

LIDIANE APARECIDA FERNANDES

**OS EFEITOS DA MODULAÇÃO HEMISFÉRICA NAS ASSIMETRIAS
MANUAIS: INIBIÇÃO INTER-HEMISFÉRICA E AUMENTO DA
EXCITABILIDADE HEMISFÉRICA**

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais
2016

LIDIANE APARECIDA FERNANDES

**OS EFEITOS DA MODULAÇÃO HEMISFÉRICA NAS ASSIMETRIAS
MANUAIS: INIBIÇÃO INTER-HEMISFÉRICA E AUMENTO DA
EXCITABILIDADE HEMISFÉRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Esporte.

Área de concentração: Treinamento Esportivo
Linha de pesquisa: Aquisição, Controle, Adaptação de habilidades motoras ao longo da vida
Orientador: Dr. Guilherme Menezes Lage

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais
2016

F363e Fernandes, Lidiane Aparecida
2016 Os efeitos da modulação hemisférica nas assimetrias manuais: inibição inter-hemisférica e aumento da excitabilidade cortical. [manuscrito] / Lidiane Aparecida Fernandes – 2016.
121 f., enc.: il.

Orientador: Guilherme Menezes Lage

Mestrado (dissertação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: f. 000-121

1. Capacidade motora - Teses. 2. Lateralidade funcional - Teses. 3. Dominância cerebral - Teses. I. Lage, Guilherme Menezes. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 796.012.1

Ficha catalográfica elaborada pela equipe de bibliotecários da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte

A Dissertação intitulada "**Os efeitos da modulação hemisférica nas assimetrias manuais: inibição inter-hemisférica e aumento da excitabilidade hemisférica**", de autoria da mestranda **Lidiane Aparecida Fernandes**, defendida em 01 de agosto de 2016, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, foi submetida à banca examinadora composta pelos professores:

Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage (Orientador)
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Maicon Rodrigues Albuquerque
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Bruno Rezende de Souza
Instituto de Ciências Biológicas
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 01 de agosto de 2016.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus heróis:

Meus pais, Mônica e Joaquim pela mais singela forma de amor e incondicional apoio aos meus sonhos, os heróis da minha vida.

Ao Guilherme Lage, o responsável por mudar o meu caminho, herói desta história.

AGRADECIMENTOS

São tantas pessoas para agradecer e tantos motivos para celebrar ao final desta etapa incomensurável de aprendizado.

Agradeço a **Deus** pela oportunidade de viver esse grandioso momento cercado de carinho e amor de pessoas tão queridas.

Agradeço aos meus pais, **Mônica** e **Joaquim**, por todo apoio durante esses anos de luta em busca dos meus sonhos. Obrigada por acreditarem em mim, por estarem sempre presente e terem me ensinado a nunca desistir dos meus sonhos. Vocês são tudo que há de mais essencial e verdadeiro neste mundo. Agradeço também aos meus irmãos, **Carlos Henrique** e **Lucas** por todo amor e apoio. Amo muito vocês, obrigada por serem a luz no meu caminho.

Ao meu orientador, meus maiores agradecimentos. Eu serei eternamente grata a você **Prof. Dr. Guilherme Lage**. Obrigada por mudar o meu caminho, por acreditar em mim e me mostrar que o desafio não era maior que a minha capacidade. Obrigada por estar comigo em todos os momentos de dificuldades e por ser um presente amigo e orientador. Obrigada por não permitir que eu deixasse esse sonho frente as dificuldades encontradas e, obrigada por me permitir aprender com você. Agradeço por todos os momentos de orientação e dedicação a este trabalho e a minha formação.

Admiro sua capacidade extraordinária de falar o necessário sem agredir, a forma como você recebe à todos diariamente, o seu modo de lidar com a mais cruel situação de forma pacífica, bem humorada e justa.

Admiro o Homem, o Professor, o Pesquisador e o Orientador que é.

Obrigada Guilherme, você confiou em mim. Estive atenta a todos os passos para não decepcioná-lo, porque a confiança que depositou em mim é a mesma que terá de mim para sempre. Você faz parte da minha história e me faz querer ir cada vez mais e mais longe.

Você é o meu grande exemplo!

“Em todos esses momentos, em todas essas circunstâncias, não posso dizer que estive sozinho, que estive pensando sozinho, pois em pensamento eu me situava neste ou naquele grupo” (Halbwachs). No GEDAM é impossível se sentir sozinho. Agradeço aos AMIGOS GEDAIS pela convivência agradável e por tornar todos os dias preenchidos com muito conhecimento e boas risadas nos momentos de descontração. Agradeço especialmente a **Márcia, Cíntia, Simara, Giovanna, Cristiane, Nádia, Natália Lelis, Nathália Marinho, Natália Ambrósio, Bárbarah, Mayndra, Thábata, Silvana, Paola, Welisney, Clara, Carlinhos, Luciano, Madson, Bruno, Matheus, Auro, Guilherme, Lucas, Marcelo, Marco Túlio e Arthur.**

Tércio, você foi um grande amigo, um presente da vida! Obrigada por estar sempre ao meu lado me dando forças para seguir e cuidando de mim em dias difíceis. Você me ensinou muitas coisas, principalmente a ser incansável quando alguém precisa de ajuda e me mostrou que ainda há pessoas de grandes valores. Sem você, esse momento não seria possível. Obrigada Apo-Souza, amizade para vida toda!

As amigas **Lívia, Maria, Crislaine e Renata Fraga** por todos os momentos de sincera amizade, cumplicidade e apoio. Vocês tem um lugar especial no meu coração.

Ao **Patrick**, obrigada por estar sempre presente e por acreditar que eu seria capaz.

Ao **João e Paulo** que estiveram presente em todos os momentos como grandes irmãos acadêmicos, dividiram muitas tarefas e também muitos momentos de alegria, obrigada!

Agradeço a **Neali**, mais que uma amiga, minha irmã. Obrigada por sua fiel amizade.

Aos Professores **Dr. Rodolfo Benda e Dr. Herbert Ugrinowitsch** por terem me recebido no GEDAM com tanto carinho. Obrigada também pelas inúmeras contribuições na minha formação profissional e pessoal.

Aos meus professores e amigos da Universidade Federal de Viçosa, **Cláudia Patrocínio, Israel Teoldo, Bel Kowalski, Eveline Torres, Paulo Amorim e Paulo Lobato**, que contribuíram para minha formação e me inspiraram a continuar buscando novos desafios.

Aos **voluntários**, que gentilmente contribuíram na **realização desse** trabalho. Aos **funcionários** e **colaboradores** da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG. Em especial a **Lili** da cantina por todo carinho e atenção diário. Ao **Colegiado de Pós-Graduação em Ciências do Esporte** da EEEFTO/UFMG e a e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**CAPES**). Obrigado!

Por fim, a todos aqueles que contribuíram para realização deste sonho, deste trabalho.

Uma vez **GEDAM**, sempre **GEDAI!**

“Porque eu sou do tamanho do que vejo, e não do tamanho da minha altura. E o que vejo são os meus sonhos” (Alberto Caeiro).

“Não há acaso, sina, destino, que possa limitar, impedir ou controlar a firme resolução de uma alma determinada” (Ella Wheller Wilcox)

RESUMO

A assimetria de desempenho é caracterizada pela diferença no controle dos segmentos corporais contralaterais homólogos, que se manifestam em distintos aspectos da motricidade. As diferenças observadas no desempenho das mãos têm sido atribuídas a especialização do hemisfério contralateral na organização e controle do movimento voluntário. A modulação hemisférica pode afetar a condução elétrica das fibras do corpo caloso entre os hemisférios, resultando no aumento ou diminuição da comunicação inter-hemisférica e, conseqüentemente, uma redução ou aumento das assimetrias manuais. Desta forma, este estudo teve como objetivo investigar os efeitos da inibição inter-hemisférica e do aumento da excitabilidade hemisférica nas assimetrias manuais em uma tarefa de apontamento e analisar os mecanismos de controle associados às alterações das assimetrias manuais. No Experimento I, foi investigado os efeitos da inibição inter-hemisférica (IIH). Onze voluntários do sexo masculino realizaram uma tarefa de apontamento manual. Os voluntários participaram de três sessões com diferentes condições: Inibição do Hemisfério Dominante (IHD); Inibição do Hemisfério não Dominante (IHND) e Placebo (PL). Em cada sessão foi realizado um pré-teste, seguido da condição específica de estimulação do córtex motor primário (M1) e pós-teste para cada mão. As sessões foram separadas por um intervalo de 48 horas. No Experimento II, o objetivo foi verificar os efeitos do aumento da excitabilidade hemisférica (AEH) e analisar os mecanismos de controle associados à alteração das assimetrias manuais. Nove voluntários do sexo masculino realizaram uma tarefa de apontamento manual. O Experimento II seguiu o mesmo delineamento do Experimento I e foi composto por três sessões: Excitabilidade do Hemisfério não Dominante (EHND); Excitabilidade do Hemisfério Dominante (EHD) e Placebo (PL). Os resultados mostraram que a modulação hemisférica alterou as assimetrias manuais. A IIH levou à alterações nas variáveis de desempenho e variáveis cinemáticas, enquanto o AEH alterou apenas a variável cinemática tempo relativo para o pico de velocidade. A modulação hemisférica não alterou as variáveis: (1) pico de velocidade; (2) número de correções em ambos os experimentos. O mecanismo de controle associado às alterações nas assimetrias é a pré-programação do movimento. Em conclusão, a partir da modulação hemisférica foi possível alterar as assimetrias manuais e essa alteração está associada a um maior período de tempo durante a trajetória do movimento controlado de forma pré-programada, ou seja, controlado centralmente. Os efeitos da modulação hemisférica foram mais pronunciados para a IIH e estão em acordo com as proposições da especialização hemisférica. Mais estudos são necessários para estabelecer relações mais robustas entre a lateralidade biológica e as assimetrias manuais.

Palavras-chave: Assimetrias manuais. Modulação hemisférica. Controle motor.

ABSTRACT

Performance asymmetry is characterized by the difference in the control of homologous contralateral body segments, expressed in different aspects of motricity. The differences in the performance of hands have been attributed to the contralateral hemisphere specialization in organization and control of voluntary movement. The hemispherical modulation may affect the electrical conductivity of the corpus callosum fiber between the hemispheres, resulting in increased or decreased inter-hemispheric communication and, consequently, reduction or increase of manual asymmetries. Thus, this study aimed to investigate the effects of inter-hemispheric inhibition and increased excitability in hemispheric asymmetries in a manual aiming task as well as analyze the control mechanisms associated with the changes in manual asymmetries. In the first experiment, the effects of inter-hemispheric inhibition (IHI) were investigated. Eleven male volunteers performed a manual pointing task. The volunteers participated in three sessions under different conditions: Dominant Hemisphere Inhibition (DHI); non-Dominant Hemisphere inhibition (NDHI) and Placebo (PL). Each session consisted of a pretest, followed by the specific condition of stimulation of the primary motor cortex (M1) and post-test for each hand. The sessions were separated by an interval of 48 hours. Experiment II aimed to investigate the effects of increased excitability hemispheric (EH) and analyze the control mechanisms associated with the change of manual asymmetries. Nine male volunteers performed a manual pointing task. This experiment followed the same design of the first experiment and consisted of three sessions: Excitability of non-Dominant Hemisphere (ENDH); Excitability of Dominant Hemisphere (EDH) and Placebo (PL). The results showed that hemispherical modulation modified manual asymmetries. IHI led to changes in performance and kinematic variables, while EH only affected relative time to peak velocity kinematic variable. Hemispheric modulation did not change the following variables: (1) peak velocity; (2) number of corrections in both experiments. The control mechanism associated with changes in asymmetries is the preprogramming of movement. In conclusion, hemispherical modulation was able to modify manual asymmetries, which is associated with longer times during the trajectory of motion controlled in a preprogrammed fashion, i.e., controlled centrally. The effects of hemispheric modulation were more evident for IHI and are in accordance with the propositions of hemispheric specialization. More studies are necessary to establish stronger links between biological handedness and manual asymmetries.

Keywords: Manual asymmetries. Hemispherical modulation. Motor control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Explicação do modelo híbrido de duas fases proposto por Woodworth (1899)	25
FIGURA 2: Cérebro humano	30
FIGURA 3: Corte sagital do cérebro. Separação funcional entre os hemisférios direito e esquerdo	30
FIGURA 4: Feixe de fibras comissurais do corpo caloso	32
FIGURA 5: Diagrama esquemático de representação da IHlc e da IHli no início dos movimentos realizados com a mão direita e esquerda	34
FIGURA 6: A) O anodo, colocado sobre a superfície da cabeça conduz a uma hiperpolarização da região dendrítica do neurônio e despolariza o corpo da célula. B) O catodo, colocado sobre a superfície da cabeça, conduz a uma despolarização da região dendrítica do neurônio e uma hiperpolarização do corpo da célula (soma)	37
FIGURA 7: Aparelho de ETCC	42
FIGURA 8: Sistema internacional 10/20 de Eletroencefalografia	43
FIGURA 9: Tarefa de apontamento realizada com a mão esquerda e com a mão direita, respectivamente	44
FIGURA 10: 1- Inibição do Hemisfério Dominante (IHD); 2- Inibição do Hemisfério Não Dominante (IHND)	46
FIGURA 11: Exemplo de delineamento do experimento 1	47
FIGURA 12: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição IHD	60
FIGURA. 13: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição IHND	60
FIGURA. 14: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição PL	61
FIGURA 15: Possível explicação para o uso da velocidade média no modelo de Woodworth (1899)	69
FIGURA 16: 1- Excitação do hemisfério não dominante (EHND); 2- Excitação do hemisfério dominante (EHD)	75

FIGURA 17: Exemplo de delineamento do experimento I.	76
FIGURA 18: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição EHND	85
FIGURA. 19: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição EHD	85
FIGURA 20: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição PL	86
GRÁFICO 1: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável tempo de reação (TR)	51
GRÁFICO 2: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições IHD e IHND para variável tempo de reação (TR)... ..	52
GRÁFICO 3: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável tempo de movimento (TM)	53
GRÁFICO 4: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições IHD e IHND para variável tempo de movimento (TM)	54
GRÁFICO 5: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para variável erro	55
GRÁFICO 6: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável pico de velocidade (PV)	56
GRÁFICO 7: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável número de correções (NC)	57
GRÁFICO 8: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para variável tempo relativo para o pico velocidade (TRPV)	58
GRÁFICO 9: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições IHD e PL para variável tempo relativo para o pico vertical (TRPV)	59
GRÁFICO 10: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para variável tempo de reação (TR)	78
GRÁFICO 11: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para variável tempo de movimento (TM)	79
GRÁFICO 12: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições EHND, EHD e PL para variável precisão	80

GRÁFICO 13: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável pico velocidade (PV)	81
GRÁFICO 14: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável número de correções (NC)	82
GRÁFICO 15: Médias do índice de mudança e do intervalo de confiança das condições para a variável tempo relativo para o pico vertical (TRPV)	83
GRÁFICO 16: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições EHND e PL para variável tempo relativo para o pico de velocidade (TRPV)	84

LISTA DE ABREVIações

Aumento da Excitabilidade Hemisférica	AEH
Área supraorbital (hemisfério Direito)	Fp2
Área supraorbital (hemisfério esquerdo)	Fp1
Corpo Caloso	CC
Córtex Motor Primário (Hemisfério esquerdo)	C4
Córtex Motor Primário Hemisfério (direito)	C3
Especialização Hemisférica	EH
Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua	ETCC
Excitabilidade do hemisfério não dominante	EHND
Excitabilidade do hemisfério dominante	EHD
Hemisfério dominante	HD
Hemisfério não dominante	HND
Inibição do hemisfério dominante	IHD
Inibição do hemisférios não dominante	IHND
Inibição Inter-hemisférica	IIH
Córtex Motor Primário	M1
Número de Correções	NC
Pico de velocidade	PV
Tempo de Movimento	TM
Tempo de Reação	TR
Tempo Relativo para o Pico de Velocidade	TRPV

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 01: Parâmetros estatísticos do Estudo Piloto do experimento I para comparação da Anova <i>two-way</i> com medidas repetidas	105
APÊNDICE 02: Os valores em média de cada um dos participantes nas três condições de estimulação no Estudo Pilotop	106
APÊNDICE 03: Médias do desempenho motor para a variável tempo de reação (TR).....	107
APÊNDICE 04: Médias do desempenho motor para a variável tempo de movimento (TM).....	108
APÊNDICE 05: Médias do desempenho motor para a variável precisão do movimento	109
APÊNDICE 06: Médias do desempenho motor para a variável pico de velocidade (PV).....	110
APÊNDICE 07: Médias do desempenho motor para a variável tempo relativo para o pico de velocidade (TRPV)	111
APÊNDICE 08: Médias do desempenho motor para a variável número de correções (NC).....	112
APÊNDICE 09: Parâmetros estatísticos do Estudo Piloto para comparação da Anova <i>two-way</i> com medidas repetidas.....	113
APÊNDICE 10: Os valores em média de cada um dos participantes nas três condições de estimulação no Estudo Piloto.....	114
APÊNDICE 11: Médias do desempenho motor para a variável tempo de reação (TR).....	115
APÊNDICE 12: Médias do desempenho motor para a variável tempo de movimento (TM).....	116
APÊNDICE 14: Médias do desempenho motor para a variável pico de velocidade (PV).....	117
APÊNDICE 15: Médias do desempenho motor para a variável tempo relativo para pico velocidade (TRPV)	118
APÊNDICE 16: Médias do desempenho motor para a variável número de correções (NC).....	119

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 Assimetria manual de desempenho	22
2.2 O Modelo de Híbrido de Woodworth (1899).....	24
2.3 A Especialização Hemisférica	26
2.4 A Comunicação Inter-Hemisférica.....	29
2.5 A Inibição Inter-Hemisférica (IIH)	33
2.6 A modulação cortical através da Estimulação Trascraniana por Corrente Contínua (ETCC)	35
3 OBJETIVOS	39
3.1 Objetivo geral	39
3.2 Objetivos específicos	39
4 HIPÓTESES	40
5 MATERIAIS E MÉTODO.....	41
5.1 Amostra.....	41
5.2 Instrumentos e tarefa motora	42
5.3 Delineamentos e procedimentos	44
5.4 Variáveis de estudo.....	47
5.5 Procedimentos estatísticos	48
6 RESULTADOS.....	50
6.1 Análise descritiva das variáveis de desempenho	50
6.2 Análise descritiva das variáveis cinemáticas.....	55
7 DISCUSSÃO	62
EXPERIMENTO II: AUMENTO DA EXCITABILIDADE HEMISFÉRICA	71
8 OBJETIVOS.....	72
8.1 Objetivo geral	72

8.2 Objetivos específicos	72
9 HIPÓTESES	73
10 MATERIAIS E MÉTODO.....	74
10.1 Amostra.....	74
10.2 Instrumentos e tarefa motora	74
10.3 Delineamentos e procedimentos.....	74
10.4 Variáveis de estudo.....	76
10.5 Procedimentos estatísticos	76
11 RESULTADOS.....	77
11.1 Análise descritiva das variáveis de desempenho.....	77
11.2 Análise descritiva das variáveis cinemáticas.....	80
12 DISCUSSÃO.....	87
13 DISCUSSÃO FINAL	91
14 CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS.....	94
ANEXO 01 - Parecer do Comitê de Ética e Pesquisa COEP	102
ANEXO 02 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	103
APÊNDICE 01: Parâmetros estatísticos do Estudo Piloto do experimento I para comparação da Anova <i>two-way</i> com medidas repetidas.	105
APÊNDICE 02: Os valores em média de cada um dos participantes nas três condições de estimulação no Estudo Piloto.	106
APÊNDICE 03: Médias do desempenho motor para a variável tempo de reação (TR).....	107
APÊNDICE 04 - Médias do desempenho motor para a variável tempo de movimento (TM)	108
APÊNDICE 05: Médias do desempenho motor para a variável precisão do movimento.....	109

APÊNDICE 06: Médias do desempenho motor para a variável pico de velocidade (PV).....	110
APÊNDICE 08: Médias do desempenho motor para a variável número de correções (NC).....	112
APÊNDICE 09: Parâmetros estatísticos do Estudo Piloto para comparação da Anova <i>two-way</i> com medidas repetidas.....	113
APÊNDICE 10: Os valores em média de cada um dos participantes nas três condições de estimulação no Estudo Piloto.....	114
APÊNDICE 11: Médias do desempenho motor para a variável tempo de reação (TR).....	115
APÊNDICE 12 - Médias do desempenho motor para a variável tempo de movimento (TM).....	116
APÊNDICE 13: Médias do desempenho motor para a variável precisão do movimento.....	117
APÊNDICE 14: Médias do desempenho motor para a variável pico de velocidade (PV).....	118
APÊNDICE 15: Médias do desempenho motor para a variável tempo relativo para pico velocidade (TRPV).....	119
APÊNDICE 16: Médias do desempenho motor para a variável número de correções (NC).....	120

1 INTRODUÇÃO

As assimetrias laterais observadas no comportamento motor apresentam duas dimensões. Uma das dimensões, conhecida como assimetria lateral de preferência, diz respeito à maior frequência de utilização de um determinado membro comparado ao membro contralateral. A outra dimensão, definida como assimetria lateral de desempenho, refere-se à diferença na qualidade da execução das tarefas pelos membros contralaterais (CARSON, 1990). As assimetrias de desempenho é caracterizada pela diferença no controle de segmentos corporais contralaterais homólogos, que se manifestam em distintos aspectos da motricidade, como a precisão, velocidade de execução, coordenação e latência para início dos movimentos. A origem das assimetrias de preferência e de desempenho é ainda controversa, mas sabe-se que são alimentadas pela interação entre os fatores ambientais e biológicos (SEELEY; UMBERGER; SHAPIRO, 2008).

