entre a variável movimentação espontânea total e as variáveis da hemodinâmica cerebral em cada condição podem ser vistas na tabela X. O critério de 25% foi adotado para definição das variáveis a serem introduzidas no modelo de regressão.

		Movimentação Espontânea Total	
		Coefficiente de correlação	P-valor
Condição	Conectividade	0,16	0,57
	Mov. Espontânea	-0,30*	0,92
	Corsi Direto	0,56*	0,03
	Corsi Inverso	-0,23	0,41
	Dígitos Direto	-0,17	0,54
	Dígitos Inverso	-0,01	0,99
	Videoaula	0,45*	0,09
	Trailer	0,19	0,49

Tabela 10

Correlação para seleção de variáveis

Nota: * Correlação que atingiu o valor de significância mínimo de 25%. Nas condições Conectividade e Dígitos Inverso o teste realizado foi de Sperman. Nas demais, foi realizado teste de Pearson.

Análises de correlação de Pearson envolvendo as variáveis videoaula e trailer de animação foram realizadas. Os resultados mostram que não houve associação significativa estatisticamente entre tais variáveis ($r = 0,69$; $p\text{-valor} = 0,0807$).

6.3.4 Análise de regressão linear

O número amostral utilizado no estudo (n=15) foi inferior ao indicado (n=20) em conformidade com a quantidade de variável independente, entretanto, optou-se por dar continuidade às análises, uma vez que é interesse dos pesquisadores utilizarem-no como referencial em estudos futuros, de mesmo teor.

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea total não prevê a hemodinâmica cerebral na condição movimentação espontânea [$F(1,13) = 0,001$, $p = 0,9$; $R^2 = 0,00$].

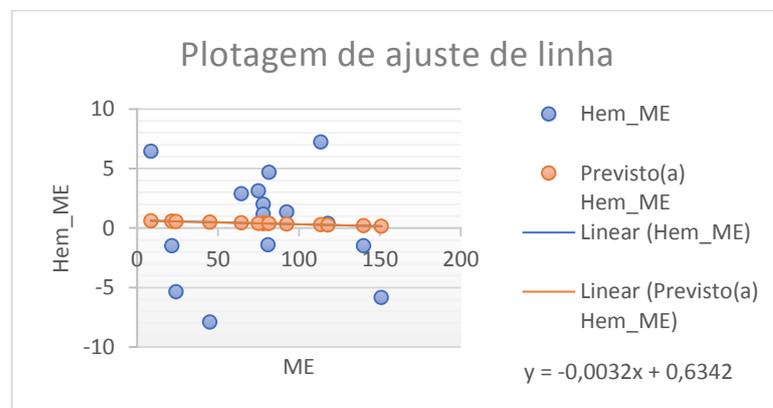


Gráfico 9
Movimentação espontânea total e hemodinâmica cerebral na condição Movimentação Espontânea

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea total prevê a hemodinâmica cerebral na condição Corsi Direto em 27% [$F(1,13) = 6,076$, $p = 0,03$; $R^2 = 0,27$].

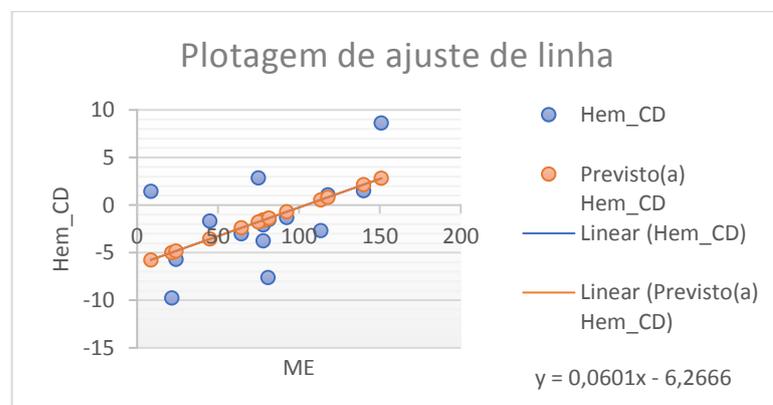


Gráfico 10
Movimentação espontânea total e hemodinâmica cerebral na condição Corsi Direto

A regressão linear simples mostrou que a movimentação espontânea total não prevê a hemodinâmica cerebral na condição vídeo aula [$F(1,13) = 3,254$, $p = 0,09$; $R^2 = 0,20$].

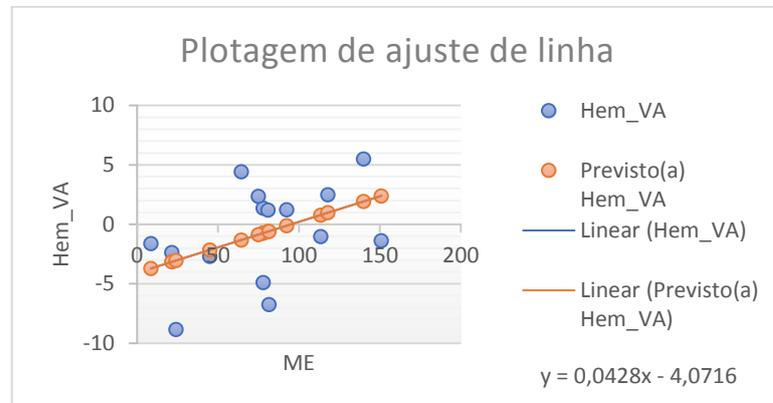


Gráfico 11
Movimentação espontânea total e hemodinâmica cerebral na condição Videoaula

7 Discussão

O objetivo geral dessa pesquisa foi investigar o papel da movimentação espontânea no desempenho da memória operacional em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção / Hiperatividade (TDAH). Com base no modelo teórico proposto por Rapport et al. (2001, 2008), visamos ampliar a compreensão dos mecanismos subjacentes à relação entre a movimentação espontânea e a memória operacional no TDAH. Tendo tal modelo como premissa, utilizamos o método dedutivo para a construção lógica da pesquisa. Segundo Borges (2015), a prerrogativa de certeza dada pela razão, enquanto princípio absoluto do conhecimento, originou-se na obra “O discurso do método” de René Descartes, que instituiu a dedução como caminho para o conhecimento. Outros autores clássicos como Spinoza e Leibniz também propuseram o uso dedutivo como método científico. Sua utilização é maior em campos como a Física e a Matemática, no entanto, Descartes afirma que o processo de dedução é o mesmo para qualquer área do conhecimento e qualquer objeto estudado (Borges, 2015).

Partindo de princípios *a priori* evidentes e irrecusáveis, o método dedutivo busca explicar a ocorrência de fenômenos particulares. Esse método racionalista baseia-se no silogismo - construção lógica, contemplando a reunião de três proposições tais que, postas as duas primeiras, a terceira se segue necessariamente, ou seja, se todas as premissas são verdadeiras, a conclusão deve ser verdadeira (Descartes & Santiago 2003). Nesta pesquisa, testamos o modelo teórico utilizando medidas neurocognitivas com vista a apoiar ou refutar os achados comportamentais descritos na literatura sobre o modelo. Utilizamos como premissa maior a ocorrência de déficits na memória operacional em crianças com o TDAH; precedida a ela, a premissa menor fora que crianças com o TDAH com maiores índices de movimentação espontânea têm melhor desempenho em tarefas cognitivas que envolvem a memória operacional; logo, como resultante, assumimos que o excesso de movimentação espontânea seria um mecanismo compensatório ao déficit da memória operacional em crianças com o TDAH.

As questões investigadas versaram sobre:

As relações entre a movimentação espontânea e esforço cognitivo, engajamento e distração durante a realização de testes de memória operacional em crianças com o TDAH. Em que hipotetizou-se que crianças com o TDAH com maiores níveis

movimentação espontânea teriam maiores índices de esforço cognitivo e engajamento e menores índices de distração durante a realização de testes de memória operacional.

As relações entre a movimentação espontânea e níveis de hemodinâmica cerebral dos córtex pré-frontal e motor durante a realização de testes de memória operacional em crianças com o TDAH. Cujas hipóteses foram que crianças com o TDAH com maiores níveis de movimentação espontânea teriam maiores níveis de ativação cortical, com maior índice de hemodinâmica tanto no córtex pré-frontal quanto no córtex motor, durante a realização de testes de memória operacional.

Os níveis de movimentação espontânea e níveis de hemodinâmica cerebral dos córtex pré-frontal e motor durante a exibição de um *trailer* de animação infantil e trechos de videoaulas em crianças com o TDAH. Em que a hipótese era que as crianças com o TDAH teriam níveis de atividade motora espontânea e níveis de ativação cortical maiores, com maior índice de hemodinâmica tanto no córtex pré-frontal quanto no córtex motor, durante a exibição dos trechos das videoaulas quando comparados ao *trailer* de animação infantil.

Os resultados da análise exploratória de correlação entre a movimentação espontânea e esforço cognitivo, engajamento e distração durante a realização de testes de memória operacional apontaram para correlação significativa, negativamente moderada, entre a movimentação espontânea e o desempenho no TDE Aritmética e correlação significativa fraca entre a movimentação espontânea e o desempenho no Corsi Inverso. Os resultados do modelo de regressão apontaram que a movimentação espontânea não é preditora de nenhuma das variáveis testadas. Como desdobramento desse estudo, realizamos uma análise com a subdivisão do TDAH de forma hierárquica, considerando a apresentação clínica das crianças participantes. O modelo adotado também apontou a não ocorrência de uma relação significativa entre a movimentação espontânea e a memória operacional. Os resultados apresentados são categóricos, de acordo com o nível de significância, da não ocorrência de relações distintas, de acordo com a apresentação clínica do TDAH, entre a movimentação espontânea e os índices cognitivos de esforço cognitivo, engajamento e distração durante a realização de testes de memória operacional. Os resultados de ambas análises foram contrários à primeira hipótese estabelecida neste estudo.

A relação entre a movimentação espontânea e a hemodinâmica cerebral durante a realização de testes de memória operacional também foi testada. As análises mostram a ocorrência de uma correlação moderada significativa entre as variáveis movimentação espontânea total e hemodinâmica cerebral durante a condição corsi direto. A regressão linear mostrou que a variável movimentação espontânea total explicou 27% da variabilidade da hemodinâmica durante a condição Corsi Direto. Para as demais variáveis, o modelo de regressão apontou que a movimentação espontânea total não é preditora dos estados hemodinâmicos. Esses achados confirmam parcialmente a segunda hipótese de estudo dessa pesquisa, uma vez identificada que crianças com TDAH com maiores níveis de movimentação espontânea têm maiores níveis de ativação cortical tanto no córtex pré-frontal quanto no córtex motor durante a realização do corsi direto. Porém, tais dados não podem ser generalizados à memória operacional como um todo, uma vez que das quatro condições de testes dessa função em nossa pesquisa três não apresentaram relação significativa.