Em destros, a mão preferida é frequentemente mais rápida e mais precisa que a mão não preferida (PETERS, 1986), enquanto a mão não preferida tende a apresentar menor tempo de reação (BOULINGUEZ; BARTHELEMY; DEBU, 2000). Estudos têm comparado a performance das mãos em diferentes tarefas como as de destreza manual (ANNETT, 1967), toques repetidos (PETERS, 1980; TAPLEY; BRYDEN, 1985) e de apontamento (ROY; ELLIOTT, 1986; LAGE et al., 2008). As diferenças observadas no desempenho das mãos têm sido muitas vezes atribuídas a especialização do hemisfério contralateral para a organização e controle do movimento voluntário (ELLIOTT; ROY, 1996). Para Todor e Smiley (1985) as assimetrias manuais na performance de várias tarefas motoras são tipicamente atribuídas a uma proficiência relativa de um dos hemisférios cerebrais em determinados tipos de processamento percepto-motor. Nos destros, o hemisfério cerebral esquerdo apresenta uma vantagem observada na preparação do movimento, processamento de *feedback* visual e proprioceptivo e organização sequencial (BOULINGUEZ et al., 2000). Enquanto o hemisfério direito/mão esquerda possui um papel principal no processamento de informação visuoespacial antes do movimento. A mão esquerda pode se beneficiar em situações em que correções *online* não são críticas para o desempenho preciso (GOODALE, 1985).

É conhecido que a lateralidade está relacionada à organização do sistema sensório-motor (BERNARD et al., 2011; BADZAKOVA-TRAJKOV et al., 2015). O

córtex motor primário (M1) possui um papel crucial no controle do movimento e está também envolvido na aquisição e consolidação da aprendizagem motora (NITSCHE et al., 2003a). O M1 direito e esquerdo estão conectados por fibras transcalosas que atravessam o corpo posterior e istmo do corpo caloso (WAHL et al., 2007). Há evidências de que a conexão entre os M1 seja principalmente inibitória (FERBERT et al., 1992), e que a atividade no M1 de um hemisfério pode alterar a atividade no M1 do outro hemisfério. Esta relação, conhecida como inibição inter-hemisférica (IIH), permite que um hemisfério interfira na atividade neural do hemisfério contralateral (DUQUE et al., 2007), ou seja, a mudança na excitabilidade cortical de um hemisfério pode produzir efeitos no outro hemisfério (GILIO et al., 2003; BLOOM; HYND, 2005). Uma vez que o corpo caloso (CC) permite a troca de informações entre os dois hemisférios, pode-se inferir que o CC contribui para a lateralização cerebral através da inibição de algumas interações entre os hemisférios, o que implica que a assimetria cerebral se desenvolve majoritariamente com o aumento das conexões inibitórias inter-hemisféricas (TEIXEIRA, 2012).

Técnicas de modulação cortical não invasiva podem alterar a excitabilidade dos hemisférios e revelar as relações causais entre as regiões e funções do cérebro. Um método promissor para a diminuição das assimetrias de desempenho no controle motor é a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC). Os efeitos da ETCC são determinados pela polaridade da estimulação. A estimulação anódica aumenta a excitabilidade da área alvo e a estimulação catódica diminui a excitabilidade da área desejada (VINES; NAIR; SCHAUG, 2006). Dessa forma, a modulação hemisférica pode afetar a condução elétrica das fibras do CC entre os hemisférios, resultando no aumento ou diminuição da comunicação inter-hemisférica e, conseqüentemente, uma redução ou aumento das assimetrias manuais que são originalmente geradas pela especialização hemisférica.

Vines, Nair e Schaug (2008a; 2008b) identificaram alguns aspectos funcionais da ETCC no córtex motor de humanos. Os autores investigaram o efeito da ETCC na IIH em destros utilizando uma tarefa de toques sequenciais e verificaram que a inibição do M1 no hemisfério dominante nos destros (hemisfério esquerdo) teve impacto em ambas as mãos, diminuindo a performance da mão dominante e melhorando a performance da mão não dominante. Já a inibição do M1 no hemisfério não dominante (hemisfério direito) afetou apenas o desempenho contralateral, piorando a performance da mão não dominante. Outros achados de estudos mostram

resultados similares da ETCC na IIH via estimulação do M1 mostrando que ao estimular ou inibir a região alvo afeta-se o controle e a aquisição de habilidades motoras (VINES; NAIR; SCHAUG; 2006; 2008b). Estes achados fornecem evidências para o papel da IIH na função do córtex motor, assim como para o papel da alteração da excitabilidade cortical no controle manual. Além disso, apoiam a hipótese de que a influência da IIH no M1 é maior do hemisfério dominante para o não dominante do que no sentido contrário. Estes achados mostram o efeito da modulação hemisférica na melhoria da performance manual, no entanto, não foram diretamente investigados os efeitos da modulação hemisférica nas assimetrias manuais.

A modulação da IIH por meio da aplicação da ETCC pode inibir a excitabilidade do hemisfério dominante (HD), que para os destros é o hemisfério esquerdo, resultando na desinibição do hemisfério não dominante (HND). Essa desinibição leva a melhoria da performance da mão não dominante e, conseqüentemente, na redução das assimetrias de desempenho (VINES; NAIR; SCHAUG, 2008a). Há uma outra possível forma de configuração para a modulação cortical na ETCC. É possível que as assimetrias manuais sejam reduzidas por meio do aumento da excitabilidade no hemisfério não dominante, o que levaria a um aumento da excitabilidade cortical no M1 direito e conseqüente aumento na performance da mão não dominante, reduzindo assim as assimetrias. Esse tipo de configuração leva ao aumento da excitabilidade na região alvo, mas sem a inibição do M1 contralateral, dessa forma, não alterando a IIH.

Os estudos que investigaram a IIH em movimentos manuais não tiveram objetivo de avaliação direta da alteração nas assimetrias manuais e somente utilizaram medidas de produto (ex., precisão) que não permitem inferências sobre quais mecanismos de controle foram afetados. O mesmo tipo de análise é observado nos estudos que investigaram alterações nas assimetrias via aumento da excitabilidade cortical do M1 não dominante. A análise cinemática de movimentos manuais direcionados a um alvo permite a análise de duas fases associadas a diferentes mecanismos de controle. A fase de impulso inicial é controlada centralmente e tem como função deslocar o membro de uma forma balística (rápida e sem tempo suficiente para processamento de *feedback*) até as proximidades do alvo. Já próximo ao ponto final do movimento, inicia-se a fase de controle corrente do movimento, caracterizada pelo uso de *feedback* para que o alvo seja alcançado com precisão (LAGE et al., 2012).

A estimulação sobre o M1 direito melhora o tempo de movimento de populações saudáveis (REIS et al., 2009) e clínicas (BENNINGER et al., 2010). Apesar de não ter sido objeto de investigação desses estudos, essa melhora do tempo de movimento pode se dar principalmente pela alteração de mecanismos ligados à fase inicial do movimento como o aumento do pico de velocidade e aumento da duração da primeira fase, fazendo com que o movimento dependa menos de processamento de *feedback*. Uma estratégia do sistema motor é minimizar a duração do movimento otimizando a distribuição de tempo entre o 1º e o 2º submovimentos. Uma maior duração e tamanho do 1º submovimento indicam um controle do sistema motor mais eficiente, indicando um maior período de deslocamento balístico e uma menor necessidade de correções *online* (LAGE et al., 2013; TEULINGS, 2001).

Quando se investiga assimetrias manuais e tempo de movimento, algumas questões importantes podem ser levantadas devido as interações entre a forma de estimulação e a especialização de cada hemisfério. A primeira questão é se a ETCC configurada para redução da IIH diminuiria as assimetrias manuais? É possível levantar a hipótese de que devido à especialização do hemisfério esquerdo em relação à temporização de movimentos, o aumento da cooperação inter-hemisférica diminuiria as assimetrias no tempo de movimento pelo aumento do desempenho da mão esquerda. A diminuição no tempo de movimento ocorreria por alterações no controle central do movimento observados na fase inicial do movimento, tais como o aumento do pico de velocidade e aumento do tempo relativo para o pico de velocidade. Não haveria alterações no tempo de reação. Uma segunda questão é se a ETCC configurada para o aumento da excitabilidade do M1 direito aumentaria as assimetrias manuais? Devido à especialização do hemisfério direito em relação à percepção de aspectos espaciais do ambiente antes da execução do movimento, é possível levantar a hipótese de que não haverá alteração nas assimetrias do tempo de movimento e nos perfis de velocidade e aceleração do movimento e que aumentaria a assimetria no tempo de reação em favor da mão esquerda.

A partir do exposto, este estudo busca investigar os efeitos da modulação cortical através da ETCC nas assimetrias manuais de desempenho a partir da IIH e do aumento da excitabilidade cortical, possibilitando uma maior compreensão sobre a comunicação e especialização hemisférica no controle motor e quais mecanismos de controle estão relacionados as alterações nas assimetrias manuais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Assimetria manual de desempenho

A assimetria manual de desempenho pode ser definida como a diferença na capacidade de controle dos segmentos corporais contralaterais homólogos que resultam em diferenças na performance da mão dominante e não dominante. A assimetria manual na performance de várias tarefas tem sido geralmente atribuída a uma proficiência relativa de cada hemisfério no processamento específico de informações percepto-motora (TODOR; SMILEY, 1985). O sistema mão direita/hemisfério esquerdo apresenta uma vantagem relacionada à execução do movimento (ROY et al., 1994; ELLIOTT et al., 1995), enquanto para o sistema mão esquerda/hemisfério direito é observado uma vantagem relacionada à preparação do movimento (ELLIOTT et al., 1995). A assimetria manual de desempenho é observada, por exemplo, em uma maior velocidade da mão direita em tarefas de movimentos direcionados a um alvo (WOODWORTH, 1899), toques repetidos (TODOR; KYPRIS; PRICE, 1982) e tarefas de sequenciamento (EDWARDS; ELLIOTT, 1987).

Em movimentos manuais direcionados a um alvo, as vantagens da mão direita para o tempo de movimento (TM) e a precisão do movimento parecem ser uma consequência da superioridade do sistema mão direita/hemisfério esquerdo em fazer pequenos ajustes na trajetória do movimento quando o membro aproxima-se da área do alvo (MIESCHKE et al., 2001). Já o sistema mão esquerda/hemisfério direito apresenta uma vantagem temporal relacionada a iniciação do movimento (MIESCHKE et al., 2001). As descobertas das assimetrias inter-membros no desempenho das ações dirigidas a um alvo geraram a hipótese da dominância dinâmica (MCGRATH; KANTAK, 2015). Na tentativa de explicar a assimetria manual no desempenho de movimentos direcionados a um alvo a hipótese da dominância dinâmica da lateralização motora propõe que o controle do braço dominante em indivíduos destros é otimizado para o planejamento da coordenação intersegmental (ou seja, a dinâmica), enquanto o controle do braço não dominante é otimizado para respostas a perturbação inesperada (SAINBURG et al., 2005). De acordo com Binsted, Cullen e Elliott (1998), a superioridade da mão direita pode ser explicada pela hipótese da variabilidade da saída motora proposta por Carson (1990), na qual o sistema mão

direita/hemisfério esquerdo é menos variável em termos de saída motora o que explicaria a vantagem da mão direita na realização de movimentos de apontamento.

Para explicar a vantagem da mão esquerda na preparação do movimento duas principais hipóteses têm sido propostas. A hipótese proposta por Heiman (1979) defende que a vantagem da mão esquerda para o tempo de reação é decorrente de um acesso direto aos mecanismos de atenção no hemisfério direito, os quais permitem ativação do sistema de controle da mão esquerda mais imediato que o lado contralateral. É possível que a vantagem da mão esquerda para o tempo de reação em movimentos direcionados a um alvo seja devido ao papel especial que o hemisfério cerebral direito desempenha na distribuição de recursos de atenção no espaço intrapessoal e extrapessoal (HEILMAN; VAN DEN ABELL, 1979). Em contraste, a hipótese do planejamento proposta por Carson (1996) propõe que a vantagem da mão esquerda para a preparação do movimento é resultado do envolvimento do hemisfério cerebral direito, o qual está envolvido no início da fase de planejamento do movimento, determinando a posição relativa do membro efetor para o alvo e também para o ambiente (CARSON, 1996).

A maior proficiência da mão esquerda para o tempo de reação (TR) e maior proficiência da mão direita para o TM são encontradas em alguns estudos (MIESCHKE et al., 2001, BOULINGUEZ; BARTHELEMY; DEBU, 2000). Os resultados do estudo de Mieschke et al. (2001) mostraram uma vantagem no TR para a mão esquerda somente nas condições em que foi exigido planejamento do movimento para um alvo específico, corroborando com a hipótese de planejamento (CARSON, 1996) na qual o envolvimento do hemisfério direito está relacionado aos estágios iniciais de planejamento do movimento. A mão direita apresentou menor TM que a mão esquerda, possivelmente porque é necessário menos tempo para usar informações cinestésicas e visuais disponíveis no final do movimento. Em concordância com estes resultados, no estudo de Boulinguez, Barthelemy e Debu (2000) o movimento da mão direita apresentou menor TM quando comparado com a mão esquerda. Portanto, é provável que a diferença no TM seja decorrente de adaptações nos mecanismos de controle para a utilização da mão preferida. Em relação ao TR, os resultados mostraram menor TR para os movimentos realizados com a mão esquerda quando comparado com a mão direita. Parece que a mão esquerda pode se beneficiar em situações em que correções on-line não são críticas para o desempenho preciso (BOULINGUEZ; BARTHELEMY; DEBU, 2000).

Os estudos citados apresentam importantes resultados acerca das diferenças no desempenho das mãos. Embora estas diferenças no desempenho das mãos têm sido amplamente documentadas em uma variedade de domínios motores e cognitivos, a investigação da relação entre as assimetrias motoras e assimetrias cerebrais possui resultados menos conclusivos.

A forma de inferir a assimetria manual é por meio da diferença do desempenho das mãos (CARSON, 1990). Movimentos manuais como os movimentos de apontamento, que caracterizam-se por movimentos rápidos e precisos de direcionamento a um alvo (ELLIOTT; CHUA, 1996), podem medir a assimetria pela diferença do desempenho das mãos. Por meio do modelo de Woodworth (1899) é possível medir as características temporais da trajetória de movimentos manuais, como de apontamento, permitindo inferir sobre mecanismo de controle relacionados as assimetrias via diferenças no desempenho das mãos. Ou seja, com o modelo de Woodworth (1899), que será descrito posteriormente, pode-se associar os possíveis mecanismos de controle que subsidiariam as alterações nas assimetrias manuais.

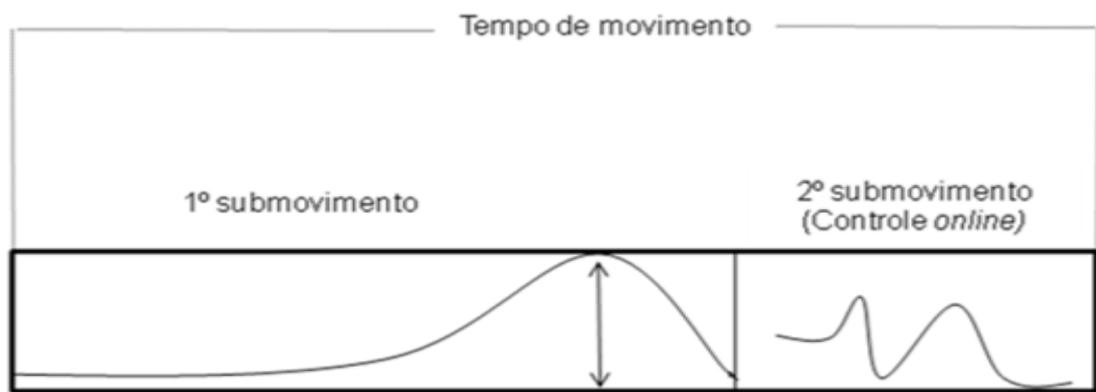
2.2 O Modelo de Híbrido de Woodworth (1899)

Um dos modelos mais frequentemente adotado no estudo de habilidades manuais como as de apontamento é o modelo híbrido de duas fases de Woodworth (1899). O modelo de dois componentes proposto por Woodworth (1899) no estudo de movimentos direcionados ao alvo provavelmente teve a maior influência sobre os estudos contemporâneos de controle motor e aprendizagem motora (ELLIOTT; KHAN, 2010). No que diz respeito às características do movimento, de acordo com Woodworth (1899), os movimentos rápidos são constituídos por dois componentes. A parte inicial do movimento, ou primeiro submovimento, é relativamente rápida e denominada como impulso inicial. Esta fase é controlada centralmente e tem como função deslocar o membro de forma balística (rápida e sem tempo suficiente para processamento de *feedback*) até as proximidades do alvo.

Já próximo ao ponto final do movimento, inicia-se o segundo submovimento, denominado de fase de controle corrente do movimento e caracterizado pelo uso de *feedback*, no qual as informações visual e proprioceptiva sobre as posições relativas do membro e do alvo são utilizadas para possíveis ajustes na trajetória do movimento para que o alvo seja alcançado com precisão (LAGE, 2012, FIGURA 1). De acordo

com Woodworth (1899), durante esta fase o movimento é ajustado, a fim de acertar ou chegar perto do alvo (ELLIOTT; KHAN, 2010). Na Figura 1 é explicada o modelo proposto por Woodworth (1899). Observa-se na figura a decomposição do TM através da análise cinemática mostrando dois momentos distintos do controle motor. O primeiro momento da ação, fase de impulso inicial, é controlado centralmente e tem como função deslocar o membro de uma forma balística até as proximidades do alvo. Já próximo ao ponto final de movimento, inicia-se a fase de controle corrente do movimento, na qual o *feedback* é utilizado para possíveis ajustes na trajetória do movimento. Dá-se o nome de modelo híbrido a proposição de Woodworth (1899), pois o movimento de apontamento ocorre em dois circuitos: aberto e fechado. A diferença entre o circuito aberto e circuito fechado é a presença ou não do *feedback*. No circuito aberto, que equivale a primeira fase do movimento, e, como descrito acima, é controlado centralmente e portanto não utiliza-se de *feedback* para o controle do primeiro submovimento. Já no circuito fechado, que diz respeito a segunda fase do movimento, e, como mencionado anteriormente, há a presença do *feedback* (WOODWORTH, 1899; FIGURA 1).

FIGURA 1: Explicação do modelo híbrido de duas fases proposto por Woodworth (1899).



Fonte: LAGE, 2010.

Uma estratégia do sistema motor é minimizar a duração total do movimento otimizando a distribuição de tempo entre o 1º e o 2º submovimentos. Uma maior duração e tamanho do 1º submovimento indicam um controle do sistema motor mais eficiente, indicando um maior período de deslocamento balístico e uma menor necessidade de correções *online* no 2º submovimento (TEULINGS, 2001).

2.3 A Especialização Hemisférica

O cérebro humano constitui-se como um sistema complexo, desenvolvido através da seleção natural para tomar decisões que aumentam o sucesso reprodutivo. Este simples fato tem várias repercussões na biologia evolutiva e uma vez compreendido, nos permite aprofundar sobre os conhecimentos acerca de um dos maiores fenômenos deste órgão: a sua especialização lateral (GAZZANINGA, 2000). Acredita-se que com a crescente demanda por espaço cortical, as forças de seleção natural tenham modificado um hemisfério, mas não o outro. Uma vez que o corpo caloso permite a troca de informação entre os dois hemisférios, é possível que eventos mutacionais ocorreram em uma área cortical, a qual é capaz de transmitir a função cortical de uma área homóloga para todo o sistema cognitivo (GAZZANINGA, 2000).

Ao longo do tempo, a prevalência de destros forneceu aos seres humanos, e talvez até mesmo aos seus antepassados, a evidência de que os seus cérebros não são menos assimétricos do que os seus corpos (CORBALLIS, 2009). Neste contexto, os estudos sobre a assimetria hemisférica têm início nos trabalhos realizados por Paul de Broca em 1960-1965, os quais propuseram que a localização da função da fala no hemisfério esquerdo, para a maioria das pessoas, se deve a uma qualidade particular do hemisfério esquerdo enquanto nos canhotos a fala deve localizar-se no hemisfério direito (PEARCE, 2009), e ainda, que esta lateralização induz também a uma preferência manipulatória pela mão direita (OLIVEIRA, 1984).

Desde a descoberta de Broca das alterações da linguagem após lesões no hemisfério esquerdo, o conceito de especialização hemisférica, em que um hemisfério é superior em comparação ao outro em determinado tipo de processamento, tem recebido muita atenção (BRYDEN, 1982). As proposições de Broca basearam-se nos estudos de alguns casos de indivíduos afásicos. As evidências subsequentes, até por volta de 1965, resultaram de estudos de casos patológicos, principalmente de pacientes com comprometimentos unilaterais, delineando-se o quadro de especializações diferenciadas dos dois hemisférios para a maior parte dos indivíduos (OLIVEIRA, 1984).

De acordo com Gazzaniga (2000), um dos principais fatos emergentes da investigação da especialização hemisférica é que o hemisfério esquerdo tem marcadas limitações nas funções perceptivas enquanto o hemisfério direito possui limitações mais proeminentes em suas funções cognitivas. Assim, em uma

perspectiva evolutiva a especialização lateral reflete o surgimento de novas competências e a conservação de outras. Com isso, pode-se prever que haja um aumento no processamento do circuito local, os quais se tornam especializados e otimizados para funções particulares. O cérebro anteriormente entendido como bilateral não precisa mais manter sistemas de processamento idênticos para todos os aspectos do processamento de informações, ou seja, a comunicação que ocorre entre os dois hemisférios pode ser reduzida, uma vez que apenas os produtos dos centros de processamento devem ser transmitidos para a metade oposta do cérebro.

Não obstante, após os achados de Broca (1965) muitas disputas teóricas foram suscitadas face às influências que o hemisfério lesionado poderia ter sobre o outro hemisfério (OLIVEIRA, 1984). Algumas teorias buscaram compreender o fenômeno da especialização hemisférica pautada nos modelos sobre organização funcional vinculados à investigação do "cérebro dividido", das quais o modelo mais desenvolvido vem a ser o de Levy (1969). No modelo de Levy o hemisfério esquerdo é superior e dominante em relação ao hemisfério esquerdo na construção visuoespacial, no registro das propriedades literais do mundo físico, na visualização das relações dos objetos no espaço e, provavelmente, na obtenção de conclusões acuradas na ausência de justificativa lógica. Além do mais, os hemisférios diferem em sua propensão para adiante:

"Em suma, a diferença fundamental nos dois lados do cérebro reside em suas abordagens profundamente diferentes do mundo, da experiência e suas diferentes propensões para controlar o comportamento como uma função das estratégias cognitivas demandadas. Não pode mais haver qualquer dúvida de que, ao invés de sermos uma espécie de meio-cérebro, nós somos uma espécie de duplo-cérebro, cada cérebro tendo sua mente especial" (Levy. 1980, p. 258).

Na perspectiva do modelo de Levy (1980) cada hemisfério é altamente responsável por suas próprias funções especializadas e ainda, é dada pouca importância à transferência inter-hemisférica. Dessa forma, as funções parecem estar organizadas nos hemisférios de um modo mais competitivo que cooperativo e o funcionamento cerebral parece mais alternante do que integrado.

Já no modelo proposto por Dimond e Beaumont (1974) é postulado que os hemisférios funcionam como dois computadores e cada computador é responsável por habilidades específicas, ambos os hemisférios são capazes de processar o estímulo separadamente quando necessário ou ainda, de distribuir uma sobrecarga

também quando necessário. Neste modelo, a especialização relativa dos hemisférios é entendida mais em termos de cooperação do que de competição.

Complementar aos modelos de Levy (1980) e Dimond e Beaumont (1974), a especialização hemisférica é descrita por Gazzaniga (2000) como diferenças que refletem uma evolução cerebral, a qual o cérebro bilateral não necessita manter em simultâneo sistemas de processamento de informação idênticos. A comunicação que ocorre entre os dois hemisférios pode ser reduzida para a função de transmitir o resultado final de determinado processamento ao hemisfério contralateral. Assim, a visão de cérebro dividido é substituída pela visão de um duplo cérebro, capaz de processamentos paralelos e aumento da informação entre os hemisférios. No entanto, estas discussões permanecem inconclusivas uma vez que há um grande número de estudos buscando maior compreensão sobre as questões relativas a dominância hemisférica e a comunicação inter-hemisférica.

No decorrer da década de 1980, a diferença na velocidade do processamento em cada hemisfério foi uma questão discutida entre os pesquisadores na busca por compreender como as assimetrias perceptuais ocorrem nos indivíduos normais. Zaidel (1986) propôs o Modelo de transmissão calosa (*Callosal Relay Model*) para explicar a transferência de informação inter-hemisférica. De acordo com o modelo de Zaidel (1986) há uma supremacia do hemisfério esquerdo em diversos tipos de processamento, assim, os estímulos que chegam (tátil, auditivo e visual) ao hemisfério direito exigem a transferência de informação mediada pelo corpo caloso para o hemisfério esquerdo (dominante), demandando um tempo de transferência extra, além disso é demandado um maior TR quando o estímulo auditivo é recebido pelo ouvido esquerdo (HUGDAHL et al., 1997). Por outro lado, o Modelo de acesso direto propõe que os estímulos recebidos são analisados diretamente pelo hemisfério direito (não dominante), embora menos eficientemente do que no hemisfério esquerdo (ZAIDEL, 1986).

Para Hellige (1996) é muito comum que ambos os hemisférios possuam habilidades para executar a mesma tarefa, mas, com um hemisfério ligeiramente mais eficaz que o outro nesta execução. A diferença na capacidade de processamento dos hemisférios é evidente na pesquisa de neuroimagem, onde a atividade cerebral é geralmente observada em ambos os hemisférios, mesmo para tarefas que comumente apresentam clara dominância hemisférica (BADZAKOVA-TRAJKOVETAL, 2015). É considerado que o hemisfério direito desempenha um papel

mais importante em uma variedade de ações não-verbais, incluindo habilidades espacial, reconhecimento facial e expressão emocional (HELLIGE, 1996; DUECKER et al., 2013). Além disso, de acordo com Beeman e Chiarello (1998) o hemisfério esquerdo é responsável por um processamento de codificação relativamente fina, resultando em padrões de ativação afinados e representações categóricas enquanto o hemisfério direito apresenta um processamento caracterizado como uma codificação relativamente grossa, resultando em padrões de ativação de representações difusas. De acordo com Reid e Serrien (2014) o hemisfério esquerdo possui propriedades intrínsecas para orientar o comportamento habilidoso.

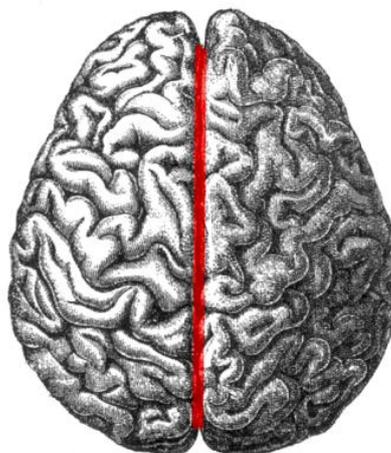
A especialização hemisférica tem sido estudada extensivamente usando uma variedade de abordagens, dentre elas as lesões cerebrais unilaterais, pacientes com cérebro dividido, estimulação cerebral intra-operatória, métodos comportamental e, mais recentemente, o uso de métodos de neuroimagem. Ao longo do tempo, os progressos nesta área foram significativos.

Em suma, a simetria é um design cognitivo extremamente dispendioso, portanto a lateralização da função quase dobra a capacidade de processamento de informações (LEVY, 1980). O CC permitiu uma expansão da capacidade cortical através da redução de redundância e ampliou o seu espaço para novas zonas corticais (GAZZANIGA, 2000). Portanto, a especialização hemisférica pode ser vista como um princípio subjacente para o entendimento de como o cérebro humano é organizado (BADZAKOVA-TRAJKOV et al., 2015) e como podemos entender algumas particularidades relacionados ao controle do movimento.

2.4 A Comunicação Inter-Hemisférica

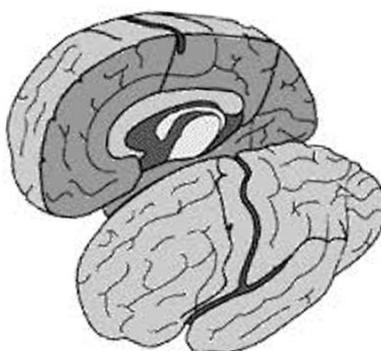
O cérebro dos mamíferos apresenta-se dividido em dois hemisférios que são conectados através de um conjunto de fibras comissurais, estas fibras são conhecidas como fibras homotópicas, isto é, interligam regiões equivalentes em ambos os lados cerebrais e fibras heterotópicas, as quais ainda não há um consenso sobre sua funcionalidade (TEIXEIRA, 2012). Em primatas e mais especificamente nos antropóides (chimpanzés, gorilas, orangotangos, gibões e homínídeos) ocorreu ao longo do processo de evolução uma separação funcional entre os dois hemisférios (FIGURA. 2 e FIGURA.3), (SCHMIDEK; CANTOS, 2008).

FIGURA: 2 Cérebro humano.



Fonte: Acesso em 15 mar. 2016. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ci%C3%A9ncia_cognitiva#/media/File:Human_brain.png>.

FIGURA 3: Corte sagital do cérebro. Separação funcional entre os hemisférios direito e esquerdo.



Fonte: Acessado em 10 fev. 2016. <<https://smfuentccc.wordpress.com/2012/09/10/epliepsy-and-split-brain/>>.

Embora há mais de um século já se dispusesse de dados clínicos indicadores de assimetrias cerebrais, o atual interesse no “cérebro esquerdo e cérebro direito” desenvolveu-se, fundamentalmente, na sequência de estudos realizados com pacientes que sofreram a cirurgia para dissecação de algumas fibras calosas (comissurotomia) ou dissecação de todas as fibras calosas (calosotomia) (GAZZANIGA, 2000). A desconexão cirúrgica dos hemisférios cerebrais, realizada a partir da calosotomia, permitiu um avanço na compreensão dos mecanismos neurológicos básicos: a organização dos sistemas sensoriais e motores, a

representação cortical dos processos perceptivos e cognitivos, a lateralização de funções e, provavelmente mais importante, a forma como um “cérebro dividido”, produz pistas relativamente à natureza de experiências conscientes (GAZZANIGA, 2000).

De todas as coleções de fibras nervosas que ligam diretamente os hemisférios cerebrais, denominadas comissuras cerebrais, o CC (FIGURA 4) é o principal canal de transferência de informação entre os dois hemisférios e encontra-se intimamente implicado nas transferências corticais de informação inter e intra-hemisférica (SUNDERLAND, 1940). Uma subdivisão geométrica do CC foi proposta por Witelson (1995) em três regiões principais de acordo com as áreas conectadas e com base no seu comprimento, sendo elas: a) o terço anterior ou genu anterior, que contém fibras de conexão com o córtex pré-frontal; b) a parte medial do CC que contém projeções com o córtex motor, somatossensorial e córtex auditivo; c) o terço posterior que consiste no istmo, entre a região central e a parte posterior do CC que contém projeções com áreas temporal superior, parietal posterior e córtex occipital. As fibras que atravessam o corpo caloso apresentam orientação transversal e conectam as porções mais posteriores dos lobos frontais e parietais. Já as fibras do joelho e do esplênio do corpo caloso interconectam as porções mais anteriores dos lobos frontais e os lobos temporais e occipitais, respectivamente. A abordagem de Witelson ajuda a definir regiões de interesse do CC que podem corresponder a funções específicas e a conectividade cortical (BAMIOU et al., 2007). No entanto, esta subdivisão anatômica tem sido questionada diante da suscetibilidade às diferenças individuais no tamanho e na estrutura do cérebro, visto que técnicas de imagem recentes, como tensor de difusão, têm encontrado diferenças na classificação de Witelson, particularmente na parte medial e terço posterior do CC (HOFER; FRAHM, 2006).

Acredita-se que a maior vantagem para os humanos da existência desta estrutura complexa, o corpo caloso, é a evidente transmissão de informação inter-hemisférica. Por outro lado, no que se refere à manutenção de uma simetria cerebral, torna-se necessário um CC intacto, ou seja, quando o funcionamento desta estrutura se encontra por qualquer motivo comprometido, as assimetrias desenvolvem-se como consequência deste isolamento hemisférico, o que sugere uma relação inversa entre a conectividade calosa e as assimetrias cerebrais (TEIXEIRA, 2012). O “porquê” da assimetria hemisférica substancialmente nos escapa. Uma maneira de abordar esta questão é reconhecer que o cérebro está quase inteiramente composto por unidades

envolvidas em processos computacionais e que uma assimetria hemisférica pode ser vantajosa (NADEAU, 2010). A existência de um intercomunicador entre os dois hemisférios resulta no aumento da quantidade de informação no cérebro e aumento do número das estratégias para lidar com a informação o que potencia o aumento do que hoje se denomina de processamento paralelo da informação (CALDAS, 2000). Esta é possivelmente a razão pela qual nos animais o CC não é tão desenvolvido. Resumidamente, o CC produziu uma extinção: a capacidade cortical pode expandir-se através da redução da redundância e conseqüentemente o aumento do espaço cortical para novas funções corticais (GAZZANIGA, 2000).

O desempenho desejado em ambas as mãos poderia ser decorrente de uma função otimizada da interconexão entre os dois hemisférios, pois quanto maior a interação entre as duas estruturas cerebrais, espera-se que maior será sua integração funcional. Contudo, há ainda uma certa controvérsia sobre o CC e a especialização hemisférica, não se sabe até que ponto o CC é responsável pela geração de especialização hemisférica ou, inversamente, se a lateralização pode afetar a função do CC (BAMIOU et al., 2007). Pode-se afirmar que o CC contribui para a lateralização cerebral através da inibição de algumas interações assimétricas entre os hemisférios, o que implica que a assimetria cerebral se desenvolve majoritariamente com o aumento das conexões inibitórias inter-hemisféricas (GAZZANIGA, 2000).

FIGURA 4: Feixe de fibras comissurais do corpo caloso



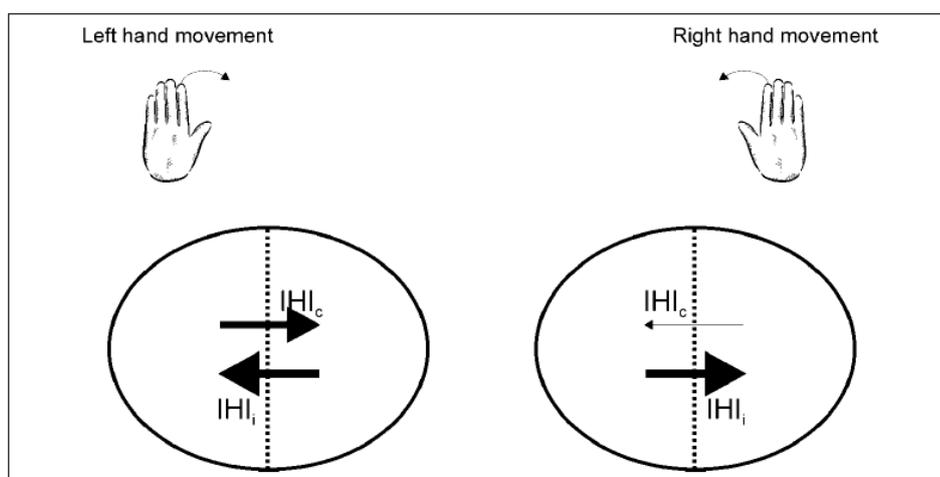
Fonte: Acesso em 25 fev.2016.<<http://presservctmri.blogspot.com.br/>>.

2.5 A Inibição Inter-Hemisférica (IIH)

Estudos comportamentais têm relatado uma superioridade na proficiência da mão direita para uma variedade de condições motoras quando comparada à mão esquerda (ROY; BRYDEN; CAVILL, 2003; TODOR; KYPRIE, 1980; PETERS; DURDING, 1978). Entretanto, a base neural dessas diferenças no controle motor permanecem incertas. Uma possível explicação para este fenômeno pode ser encontrada nas diferenças da conectividade inter-hemisférica (DUQUE et al., 2007). Estudos anatômicos e fisiológico em animais (ABOITIZ; MONTIEL, 2003) e humanos (FERBERT et al., 1992) têm documentado interações inter-hemisférica entre os M1s e parece que essas interações são predominantemente inibitórias.

De acordo com Duque et al. (2007) a IIH é mediada através de conexões glutamatérgicas transcalosa que atuam em interneurônios inibitórios no córtex motor contralateral. Os resultados do estudo de Duque et al. (2007) mostraram que o córtex motor esquerdo foi ativado durante a execução de movimentos da mão esquerda em uma maior magnitude quando comparado a ativação do M1 direito para movimentos da mão direita (FIGURA. 5). Assim, é possível entender que a atividade no M1 esquerdo durante os movimentos da mão esquerda leva a uma IIH contralateral persistente sobre o M1 direito e secundariamente leva ao pior desempenho motor da mão esquerda o que resulta em diferenças na qualidade de controle dos membros homólogos e conseqüentemente em uma assimetria de desempenho. Na Figura 5 observa-se nas setas a indicação da direção da inibição inter-hemisférica. Também nota se que os movimentos da mão direita foram associados a uma desinibição mais proeminente do M1 contralateral (M1c) do que os movimentos realizados com a mão esquerda, resultando num desequilíbrio global da IHI para os movimentos realizados com a mão esquerda. Sendo que a inibição sobre a M1 favorecerá apenas os movimentos da mão direita.

FIGURA 5: Diagrama esquemático de representação da IHI_c e da IHI_i no início dos movimentos realizados com a mão direita e esquerda.



IHI_c: Inibição inter-hemisférica contralateral; IHI_i: Inibição inter-hemisférica ipsilateral; M1: córtex motor primário; M1_c: M1 contralateral. Fonte: DUQUE et al., 2007.

Parece que os processos excitatórios e inibitórios têm um equilíbrio dependendo de qual hemisfério está ativo nos destros (REID; SERRIEN, 2014). Em destros, há um fluxo inibidor mais forte a partir do hemisfério esquerdo para o hemisfério direito (NETZ et al., 1995), o que sugere que quando o M1 esquerdo está ativo ele terá um efeito pronunciado sobre o M1 direito (REID; SERRIEN, 2014). O estudo de Reid e Serrien (2014) avaliou o efeito da facilitação em ambos os hemisférios em sujeitos destros e canhotos. As mudanças na excitabilidade cortical foram examinadas por Estimulação Magnética Transcraniana (TMS) no hemisfério contralateral e ipsilateral à mão de execução da tarefa. Os resultados fornecem suporte para a existência de um processo acentuado de IHI nos destros, observado por meio da associação entre o aumento da inibição do hemisfério esquerdo e uma menor amplitude do potencial motor evocado (MEP) no hemisfério direito. Essa associação não foi encontrada para destros quando o hemisfério direito estava ativo ou para os canhotos em qualquer direção. Os resultados indicam que o hemisfério esquerdo possui um *status* de destaque para controlar as habilidades motoras em destros (SERRIEN et al., 2003; 2006). Em um nível de análise comportamental, alguns estudos encontraram evidências dos efeitos da modulação do M1 nas assimetrias de desempenho.

A partir da aplicação da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) foi possível observar que a modulação no M1 do hemisfério dominante (esquerdo) apresentou um impacto significativo no desempenho de ambas as mãos.