Na testagem da relação entre a movimentação espontânea e hemodinâmica cerebral durante as condições de videoaula e trailer de animação infantil não foi identificada correlação significativa. A relação entre ambas condições foi testada e também se mostrou não significativa. Esses achados não confirmam a terceira hipótese desta pesquisa em que se afirmava que as crianças com o TDAH teriam níveis de atividade motora espontânea e níveis de ativação cortical maiores durante a exibição dos trechos das videoaulas quando comparados ao *trailer* de animação infantil.

De forma geral, podemos reconhecer através dos resultados dessa pesquisa que a movimentação espontânea não pode ser apontada como preditora do desempenho da memória operacional em crianças com o TDAH. Desse modo, nossos achados refutam pressupostos do modelo teórico de Rapport et al. (2001, 2008). No entanto, nossa proposta foi a de desenvolver essa pesquisa utilizando a lógica para construção metodológica e seria contraditório, neste momento, utilizar de outras formas de análises e discussão dos resultados sem o uso da mesma perspectiva.

Segundo o racionalismo crítico, teoria popperiana para demarcação do conhecimento, considera-se científico aquilo que é refutável, ou seja, a ciência convive, necessariamente, com a sua falha e limitação (Rufatto e Carneiro, 2009). De acordo com Popper há duas características importantes da ciência: a busca da verdade e a expansão do conhecimento. Para ele, a lógica dedutiva ocupa um papel fundamental no conhecimento científico, podendo ser ela:

transmissora da verdade, retransmissora da falsidade ou não retransmissora da verdade (Silveira, 1996). Na lógica dedutiva utilizada nesta pesquisa a ocorrência de déficits na memória operacional em crianças com o TDAH foi a premissa 1; crianças com o TDAH com maiores índices de movimentação espontânea terem melhor desempenho em tarefas cognitivas que envolvem a memória operacional foi a premissa 2; e, o excesso de movimentação espontânea ser um mecanismo compensatório ao déficit da memória operacional em crianças com o TDAH foi a conclusão.

Em uma lógica dedutiva transmissora da verdade, tanto as premissas como a conclusão seriam verdadeiras. Mas, os nossos achados não se enquadram nesta lógica. Direcionando-nos às lógicas de retransmissora da falsidade ou não retransmissora da verdade. Na lógica retransmissora da falsidade, a conclusão é falsa, ora, uma das premissas ou ambas são falsas. No nosso caso, o excesso de movimentação espontânea não foi considerado um mecanismo compensatório ao déficit da memória operacional em crianças com o TDAH, ora, ou é falsa a afirmativa de que há déficits na memória operacional em crianças com o TDAH ou é falsa afirmativa de que crianças com o TDAH com maiores índices de movimentação espontânea têm melhor desempenho em tarefas cognitivas que envolvem a memória operacional, ou ambas são falsas. Na lógica não retransmissora da verdade, a conclusão é verdadeira, porém as premissas são parcialmente ou totalmente falsas. Condição essa que não se enquadra a esta pesquisa, uma vez que nossa conclusão foi avaliada como falsa.

A premissa maior dessa pesquisa, sobre os déficits na memória operacional em crianças com o TDAH é amplamente divulgada na literatura científica, sendo considerada por alguns pesquisadores como um domínio chave da disfunção cognitiva do transtorno (Ramos et al., 2019), vinculada aos seus sintomas (Kofler et al. 2010; Rapport et al. 2009; Sarver et al. 2015), ao curso natural das alterações sintomatológicas (Karalunas et al. 2017) e prevendo a gravidade dos sintomas (Fosco et al., 2020), reconhecida como função subdesenvolvida com implicações em parte na dificuldade de regulação emocional no transtorno (Groves et al., 2020). Entretanto, a ocorrência dos déficits da memória operacional no TDAH não é descrita como característica indissociável ao transtorno e sua prevalência difere entre os estudos. Coghill et al. (2014) e Wåhlstedt et al. (2009) sugerem que essa memória deficitária, apesar de vinculada às características do transtorno, está presente em apenas 30% dos adolescentes com o TDAH. Já Karalunas et al. (2017) apontam que este índice é de aproximadamente 85% com 55% desses demonstrando estabilidade do comprometimento ao longo do tempo. Por sua vez, Kofler et al. (2019) apontam para um índice de 62%. Esses dados mostram que o déficit na memória

operacional pode ser compreendido como um quadro comumente associado ao TDAH, porém não pertencente às características clínicas sintomatológicas do mesmo, mas como uma característica comórbida de alguns indivíduos com o TDAH. Por este motivo, entendemos que a generalização contida na premissa da ocorrência de déficits na memória operacional em crianças com o TDAH torna-a falsa.

A premissa menor, de que crianças com o TDAH com maiores índices de movimentação espontânea têm melhor desempenho em tarefas cognitivas que envolvem a memória operacional é apresentada na literatura em estudos distintos, sempre tendo em seu corpo de pesquisadores algum membro dos que compuseram o modelo teórico, sendo, respectivamente, Rapport, Kofler, Alderson e Raiker. Em seus achados vemos a identificação de maiores índices de movimentação espontânea em tarefas de demanda de memória operacional (Rapport, Bolden, Kofler, Sarver, Raiker, e Alderson, 2009); excessivas demandas da memória operacional acarretando na desatenção (Kofler, Rapport, Bolden, Sarver, e Raiker, 2010); maiores taxas de movimentação prevendo positivamente o desempenho da memória operacional (Sarver, Rapport, Kofler, Raiker e Friedman, 2015) e demandas do executivo central evocando aumento nos níveis da memória operacional (Kofler, Sarver e Wells 2015). Consideramos que o fato do corpo de pesquisadores que desenvolveram tais estudos ser sempre o mesmo associamos que esse quadro pode ter promovido um hiper foco na movimentação espontânea como variável preditora do desempenho na memória operacional e impedido que outras variáveis fossem elencadas e analisadas como intervenientes nos resultados.

Em conformidade com o modelo, a principal inferência a nível do mecanismo neurocognitivos envolvidos na relação descrita entre a movimentação espontânea e a memória operacional, esteve vinculado à hipoativação cortical crônica no córtex pré-frontal, pertinente ao TDAH (Dickstein et al.m 2006), e à ativação de áreas motoras, através do aumento da movimentação espontânea, acarretando em maior oxigenação dessas áreas, e por conseguinte, aumento da oxigenação também em áreas pré-frontais, em especial no CPFDL, por ser essa área imediatamente a frente da área do córtex motor primário. Nesse sentido, a disponibilidade de maior oxigenação no CPFDL viabilizaria sua maior ativação, acarretando em melhor desempenho em tarefas de demandas da memória operacional. Entretanto, em nossa pesquisa, conforme apontado nos mapas de hemodinâmica cerebral, a maior oxigenação de uma dada área não levava ao aumento da oxigenação da área circunvizinha, havendo a ocorrência de uma dada área com o nível de oxigenação mais alto possível dentro do espectro (5) e sua área vizinha imediata com o nível de oxigenação mais baixo possível dentro do espectro (1). A única

condição em que foi identificada uma relação entre o aumento da movimentação espontânea total e o aumento da oxigenação cerebral nas áreas avaliadas foi durante a realização do teste corsi direto. No mapa da hemodinâmica cerebral nesta condição, havendo liberdade de movimentação, podemos observar uma maior hemodinâmica em duas grandes áreas na posição ventro-lateral, com uma mais anterior e outra mais medial, havendo uma grande área com menor hemodinâmica entre ambas. Mais uma vez sendo mostrado que áreas imediatamente vizinhas podem apresentar níveis de oxigenação bem distintos. Nesse sentido, a diferença estatística identificada nessa condição não pode ser vinculada ao aumento da hemodinâmica cerebral das áreas avaliadas, como fruto do aumento da movimentação espontânea.

Associado ao quadro anterior, todos os nossos resultados envolvendo a relação entre movimentação espontânea e métricas cognitivas de esforço cognitivo, engajamento e distração, além dos próprios escores de desempenho nos testes de memória operacional não foram estatisticamente significativos. Neste sentido, consideramos que a premissa de que crianças com o TDAH com maiores índices de movimentação espontânea têm melhor desempenho em tarefas cognitivas que envolvem a memória operacional é falsa.

Segundo Rufatto e Carneiro (2009) um dos questionamentos mais importantes que foram apresentados em relação à Filosofia da Ciência de Karl Popper diz respeito à questão da mudança teórica, ou seja, quais seriam os fatores que conduziriam ao abandono de uma teoria e à adoção de outra. Por ora, iremos nos ater a posicionarmo-nos contrariamente ao modelo testado nesta pesquisa, sem haver a busca por outros modelos disponíveis na literatura, ou mesmo, sem a proposição de um novo modelo. Identificamos que a busca por um modelo teórico não parece ser a estratégia mais adequada para a compreensão do TDAH e para as escolhas estratégicas de tratamento, uma vez entendido que assim como nos demais transtornos do neurodesenvolvimento, o TDAH apresenta alto índice de heterogeneidade em seu fenótipo, com evidências iniciais de que crianças com TDAH não apenas apresentam perfis heterogêneos de domínios cognitivos, mas também exibem heterogeneidade significativa nos subcomponentes dos principais processos cognitivos (Silk et al., 2019). Além disso, várias são as comorbidades que podem estar associadas ao TDAH, havendo grande variabilidade inter sujeitos. Em grande parte dos estudos disponíveis com a população com o TDAH a amostra não possui o diagnóstico do transtorno, mas sim o acuse positivo em teste de rastreio. Desse modo, podemos ter disponível na literatura científica estudos em que os resultados encontrados não são vinculados verdadeiramente à população com o TDAH e sim, à pessoas com características de hiperatividade ou desatenção.

Dentro de um ideal científico, a maior estratificação possível da amostra em estudos viabilizaria menores chances de vieses e compreensão mais fidedigna da realidade do TDAH. Como descrito anteriormente, os subsídios utilizados para a elaboração e testagem de modelos teóricos, como o de Rapport et al. (2001, 2008), são advindos de análises a nível comportamental com inferências ao nível neurofisiológico. Nesta pesquisa foi possível utilizar um nível de análise mais direto e avaliar melhor os mecanismos antes descritos. Compete-nos advertir que o uso de equipamentos escolares, como carteira bicicleta estacionária, que visa melhoria do desempenho acadêmico de crianças hiperativas ao promover viabilidade de movimentação, devem ser analisados com cautela, tendo em vista nossos achados. A nível clínico/educacional as estratégias de intervenções individualizadas, específicas às características de cada indivíduo e passíveis de adaptações conforme o desenvolvimento da criança nos parecem ser as de maiores chances de êxito.