Já a aplicação da ETCC no M1 hemisfério não dominante (direito) afetou somente o desempenho da mão contralateral (VINES; NAIR; SCHAUG, 2008b; DUQUE et al., 2007). Estes resultados apoiam a hipótese de que a influência da inibição inter-hemisférica IIH no M1 não dominante é fraca em comparação com a influência de IIH no M1 dominante. O estudo de Netz et al. (1995) mostrou que a direção da IIH do M1 dominante é mais forte do que a IIH do M1 não-dominante (KOBAYASHI et al., 2004). Corroborando os resultados de Netz et al. (1995), os resultados do estudo de Pal et al. (2005) mostraram que a diminuição da excitabilidade no M1 hemisfério dominante (esquerdo) com TMS levou a uma diminuição na IIH do M1 esquerdo aumentando a excitabilidade do hemisfério não dominante (direito), presumivelmente devido a desinibição do hemisfério não dominante.

Portanto, as diferenças na performance motora podem ser compreendidas a partir de substratos neurais, como a IIH e suas possíveis influências no controle motor da mão não preferida.

2.6 A modulação cortical através da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC)

Os neurônios são células excitáveis capazes de produzir potenciais de ação e estes representam a sua unidade de informação. A estrutura da sinapse é especializada na transmissão química da informação do neurônio pré-sináptico para a célula pós-sináptica que para isso emprega moléculas transmissoras chamadas de neuromoduladores. De acordo com Lent (2013) a transmissão sináptica ocorre quando um potencial de ação chega ao terminal pré-sináptico, despolarizando-o. Nesse momento, a entrada de íons de sódio (Na^+) no terminal provoca a liberação de cálcio (Ca^{++}) de seus reservatórios para o citoplasma. O Ca^{++} liberado provoca a adesão das vesículas à face interna da membrana pré-sináptica chamadas de zonas ativas. A membrana da vesícula se funde em um processo conhecido como exocitose, que possibilita a liberação do neuromediador na fenda sináptica.

As informações mais básicas que percorrem o sistema nervoso o fazem em forma de potencial de ação, quanto maior a intensidade (força, quantidade de energia) dos estímulos mecânicos, térmicos e químicos maior será a frequência dos potenciais de ação que percorrem os nervos correspondentes em direção ao sistema nervoso central. Parte dessa informação que se torna múltipla durante o processamento é

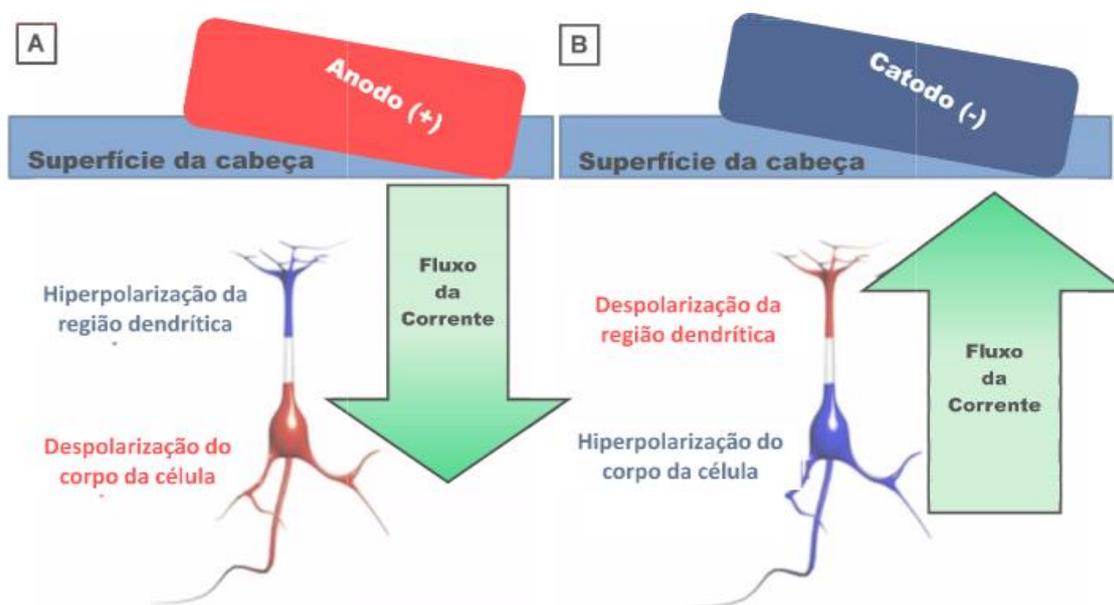
também armazenada nos caminhos sinápticos e se transforma em memória (LENT, 2003). Para Hebb (1949) as sinapses são fortalecidas quando algum tipo de sincronismo se estabelece entre o neurônio pré-sináptico e o pós-sináptico. Esse sincronismo de disparo representaria uma informação efetiva, ou um certo tipo de reconhecimento entre a entrada e a saída, e de algum modo consolidaria a conexão entre os dois.

A utilização de fármacos e técnicas de estimulação não invasivas são alguns exemplos de manipulação externa da excitabilidade neural (STAGG; NITSCHKE, 2011). O início da aplicação clínica de uma técnica de modulação no cérebro foi realizado em 1802 e ao longo dos séculos, o método foi testado várias vezes e abandonado principalmente devido à falta de uma avaliação suficientemente adequada do método. Isso mudou assim que a TMS foi utilizada para a quantificação dos efeitos agudos (PRIORI et al., 1998) e efeitos de longo prazo (NITSCHKE; PAULUS, 2000) da ETCC. A modulação da excitabilidade cortical pode ser realizada através da utilização da ETCC.

A modulação via ETCC é conhecida como uma técnica não-invasiva, indolor, bem estabelecida para utilização na investigação terapêutica e na reabilitação (ANTALL et al., 2011). A ETCC induz alterações nos potenciais da membrana que são dependentes da força de estimulação, da camada cortical e orientação espacial dos neurônios estimulados (RADMAN et al., 2009). Se a duração da estimulação for o suficientemente adequada o efeito da estimulação pode durar várias horas.

Essa técnica gera uma corrente elétrica de baixa intensidade no cérebro conduzindo a pequenas mudanças no potencial de membrana (NITSCHKE; PAULUS, 2000). Enquanto a estimulação anódica do M1 aumenta a amplitude do potencial motor evocado (MEP), a estimulação catódica diminuiu o MEP (NITSCHKE; PAULUS, 2000). A frequência dos picos de disparo é codificado pela atividade neural, que por sua vez é controlada pelo potencial de membrana. Positivos potenciais levam ao aumento da taxa de disparo e potenciais mais negativos reduzem a taxa de disparo (PURVES et al., 2012). A mudança da excitabilidade destaca-se como principal mecanismo da ETCC, na qual a estimulação via anodo (eletrodo positivo) leva a uma hiperpolarização dos dendritos e uma despolarização do corpo da célula (soma) (FIGURA 6A). Ao contrário, estimulação via catodo (eletrodo negativo) conduz a uma despolarização dos dendritos e uma hiperpolarização do corpo celular (soma) (FIGURA 6B) (NITSCHKE et al., 2003; ROSENKRANZ et al., 2000).

FIGURA 6: A- O anodo, colocado sobre a superfície da cabeça conduz a uma hiperpolarização da região dendrítica do neurônio e despolariza o corpo da célula. B- O catodo, colocado sobre a superfície da cabeça, conduz a uma despolarização da região dendrítica do neurônio e uma hiperpolarização do corpo da célula (soma).



Fonte: Imagem adaptado de Apolinário-Souza (2014).

As modificações na excitabilidade cerebral através da ETCC podem favorecer o desempenho de ambas as mãos de acordo com a especialização de cada hemisfério. Contudo, é possível que através da ETCC, a estimulação anódica promova um aumento na excitabilidade do hemisfério não dominante, resultando na melhoria do desempenho da mão não dominante para o TR, uma vez que o hemisfério direito apresenta especialização no processamento do TR. A melhora na performance da mão não dominante para o TR refletirá em aumento das assimetrias de desempenho. Por outro lado, a partir da estimulação catódica é possível modificar a excitabilidade do hemisfério dominante reduzindo sua excitabilidade e a partir do aumento da comunicação inter-hemisférica desinibir o hemisfério não dominante o que também levaria a uma melhoria na performance da mão não dominante para as variáveis TM, precisão, pico de velocidade e número de correções no segundo submovimento, o que conseqüentemente levará a uma redução nas assimetrias manuais.

A seguir serão apresentados dois experimentos utilizando a ETCC como ferramenta de modulação cortical para análise das assimetrias manuais em uma tarefa de apontamento.

EXPERIMENTO I: INIBIÇÃO INTER-HEMISFÉRICA

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Verificar os efeitos da inibição inter-hemisférica no comportamento das assimetrias manuais.

3.2 Objetivos específicos

Analisar os efeitos da inibição inter-hemisférica nas assimetrias manuais em uma tarefa de apontamento.

Verificar qual ou quais mecanismos de controle estão associados às alterações da assimetrias manuais.

4 HIPÓTESES

A diminuição da IHD, resultará em aumento da assimetria manual a partir da redução do tempo de reação da mão esquerda.

A diminuição da IHD resultará em redução da assimetria manual a partir da redução do tempo de movimento da mão esquerda.

A diminuição da IHD resultará em redução da assimetria manual a partir do aumento da precisão da mão esquerda.

A diminuição da IHD resultará em redução da assimetria manual a partir da redução do número de correções no segundo submovimento da mão esquerda.

A diminuição da IHD resultará em redução da assimetria manual a partir do aumento do pico de velocidade da mão esquerda.

A diminuição da IHD resultará em redução da assimetria manual a partir do aumento do 1º submovimento da mão esquerda.

5 MATERIAIS E MÉTODO

5.1 Amostra

A amostra do experimento I foi composta por 11 indivíduos com idade entre 18 a 35 anos (idade média = $25,3 \pm 4,15$), do sexo masculino, destros, universitários e com visão normal ou visão corrigida. Foram incluídos na amostra:

- participantes que se autodeclararam destros e apresentaram índice de preferência lateral acima de 80 pontos para a mão direita no Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971);
- participantes que não apresentaram nenhum comprometimento neurológico;
- participantes que não estivessem utilizando implantes de metal no crânio ou marca-passos cardíacos;
- participantes que não apresentaram queixas de dores de cabeça recorrente e histórico recente de epilepsia;
- participantes que não estavam ingerindo medicamentos que são susceptíveis a alterar a excitabilidade do cérebro (NITSCHKE et al ., 2008).

Os participantes foram recrutados por meio de convite pessoal e anúncio na Escola de Educação Física e Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da UFMG. Os voluntários foram selecionados aleatoriamente para um dos dois experimentos do estudo. Os sujeitos que foram usados no primeiro experimento não foram utilizados no segundo experimento.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, respeitando todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde para pesquisas com seres humanos, com o CAAE 24116513.2.0000.5149 (ANEXO 01).

Foi realizado inicialmente um estudo piloto com 4 voluntários para determinar o tamanho da amostra assim como também definir número de tentativas e formas de controle de possíveis variáveis intervenientes (APÊNDICE 1 e 2). O cálculo amostral foi realizado a partir da variável dependente TR através do *software* GPower (versão 3.1).

5.2 Instrumentos e tarefa motora

Foi utilizado um microcomputador, uma mesa digitalizadora (WACOM Intuos, Vancouver, USA) com velocidade de captura de 200 Hz, com dimensões de 30 X 30 cm, e o *software* MovAlyzer (Neuroscript, Arizona, USA para controle da tarefa e processamento dos dados provindos da mesa (ROMERO; TEULINGS, 2003).

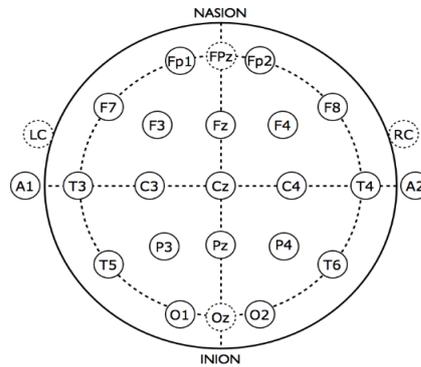
Foi utilizado o equipamento de Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) (HDC Magstim, North Carolina, USA) (FIGURA 1). A intensidade utilizada foi de 1 mA (densidade de corrente de 0,04 mA/cm², carga total de 0,048 C/cm²) com duração de 20 minutos, sendo este parâmetro de inibição seguro de acordo com estudos anteriores (BOGGIO et al., 2006; NITSCHE et al., 2003a; 2004; IYER et al., 2005; VINES; NAIR; SCHAUG, 2006; 2008a; 2008b). Os eletrodos catodo e anodo foram colocados sobre as regiões do córtex motor primário esquerdo (C3), córtex motor primário direito (C4) e área supra-orbital esquerda (Fp1) e supra-orbital direita (Fp2), de acordo com o sistema 10/20 para análise de sinais eletroencefalográficos (FIGURA 8).

FIGURA 7: Aparelho de ETCC



Fonte: Acesso em 11 jan. 2016.
<http://www.neuroconn.de/uploads/images/2013/large_700px/produkte_tES_dcsp_1_large.jpg>.

FIGURA 8: Sistema internacional 10/20 de Eletroencefalografia

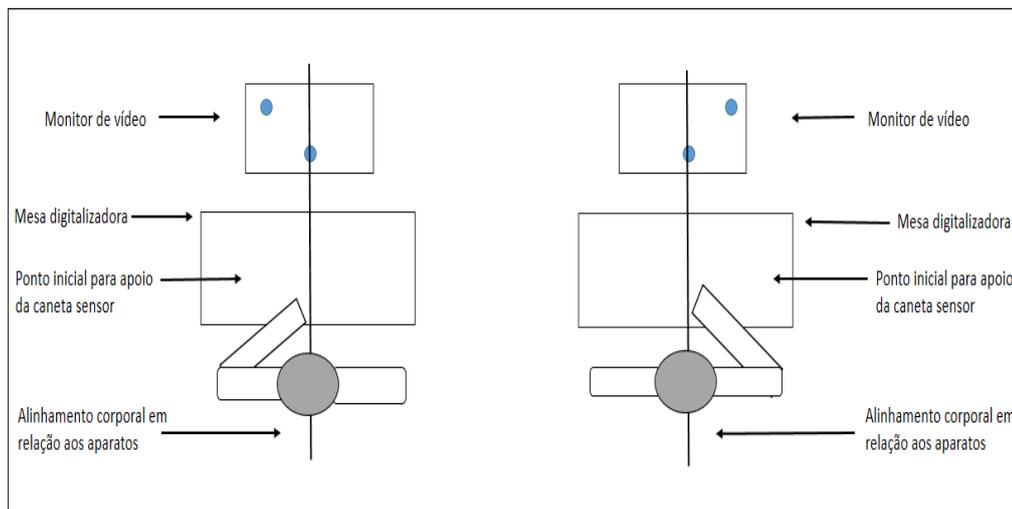


Fonte: Adaptado de Nitsche et al. (2008).

O Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971) foi empregado para determinar o índice de preferência lateral. O Inventário é constituído por 10 questões sobre preferência lateral na execução de 10 tarefas motoras realizadas usualmente pela maioria das pessoas. Para cada item assinalado foi computado um ponto, cuja somatória foi utilizada para cálculo do Índice de Preferência Lateral (TEIXEIRA; PAROLI, 2000).

Foi realizada uma tarefa discreta de apontamento (FIGURA 9) para análise das assimetrias manuais. A tarefa consistiu em deslocar uma caneta-sensor sobre uma mesa digitalizadora de forma que o cursor na tela do computador deslocasse de um ponto inicial para um alvo de (1 cm) de diâmetro a (19 cm) de distância e a (45°) da posição inicial, gerando um índice de dificuldade de 5.2 bits (FITTS, 1954).

FIGURA 9: Tarefa de apontamento realizada com a mão esquerda e com a mão direita, respectivamente



Fonte: Adaptado de LAGE et al., 2010.

5.3 Delineamentos e procedimentos

A coleta de dados foi realizada pela própria discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). As coletas de dados foram realizadas em uma sala específica para essa finalidade. Inicialmente os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO 2) e responderam o Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971) para a determinação do índice de lateralidade do participante. Em seguida receberam instruções sobre a tarefa, sendo orientados a realiza-la o mais rápido e preciso possível. Antes de cada tentativa foi fornecido um sinal de estímulo de aviso para avisar ao participante que ele deveria repousar a caneta sobre a mesa no ponto em que o cursor sobrepõe ao ponto inicial na tela do microcomputador. Além do ponto inicial apareceu também o alvo. O estímulo de aviso ficou disposto na tela por 2,5 segundos, após este período o estímulo era suprimido e após um intervalo, variou aleatoriamente entre 2 e 3 segundos, surgia o estímulo alvo. Os alvos foram apresentados por um período máximo de 2 segundos, após esse intervalo a tarefa era finalizada pelo *software*. Os alvos estavam posicionados na lateral direita para tarefa realizada com a mão direita e posicionado na lateral esquerda para tarefa realizada com a mão esquerda. Foi considerado erro os casos em que os participantes realizaram movimentos reversos, não alcançaram o alvo e ultrapassaram o mesmo. A ordem de início das condições foi contrabalançada entre os participantes assim como também a mão que iniciou a tarefa. Os participantes

executaram 5 tentativas da tarefa com cada mão para familiarização com a mesma. Logo após a familiarização foi realizado o pré-teste que consistiu em executar 20 tentativas da tarefa com cada mão. A ordem de início das mãos foi contrabalançada. Após o pré-teste, os participantes receberam a estimulação de acordo com a condição de inibição pré-definida.

Com os participantes sentados confortavelmente em uma cadeira foi aplicado a ETCC. Na condição 1 foi inibido o M1 do hemisfério dominante (IHD) pelo posicionamento do catodo sobre a região C3 e o anodo sobre a região C4 (FIGURA 10-1). Na condição 2, foi inibido o M1 do hemisfério não dominante (IHND) pelo posicionamento do catodo sobre a região C4 e o anodo sobre a região C3 (FIGURA 10-2). Na condição 3 foi aplicado o placebo (PL) sendo que a ETCC foi retirada gradativamente até alcançar os 36 segundos (NITSCHKE et al., 2008). O posicionamento dos eletrodos foi contrabalançado na condição placebo. Como exemplo, a configuração anodo no C4 e catodo no C3 foi aplicada em metade dos participantes e a configuração anodo no C3 e catodo no C4 na outra metade dos participantes.

A estimulação foi aplicada por meio de dois eletrodos de silicone cobertos por um eletrodo esponja (área de superfície de 35 cm², sendo 7cm x 5cm, para cada um dos eletrodos). Foi realizado o controle do uso dos eletrodos de silicone e eletrodos esponjas para garantir maior controle na condição de estimulação. A cada 6 sessões de estimulação os eletrodos de silicone foram descartados e a cada 12 sessões de estimulação os eletrodos esponjas foram descartados. Os eletrodos esponja foram embebidos em uma solução salina 0,9% cloreto de sódio. A utilização da solução salina e esponjas servem para evitar a transmissão de calor para o couro cabeludo (NITSCHKE et al., 2008). Para controlar a quantidade de solução salina depositada em cada eletrodo esponja foi utilizado uma seringa, com a quantidade de solução salina de aproximadamente 5ml. Imediatamente após a estimulação foi realizado o pós-teste.

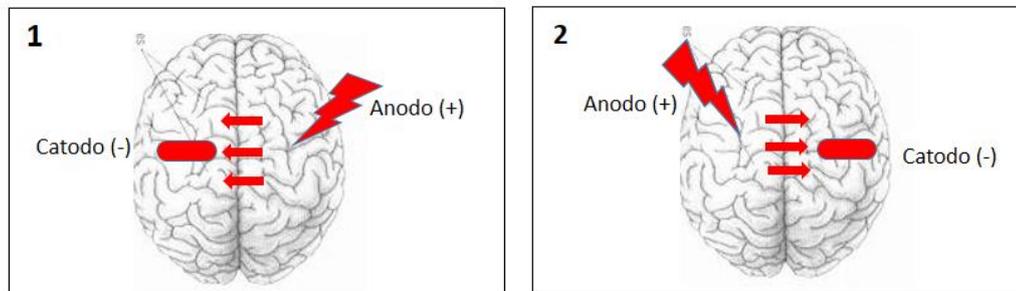
Após 48 horas da primeira sessão de estimulação os voluntários realizaram novamente o pré-teste para a tarefa de apontamento, em seguida receberam a segunda sessão de estimulação e logo após a estimulação foi realizado o pós-teste. Após 48 horas da segunda sessão os mesmos procedimentos foram realizados na terceira sessão.

As sessões de estimulação consistiram de:

- 1- Inibição do Hemisfério Dominante (IHD): ETCC catodo em C3 e anodo em C4 (20min, 1mA).
- 2- Inibição do Hemisfério Não Dominante (IHND): ETCC catodo em C4 e anodo em C3 (20min, 1mA).
- 3- Condição placebo (PL) por 36 segundos (1mA).

A Figura 10 mostra a configuração das duas condições de inibição do M1.

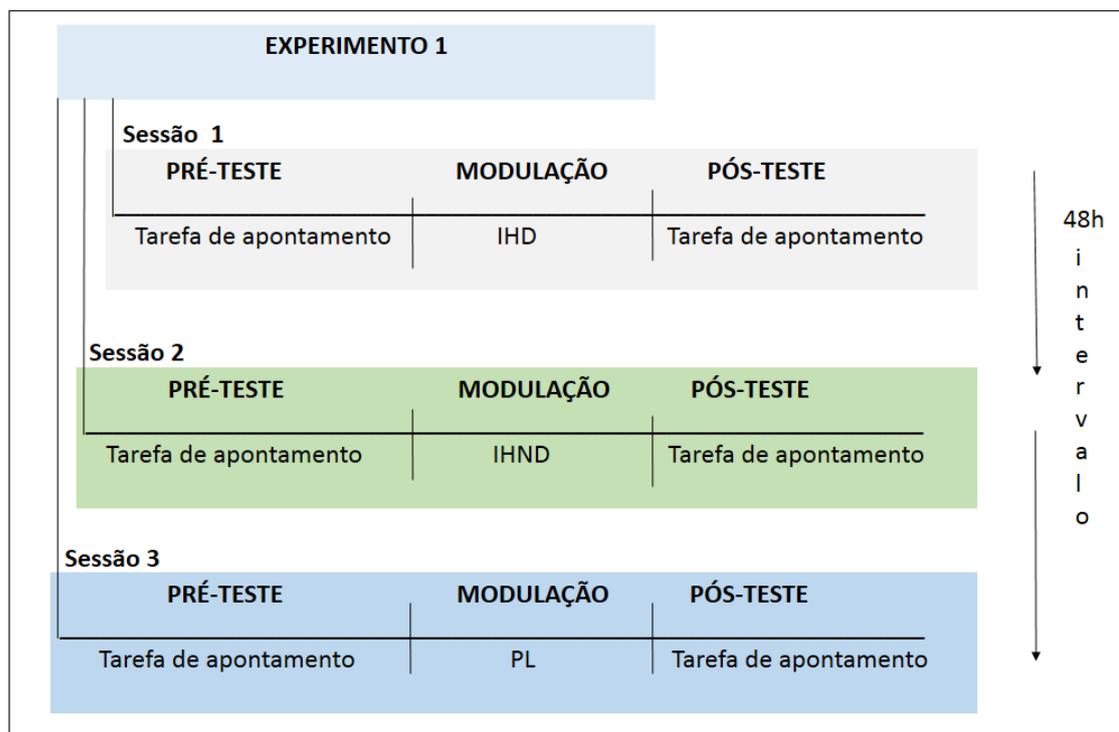
FIGURA 10: 1- Inibição do Hemisfério Dominante (IHD); 2- Inibição do Hemisfério Não Dominante (IHND).



As setas indicam a direção da corrente.

A Figura 11 exemplifica o delineamento no qual a ordem é a inibição do hemisfério dominante na 1^o sessão, a inibição do hemisfério não dominante na 2^o sessão e condição placebo na 3^o sessão.

FIGURA 11: Exemplo de delineamento do experimento 1



IHD: Inibição do hemisfério dominante; IHND: Inibição do hemisfério não dominante; PL: Placebo.

5.4 Variáveis de estudo

As variáveis de desempenho motor analisadas foram: (1) tempo de reação; (2) tempo de movimento e (3) número de erros de precisão.

O tempo de reação corresponde ao intervalo de tempo entre o surgimento do estímulo e o início do movimento. A medida de número de erros de precisão refere-se ao número de erros de acerto ao alvo. Foi considerado erro quando o cursor não atingiu ou ultrapassou a área demarcada para o alvo na tela do microcomputador e quando foi verificado movimento reverso. A pontuação dada para cada erro foi de 1 ponto. O tempo de movimento compreende o intervalo de tempo entre o início e o fim do movimento.

As variáveis dependentes cinemáticas analisadas são: (1) pico de velocidade; (2) duração do 1º submovimento; (3) número de correções no 2º submovimento. O pico de velocidade refere-se ao maior valor de velocidade atingido durante a trajetória em direção ao alvo dada em cm/s. Essa medida permite inferências sobre diferenças na modulação de força gerada pelo membro durante a fase de impulso inicial (LAGE et al., 2008). É considerado o 1º submovimento o intervalo que vai do início do

movimento até a primeira transição da curva de aceleração do negativo para o positivo, ou também definido como o segundo cruzamento no ponto zero (*zero crossing*). A partir desse instante inicia-se o 2º submovimento. O número de correções após o pico de velocidade para o 1º alvo é calculado através do número de descontinuidades no perfil de aceleração representadas por picos de aceleração positivos e negativos que ocorrem durante o 2º submovimento, ou fase de controle corrente (LAGE et al., 2012).

Todas as medidas de desempenho e cinemáticas utilizadas, assim como o método de filtragem dos dados são fornecidos pelo *software* MovAlyzer. Foi utilizado um filtro passa-baixa a 12 Hz utilizando o método de Transformação Rápida de Fourier (FFT).

5.5 Procedimentos estatísticos

Os dados de cada participante em cada uma das variáveis dependentes da tarefa motora foram organizados através da média das 20 tentativas no pré-teste e 20 tentativas no pós-teste para cada mão nas três condições experimentais.

Foi realizada uma análise estatística descritiva caracterizada pela média das variáveis dependentes. Através do pacote Statistica (versão 10) foi realizado uma redução dos dados por meio de duas formas, intra-participantes e entre os participantes (outlier). O teste de Shapiro-Wilk foi conduzido para avaliação da normalidade dos dados relacionados às variáveis motoras ($p > 0,05$). Para cada variável dependente, em cada condição, foram calculados índices de assimetrias para as mãos (MD= mão direita e ME= mão esquerda) e índices de mudanças por meio das seguintes equações:

- Índice de assimetria no pré-teste (IA pré):
IA pré = Pré-teste MD – Pré-teste ME
- Índice de assimetria no pós-teste (IA pós):
IA pós = Pós-teste MD – Pós-teste ME
- Índice de mudança do pré para o pós-teste (IM):
IM = IA pós – IA pré
- Índice de mudança da mão direita (IMMD):
IMMD = Pós-teste MD – Pré-teste MD
- Índice de mudança da mão esquerda (IMME):

IMME = Pós-teste ME – Pré-teste ME

Para a análise inferencial foram utilizadas Anovas *One-way* (condição IHD X condição IHND X condição PL) com medidas repetidas para comparar os índices de mudança do pré para o pós-teste em cada medida nas 3 condições dos experimentos. Para as análises *post-hoc* foi utilizado o teste de Tukey. Para a análise da direção das assimetrias (aumento e/ou redução) foi utilizado um teste *t* para comparar os valores dos índices de mudanças da mão direita e esquerda do pré para o pós-teste somente na(s) condição(ões) que a análise de variância indicou como significativamente diferente. Para os dados que não apresentaram normalidade foi conduzido o teste não-paramétrico Friedman. O valor de significância adotado foi de $p < 0,05$. O tamanho do efeito foi calculado usando o eta squared (η^2) para análises de variância e para o Cohen's (*d*) para teste *t*. Para o teste não paramétrico o tamanho do efeito foi calculado através da equação de converção do z-score dentro do tamanho do efeito estimado (r), seguindo a fórmula proposta por Rosenthal (1991):

$$r = z / \sqrt{n}$$

Sendo que o *z* o valor de *z* gerado pelo na análise e *n* o número de indivíduos.

6 RESULTADOS

Os valores em média de cada um dos participantes em cada condição estão apresentados nos Apêndices 3 ao 8.

Para cada variável dependente, a média dos participantes no pré-teste e pós-teste foram calculadas e estão apresentadas nos Apêndices de 1 a 6. O valor adotado de alfa foi de $p < 0,05$.

6.1 Análise descritiva das variáveis de desempenho

Os dados do pré-teste e pós-teste foram analisados através de uma Anova *One-way* (condição IHD X condição IHND X condição PL) com medidas repetidas para as variáveis tempo de reação (TR) e tempo de movimento (TM) Nos casos em que diferença significativa foi encontrada ($p < 0,05$), foi utilizado o teste *post-hoc* de Tukey. Para definir se os valores encontrados refletem aumento ou redução das assimetrias entre as condições foi analisado a média do índice de mudança de cada condição, sendo que:

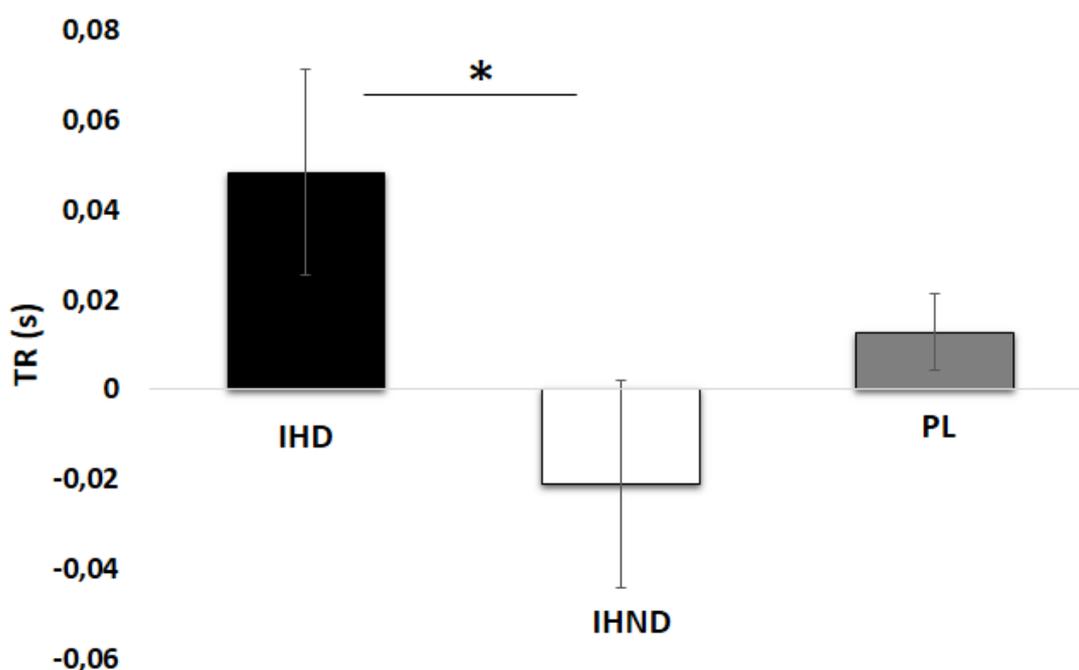
- médias com valores negativos ($IM = IA \text{ pós} - IA \text{ pré}$): indicam uma redução das assimetrias em decorrência da redução dos valores do pós-teste;
- médias com valores positivos ($IM = IA \text{ pós} - IA \text{ pré}$): indicam um aumento das assimetrias em decorrência do aumento dos valores do pós-teste.

Para análise da direção do aumento ou redução das assimetrias foi realizado um teste *t* comparando as médias do índice de mudança da mão direita com a mão esquerda em cada condição, sendo que:

- médias com valores negativos para o índice de mudança da mão direita ou esquerda (ex: $IMMD = \text{Pós MD} - \text{Pré MD}$): indicam que os valores do pós-teste foram menores que os valores do pré-teste, evidenciando uma melhora na performance da mão;
- médias com valores positivos para o índice de mudança da mão direita ou esquerda (ex: $IMMD = \text{Pós MD} - \text{Pré MD}$): ndicam que os valores do pós-teste foram maiores que os valores do pré-teste, evidenciando uma redução na performance da mão.

A Anova *One-way* (condição IHD X condição IHND X condição PL) com medidas repetidas detectou diferença significativa entre as condições para a variável TR [$F(2,20) = 5,93$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,37$, $\omega = 0,82$] (GRÁFICO 1). O teste *post-hoc* de Tukey indicou que as condições IHD e IHND se diferenciaram ($p < 0,01$). Não houve diferença entre a condição placebo e as demais condições ($p > 0,05$). Através dos valores das médias dos IM das condições IHD e IHND foi possível identificar que a condição IHD aumentou a assimetria do pré-teste para o pós-teste enquanto a condição IHND reduziu a assimetria do pré-teste para o pós-teste.

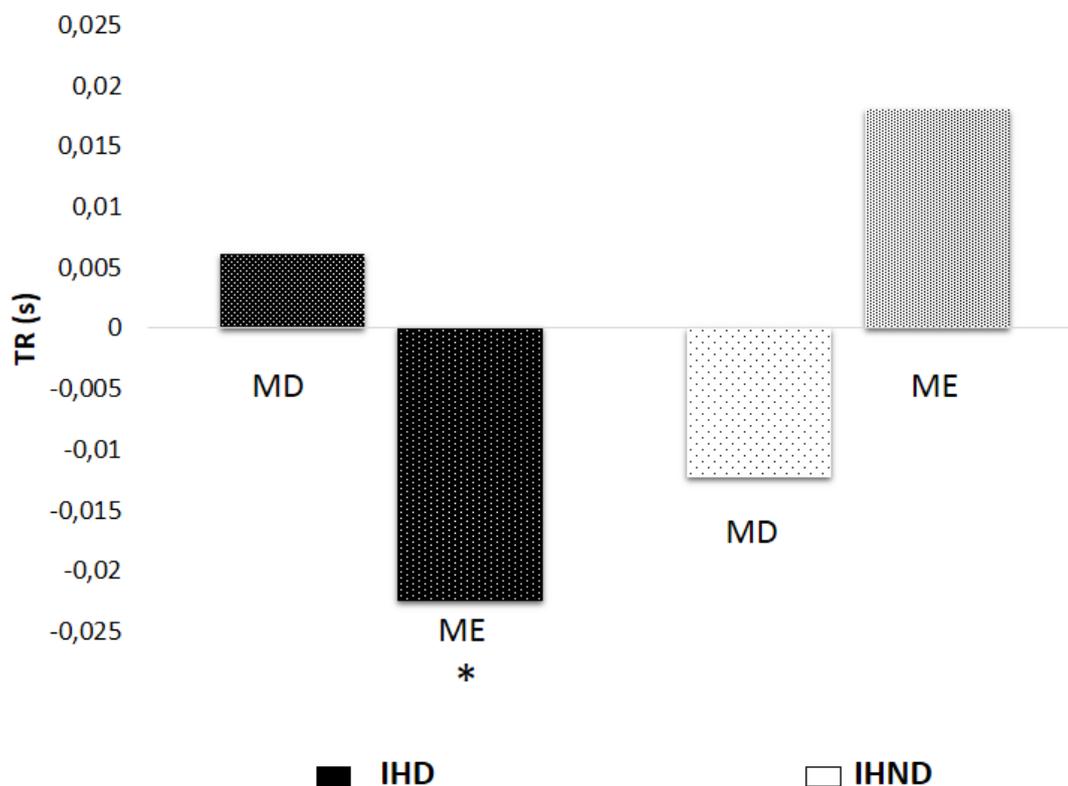
GRÁFICO 1: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável tempo de reação (TR).



IHD = inibição do hemisfério dominante; IHND = inibição hemisfério não dominante; PL= placebo; * = diferença estatística.

O teste *t* mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os índices de mudanças das mãos na condição IHD, indicando que houve melhora na performance da ME [$t(11) = 2,51$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,62$, $\omega = 0,99$]. Para a condição de IHND não foi encontrada diferença significativa para a performance das mãos. Uma análise descritiva dos valores das médias dos IMMD e IMME da condição IHND indica uma melhora da MD e piora da ME do pré para o pós-teste (GRÁFICO 2).

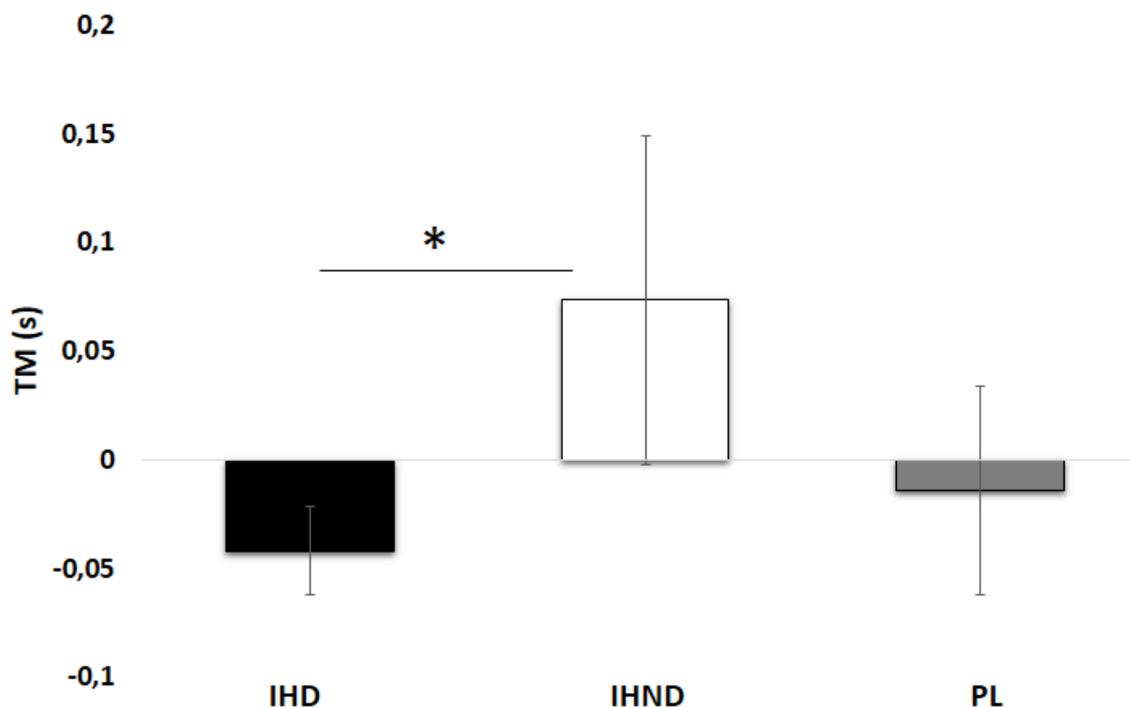
GRÁFICO 2: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições IHD e IHND para variável tempo de reação (TR).



IHD = inibição hemisfério dominante; IHND = inibição hemisfério não dominante; MD= mão direita; ME= mão esquerda; * = diferença estatística.

A Anova *One-way* (condição IHD X condição IHND X condição PL) com medidas repetidas detectou diferença significativa entre as condições para a variável TM [$F(2,20) = 4,75$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,32$, $\omega = 0,72$] (GRÁFICO 3). O teste *post-hoc* de Tukey indicou que as condições IHD e IHND se diferenciaram ($p < 0,05$). Não houve diferença entre a condição placebo e as demais condições ($p > 0,05$). Através dos valores das médias dos IM das condições IHD e IHND foi possível identificar que a condição IHD reduziu a assimetria do pré-teste para o pós-teste enquanto a condição IHND aumentou a assimetria do pré-teste para o pós-teste.

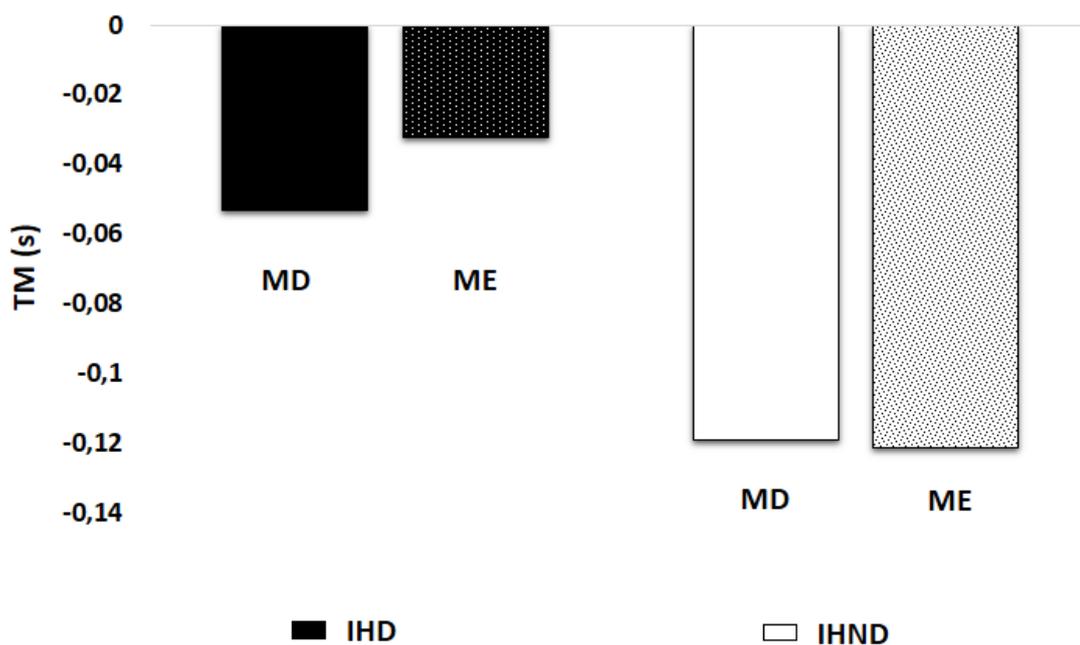
GRÁFICO 3: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável tempo de movimento (TM).