8 Considerações Finais

Em uma visão popperiana, a tarefa da ciência é buscar a verdade. Partindo dessa premissa, esperamos tê-la encontrado, cientes de que as verdades são mutáveis.

Compreendemos ser pertinente destacar especificidades da população investigada e as limitações dessa pesquisa para que estudos futuros possam utilizar de conhecimentos aqui adquiridos com o propósito de se fazer novas descobertas científicas.

Limitações

Em nossa pesquisa, todas as crianças avaliadas tinham o diagnóstico do TDAH. Esse perfil nos fornece segurança quanto aos achados de nossos estudos, contando positivamente aos critérios metodológicos adotados. Entretanto, nas análises subsequentes ao estudo¹, apresentadas no artigo, realizamos uma subdivisão de grupos em conformidade com a apresentação clínica das crianças. O tempo entre os testes de triagem realizados no NITIDA e da coleta de dados dessa pesquisa variou entre as crianças. Essa foi sem dúvidas uma estratégia metodológica passível a gerar um viés na interpretação dos resultados, pois com as alterações a nível de sistema nervoso central, próprias da maturação, e com as intervenções terapêuticas sofridas pelas crianças acompanhadas pelo NITIDA há possibilidade de ter ocorrido alterações quanto às características clínicas dessas crianças.

Perspectivas futuras de pesquisas

Como a análise em conformidade com a apresentação clínica fora um desdobramento da ideia original da pesquisa, nosso número amostral (25), apesar de atender a critérios estatísticos, a nosso ver pode ter influenciado na não significância de nossos resultados, uma vez que, identificadas linhas de tendências diferentes em conformidade com cada apresentação clínica. As direções dos achados conduzem à observação de que as relações entre a movimentação espontânea e a memória operacional não parecem ocorrer de igual maneira entre os grupos predominantemente desatento, predominantemente hiperativo e de apresentação combinada. Entendemos ser pertinente que outras pesquisas dessa natureza possam ser desenvolvidas.

A análise envolvendo alterações hemodinâmicas no TDAH em condições de demandas da memória operacional e liberdade de movimentação foi desenvolvida com uma amostra de 15 crianças e considerada como um estudo exploratório. Análises qualitativas e quantitativas foram possíveis e nos forneceram informações relevantes para estudos futuros. Nossa perspectiva é de que haja desdobramentos dessa pesquisa com uma amostragem maior.

Sugestões para a realização de pesquisas com essa população

Os comportamentos disruptivos são comuns em crianças com o TDAH. Várias são as dificuldades enfrentadas para coleta de dados com essa população. As crianças são mais impacientes, se cansam com mais facilidade e perdem rapidamente o interesse por atividades propostas. O uso de equipamentos como o EEG e o fNIRS parece gerar mais desconforto a elas do que para crianças de desenvolvimento típico fazendo com que elas fiquem ansiosas pelo fim da coleta e desmotivadas na realização dos testes. É importante buscar minimizar o tempo necessário para a permanência da criança no ambiente de coleta. Ressaltamos que a perda amostral é grande entre esses sujeitos, pois muitos não se adequam as demandas das coletas. Além disso, como se faz necessária a suspensão da medicação para participação do estudo, o período ideal de coleta é o das férias escolares, de forma a não prejudicar o desempenho acadêmico da criança. Sugerimos que no ambiente de coleta tenha sempre um pesquisador auxiliar disponível para atuar em casos em que a criança se desregule apresente riscos para si e para os demais.

Referências

- Aboitiz, F., Ossandón, T., Zamorano, F., Palma, B., & Carrasco, X. (2014). Irrelevant stimulus processing in ADHD: catecholamine dynamics and attentional networks. *Frontiers in psychology*, 5, 183.
- Advanced Brain Monitoring. (2009) B-Alert live software user manual. Carlsbad, CA, 76 p.
- Alderson, R. M., Rapport, M. D., Hudec, K. L., Sarver, D. E., & Kofler, M. J. (2010). Competing core processes in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): do working memory deficiencies underlie behavioral inhibition deficits?. *Journal of abnormal child psychology*, 38(4), 497-507.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub. Antony & Ribeiro, 2004
- Ancoli-Israel, S., Cole, R., Alessi, C., Chambers, M., Moorcroft, W., & Pollak, C. P. (2003). The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep*, 26(3), 342-392.
- Andersen, R. A., & Cui, H. (2009). Intention, action planning, and decision making in parietal-frontal circuits. *Neuron*, 63(5), 568-583.
- Aylward, G. P. (2002). Cognitive and neuropsychological outcomes: more than IQ scores. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 8(4), 234-240.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2006). Working memory: An overview. In *Working memory and education* (pp. 1-31). Academic Press.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1-29.
- Banerjee, T.D.; Midletonn, F.; Faraone, S.V. (2007). Review Article: Environmental risk factors for attention-deficit hyperactivity disorder. **Acta Pediatric**,. v.96, p.1269-1274.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological bulletin*, 121(1), 65.
- Barkley, R. A. (2003). Issues in the diagnosis of attention-deficit/hyperactivity disorder in children. *Brain and development*, 25(2), 77-83.
- Berka, C., Levendowski, D. J., Lumicao, M. N., Yau, A., Davis, G., Zivkovic, V. T., Vladimir T.; Olmstead, R. E.; Tremoulet, P. D.; Craven, P. L. (2007). EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. *Aviation, space, and environmental medicine*, 78(5), B231-B244.
- Biederman, J. (2005). Attention-deficit/hyperactivity disorder: a selective overview. *Biological psychiatry*, 57(11), 1215-1220.

Biederman, J.; Faraone, S.V. (2005). Attention-deficit hyperactivity disorder. **Lancet**, v.366, p.237-248.

Boas, D. A., Elwell, C. E., Ferrari, M., & Taga, G. (2014). Twenty years of functional near-infrared spectroscopy: introduction for the special issue.

Bolden, J., Rapport, M. D., Raiker, J. S., Sarver, D. E., & Kofler, M. J. (2012). Understanding phonological memory deficits in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): dissociation of short-term storage and articulatory rehearsal processes. *Journal of abnormal child psychology*, 40(6), 999-1011.

Borges, D. M. (2015). Método dedutivo, indutivo ou comparativo. Qual o mais adequado à pesquisa do direito internacional do meio ambiente?. *Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas*, (6), 85-101.

Cantin, N., Polatajko, H. J., Thach, W. T., & Jaglal, S. (2007). Developmental coordination disorder: exploration of a cerebellar hypothesis. *Human movement science*, 26(3), 491-509.

Castellanos FX, Acosta MT. (2004). The neuroanatomy of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Rev Neurol*;38:131-6.

Castellanos, F. X., Margulies, D. S., Kelly, C., Uddin, L. Q., Ghaffari, M., Kirsch, A., ... & Sonuga-Barke, E. J. (2008). Cingulate-precuneus interactions: a new locus of dysfunction in adult attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological psychiatry*, 63(3), 332-337.

Chai, W. J., Abd Hamid, A. I., & Abdullah, J. M. (2018). Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: A review. *Frontiers in psychology*, 9, 401.

Chein, J. M., Moore, A. B., & Conway, A. R. (2011). Domain-general mechanisms of complex working memory span. *Neuroimage*, 54(1), 550-559.

Ciasca, S. M. & Moraes, C. (2012). Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade e Transtorno de Aprendizagem: Diferenças e Semelhanças. **Revista Debates em Psiquiatria**. Ano 2, nº1, p. 6 – 9.

Coghill, D. R., Seth, S., & Matthews, K. (2014). A comprehensive assessment of memory, delay aversion, timing, inhibition, decision making and variability in attention deficit hyperactivity disorder: advancing beyond the three-pathway models. *Psychological medicine*, 44(9), 1989-2001.

Costa, D. S., Medeiros, D. G., Alvim-Soares Jr, A. M., Géó, L. A. L., Miranda, D. M. (2014). Neuropsicologia do transtorno de déficit de atenção/hiperatividade e outros transtornos externalizantes. In *Neuropsicologia-Teoria e Prática [2ed.]*.

Cruz, M. B. Z. (2005). WISC III: Escala de Inteligência Wechsler para crianças: manual. *Avaliação Psicológica*, 4(2), 199-201.

da Silva, R. L., da Silva, L. B., & da Silva, R. M. (2016). Métodos neuroergonômicos de mensuração da carga mental de trabalho. *Blucher Engineering Proceedings*, 3(3), 1016-1028.

- de Castelnau, P., Albaret, J. M., Chaix, Y., & Zanone, P. G. (2007). Developmental coordination disorder pertains to a deficit in perceptuo-motor synchronization independent of attentional capacities. *Human Movement Science*, 26(3), 477-490. Ciasca; Moraes, 2012
- De Crescenzo, F., Armando, M., Mazzone, L., Ciliberto, M., Sciannamea, M., Figueroa, C., Vicari, S. (2014). The use of actigraphy in the monitoring of methylphenidate versus placebo in ADHD: a meta-analysis. *ADHD Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, 6(1), 49-58.
- de Oliveira, S. R., de Paula Machado, A. C. C., de Miranda, D. M., dos Santos Campos, F., Ribeiro, C. O., de Castro Magalhães, L., & Bouzada, M. C. F. (2015). Espectroscopia de luz próxima ao infravermelho como ferramenta auxiliar no estudo do desenvolvimento infantil. *Revista Paulista de Pediatria*, 33(2), 230-240.
- Descartes, R., & Santiago, H. (2003). *Carta-prefácio dos princípios da filosofia*. Martins Fontes.
- D'Esposito, M., & Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual review of psychology*, 66, 115-142.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child development*, 71(1), 44-56.
- Dickstein, S. G., Bannon, K., Xavier Castellanos, F., & Milham, M. P. (2006). The neural correlates of attention deficit hyperactivity disorder: An ALE meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(10), 1051-1062.
- Ellison-Wright, I., Ellison-Wright, Z., & Bullmore, E. (2008). Structural brain change in attention deficit hyperactivity disorder identified by meta-analysis. *BMC psychiatry*, 8(1), 51.
- Elton, A., Alcauter, S., & Gao, W. (2014). Network connectivity abnormality profile supports a categorical-dimensional hybrid model of ADHD. *Human brain mapping*, 35(9), 4531-4543.
- Emch, M., von Bastian, C. C., & Koch, K. (2019). Neural correlates of verbal working memory: an fMRI meta-analysis. *Frontiers in human neuroscience*, 13, 180.
- Fávero, L. P. L., Belfiore, P. P., Silva, F. L. D., & Chan, B. L. (2009). Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões.
- Fisher, S. E., Francks, C., McCracken, J. T., McGough, J. J., Marlow, A. J., MacPhie, I. L., ... & Del'Homme, M. (2002). A genomewide scan for loci involved in attention-deficit/hyperactivity disorder. *The American Journal of Human Genetics*, 70(5), 1183-1196.
- Fosco, W. D., Kofler, M. J., Groves, N. B., Chan, E. S., & Raiker, J. S. (2020). Which 'Working' Components of Working Memory aren't Working in Youth with ADHD?. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 1-14.
- Friedman, L. M., Rapport, M. D., Raiker, J. S., Orban, S. A., & Eckrich, S. J. (2017). Reading comprehension in boys with ADHD: The mediating roles of working memory and orthographic conversion. *Journal of abnormal child psychology*, 45(2), 273-287.