IHD = inibição hemisfério dominante; IHND = inibição hemisfério não dominante; PL= placebo; * = diferença estatística.

O teste t mostrou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os índices de mudanças das mãos nas condições IHD e IHND [$t(11) = -0,72$, $p > 0,05$, $\eta^2 = 0,21$, $\omega = 0,95$] (GRÁFICO 4). Uma análise descritiva dos valores das médias dos IMMD e IMME da condição IHD indica que houve uma melhora no desempenho para ambas as mãos, a MD melhorou mais que a ME. Na condição IHND o desempenho das mãos apresentou desempenho semelhante, ambas as mãos melhoraram o desempenho.

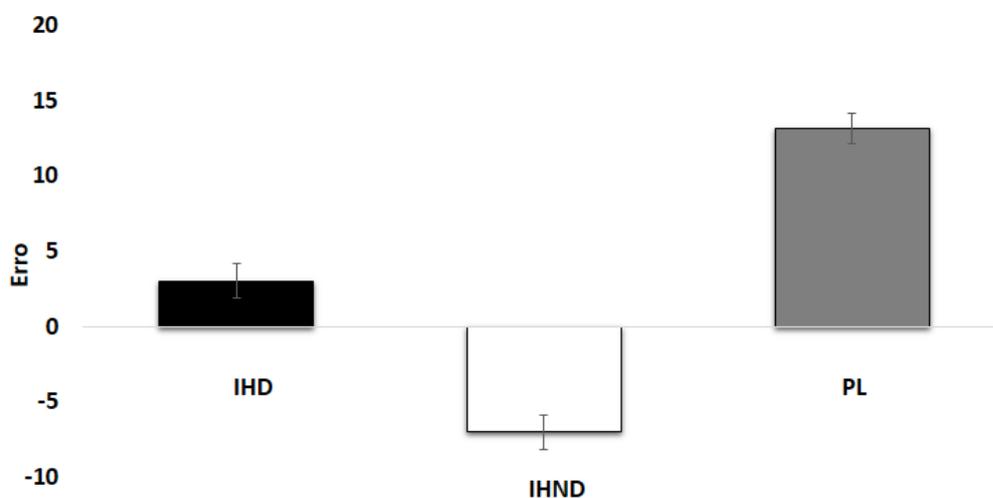
GRÁFICO 4: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições IHD e IHND para variável tempo de movimento (TM).



IHD = inibição do hemisfério dominante; IHND = inibição do hemisfério não dominante; MD= mão direita; ME= mão esquerda; * = diferença estatística.

Os dados dos erros de precisão foram analisados através do teste não-paramétrico de Friedman. O teste de Friedman não detectou diferença significativa entre as condições para a variável precisão [$\chi^2(N=10) = 5,05, p > 0,05, \gamma=0,06$]. As médias do índice de mudança das condições são apresentadas no Gráfico 5.

GRÁFICO 5: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para variável erro.



IHD = inibição do hemisfério dominante; IHND = inibição do hemisfério não dominante; PL= placebo.

6.2 Análise descritiva das variáveis cinemáticas

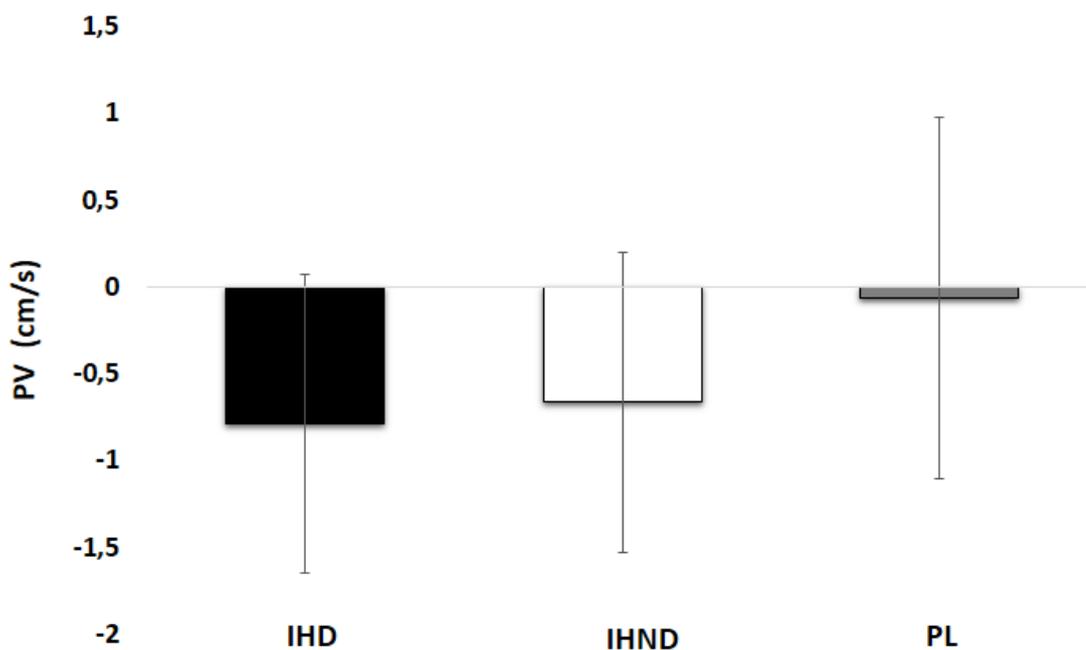
Os dados do pré e pós-teste foram analisados através de uma Anova *One-way* (condição IHD X condição IHND X condição PL) com medidas repetidas. Nos casos em que os valores apresentaram o $p < 0,05$, foi utilizado o teste post-hoc de Tukey. Para análise da direção do aumento ou redução das assimetrias a lógica dos valores das médias foi invertida, exceto para a variável NC, uma vez que valores crescentes indicam melhora na performance, sendo que:

- médias com valores negativos para o índice de mudança da mão direita ou esquerda (ex: IMMD= Pós MD – Pré MD): Indicam que os valores do pós-teste foram menores que os valores do pré-teste, evidenciando uma redução na performance da mão;
- médias com valores positivos para o índice de mudança da mão direita ou esquerda (ex: IMMD= Pós MD – Pré MD): Indicam que os valores do pós-teste foram maiores que os valores do pré-teste, evidenciando uma aumento da performance da mão.

A Anova *One-way* (condição IHD X condição IHND X condição PL) com medidas repetidas não detectou diferença significativa entre as condições para a

variável PV [$F(2,20) = 0,60$, $p > 0,05$, $\eta^2 = 0,05$, $\omega = 0,13$]. As médias do índice de mudança das condições são apresentadas no Gráfico 6.

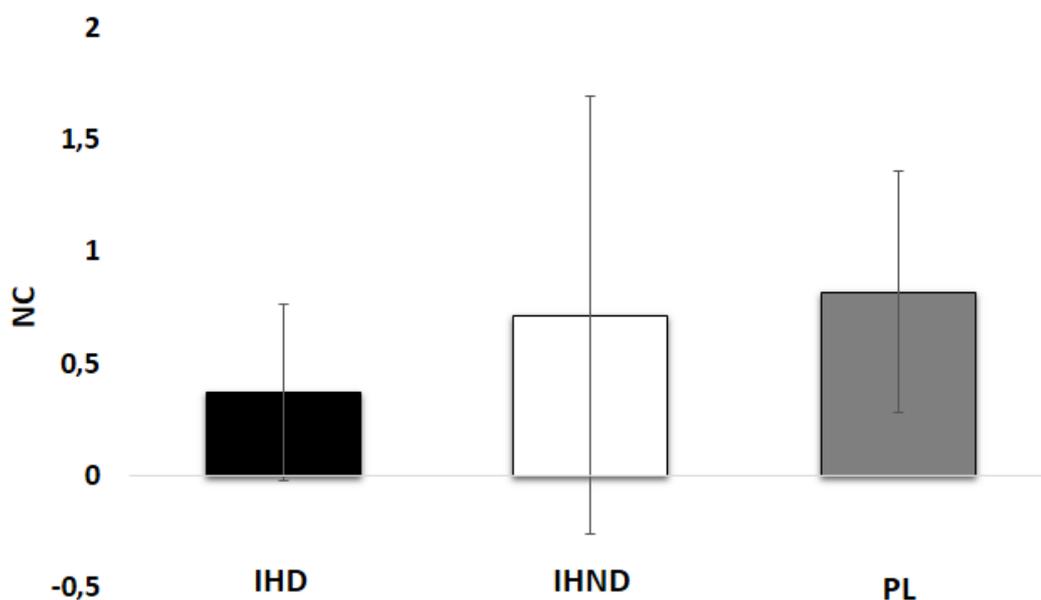
GRÁFICO 6: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável pico de velocidade (PV).



IHD = inibição do hemisfério dominante; IHND = inibição do hemisfério não dominante; PL= placebo.

A Anova *One-way* (condição IHD X condição IHND X condição PL) com medidas repetidas não detectou diferença significativa entre as condições para a variável NC [$F(2,20) = 0,41$, $p > 0,05$, $\eta^2 = 0,04$, $\omega = 0,10$]. As médias do índice de mudança das condições são apresentadas no Gráfico 7.

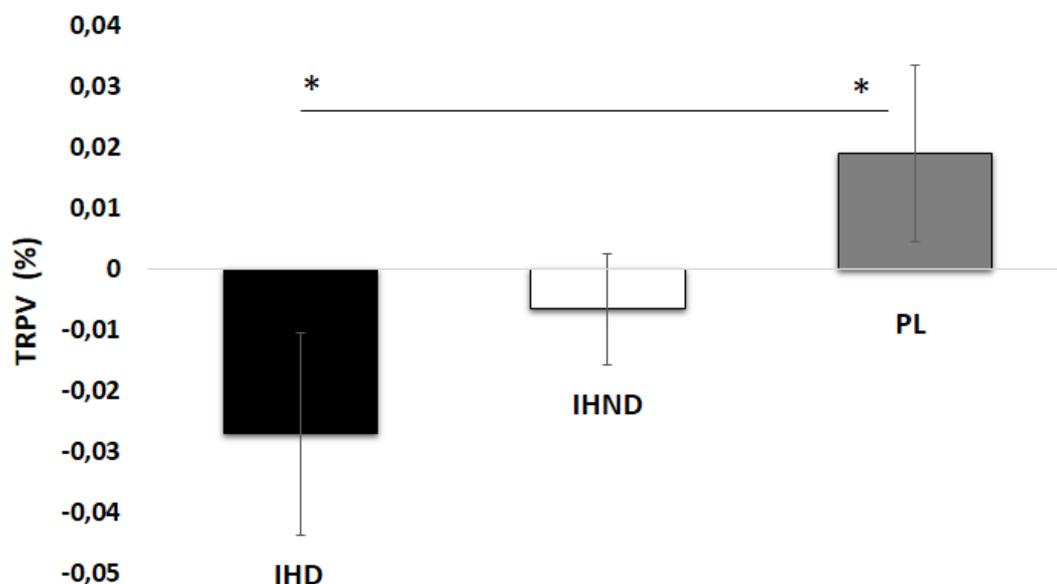
GRÁFICO 7: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável número de correções (NC).



IHD = inibição do hemisfério dominante; IHND = inibição do hemisfério não dominante; PL=placebo.

A Anova *One-way* (condição IHD X condição IHND X condição PL) com medidas repetidas detectou diferença significativa entre as condições para a variável TRPV [$F(2,20) = 8,59$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,46$, $\omega = 0,93$] (GRÁFICO 8). O teste *post-hoc* de Tukey indicou que as condições IHD e PL se diferenciaram ($p < 0,01$). Não houve diferença entre a condição IHND e as demais condições ($p > 0,05$). Através dos valores das médias do IM das condições IHD e PL foi possível identificar que a condição IHD reduziu a assimetria enquanto a condição PL aumentou a assimetria do pré-teste para o pós-teste.

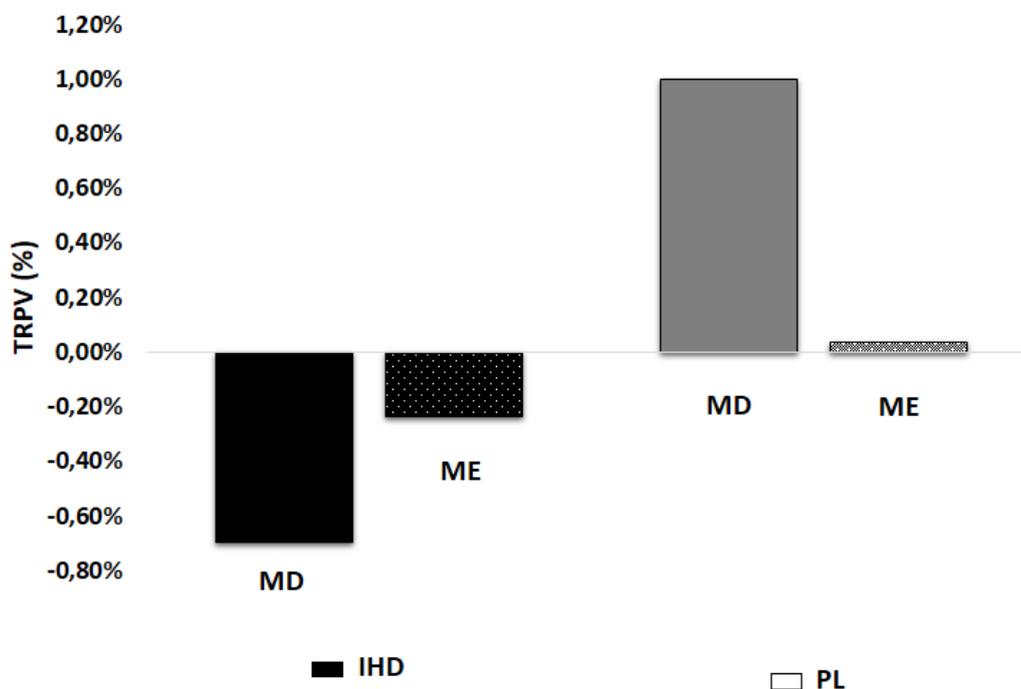
GRÁFICO 8: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para variável tempo relativo para o pico velocidade (TRPV).



IHD= inibição do hemisfério dominante; IHND = inibição do hemisfério não dominante; PL= placebo; * = diferença estatística.

O teste t mostrou que não houve diferença significativa entre os índices de mudanças das mãos nas condições IHD e PL [$t(11) = -0,28, p > 0,05, \eta^2 = 0,08, \omega = 0,10$] (GRÁFICO 9). Uma análise descritiva dos valores das médias dos IMMD e IMME da condição IHD indica que houve uma piora no desempenho para ambas as mãos, a MD piorou mais que a ME. Na condição PL ambas as mãos melhoraram o desempenho, a MD apresentou melhor desempenho que a ME.

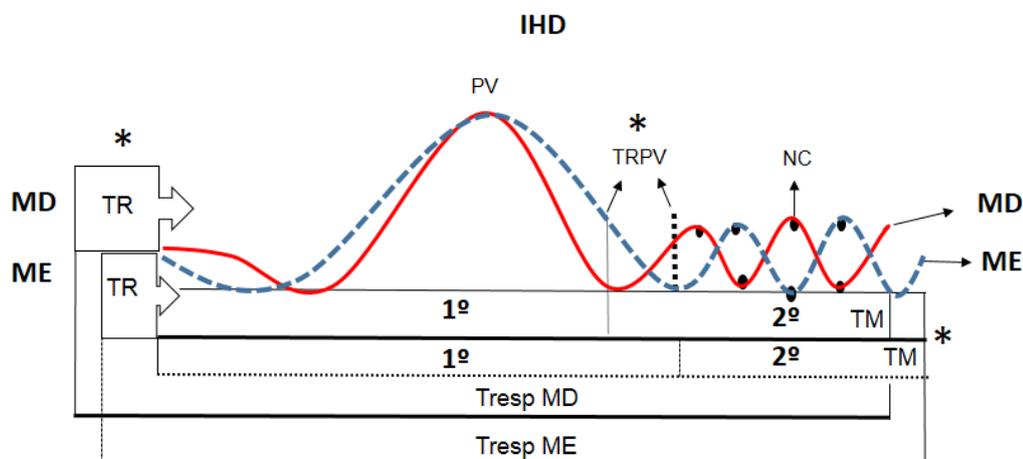
GRÁFICO 9: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições IHD e PL para variável tempo relativo para o pico vertical (TRPV).



IHD = inibição do hemisfério dominante; PL = placebo; MD= mão direita; ME= mão esquerda.

Resumindo os achados apresentados acima, a Figura 12 mostra o perfil cinemático da mão direita e esquerda de acordo com o índice de mudança das mãos do pré para o pós-teste na condição IHD. Pode ser observado desempenhos distintos entre as mãos. A MD apresentou maior TR e menor TM quando comparado com a ME. Foi observado um 1º submovimento maior para a ME, evidenciado a partir do aumento do TRPV, indicando que houve um maior período de tempo durante a trajetória do movimento controlado de forma pré-programada, em outras palavras, controlado centralmente. Para as demais variáveis não foram evidenciadas diferenças significativas, contudo, nota-se um perfil cinemático distinto para o desempenho das mãos.

FIGURA 12: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição IHD

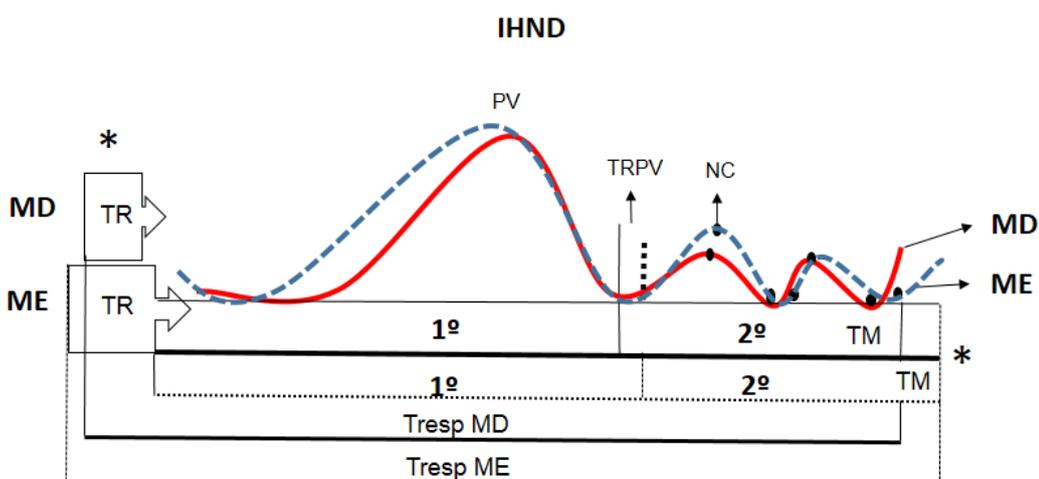


MD= mão direita; ME= mão esquerda; TR= tempo de reação; TM= tempo de movimento; TRPV= tempo relativo para o pico de velocidade; PV= pico de velocidade; NC= número de correções; 1º = primeiro submovimento; 2º= segundo submovimento; * diferença estatística.

Nota: Os valores apresentados refletem valores aproximados do experimento.

A Figura 13 mostra o perfil cinemático da mão direita e esquerda de acordo com o índice de mudança das mãos do pré para o pós-teste na condição IHND. A MD apresentou menor TR e menor TM quando comparado com a ME. Para as demais variáveis não foram evidenciadas diferenças significativas, contudo, nota-se um perfil cinemático distinto para o desempenho das mãos.

FIGURA. 13: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição IHND.

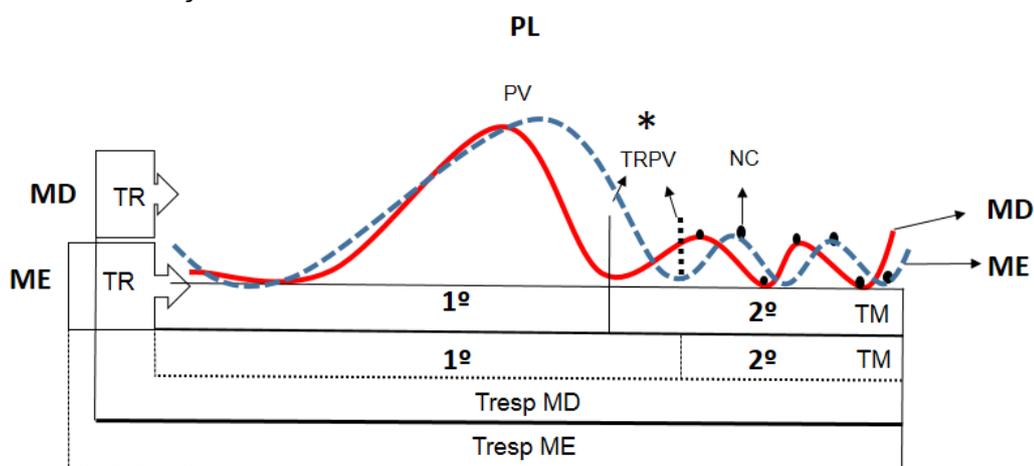


MD= mão direita; ME= mão esquerda; TR= tempo de reação; TM= tempo de movimento; TRPV= tempo relativo para o pico de velocidade; PV= pico de velocidade; NC= número de correções; 1º = primeiro submovimento; 2º= segundo submovimento; * diferença estatística.

Nota: Os valores apresentados refletem valores aproximados do experimento.

A Figura 14 representa o perfil cinemático da mão direita e esquerda de acordo com o índice de mudança das mãos do pré para o pós-teste na condição PL. A MD apresentou maior TRPV que a ME, o qual pode ser interpretado como um controle mais eficiente com menor necessidades de ajustes e correções *online* quando comparado com a ME. Para as demais variáveis não foram encontradas diferenças significativas.

FIGURA 14: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição PL.



MD= mão direita; ME= mão esquerda; TR= tempo de reação; TM= tempo de movimento; TRPV= tempo relativo para o pico de velocidade; PV= pico de velocidade; NC= número de correções; 1º = primeiro submovimento; 2º= segundo submovimento; * diferença estatística.

Nota: Os valores apresentados refletem valores aproximados do experimento.

7 DISCUSSÃO

O objetivo geral do experimento I foi analisar os efeitos da inibição inter-hemisférica no comportamento das assimetrias manuais. As questões específicas investigadas foram: 1) analisar os efeitos da inibição inter-hemisférica nas assimetrias manuais em uma tarefa de apontamento, 2) verificar qual ou quais mecanismos de controle estão associados às alterações das assimetrias manuais.

Foram levantadas as seguintes hipóteses: (1) a diminuição da IHD, resultará em aumento das assimetrias manuais a partir da redução do tempo de reação da mão esquerda; (2) a diminuição da IHD resultará em redução das assimetrias manuais a partir da redução do tempo de movimento da mão esquerda; (3) diminuição da IHD resultará em redução das assimetrias manuais a partir do aumento da precisão da mão esquerda; (4) diminuição da IHD resultará em redução das assimetrias manuais a partir da redução do número de correções no 2º submovimento da mão esquerda; (5) diminuição da IHD resultará em redução das assimetrias manuais a partir do aumento do pico de velocidade da mão esquerda; (6) a diminuição da IHD resultará em redução das assimetrias manuais a partir do aumento do 1º submovimento da mão esquerda.

De forma geral, os resultados do presente estudo dão suporte parcial às hipóteses levantadas. Foi confirmada a hipótese de que a inibição do hemisfério dominante (esquerdo) resultaria em aumento das assimetrias manuais a partir da redução do tempo de reação da mão esquerda. A hipótese de que a IHD resultaria em redução das assimetrias manuais a partir da redução do tempo de movimento da mão esquerda foi parcialmente confirmada, uma vez que houve redução do tempo de movimento, mas não foi possível identificar a direção dessa redução. A hipótese de que a IHD resultaria em redução das assimetrias manuais a partir do aumento do 1º submovimento da mão esquerda foi parcialmente confirmada, apesar de evidenciado o aumento do 1º submovimento, também não foi possível identificar a direção dessa alteração. Já as seguintes hipóteses não foram confirmadas: a) diminuição da IHD resultando em redução das assimetrias manuais a partir do aumento da precisão da mão esquerda; b) diminuição da IHD resultando em redução das assimetrias manuais a partir da redução do número de correções no 2º submovimento da mão esquerda; c) diminuição da IHD resultando em redução das assimetrias manuais a partir do aumento do pico de velocidade da mão esquerda.

Através dos resultados obtidos, pode-se observar de forma geral, que a inibição inter-hemisférica levou a alterações nas medidas de desempenho, sendo elas o tempo de reação e o tempo de movimento. As condições de inibição do hemisfério dominante (esquerdo), e inibição do hemisfério não dominante (direito), apresentaram resultados interessantes e opostos, como era esperado. Na análise da inibição do hemisfério dominante (esquerdo), houve um aumento das assimetrias para a variável tempo de reação e uma redução das assimetrias para o tempo de movimento. Enquanto na análise da inibição do hemisfério não dominante (direito), houve uma redução das assimetrias para o tempo de reação e um aumento das assimetrias para o tempo de movimento.

Na inibição do hemisfério dominante (esquerdo), foi possível constatar que a direção do aumento das assimetrias para o tempo de reação é decorrente da melhora do desempenho da mão esquerda. Estes resultados confirmam a hipótese relacionada às alterações no tempo de reação, na qual a inibição do hemisfério dominante (esquerdo), resultou em aumento das assimetrias manuais a partir da redução do tempo de reação da mão esquerda. O melhor desempenho da mão esquerda para o tempo de reação corrobora os achados de estudos anteriores (BOULINGUEZ; BARTHELEMY; DEBU, 2000; ELLIOTT et al., 1999). É possível inferir que o aumento das assimetrias para o tempo de reação, a partir da inibição do hemisfério dominante (esquerdo), seja resultante da superioridade do sistema mão esquerda/hemisfério direito na iniciação do movimento e que somado a inibição das conexões inibitórias que o hemisfério dominante (esquerdo), exerce sobre o hemisfério não dominante (direito), potencializou o desempenho da mão esquerda na preparação do movimento. Em outras palavras, a especialização do hemisfério direito para o tempo de reação foi potencializada quando o mesmo foi estimulado.

Em relação ao tempo de movimento, foi hipotetizado que a inibição do hemisfério dominante (esquerdo), resultaria em redução das assimetrias manuais a partir da redução do tempo de movimento da mão esquerda. A hipótese foi parcialmente confirmada, uma vez que a inibição do hemisfério dominante (esquerdo), reduziu as assimetrias, entretanto, apesar de ser observado a redução das assimetrias, a análise posterior não indicou a direção dessa diminuição. Por meio da análise descritiva dos índices de mudanças das mãos do pré para o pós-teste observou-se que a inibição do hemisfério dominante (esquerdo), resultou na melhora do desempenho de ambas as mãos. A melhoria da mão esquerda era esperada, pois

o aumento da comunicação inter-hemisférica favorece o processamento do hemisfério não dominante (direito) a partir da especialização do hemisfério dominante (esquerdo), para o tempo de movimento. A diminuição da excitabilidade do hemisfério dominante (esquerdo) levou a um aumento na excitabilidade do hemisfério não dominante (direito). Como consequência, a excitabilidade aumentada no hemisfério direito melhorou o tempo de movimento da mão esquerda (VINES; NAIR, SHAUG, 2008b).

Por outro lado, também foi observada a melhora da mão direita. Era esperado que com o aumento da comunicação inter-hemisférica, somente a mão esquerda apresentasse melhoras. Essa hipótese parte da noção de que a diminuição da excitabilidade do hemisfério dominante (esquerdo) afetaria negativamente o desempenho da mão direita (VINES; NAIR; SCHAUG, 2008). Entretanto, no presente estudo, a inibição do hemisfério dominante (esquerdo) não afetou negativamente as capacidades de processamento do tempo de movimento da mão direita. Uma vez que o hemisfério esquerdo apresenta dominância para o processamento desse aspecto do controle motor, a manutenção do tempo de movimento é resultado de um mecanismo homeostático envolvido na preservação desta função (SOHN et al., 2012) e associada à prática do pré para o pós-teste, pode ter levado a esse ganho.

Diferente dos resultados encontrados na inibição do hemisfério dominante (esquerdo), observou-se que a inibição do hemisfério não dominante (direito) diminuiu as assimetrias para o tempo de reação e aumentou as assimetrias para o tempo de movimento. Nesta condição não foi possível identificar a direção das alterações em ambas as medidas. A análise descritiva dos índices de mudança das mãos indicou que a mão esquerda apresentou uma piora do desempenho e a mão direita uma melhora para o tempo de reação. A piora no desempenho da mão esquerda pode ser explicada pela diminuição da excitabilidade no hemisfério direito gerada pela estimulação do catodo (inibição), assim como observado no estudo de (SOHN et al., 2012). Por outro lado, a melhoria observada no desempenho da mão direita pode estar associada ao aumento da comunicação inter-hemisférica, na qual o hemisfério dominante (esquerdo) se beneficiou do processamento especializado do hemisfério não dominante (direito) para o tempo de reação. Além do aumento da comunicação entre os hemisférios, é também plausível pensar no efeito do aumento da excitabilidade do hemisfério dominante (esquerdo), gerada pela estimulação do anodo

(excitação). A análise complementar dos resultados sobre aumento da excitabilidade do Experimento II poderá explicar essa hipótese explicativa.

Embora também não tenha sido possível identificar a direção do aumento e diminuição das assimetrias para o tempo de movimento tanto na inibição do hemisfério dominante (esquerdo), como também na inibição do hemisfério não dominante (direito), estas condições refletiram resultados opostos, os quais estão em consonância com as proposições da especialização hemisférica proposta inicialmente por Sperry em 1980. De acordo com a especialização hemisférica, o hemisfério esquerdo/mão direita apresenta uma vantagem observada na preparação do movimento, processamento de *feedback* visual e proprioceptivo e organização sequencial (BOULINGUEZ et al., 2000). Enquanto o hemisfério direito/mão esquerda possui um papel principal no processamento de informação visuoespacial antes do movimento. A mão esquerda pode se beneficiar em situações em que correções *online* não são críticas para o desempenho preciso (GOODALE, 1985). Em outras palavras, é possível que a inibição do hemisfério dominante (esquerdo), tenha reduzido as assimetrias através da melhora do tempo de movimento da mão esquerda a partir da inibição do hemisfério dominante (esquerdo), aumento da comunicação inter-hemisférica e aumento da excitabilidade do hemisfério direito. Enquanto a inibição do hemisfério não dominante (direito) pode ter resultado em aumento das assimetrias pelo reforço da especialização do hemisfério esquerdo para o desempenho superior da mão direita para o tempo de movimento.

Foi hipotetizado que a inibição do hemisfério dominante (esquerdo), resultaria em redução das assimetrias manuais a partir da melhora do desempenho da mão esquerda para a precisão do movimento, esta hipótese não foi confirmada. Durante a execução do movimento de apontamento, aparentemente, os voluntários realizaram uma troca (*trade-off*) entre a velocidade e a precisão. De acordo com a Lei de Fitts (1954), uma maior exigência de velocidade do movimento leva a uma redução da precisão. Foi observada uma alteração no desempenho para a medida de tempo de movimento (velocidade), mas não foi observada alteração para a precisão. É possível que os voluntários tenham enfatizado a velocidade em detrimento da precisão. Assim, o benefício do aumento da comunicação inter-hemisférica só surtiu efeito no tempo de movimento, pois a ênfase dada à velocidade de execução parece ter levado a um tipo de processamento que beneficiou somente esse parâmetro do movimento. Dessa forma, o nível de precisão gerada no pré-teste foi o mesmo do que o observado no

pós-teste. Essa ênfase dada à velocidade ou precisão é observada em outros estudos sobre apontamentos (LAGE et al., 2012; MATHIAS et al., 2011).

Alguns estudos que utilizaram ETCC e estimulação transcraniana magnética em diferentes tarefas observaram que o efeito da estimulação foi primariamente observado na mudança de velocidade e não na precisão (LEVIT-BINNUN et al., 2007; VINES et al., 2008b). Levit-Binnun et al. (2007), por exemplo, observaram que a estimulação transcraniana magnética aplicada sobre o córtex motor primário aumentou a velocidade do dedo indicador no movimento para baixo em uma tarefa de toques repetidos sem alterar a precisão. Para compensar esses movimentos mais rápidos para baixo, uma lentidão foi observada na outra fase do toque. Essas alterações não são conscientes. Os autores afirmam que a estimulação do córtex motor primário leva a alterações diretas na forma como os comandos motores são liberados e que a lentidão observada na volta do toque é resultado de uma interação indireta com mecanismos de correção para garantir a precisão temporal.

Baseado na hipótese levantada por Levit-Binnun et al. (2007) é possível propor um possível caminho explicativo para os achados do presente estudo em relação à observância de mudanças somente na velocidade e não na precisão da mão esquerda. A inibição do hemisfério dominante (esquerdo), via córtex motor primário esquerdo resultaria primariamente em uma alteração da velocidade do movimento na mão esquerda. Essa alteração seria decorrente de alterações na programação motora e na liberação dos comandos motores no córtex motor primário direito. Como as correções *online* teriam um papel importante na precisão e têm como estrutura primária uma área não estimulada, o córtex parietal posterior (CULHAM et al., 2003; MUTHA et al., 2014), não se observou alterações na precisão do movimento.

A análise das variáveis cinemáticas identificou uma alteração no tempo relativo para o pico de velocidade. A condição de inibição do hemisfério dominante (esquerdo), diminuiu as assimetrias para o tempo relativo para o pico de velocidade, enquanto na condição placebo houve um aumento das assimetrias, no entanto, não foi possível determinar a direção dessas alterações. Contudo, a análise descritiva indica que o tempo relativo para o pico de velocidade aumentou mais na mão direita em comparação a mão esquerda. Esse aumento do tempo relativo para o pico de velocidade da mão direita está associado ao aumento do 1º submovimento. Em outras palavras, a mão direita aumentou a fase de controle central do movimento. Hipotetizou-se que a diminuição da inibição do hemisfério dominante (esquerdo),

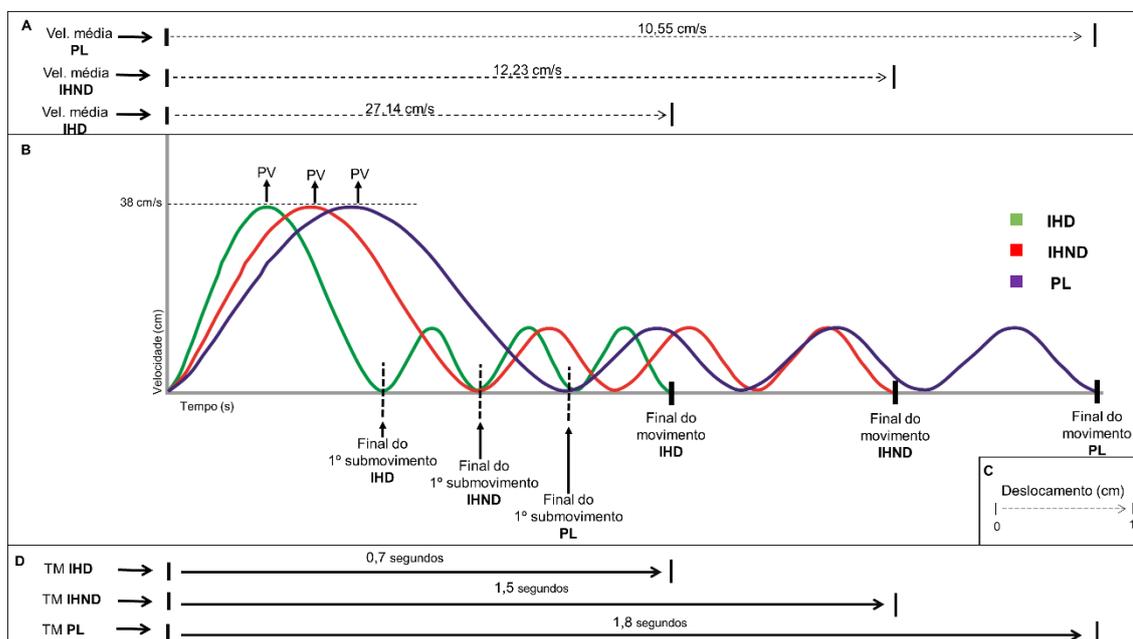
resultaria em redução das assimetrias manuais a partir do aumento do 1º submovimento da mão esquerda, dessa forma, a hipótese foi parcialmente confirmada. Um maior tempo relativo para o pico de velocidade pode ser interpretado como uma estratégia de otimização entre o 1º e 2º submovimento o que indica um sistema de controle motor mais eficiente (ELLIOT, 2010; LAGE et al., 2013; TEULINGS, 2001). Enquanto a diminuição das assimetrias encontrada na inibição do hemisfério dominante (esquerdo), indica ser resultado das alterações no tempo de movimento e mudanças nas estratégias de controle, o aumento das assimetrias observado na condição placebo pode ser decorrente do aumento da diferença das mãos via prática do pré para o pós-teste. É importante ressaltar que o resultado da condição placebo desafia a lógica desenvolvida no trabalho. A partir do exposto acima, os resultados sobre o tempo relativo para o pico de velocidade mostram que o mecanismo de controle associado às alterações nas assimetrias manuais é a pré-programação do movimento.

Foi hipotetizado que a inibição do hemisfério dominante (esquerdo), resultaria na redução das assimetrias a partir do aumento do pico de velocidade para a mão esquerda. O pico de velocidade está associado ao tempo de movimento, uma vez que maiores valores para o pico de velocidade associa-se a menor tempo de movimento (WOODWORTH, 1899). Contudo, no presente estudo não foi possível encontrar essa associação entre o pico de velocidade e tempo de movimento. Esse fato pode ser observado nos estudos (CARNAHAN; VANDERVOORT, 1998; POLETTI et al., 2015). Outra variável como a velocidade média, por exemplo, pode explicar melhor a associação com o tempo de movimento (TIPLER; MOSCA, 2008).

Como o deslocamento (distância entre o ponto inicial e o alvo) foi o mesmo para as condições de estimulação e o tempo de movimento diferente, caso a velocidade média fosse analisada possivelmente apresentaria diferentes resultados nas condições. Pois, a velocidade média é compreendida pela taxa de mudança do deslocamento. Sendo a velocidade média a distância total percorrida por uma determinada partícula, dividido pelo tempo total do início ao fim (TIPLER; MOSCA, 2008). O pico de velocidade pode mascarar os efeitos da velocidade com a redução ou aumento do tempo de movimento. Uma vez que a magnitude do pico de velocidade pode não refletir na velocidade empregada ao longo do movimento. Como exemplo, na Figura 15 todas as condições apresentaram a mesma magnitude do pico de velocidade, mas tempos de movimentos distintos, apresentados na figura como “final

do movimento” (FIGURA 15B). Quando avaliado a velocidade média (FIGURA 15A), as condições apresentaram velocidade média diferentes. Isso decorre dos diferentes tempos de movimentos apresentado para o mesmo deslocamento, levando a uma diminuição ou aumento da velocidade, conforme discutido acima. Como o deslocamento foi o mesmo para as condições (FIGURA 15C), a velocidade média impacta nos valores do tempo de movimento. Por exemplo, na condição de inibição do hemisfério dominante (esquerdo), o tempo de movimento foi de 0,7 segundos (FIGURA 15D), com deslocamento de 19 cm (FIGURA 15C), gerando uma velocidade média de 27,14 cm/s (FIGURA 15A). Com isso, pode-se inferir que quanto maior a velocidade média menor será o tempo de movimento. Sugere-se em futuros estudos a utilização dessa variável como complemento da análise do perfil cinemático do modelo proposto por Woodworth (1899).

FIGURA 15: Possível explicação para o uso da velocidade média no modelo de Woodworth (1899).



IHD: inibição do hemisfério dominante (esquerdo); IHND: inibição do hemisfério não dominante (direito); PL: placebo. TM: tempo de movimento; PV: pico de velocidade; cm: centímetros; cm/s: centímetros por segundos; Vel. Média: velocidade média.