- Gao, Y., Shuai, D., Bu, X., Hu, X., Tang, S., Zhang, L., ... & Huang, X. (2019). Impairments of large-scale functional networks in attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analysis of resting-state functional connectivity. *Psychological medicine*, 49(15), 2475-2485.
- Garon, N., Moore, C., & Waschbusch, D. A. (2006). Decision making in children with ADHD only, ADHD-anxious/depressed, and control children using a child version of the Iowa Gambling Task. *Journal of Attention Disorders*, 9(4), 607-619.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2006). *Neurociência cognitiva: a biologia da mente*. Artmed.
- Groves, N. B., Kofler, M. J., Wells, E. L., Day, T. N., & Chan, E. S. (2020). An Examination of Relations Among Working Memory, ADHD Symptoms, and Emotion Regulation. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 1-13.
- Gu, Y., Miao, S., Han, J., Liang, Z., Ouyang, G., Yang, J., & Li, X. (2018). Identifying ADHD children using hemodynamic responses during a working memory task measured by functional near-infrared spectroscopy. *Journal of neural engineering*, 15(3), 035005.
- Hawi, Z., Segurado, R., Conroy, J., Sheehan, K., Lowe, N., Kirley, A., ... & Gill, M. (2005). Preferential transmission of paternal alleles at risk genes in attention-deficit/hyperactivity disorder. *The American Journal of Human Genetics*, 77(6), 958-965.
- Holroyd, C. B., Baker, T. E., Kerns, K. A., & Müller, U. (2008). Electrophysiological evidence of atypical motivation and reward processing in children with attention-deficit hyperactivity disorder. *Neuropsychologia*, 46(8), 2234-2242.
- Hoogman, M., Bralten, J., Hibar, D. P., Mennes, M., Zwiers, M. P., Schweren, L., ... & de Zeeuw, P. (2017). Subcortical brain volume differences of participants with ADHD across the lifespan: an ENIGMA collaboration. *The lancet. Psychiatry*, 4(4), 310.
- Inoue, Y., Sakihara, K., Gunji, A., Ozawa, H., Kimiya, S., Shinoda, H., ... & Inagaki, M. (2012). Reduced prefrontal hemodynamic response in children with ADHD during the Go/NoGo task: a NIRS study. *Neuroreport*, 23(2), 55-60.
- Karalunas, S. L., Gustafsson, H. C., Dieckmann, N. F., Tipsord, J., Mitchell, S. H., & Nigg, J. T. (2017). Heterogeneity in development of aspects of working memory predicts longitudinal attention deficit hyperactivity disorder symptom change. *Journal of abnormal psychology*, 126(6), 774.
- Kim, C., Kroger, J. K., Calhoun, V. D., & Clark, V. P. (2015). The role of the frontopolar cortex in manipulation of integrated information in working memory. *Neuroscience letters*, 595, 25-29.
- Kofler, M. J., Alderson, R. M., Raiker, J. S., Bolden, J., Sarver, D. E., & Rapport, M. D. (2014). Working memory and intraindividual variability as neurocognitive indicators in ADHD: Examining competing model predictions. *Neuropsychology*, 28(3), 459.
- Kofler, M. J., Irwin, L. N., Soto, E. F., Groves, N. B., Harmon, S. L., & Sarver, D. E. (2019). Executive functioning heterogeneity in pediatric ADHD. *Journal of abnormal child psychology*, 47(2), 273-286.

- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J., & Altro, T. A. (2008). Working memory as a core deficit in ADHD: Preliminary findings and implications. *The ADHD Report*, 16(6), 8-14.
- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J., Sarver, D. E., & Raiker, J. S. (2010). ADHD and working memory: the impact of central executive deficits and exceeding storage/rehearsal capacity on observed inattentive behavior. *Journal of abnormal child psychology*, 38(2), 149-161.
- Kofler, M. J., Sarver, D. E., & Wells, E. L. (2015). Working memory and increased activity level (hyperactivity) in ADHD: Experimental evidence for a functional relation. *Journal of attention disorders*, 1087054715608439.
- Konrad, K., & Eickhoff, S. B. (2010). Is the ADHD brain wired differently? A review on structural and functional connectivity in attention deficit hyperactivity disorder. *Human brain mapping*, 31(6), 904-916.
- Lin, P., Yang, Y., Gao, J., De Pisapia, N., Ge, S., Wang, X., Zuo, C. S., Levitt, J. J., Niu, C. (2017). Dynamic default mode network across different brain states. *Scientific reports*, 7, 46088.
- Malloy-Diniz, L. F., Paula, J. J. D., Sedó, M., Fuentes, D., Leite, W. B. (2014). Neuropsicologia das funções executivas e da atenção. In *Neuropsicologia-Teoria e Prática [2ed.]*.
- Martinussen, R., & Tannock, R. (2006). Working memory impairments in children with attention-deficit hyperactivity disorder with and without comorbid language learning disorders. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 28(7), 1073-1094.
- Medical Technologies LLC (2015). Manual NIRS X Dedicated Near-Infrared Spectroscopy.
- Miao, S., Han, J., Gu, Y., Wang, X., Song, W., Li, D., ... & Li, X. (2017). Reduced prefrontal cortex activation in children with attention-deficit/hyperactivity disorder during go/no-go task: A functional near-infrared spectroscopy study. *Frontiers in neuroscience*, 11, 367.
- Michel, C. M., & Murray, M. M. (2012). Towards the utilization of EEG as a brain imaging tool. *Neuroimage*, 61(2), 371-385.
- Moeller, F. G., Barratt, E. S., Dougherty, D. M., Schmitz, J. M., & Swann, A. C. (2001). Psychiatric aspects of impulsivity. *The American journal of psychiatry*, 158(11), 1783-1793
- Moser, S. J., Cutini, S., Weber, P., & Schroeter, M. L. (2009). Right prefrontal brain activation due to Stroop interference is altered in attention-deficit hyperactivity disorder—a functional near-infrared spectroscopy study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 173(3), 190-195.
- Mueller, A., Hong, D. S., Shepard, S., & Moore, T. (2017). Linking ADHD to the neural circuitry of attention. *Trends in cognitive sciences*, 21(6), 474-488.
- Murty, V. P., Sambataro, F., Radulescu, E., Altamura, M., Iudicello, J., Zolnick, B., Wenberger, D. R., Goldberg, T. E., Mattay, V. S. (2011). Selective updating of working memory content modulates meso-cortico-striatal activity. *Neuroimage*, 57(3), 1264-1272.

- Negoro, H., Sawada, M., Iida, J., Ota, T., Tanaka, S., & Kishimoto, T. (2010). Prefrontal dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder as measured by near-infrared spectroscopy. *Child Psychiatry & Human Development*, *41*(2), 193-203.
- Newton, A. T., Morgan, V. L., Rogers, B. P., & Gore, J. C. (2011). Modulation of steady state functional connectivity in the default mode and working memory networks by cognitive load. *Human brain mapping*, *32*(10), 1649-1659.
- Osaka, M., Osaka, N., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., Aso, T., & Shibasaki, H. (2003). The neural basis of individual differences in working memory capacity: an fMRI study. *NeuroImage*, *18*(3), 789-797.
- Peterson, B. T., Anderer, P., Moreau, A., Ross, M., Thusoo, S., Clare, G., & Malow, B. (2016). A novel actigraphy data analysis tool and its application to identifying the optimal threshold value in three subject populations. *Physiological measurement*, *37*(7), N49.
- Piccoli, T., Valente, G., Linden, D. E., Re, M., Esposito, F., Sack, A. T., & Di Salle, F. (2015). The default mode network and the working memory network are not anti-correlated during all phases of a working memory task. *PloS one*, *10*(4).
- Pievsky, M. A., & McGrath, R. E. (2018). The neurocognitive profile of attention-deficit/hyperactivity disorder: A review of meta-analyses. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *33*(2), 143-157.
- Polanczyk, G., de Lima, M. S., Horta, B. L., Biederman, J., & Rohde, L. A. (2007). The worldwide prevalence of ADHD: a systematic review and metaregression analysis. *American journal of psychiatry*, *164*(6), 942-948.
- Poythress, M., Russell, C., Siegel, S., Tremoulet, P. D., Craven, P. L., Berka, C., ... & Hale, K. (2006). Correlation between expected workload and EEG indices of cognitive workload and task engagement. In *Proceedings of 2nd Annual Augmented Cognition International Conference, San Francisco, CA*.
- Poythress, M., Russell, C., Siegel, S., Tremoulet, P. D., Craven, P. L., Berka, C., ... & Hale, K. (2006). Correlation between expected workload and EEG indices of cognitive workload and task engagement. In *Proceedings of 2nd Annual Augmented Cognition International Conference, San Francisco, CA*.
- Proal, E., Reiss, P. T., Klein, R. G., Mannuzza, S., Gotimer, K., Ramos-Olazagasti, M. A., ... & Milham, M. P. (2011). Brain gray matter deficits at 33-year follow-up in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder established in childhood. *Archives of general psychiatry*, *68*(11), 1122-1134.
- Pruim, R. H., Beckmann, C. F., Oldehinkel, M., Oosterlaan, J., Heslenfeld, D., Hartman, C. A., ... & Mennes, M. (2019). An integrated analysis of neural network correlates of categorical and dimensional models of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, *4*(5), 472-483.

- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 676-682.
- Ramos, A. A., Hamdan, A. C., & Machado, L. (2019). A meta-analysis on verbal working memory in children and adolescents with ADHD. *The Clinical Neuropsychologist*, 1-26.
- Ramos, A. A., Hamdan, A. C., & Machado, L. (2019). A meta-analysis on verbal working memory in children and adolescents with ADHD. *The Clinical Neuropsychologist*, 1-26.
- Rappport, M. D., Alderson, R. M., Kofler, M. J., Sarver, D. E., Bolden, J., & Sims, V. (2008). Working memory deficits in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): the contribution of central executive and subsystem processes. *Journal of abnormal child psychology*, 36(6), 825-837.
- Rappport, M. D., Bolden, J., Kofler, M. J., Sarver, D. E., Raiker, J. S., & Alderson, R. M. (2009). Hyperactivity in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): a ubiquitous core symptom or manifestation of working memory deficits?. *Journal of abnormal child psychology*, 37(4), 521-534.
- Rappport, M. D., Bolden, J., Kofler, M. J., Sarver, D. E., Raiker, J. S., & Alderson, R. M. (2009). Hyperactivity in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): a ubiquitous core symptom or manifestation of working memory deficits?. *Journal of abnormal child psychology*, 37(4), 521-534.
- Rappport, M. D., Chung, K. M., Shore, G., & Isaacs, P. (2001). A conceptual model of child psychopathology: Implications for understanding attention deficit hyperactivity disorder and treatment efficacy. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 30(1), 48-58.
- Rappport, M. D., Kofler, M. J., Alderson, R. M., & Raiker, J. (2008). Attention-deficit/hyperactivity disorder. In M. Hersen & D. Reitman (Eds.), *Handbook of psychological assessment, case conceptualization and treatment, volume 2: Children and adolescents* (pp. 125–157). NJ: Wiley.
- Respironics, P. (2013). Professional sleep and activity monitoring solutions.
- Roehricht, J., Jo, H. G., Wittmann, M., & Schmidt, S. (2018). Exploring the maximum duration of the contingent negative variation. *International Journal of Psychophysiology*, 128, 52-61.
- Rufatto, C. A., & Carneiro, M. C. (2009). A concepção de ciência de Popper e o ensino de ciências. *Ciência & Educação (Bauru)*, 15(2), 269-289.
- Sarver, D. E., Rappport, M. D., Kofler, M. J., Raiker, J. S., & Friedman, L. M. (2015). Hyperactivity in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): Impairing deficit or compensatory behavior?. *Journal of abnormal child psychology*, 43(7), 1219-1232.
- Senick, J. (2017). Saskatoon teachers use stationary bikes to help students concentrate. *Global News*, January.
- Sharp, S. I., McQuillin, A., & Gurling, H. M. (2009). Genetics of attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Neuropharmacology*, 57(7-8), 590-600.;

- Shaw, P., & Rabin, C. (2009). New insights into attention-deficit/hyperactivity disorder using structural neuroimaging. *Current psychiatry reports*, *11*(5), 393-398.
- Sherman, D. K., Iacono, W. G., & McGUE, M. K. (1997). Attention-deficit hyperactivity disorder dimensions: a twin study of inattention and impulsivity-hyperactivity. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *36*(6), 745-753.
- Silk, T. J., Beare, R., Malpas, C., Adamson, C., Vilgis, V., Vance, A., & Bellgrove, M. A. (2016). Cortical morphometry in attention deficit/hyperactivity disorder: contribution of thickness and surface area to volume. *Cortex*, *82*, 1-10.
- Silk, T. J., Malpas, C. B., Beare, R., Efron, D., Anderson, V., Hazell, P., ... & Sciberras, E. (2019). A network analysis approach to ADHD symptoms: More than the sum of its parts. *PLoS one*, *14*(1).
- Silveira, F. L. D. (1996). A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. *Caderno catarinense de ensino de física. Florianópolis. Vol. 13, n. 3 (dez. 1996), p. 197-218.*
- Sonuga-Barke, E. J., & Castellanos, F. X. (2007). Spontaneous attentional fluctuations in impaired states and pathological conditions: a neurobiological hypothesis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *31*(7), 977-986.
- Sonuga-Barke, E. J., Dalen, L., Daley, D., & Remington, B. (2002). Are planning, working memory, and inhibition associated with individual differences in preschool ADHD symptoms?. *Developmental neuropsychology*, *21*(3), 255-272.
- Stein, L. M. (1994). *TDE - Teste de Desempenho Escolar: manual para aplicação e interpretação*. São Paulo, SP: Casa do Psicólogo.
- Stevens, R. H., Galloway, T., & Berka, C. (2007). EEG-related changes in cognitive workload, engagement and distraction as students acquire problem solving skills. In *International Conference on User Modeling* (pp. 187-196). Springer, Berlin, Heidelberg
- Sutoko, S., Monden, Y., Tokuda, T., Ikeda, T., Nagashima, M., Funane, T., ... & Dan, I. (2019). Exploring attentive task-based connectivity for screening attention deficit/hyperactivity disorder children: a functional near-infrared spectroscopy study. *Neurophotonics*, *6*(4), 045013.
- Tang, C., Wei, Y., Zhao, J., & Nie, J. (2018). Different developmental pattern of brain activities in ADHD: A study of resting-state fMRI. *Developmental neuroscience*, *40*(3), 246-257.
- Tao, J., Jiang, X., Wang, X., Liu, H., Qian, A., Yang, C., ... & Wang, M. (2017). Disrupted control-related functional brain networks in drug-naive children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Frontiers in psychiatry*, *8*, 246.
- Thomas, R., Sanders, S., Doust, J., Beller, E., & Glasziou, P. (2015). Prevalence of attention-deficit/hyperactivity disorder: a systematic review and meta-analysis. *Pediatrics*, *135*(4), e994-e1001.
- Toplak, M. E., Dockstader, C., & Tannock, R. (2006). Temporal information processing in ADHD: findings to date and new methods. *Journal of neuroscience methods*, *151*(1), 15-29.

- Valera, E. M., Faraone, S. V., Murray, K. E., & Seidman, L. J. (2007). Meta-analysis of structural imaging findings in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological psychiatry*, *61*(12), 1361-1369.
- Van Den Berg, B., Appelbaum, L. G., Clark, K., Lorist, M. M., & Woldorff, M. G. (2016). Visual search performance is predicted by both prestimulus and poststimulus electrical brain activity. *Scientific reports*, *6*(1), 1-13.
- Van Den Heuvel, M. P., & Pol, H. E. H. (2010). Exploring the brain network: a review on resting-state fMRI functional connectivity. *European neuropsychopharmacology*, *20*(8), 519-534.
- Vanderwert, R. E., & Nelson, C. A. (2014). The use of near-infrared spectroscopy in the study of typical and atypical development. *Neuroimage*, *85*, 264-271.
- Wählstedt, C., Thorell, L. B., & Bohlin, G. (2009). Heterogeneity in ADHD: Neuropsychological pathways, comorbidity and symptom domains. *Journal of abnormal child psychology*, *37*(4), 551-564.
- Weber, P., Lütschg, J., & Fahnenstich, H. (2005). Cerebral hemodynamic changes in response to an executive function task in children with attention-deficit hyperactivity disorder measured by near-infrared spectroscopy. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, *26*(2), 105-111.
- Westerberg, H., Hirvikoski, T., Forssberg, H., & Klingberg, T. (2004). Visuo-spatial working memory span: a sensitive measure of cognitive deficits in children with ADHD. *Child Neuropsychology*, *10*(3), 155-161.
- Willcutt, E. G. (2012). The prevalence of DSM-IV attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Neurotherapeutics*, *9*(3), 490-499.
- Wodka, E. L., Mark Mahone, E., Blankner, J. G., Gidley Larson, J. C., Fotedar, S., Denckla, M. B., & Mostofsky, S. H. (2007). Evidence that response inhibition is a primary deficit in ADHD. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, *29*(4), 345-356.
- Xiao, T., Xiao, Z., Ke, X., Hong, S., Yang, H., Su, Y., ... & Liu, Y. (2012). Response inhibition impairment in high functioning autism and attention deficit hyperactivity disorder: evidence from near-infrared spectroscopy data. *PloS one*, *7*(10).
- Yasumura, A., Omori, M., Fukuda, A., Takahashi, J., Yasumura, Y., Nakagawa, E., ... & Aihara, M. (2019). Age-related differences in frontal lobe function in children with ADHD. *Brain and Development*, *41*(7), 577-586.
- Ye, J. C., Tak, S., Jang, K. E., Jung, J., & Jang, J. (2009). NIRS-SPM: statistical parametric mapping for near-infrared spectroscopy. *Neuroimage*, *44*(2), 428-447.
- Zhao, Y., Kuai, S., Zanto, T. P., & Ku, Y. (2020). Neural Correlates Underlying the Precision of Visual Working Memory. *Neuroscience*, *425*, 301-311.

Apêndice A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(PARA PAIS OU RESPONSÁVEIS)

Título do Estudo: O papel do movimento espontâneo no desempenho da memória operacional em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade

Coordenador: Prof. Guilherme Menezes Lage - Departamento de Educação Física da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

Nome: _____
_____/_____/_____

Data:

Convite para participar do estudo

Seu filho(a) está sendo convidado a participar de um projeto de pesquisa que estamos realizando para aumentar o conhecimento sobre a relação entre os processos cognitivos e a movimentação espontânea em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade - TDAH. Seu filho(a) foi escolhido para participar (da pesquisa) pois (porque) tem o TDAH e, neste caso, os testes que aplicaremos servirão para entendermos melhor as relações entre neurocognição e comportamento motor em crianças com o transtorno.

Proposta de Pesquisa

O objetivo principal da pesquisa é investigar o papel do movimento espontâneo no desempenho da memória operacional em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade. Nesse estudo verificaremos por meio de medidas eletroencefalográficas (EEG) e medidas hemodinâmicas (Near Infrared Spectroscopy - fNIRS) as relações entre nível de atividade motora espontânea e esforço cognitivo, e nível de atividade motora espontânea e nível de ativação cortical em crianças com o TDAH. Os testes são realizados em dois dias com um intervalo mínimo de 24 horas entre cada. Os resultados desses testes contribuirão para aumentar o conhecimento sobre os processos neurocognitivos em crianças com TDAH.

Seus direitos

A participação do seu filho(a) neste estudo é estritamente voluntária. A recusa em participar deste estudo não irá resultar em nenhuma penalidade ou perda de benefícios. Caso queira desistir de participar do estudo (para se retirar imediatamente do estudo) você poderá entrar em contato com os pesquisadores Simara Regina de Oliveira Ribeiro (31-99941-0926) ou Guilherme Menezes Lage (31-98884-0411). Você será informado de qualquer achado novo obtido durante o desenvolvimento deste projeto que possa afetar a disponibilidade do seu filho(a) em participar do estudo.

Procedimento

Os experimentos serão realizados em dois dias no laboratório do Grupo de Estudo de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da UFMG. Os horários para a participação de seu filho serão estabelecidos de acordo com sua disponibilidade e sempre no contra turno do horário de aula de seu filho(a). No primeiro dia avaliaremos o esforço cognitivo e a movimentação espontânea de seu filho(a) enquanto ele(a) realiza alguns testes de memória e testes escolares. Isso acontecerá da seguinte maneira: seu filho(a) será conduzido individualmente a sala onde ocorrerá a pesquisa. Lá serão colocados em seus punhos, tornozelos e tronco um aparelho chamado acelerômetro que medirá a movimentação de seu corpo. Em seguida ele(a) se assentará em uma carteira escolar que possui pedais de bicicleta acoplados. Depois será instalado em sua cabeça fitas do aparelho de eletroencefalografia que permitirá realizar o registro gráfico das correntes elétricas espontâneas desenvolvidas em seu cérebro. Nenhum desses procedimentos causa dor, o que pode ocorrer é um leve desconforto. Com os aparelhos acoplados, seu filho(a) realizará três jogos rápidos no computador que servirão para avaliar o quanto ele(a) está alerta e vigilante nas atividades. Logo depois ele(a) realizará dois testes de memória operacional, no primeiro seu filho(a) deverá repetir uma sequência numérica apresentada verbalmente pelo examinador, e no segundo, ele(a) deverá tocar em pequenos blocos de madeira na mesma sequência anteriormente tocada pelo examinador. Após essa etapa ele(a) assistirá uma vídeo/aula de português ou matemática e realizará um teste do mesmo conteúdo, com questões apropriadas à sua idade e ano escolar. Seu filho(a) poderá apresentar algum cansaço durante a realização dos testes. Os mesmos poderão ser interrompidos caso ele(a) deseje. O tempo previsto para realização dos procedimentos é de aproximadamente 60 minutos.

No segundo dia avaliaremos a hemodinâmica cerebral e a movimentação espontânea de seu filho(a) enquanto ele realiza testes escolares e assiste um trecho de um filme. De igual maneira à coleta anterior, seu filho(a) será conduzido individualmente a sala onde ocorrerá a pesquisa. Lá serão colocados em seus punhos, tornozelos e tronco o acelerômetro e ele se assentará na carteira com pedais. Dessa vez será instalado na cabeça de seu filho(a) uma touca, de um outro equipamento, o NIRS, que avaliará a oxigenação do cérebro. Seu filho(a) pode sentir um leve desconforto durante a colocação da touca. Na sequência, ele(a) assistirá um trecho de aproximadamente 7 minutos de duração de um filme ou desenho de ação, respeitando-se à classificação indicativa de filmes no Brasil. Logo depois, ele(a) assistirá à vídeo-aula e realizará o teste diferente do que ele realizou na coleta anterior. Seu filho(a) poderá apresentar algum cansaço durante a realização dos testes. Os mesmos poderão ser interrompidos caso ele(a) deseje. O tempo previsto para realização dos procedimentos é de aproximadamente 30 minutos.

Em ambos os dias haverá filmagem durante a aplicação dos testes para melhor observação do comportamento motor da criança e análises posteriores, mas apenas a equipe de pesquisa terá acesso aos arquivos.

Riscos

Os riscos que seu filho(a) corre são mínimos, como desconforto durante a colocação da touca que possui os optodos (fios que captam as respostas do cérebro). Mas qualquer desconforto poderá ser relatado ao experimentador que irá parar a coleta de dados imediatamente. Caso haja necessidade, seu filho(a) será encaminhado ao serviço de enfermagem da EEFFTO e ao atendimento fisioterápico da EEFFTO.

Benefícios

Seu filho (a) não receberá nenhum benefício direto, entretanto entendermos melhor as relações entre neurocognição e comportamento motor em crianças com o TDAH poderá trazer benefícios indiretos tais como possibilitar a promoção de estratégias de intervenção terapêutica e estratégias educacionais para crianças com o transtorno.

Gasto

Caso se faça necessário, haverá ressarcimento de gastos relacionados ao transporte e será oferecido um lanche, para o seu filho(a), imediatamente após a coleta.

Confidencialidade

As anotações sobre os resultados dos exames serão mantidos em segredo de acordo com a legislação atual. Em todas as anotações, seu filho(a) não será identificado e seu nome será conhecido apenas pelos pesquisadores. O nome da criança não será utilizado em nenhum relatório ou publicação neste estudo. As filmagens serão mantidas em sigilo, divulgando-se os resultados da pesquisa apenas sob a forma de dados estatísticos globais e com imagens tarjadas, sem identificar individualmente os participantes. Caso você concorde, as informações obtidas a partir desta pesquisa poderão ser repassadas para o médico do seu filho (a) e isto poderá auxiliá-lo no tratamento.

Questões

Por favor, sinta-se à vontade para fazer qualquer pergunta sobre este estudo ou sobre os direitos do seu filho(a) como participante do estudo. Se outras dúvidas surgirem mais tarde, quanto à ética do estudo e pesquisadores envolvidos no estudo, as mesmas poderão ser dirimidas junto ao coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG. O número do telefone de contato é (31) 3409-4592. O COEP funciona no Campus da UFMG, na Unidade Administrativa II (prédio da Fundep), 2º andar, sala 2005. (Por favor, sinta-se à vontade para fazer qualquer pergunta sobre este estudo ou sobre os direitos do seu filho(a) como participante do estudo. Se outras perguntas surgirem mais tarde, você poderá entrar em contato com os pesquisadores Simara Regina de Oliveira Ribeiro (31-99941-0926) ou Guilherme Menezes Lage (31-98884-0411).

TERMO DE CONSENTIMENTO PARA PARTICIPAR DO PROJETO DE PESQUISA

A proposta e procedimentos deste projeto de pesquisa, assim como o desconforto previsível, riscos e benefícios que podem ocorrer com meu filho(a), foram explicados para mim. Eu tive a oportunidade de esclarecer minhas dúvidas com o pesquisador responsável pelo estudo. Todas as minhas perguntas foram respondidas.

Eu, _____, RG nº _____, responsável legal por _____, RG nº _____ concordo com a participação do meu filho(a), como voluntário, no projeto de pesquisa acima descrito. Eu fui informado que a participação do meu filho(a) no estudo poderá ser interrompida a qualquer momento. Eu recebi uma via (via) deste Termo de Consentimento. Caso eu concorde, as informações obtidas a partir desta pesquisa poderão ser repassadas para o médico de meu filho (a) ou criança que cuida e isto poderá auxiliá-lo no tratamento.

Data: ____/____/____

Assinatura dos Pais e/ou Responsável: _____

Você permite que o resultado dos exames do seu filho (a) ou da criança que cuida seja encaminhada para seu médico?

Sim: ____ Não: ____

Assinatura dos Pais e/ou Responsável _____

DECLARAÇÃO DO INVESTIGADOR

O Investigador Principal explicou para o indivíduo mencionado acima a natureza e propósito dos procedimentos descritos acima e possíveis riscos, desconfortos e benefícios que podem ocorrer. Eu perguntei ao indivíduo se qualquer pergunta lhe ocorreu em relação aos procedimentos empregados e respondi essas perguntas da melhor forma possível.

_____ Data:

Assinatura do Pesquisador Responsável

Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG - Campus da UFMG, Unidade Administrativa II, 2º andar, sala 2005. Telefones de contato: (31) 3409-4592; 3409-4027.

Apêndice B - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido – TALE

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(CRIANÇAS VOLUNTÁRIAS)

<p>Título do Estudo: O papel do movimento espontâneo no desempenho da memória operacional em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade</p>
--

Coordenador: Prof. Guilherme Menezes Lage – Departamento de Educação Física da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

O que significa assentimento?

O assentimento significa que você concorda em fazer parte de um grupo de crianças, da sua faixa de idade (entre 8 e 10 anos), para participar de uma pesquisa. Serão respeitados seus direitos e você receberá todas as informações por mais simples que possam parecer.

Pode ser que este documento denominado TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO contenha palavras que você não entenda. Por favor, peça ao responsável pela pesquisa ou à equipe do estudo para explicar qualquer palavra ou informação que você não entenda claramente.

Informação ao sujeito da pesquisa:

Você está sendo convidado(a) a participar de um projeto de pesquisa que estamos realizando para aumentar o conhecimento sobre a relação entre os processos cognitivos e a movimentação espontânea em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade - TDAH. Você foi escolhido para participar da pesquisa porque tem o TDAH e está dentro da idade estipulada nessa pesquisa (8 a 10 anos). Neste caso, os testes que você realizará irão nos ajudar a entender melhor alguns mecanismos envolvidos do transtorno.

Seus direitos

Sua participação é voluntária, isso significa que você poderá desistir de participar dessa pesquisa a qualquer momento sem haver problemas quanto a isso. Caso queira desistir, em um dos momentos em que não estiver com os pesquisadores, você poderá pedir aos seus pais para ligarem para um dos pesquisadores informando a desistência. Eles possuem nossos contatos descritos no TCLE que eles receberam.

Procedimento

A pesquisa irá acontecer em dois dias. Você virá ao laboratório do Grupo de Estudo de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da UFMG nos dois dias no horário oposto ao de suas aulas na escola.

No primeiro dia avaliaremos o seu esforço cognitivo e a sua movimentação espontânea enquanto você realiza alguns testes de memória e testes escolares. Você irá para uma sala onde ocorrerá a pesquisa e colocaremos em

seus punhos, tornozelos e tronco um aparelho chamado acelerômetro que medirá a movimentação de seu corpo. Depois você se assentará em uma carteira escolar que possui pedais de bicicleta acoplados. Colocaremos em sua cabeça fitas do aparelho de eletroencefalografia que permitirá realizar o registro gráfico das correntes elétricas espontâneas desenvolvidas em seu cérebro. Nenhum desses procedimentos causa dor, o que pode ocorrer é um leve desconforto. Após isso, você realizará três jogos rápidos no computador que servirão para avaliar o quanto você está alerta e vigilante nas atividades. Logo depois haverá dois testes de memória, no primeiro você deverá repetir uma sequência numérica apresentada verbalmente pelo examinador, e no segundo, deverá tocar em pequenos blocos de madeira na mesma sequência anteriormente tocada pelo examinador. Após essa etapa você assistirá uma vídeo/aula de português ou matemática e realizará um teste do mesmo conteúdo, com questões apropriadas à sua idade e ano escolar. Você poderá apresentar algum cansaço durante a realização dos testes, mas caso queira, eles poderão ser interrompidos. O tempo previsto para realização dos procedimentos é de aproximadamente 60 minutos.

No segundo dia avaliaremos sua hemodinâmica cerebral e movimentação espontânea enquanto você realiza testes escolares e assiste um trecho de um filme. De igual maneira ao dia anterior, você irá para a sala onde ocorrerá a pesquisa, os acelerômetros serão instalados e você se assentará na carteira com pedais. Dessa vez será instalado em sua cabeça uma touca cheia de fios, de um outro equipamento, o NIRS, que avaliará a quantidade de oxigênio em diferentes áreas do seu cérebro. Você poderá sentir um leve desconforto durante a colocação da touca. Na sequência, você assistirá um trecho de aproximadamente 7 minutos de duração de um filme ou desenho adequado à sua idade. Logo depois, você assistirá à vídeo-aula e realizará o teste diferente do que realizou na coleta anterior. Você poderá ficar um pouco cansado(a) durante a realização dos testes. Se você achar necessário poderemos interromper os testes. O tempo previsto para realização dos procedimentos é de aproximadamente 30 minutos.

Caso haja necessidade, se você tiver algum mal estar, será encaminhado ao serviço de enfermagem da EEFETO e ao atendimento fisioterápico da EEFETO.

Nos dois dias você será filmado durante a aplicação dos testes para podermos avaliar seu comportamento motor depois, mas apenas a equipe de pesquisa terá acesso a essas filmagens.

Benefícios

Você não receberá nenhum benefício direto com essa pesquisa, entretanto entendermos melhor as relações entre a cognição e comportamento motor em crianças com o TDAH poderá trazer benefícios indiretos, tais como, promover melhores estratégias de intervenção terapêutica e educacionais para crianças com o transtorno.

Confidencialidade

As anotações sobre os resultados dos exames serão mantidos em segredo de acordo com a legislação atual. Em todas as anotações, você não será identificado e seu nome será conhecido apenas pelos pesquisadores. Seu nome não será utilizado em nenhum relatório ou publicação neste estudo. As filmagens serão mantidas em sigilo, divulgando-se os resultados da pesquisa apenas sob a forma de dados estatísticos globais e com imagens tarjadas, sem identificação individual.

Contato para dúvidas:

Se você ou os responsáveis por você tiverem dúvidas com relação ao estudo, direitos do participante, ou no caso de riscos relacionados ao estudo, você poderá entrar em contato com os pesquisadores Simara Regina de Oliveira Ribeiro (31-99941-0926) ou Guilherme Menezes Lage (31-98884-0411). Se você tiver dúvidas sobre seus direitos como um paciente de pesquisa, você pode contatar o Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG. O número do telefone de contato é (31) 3409-4592. O COEP funciona no Campus da UFMG, na Unidade Administrativa II (prédio da Fundep), 2º andar, sala 2005

DECLARAÇÃO DE ASSENTIMENTO DO SUJEITO DA PESQUISA:

Eu li e discuti com o investigador responsável pelo presente estudo os detalhes descritos neste documento. Entendo que eu sou livre para aceitar ou recusar, e que posso interromper a minha participação a qualquer momento sem dar uma razão. Eu concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para o propósito acima descrito.

Eu entendi a informação apresentada neste TERMO DE ASSENTIMENTO. Eu tive a oportunidade para fazer perguntas e todas as minhas perguntas foram respondidas.

Eu receberei uma via assinada e datada deste Documento DE ASSENTIMENTO INFORMADO.

_____/_____/_____
NOME DA CRIANÇA

DATA

ASSINATURA

DECLARAÇÃO DO INVESTIGADOR

O Investigador Principal explicou para o indivíduo mencionado acima a natureza e propósito dos procedimentos descritos acima e possíveis riscos, desconfortos e benefícios que podem ocorrer. Eu perguntei ao indivíduo se qualquer pergunta lhe ocorreu em relação aos procedimentos empregados e respondi essas perguntas da melhor forma possível.

Data: ____/____/____

Assinatura do Pesquisador Responsável

Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG - Campus da UFMG, Unidade Administrativa II, 2º andar, sala 2005. Telefones de contato: (31) 3409-4592; 3409-4027.

Apêndice C – Caracterização da Amostra nos Estudos 1

Caracterização da Amostra – Estudo 1						
Voluntário	Idade	Sexo	Ano escolar	Inteligência (Percentil)	Diagnóstico com apresentação clínica	Comorbidades
1	9	M	4º	60	TDAH-C (6D/6H)	TEA – leve
2	10	M	6º	60	TDAH-D (8D/0H)	-
3	10	F	6º	84	TDAH-C (9D/9H)	D
4	8	M	3º	84	TDAH-H (4D/8H)	-
5	10	F	5º	40	TDAH-H (5D/8H)	TOD
6	10	M	5º	95	TDAH-C (7D/7H)	TA
7	9	F	5º	95	TDAH-C (9D/9H)	TOD
8	11	M	7º	99	TDAH-D (8D/0H)	-
9	9	M	5º	95	TDAH-D (D9/H5)	-
10	10	F	6º	25	TDAH-D (9D/3H)	-
11	10	M	6º	5	TDAH-D (6D/2H)	TOD / TAS / D /
12	10	F	6º	40	TDAH-C (D8/H8)	TA
13	10	M	5º	50	TDAH-D (D9/H4)	A
14	11	M	6º	99	TDAH-D (D7/H3)	-
15	9	M	5º	50	TDAH-C (D9/H8)	TA
16	9	F	5º	37	TDAH-D (9D/5H)	TEA leve
17	9	M	4º	5	TDAH -C (9D/6H)	-
18	9	M	4º	50	TDAH-D (8D/3H)	-
19	10	M	5º	30	TDAH-H (0D/8H)	-
20	10	M	6º	30	TDAH-H (4D/6H)	FS
21	8	M	3º	40	TDAH-H (1D/8H)	TOD
22	10	M	4º	50	TDAH-H (D1/H6)	-
23	9	F	4º	60	TDAH-C (D9/H9)	-
24	10	M	6º	95	TDAH-C (D7/H9)	TAS / SP
25	11	F	6º	37	TDAH-D (8D/4H)	-

Legenda: TEA – Transtorno do Espectro Autista; TOD – Transtorno Opositor Desafiador; FS – Fobia Social; TAS – Transtorno de Ansiedade de Separação; SP – Síndrome do Pânico; TA – Transtorno da Aprendizagem; D – Depressão; A – Ansiedade; FS – Fobia Social.

Fonte: Dados extraídos do banco de dados dos pacientes acompanhados pelo NITIDA / HC-UFG em testes de triagem.

Apêndice D – Escores Individuais nos testes de MO e TDE – Estudo 1

Escore nos testes de MO e TDE– Estudo 1							
Voluntários	Corsi Direto	Corsi Inverso	Dígitos Direto	Dígitos inverso	TDE Leitura	TDE Escrita	TDE Aritmética
1	16	26	48	10	63	33	
2	6	1	12	1			5
3	35	36	35	5	69	28	
4	16	13	54	5	65	24	
5	9	26	35	10			14
6	40	36	20	25			25
7	40	26	20	10	46	8	
8	63	61	54	13			25
9	54	36	77	17			21
10	35	31	63	10	67	30	
11	24	43	42	5			9
12	40	21	9	5	17	2	
13	54	25	35	21			11
14	35	21	88	13			22
15	24	21	70	5	2	1	
16	35	13	12	4			19
17	42	25	35	10			17
18	12	10	35	5	60	23	
19	30	31	20	10	38	14	
20	24	31	20	10			17
21	30	31	42	10	37	8	
22	42	13	70	13	59	22	
23	48	64	70	21	62	25	
24	40	41	20	13	67	33	
25	24	31	35	5	62	34	

**Apêndice E – Escores individuais da média de ME em cada teste/tarefa –
Estudo 1**

Escores da média de ME em cada teste / tarefa– Estudo 1									
Voluntários	Corsi Direto	Corsi Inverso	Dígitos Direto	Dígitos inverso	TDE Leitura	TDE Escrita	TDE Aritmética	Videoaula Português	Videoaula Matemática
1	91,2	131	145,75	107,75	168,73	93,31		86,89	
2	0	0	0,12	0			0,01		0
3	16,9	8,61	81,8	36,25	19,44	7,3		9	
4	196,7	60,13	71,38	207,5	168,94	104,38		163,74	
5	60,13	61,43	138,25	59,17			17,96		23,86
6	0,36	1,79	9,5	0			0,51		1,17
7	1,17	51,57	33,67	18	22,22	8,84		8,96	
8	1,13	0,08	0	2,5			0,51		1,17
9	12,34	3,27	13,31	19,7			11,53		0
10	35,93	11,44	56,83	71,5	42,11	0,722		30	
11	0	0,29	3,21	1,5			1,20		0,36
12	70,57	23,47	118,13	85,63	150,37	55,78		132,88	
13	24,25	54,44	102,63	104,8			4,65		22,18
14	10,42	14,9	72,25	57,33			16,53		25,56
15	24	46,75	85,5	44,33	53,16	22,73		31,53	
16	24,64	3,41	15,69	1,25			1,54		0,63
17	34,66	14,75	35,1	57,63			61,90		41,54
18	14,08	60,07	144,96	219,83	80,35	46,51		56,02	
19	6,29	13,38	6,13	13,17	23,88	16,92		8,57	
20	13,8	3,25	4,5	0			0,24		0,11
21	43,25	52,13	71,57	47,8	91,33	42,46		108,10	
22	31,46	55,67	68,72	61,6	71,24	25,98		55,1	
23	25,41	8,93	23	43,17	27,89	4,95		20,38	
24	27	48,56	69,6	69,9	85,36	64,26		106,11	
25	2,5	0,75	4,92	3,625	4,06	3,80		3,95	

Apêndice F – Escores individuais do esforço cognitivo, engajamento e distração em cada teste / tarefa– Estudo 1

Escore do esforço cognitivo, engajamento e distração em cada teste / tarefa– Estudo 1												
Voluntários	Corsi Direto			Corsi Inverso			Dígitos Direto			Dígitos Inverso		
	EC	E	D	EC	E	D	EC	E	D	EC	E	D
1	0,74	0,36	0,80	0,77	0,39	0,69	0,73	0,39	0,71	0,73	0,34	0,85
2	0,44	0,78	0,02	0,44	0,78	0,02	0,43	0,77	0,03	0,44	0,75	0,06
3	0,47	0,56	0,43	0,47	0,58	0,42	0,47	0,69	0,30	0,50	0,66	0,25
4	0,34	0,64	0,30	0,41	0,69	0,24	0,43	0,58	0,33	0,44	0,63	0,27
5	0,52	0,66	0,12	0,41	0,65	0,18	0,43	0,56	0,29	0,48	0,66	0,12
6	0,57	0,61	0,29	0,51	0,65	0,20	0,51	0,49	0,49	0,49	0,51	0,43
7	0,55	0,69	0,11	0,56	0,74	0,06	0,58	0,72	0,10	0,61	0,70	0,12
8	0,56	0,68	0,24	0,58	0,65	0,26	0,56	0,68	0,28	0,62	0,74	0,22
9	0,50	0,73	0,05	0,50	0,67	0,27	0,47	0,74	0,05	0,54	0,66	0,14
10	0,61	0,71	0,08	0,58	0,73	0,08	0,61	0,67	0,10	0,53	0,70	0,13
11	0,60	0,71	0,05	0,63	0,73	0,02	0,61	0,75	0,04	0,69	0,78	0,01
12	0,28	0,66	0,16	0,34	0,74	0,09	0,31	0,71	0,14	0,28	0,66	0,22
13	0,50	0,66	0,24	0,47	0,70	0,17	0,43	0,69	0,22	0,45	0,58	0,37
14	0,59	0,51	0,43	0,58	0,58	0,34	0,54	0,56	0,42	0,57	0,47	0,49
15	0,41	0,74	0,02	0,40	0,73	0,03	0,27	0,68	0,19	0,34	0,76	0,08
16	0,50	0,58	0,14	0,55	0,54	0,25	0,46	0,65	0,17	0,52	0,56	0,32
17	0,58	0,73	0,12	0,54	0,69	0,19	0,48	0,64	0,28	0,49	0,59	0,30
18	0,67	0,65	0,00	0,83	0,60	0,00	0,64	0,64	0,09	0,67	0,65	0,00
19	0,54	0,59	0,32	0,54	0,56	0,36	0,57	0,64	0,12	0,57	0,59	0,28
20	0,56	0,76	0,07	0,57	0,74	0,06	0,54	0,80	0,05	0,54	0,79	0,14
21	0,34	0,40	0,65	0,32	0,51	0,44	0,30	0,44	0,54	0,26	0,44	0,52
22	0,41	0,79	0,06	0,43	0,79	0,09	0,44	0,76	0,08	0,49	0,77	0,10
23	0,55	0,53	0,40	0,73	0,66	0,14	0,71	0,50	0,39	0,53	0,47	0,32
24	0,44	0,60	0,19	0,46	0,56	0,21	0,41	0,63	0,24	0,47	0,59	0,24
25	0,58	0,35	0,84	0,55	0,32	0,91	0,55	0,33	0,89	0,51	0,33	0,88

Escore do esforço cognitivo, engajamento e distração em cada teste / tarefa– Estudo 1															
Voluntários	TDE Leitura			TDE Escrita			TDE Aritmética			Videoaula Português			Videoaula Matemática		
	EC	E	D	EC	E	D	EC	E	D	EC	E	D	EC	E	D
1	0,67	0,45	0,00	0,69	0,52	0,00				0,74	0,37	0,76			
2							0,46	0,79	0,02				0,45	0,77	0,00
3	0,44	0,70	0,27	0,49	0,63	0,27									
4	0,31	0,59	0,33	0,38	0,60	0,33				0,36	0,68	0,22			
5							0,40	0,58	0,23				0,39	0,59	0,22
6							0,65	0,67	0,25				0,57	0,65	0,25
7	0,56	0,72	0,16	0,57	0,66	0,14				0,67	0,60	0,01			
8							0,65	0,67	0,25				0,57	0,65	0,25
9							0,49	0,67	0,27				0,48	0,71	0,06
10	0,64	0,66	0,16	0,61	0,58	0,28				0,63	0,68	0,08			
11							0,64	0,75	0,02				0,68	0,75	0,01
12	0,31	0,70	0,10	0,29	0,62	0,21				0,31	0,70	0,13			
13													0,45	0,67	0,19
14							0,56	0,43	0,67				0,57	0,55	0,39
15	0,35	0,70	0,10	0,31	0,74	0,13				0,27	0,65	0,18			
16							0,55	0,51	0,19				0,43	0,51	0,23
17							0,56	0,65	0,21				0,55	0,64	0,21
18	0,66	0,62	0,04	0,66	0,62	0,04				0,83	0,60	0,00			
19	0,56	0,56	0,39	0,61	0,48	0,55				0,55	0,55	0,37			
20							0,67	0,73	0,03				0,53	0,77	0,01
21	0,36	0,38	0,66	0,38	0,36	0,72				0,32	0,41	0,58			
22	0,47	0,82	0,03	0,45	0,84	0,04				0,40	0,69	0,13			
23	0,53	0,58	0,15	0,55	0,64	0,27				0,51	0,61	0,24			
24	0,38	0,65	0,23	0,45	0,58	0,33				0,38	0,69	0,16			
25	0,54	0,36	0,79	0,56	0,38	0,73				0,52	0,35	0,81			

Apêndice G – Caracterização da amostra – Estudo 2

Caracterização da Amostra – Estudo 2						
Voluntário	Idade	Sexo	Ano escolar	Inteligência (Percentil)	Diagnóstico com apresentação clínica	Comorbidades
1	9	M	4º	60	TDAH-C (6D/6H)	TEA – leve
2	10	M	6º	60	TDAH-D (8D/0H)	-
3	10	F	6º	84	TDAH-C (9D/9H)	D
4	8	M	3º	84	TDAH-H (4D/8H)	-
5	9	F	5º	95	TDAH-C (9D/9H)	TOD
6	11	M	7º	99	TDAH-D (8D/0HI)	-
7	10	F	6º	40	TDAH-C (D8/H8)	TA
8	10	M	5º	50	TDAH-D (D9/H4)	A
9	9	M	5º	50	TDAH-C (D9/H8)	TA
10	9	F	5º	37	TDAH-D (9D/5H)	TEA leve
11	9	M	4º	50	TDAH-D (8D/3H)	-
12	10	M	6º	30	TDAH-H (4D/6H)	FS
13	9	F	4º	60	TDAH-C (D9/H9)	-
14	9	F	5º	60	TDAH-D (9D/5H)	-
15	9	M	5º	40	TDAH-D (8D/5H)	TEA – leve

Legenda: TEA – Transtorno do Espectro Autista; TOD – Transtorno Opositor Desafiador; FS – Fobia Social; TA – Transtorno da Aprendizagem; D – Depressão; A – Ansiedade.

Fonte: Dados extraídos do banco de dados dos pacientes acompanhados pelo NITIDA / HC-UFGM em testes de triagem.

Apêndice H – Resultados médios de ME e Hemodinâmica cerebral – Estudo 2

Resultados da média da movimentação espontânea total e da hemodinâmica cerebral em cada teste / tarefa– Estudo 2

Voluntários	MET	Hemod Conec	Hem ME	Hemod CD	Hemod CI	Hemod DD	Hemod DI	Hemod VA	Hem Trailer
1	113,50	3,19	7,23	-2,68	-6,16	3,15	1,23	-1,02	1,00
2	64,50	1,03	2,89	-3,01	-3,14	1,93	3,22	4,44	-1,47
3	78,00	2,43	1,99	-3,76	-4,19	1,12	-1,49	1,38	-5,59
4	118,00	-2,84	,38	1,08	-9,19	-1,31	1,57	2,51	1,98
5	21,50	2,73	-1,48	-9,76	-3,49	-1,01	-9,03	-2,37	-6,94
6	151,00	1,45	-5,83	8,62	-9,04	-5,70	1,16	-1,38	3,54
7	78,00	9,22	1,17	-2,07	1,70	1,60	5,36	-4,87	-2,80
8	81,00	8,73	-1,41	-7,60	1,58	1,39	-3,39	1,22	8,50
9	140,00	2,24	-1,50	1,52	2,75	-4,07	8,18	5,50	-1,83
10	45,00	1,02	-7,92	-1,68	5,69	,83	2,78	-2,69	1,15
11	75,00	2,34	3,13	2,86	5,33	-6,28	3,75	2,37	2,37
12	81,50	2,73	4,68	-1,50	-5,21	3,64	3,23	-6,74	-1,29
13	24,00	1,67	-5,37	-5,69	-9,31	-3,08	2,19	-8,83	1,44
14	92,50	6,33	1,35	-1,30	-2,19	-1,33	1,17	1,24	1,49
15	8,50	-1,35	6,46	1,46	1,64	-1,63	2,85	-1,62	2,35

Anexo 1 - Aprovação do Comitê de Ética

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: O PAPEL DO MOVIMENTO ESPONTÂNEO NO DESEMPENHO DA MEMÓRIA OPERACIONAL EM CRIANÇAS COM TRANSTORNO DE DÉFICIT DE ATENÇÃO/HIPERATIVIDADE

Pesquisador: Guilherme Menezes Lage

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 80322317.8.0000.5149

Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

Patrocinador Principal: MINISTERIO DA CIENCIA, TECNOLOGIA E INOVACAO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.616.534

Continuação do Parecer: 2.616.534

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcleexperimentos1e2novaversao.pdf	18/04/2018 11:11:47	Guilherme Menezes Lage	Aceito
Outros	cartaresposta3.pdf	18/04/2018 11:07:30	Guilherme Menezes Lage	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	parecereeffto.pdf	09/03/2018 16:25:30	Guilherme Menezes Lage	Aceito
Outros	cartaresposta.pdf	09/03/2018 16:20:43	Guilherme Menezes Lage	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	registroprojetonogep.pdf	09/03/2018 16:11:08	Guilherme Menezes Lage	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto detalhado.pdf	24/11/2017 08:59:09	Guilherme Menezes Lage	Aceito
Folha de Rosto	folhaderosto.pdf	24/11/2017 08:54:42	Guilherme Menezes Lage	Aceito
Outros	803223178aprovacaoassinada.pdf	24/04/2018 10:07:26	Vivian Resende	Aceito
Outros	803223178parecerassinado.pdf	24/04/2018 10:07:35	Vivian Resende	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELO HORIZONTE, 24 de Abril de 2018

Assinado por:
Vivian Resende
(Coordenador)