Nota: Os valores apresentados refletem valores aproximados do experimento em termos de médias das duas mãos. Na Figura 15A é possível observar os valores da velocidade média, termos de cm/s, nas três condições experimentais (IHD, IHND e PL). Nessa figura observa-se que o tempo de movimento diminui em função do aumento da velocidade média. A Figura 15B ilustra os valores em velocidade (cm/s) em função do tempo (s) nas três condições experimentais (IHD, IHND e PL). Ambas condições apresentam o mesmo valor de pico de velocidade, em torno de 38 cm/s. Contudo valores diferentes para o tempo de movimento, representado na figura por "Final do movimento". Sendo a condição de inibição do hemisfério dominante com o menor tempo de movimento seguido pela condição inibição do hemisfério não dominante e a condição placebo. A Figura 15C representa o valor, em cm, do deslocamento total na tarefa de apontamento. O valor de deslocamento compreende o valor entre a posição inicial e final (alvo) do movimento. Ambas condições (IHD, IHND e PL) apresentaram valores de deslocamento iguais, em torno de 19 cm. A Figura 15D encontra-se os valores de tempo de movimento nas três condições experimentais. A condição de inibição do hemisfério dominante apresenta menor tempo de movimento seguido pela condição inibição do hemisfério não dominante e a condição placebo.

Quando se avalia o número de correções também não há diferenças entre as condições. Esse achado refuta a hipótese de que a diminuição da inibição do hemisfério dominante (esquerdo) resultaria em redução das assimetrias manuais a partir da redução do número de correções no 2º submovimento da mão esquerda. Essa medida reflete ajustes realizados nas proximidades do alvo para alcançar a meta, sendo uma medida estreitamente associada à precisão do movimento de apontamento (ELIOTT et al., 2001). A falta de alteração no número de correções parece reforçar a proposição relacionada ao efeito prioritário da inibição do hemisfério dominante (esquerdo) na velocidade do movimento. Como as correções *online* teriam

um papel importante na precisão e têm como estrutura primária uma área não estimulada, o córtex parietal posterior (MUTHA et al., 2014), não se observou alterações no número de correções no 2º submovimento.

Apesar de não ter sido encontrada diferenças na eficiência dos ajustes *online* para o número de correções, um outro caminho explicativo em relação à eficiência é que diferentes tempos relativos para o 1º submovimento foram encontrados entre as condições. Esses resultados indicam que embora os números de correções sejam idênticos, a duração do 2º submovimento foi diferente entre as condições. Apesar do modelo de Woodworth (1899) não predizer como seria a distribuição e a duração dessas correções no tempo, é possível especular que elas sejam diferentes devido às diferenças em variáveis como o tempo de movimento e o tempo relativo para o pico de velocidade.

Como exemplo, quando avaliada a condição de inibição do hemisfério dominante (esquerdo), foi observado que há um menor tempo disponível para realizar as correções em comparação com o placebo. Porém, ambas as condições apresentam o mesmo número de correções. Embora não haja medida no presente estudo para eficiência das correções pode-se inferir que a condição de inibição do hemisfério dominante (esquerdo), é mais eficiente em comparação as demais.

Essas hipóteses levantadas em relação ao porquê de não ter sido observada alteração da precisão do movimento e do número de correções precisam ser investigadas em futuros estudos. Em linhas gerais, os resultados das medidas cinemáticas indicam que os efeitos da inibição do hemisfério dominante (esquerdo), resultou em alterações de ordem mais central, relacionadas a pré-programação do movimento.

EXPERIMENTO II: AUMENTO DA EXCITABILIDADE HEMISFÉRICA

8 OBJETIVOS

8.1 Objetivo geral

Verificar os efeitos do aumento da excitabilidade cortical no comportamento das assimetrias manuais.

8.2 Objetivos específicos

Analisar os efeitos do aumento da excitabilidade hemisférica nas assimetrias manuais em uma tarefa de apontamento.

Verificar o mecanismo de controle associado a alteração das assimetrias manuais.

9 HIPÓTESES

O aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (EHND), hemisfério direito, resultará em aumento da assimetria manual a partir da redução do tempo de reação da mão esquerda.

O aumento da EHND não irá alterar o tempo de movimento para ambas as mãos.

O aumento da EHND não irá alterar a precisão do movimento para ambas as mãos.

O aumento da EHND não irá alterar os mecanismos de controle para ambas as mãos.

10 MATERIAIS E MÉTODO

10.1 Amostra

A amostra do experimento II foi composta por 9 indivíduos (idade média= 26,5 \pm 4,11), do sexo masculino, destros, universitários e com idade entre 18 a 35 anos, com visão normal ou visão corrigida. Foram adotados os mesmos critérios de inclusão do estudo I.

Foi realizado inicialmente um estudo piloto com 5 voluntários para determinar o tamanho da amostra assim como também definir número de tentativas e formas de controle de possíveis variáveis intervenientes. Os valores do estudo piloto estão apresentados nos apêndices 9 e 10. O cálculo amostral foi realizado a partir da variável dependente TR através do *software* GPower (versão 3.1).

10.2 Instrumentos e tarefa motora

Os instrumentos e a tarefa motora utilizada no experimento II são idênticos aos utilizados no experimento I (FIGURA 1, 2 e 3).

10.3 Delineamentos e procedimentos

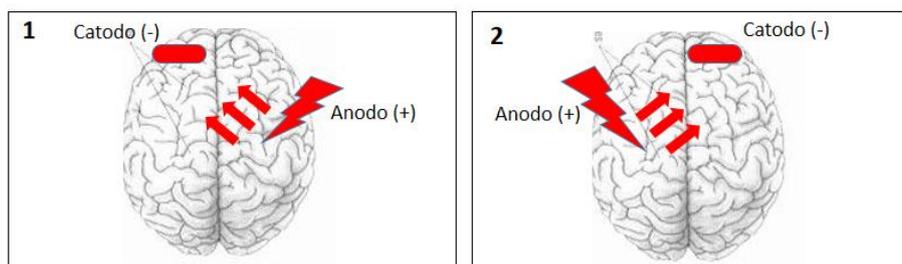
O experimento II seguiu procedimentos idênticos aos utilizados no experimento I, com exceção das condições de modulação que se diferenciam entre os experimentos. Inicialmente, os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido e responderam o Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971). Em seguida, foi fornecido instruções e os participantes realizaram 5 tentativas da tarefa com cada mão como forma de ambientação. Após a familiarização foi realizado o pré-teste. Após o pré-teste os participantes receberam a estimulação (excitação) de acordo com a condição pré-definida. Foram realizadas três condições de estimulação hemisférica. Na condição 1 o M1 no hemisfério não dominante foi excitado (EHND) pelo posicionamento do anodo sobre a região C4 e o catodo sobre a região Fp1 (FIGURA 16-1). Na condição 2, o M1 do hemisfério dominante foi excitado (EHD) pelo posicionamento do anodo sobre a região C4 e o catodo sobre a região Fp2 (FIGURA 6-2). Na condição 3 foi a condição placebo (PL). Imediatamente após a estimulação foi realizado o pós-teste.

Após 48 horas da primeira sessão de estimulação os voluntários realizaram novamente o pré-teste para a tarefa de apontamento, em seguida, receberam a segunda sessão de estimulação e logo após a estimulação foi realizado o pós-teste. Após 48 horas da segunda sessão os mesmos procedimentos foram realizados na terceira sessão. As sessões de estimulação consistiram de:

- 1- excitação do Hemisfério Não Dominante (EHND): ETCC anodo C4 e catodo na Fp1 (20min, 1mA);
- 2- excitação do Hemisfério Dominante (EHD): ETCC anodo C3 e catodo na Fp2 (20min, 1mA);
- 3- condição placebo (PL) por 36 segundos (1mA).

A Figura 16 mostra a configuração das duas condições de excitação do M1.

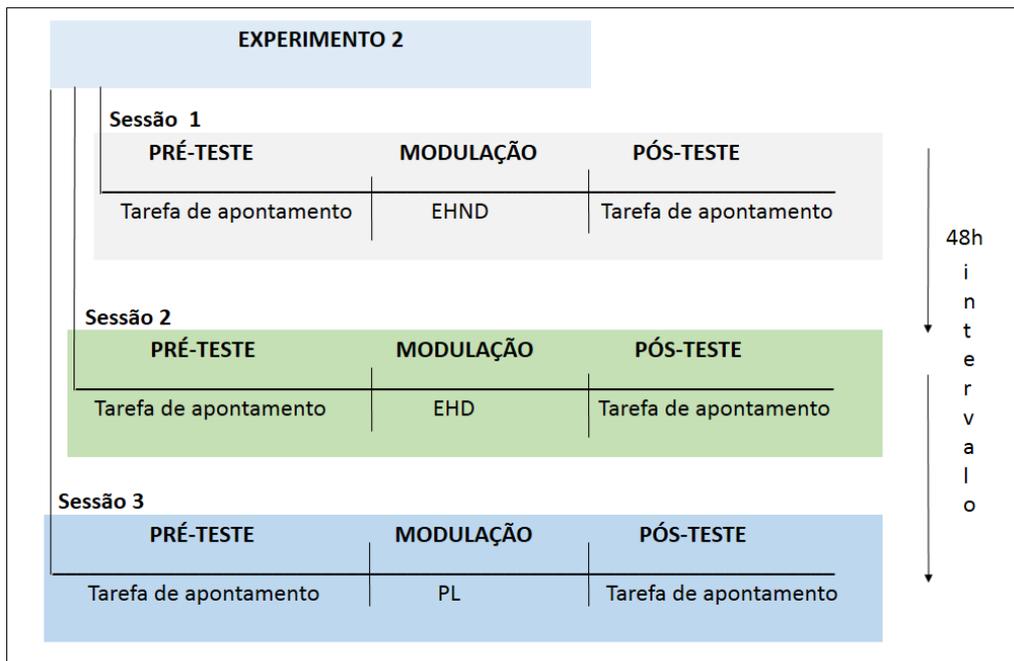
FIGURA 16: 1- Excitação do hemisfério não dominante (EHND); 2- Excitação do hemisfério dominante (EHD).



As setas indicam a direção da corrente. Fonte: autoria do autor.

A Figura 17 exemplifica o delineamento no qual a ordem é a excitação do hemisfério não dominante na 1^o sessão, a excitação do hemisfério dominante na 2^o sessão e a condição placebo na 3^o sessão.

FIGURA 17: Exemplo de delineamento do experimento I.



EHND: Excitação do hemisfério não dominante; EHD: Excitação do hemisfério dominante; PL: Placebo.
Fonte: autoria do autor.

10.4 Variáveis de estudo

As variáveis de desempenho motor analisadas foram: (1) tempo de reação; (2) tempo de movimento e (3) precisão do movimento.

As variáveis dependentes cinemáticas analisadas são: (1) pico de velocidade; (2) duração do 1º submovimento e (3) número de correções no 2º submovimento.

Todas as medidas de desempenho e cinemáticas utilizadas, assim como o método de filtragem dos dados são fornecidos pelo *software* MovAlyzer. Foi utilizado um filtro passa-baixa a 12 Hz utilizando o método de Transformação Rápida de Fourier (FFT).

10.5 Procedimentos estatísticos

Foram adotados os mesmos procedimentos estatísticos para os dois experimentos.

11 RESULTADOS

Para cada variável dependente, a média dos participantes no pré-teste e pós-teste foram calculadas e estão apresentadas no Apêndice de 11 ao 16. O teste de Shapiro-Wilk foi conduzido para avaliação da normalidade dos dados. Todos dados apresentaram normalidade. O valor adotado de alfa foi de $p < 0,05$.

11.1 Análise descritiva das variáveis de desempenho

Os dados do pré-teste e pós-teste foram analisados através de uma Anova *One-way* (condição EHND X condição EHD X condição PL) com medidas repetidas para as variáveis tempo de reação (TR) e tempo de movimento (TM). Nos casos em que diferença significativa foi encontrada ($p < 0,05$), foi utilizado o teste *post-hoc* de Tukey. Para definir se os valores encontrados refletem aumento ou redução das assimetrias entre as condições foi analisado a média do Índice de mudança de cada condição, sendo que:

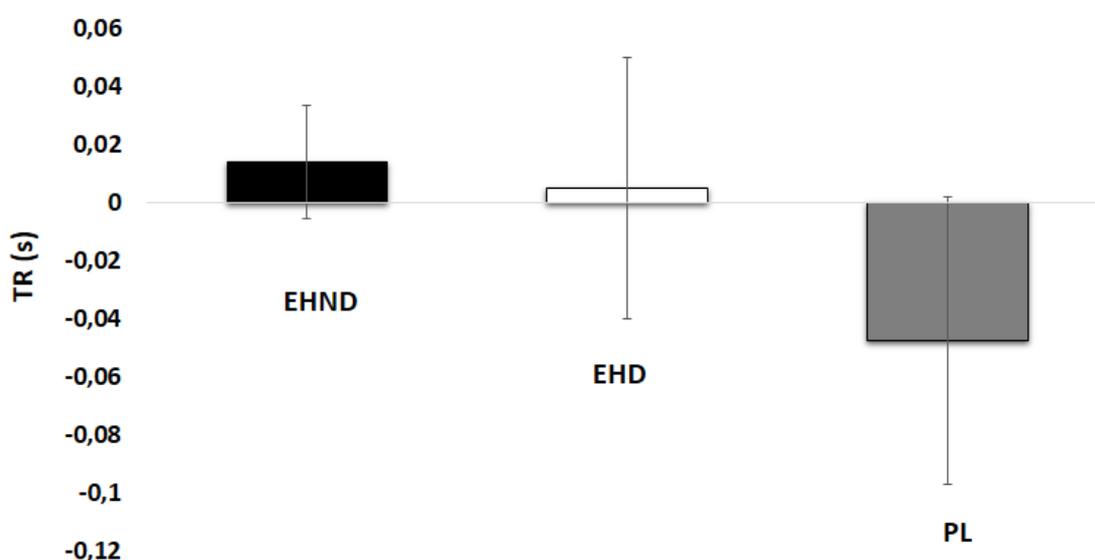
- médias com valores negativos ($IM = IA \text{ pós} - IA \text{ pré}$): indicam uma redução das assimetrias em decorrência da redução dos valores do pós-teste;
- médias com valores positivos ($IM = IA \text{ pós} - IA \text{ pré}$): indicam um aumento das assimetrias em decorrência do aumento dos valores do pós-teste.

Para análise da direção do aumento e/ou redução das assimetrias foi realizado um teste *t* comparando as médias do índice de mudança da mão direita com a mão esquerda em cada condição, sendo que:

- médias com valores negativos para o índice de mudança da mão direita ou esquerda (ex: $IMMD = \text{Pós MD} - \text{Pré MD}$): Indicam que os valores do pós-teste foram menores que os valores do pré-teste, evidenciando uma melhora na performance da mão;
- médias com valores positivos para o índice de mudança da mão direita ou esquerda (ex: $IMMD = \text{Pós MD} - \text{Pré MD}$): Indicam que os valores do pós-teste foram maiores que os valores do pré-teste, evidenciando uma redução na performance da mão.

A Anova *One-way* (condição EHND X condição EHD X condição PL) com medidas repetidas não detectou diferença significativa entre as condições para a variável TR [$F(2,16) = 2,53$, $p > 0,05$, $\eta^2 = 0,24$, $\omega = 0,43$]. As médias do índice de mudança das condições são apresentadas no Gráfico 10.

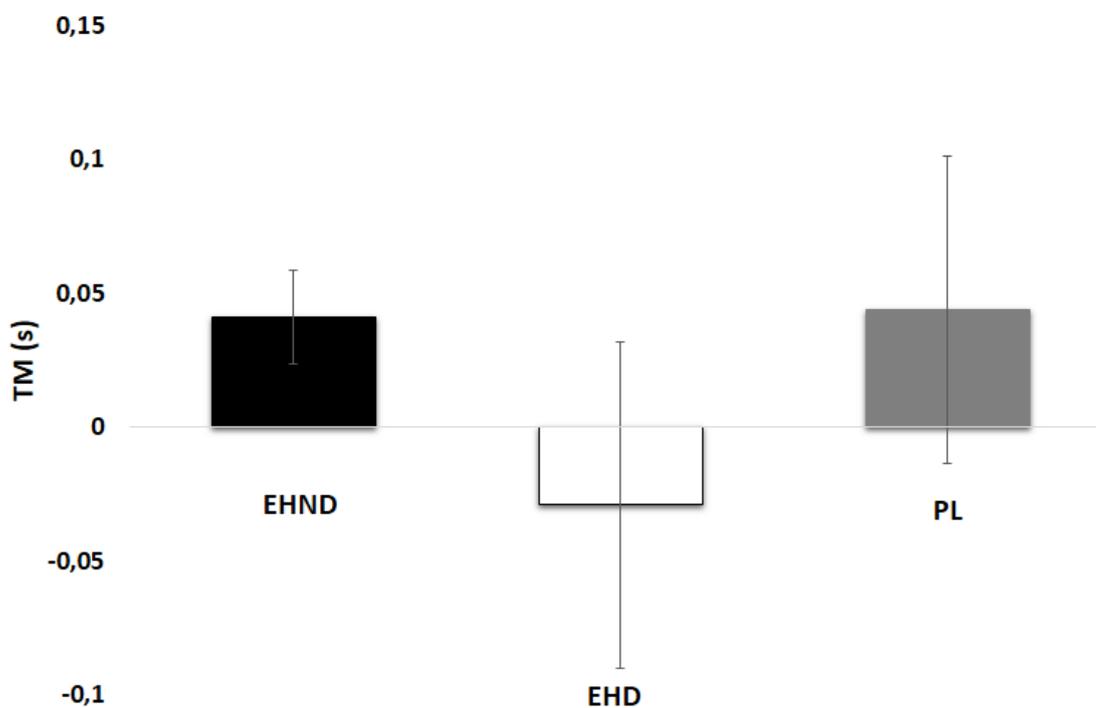
GRÁFICO 10: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para variável tempo de reação (TR).



EHND= excitabilidade do hemisfério não dominante; EHD= excitabilidade do hemisfério dominante; PL= placebo.

A Anova *One-way* (condição EHND X condição EHD X condição PL) com medidas repetidas não detectou diferença significativa entre as condições para a variável TM [$F(2,16) = 2,53$, $p > 0,05$, $\eta^2 = 0,20$, $\omega = 0,36$]. As médias do índice de mudança das condições são apresentadas no Gráfico 11.

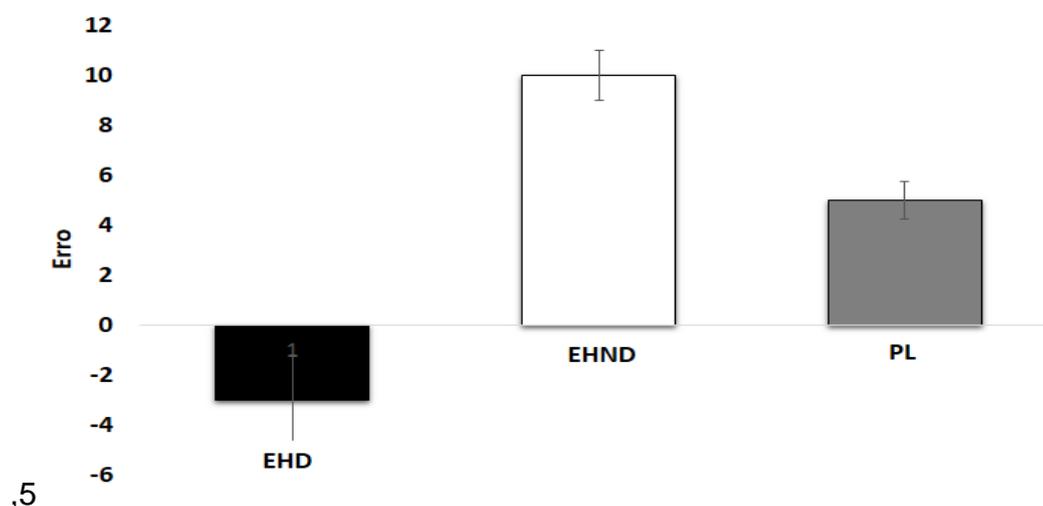
GRÁFICO 11: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para variável tempo de movimento (TM).



EHND= excitabilidade do hemisfério não dominante; EHD= excitabilidade do hemisfério dominante; PL= placebo.

Os dados dos erros de precisão foram analisados através do teste não-paramétrico de Friedman. O teste de Friedman, não detectou diferença significativa entre as condições para a variável precisão [$X^2(N=10) = 0,51$ $p > 0,05$, $\Upsilon=0,00$]. As médias do índice de mudança das condições são apresentadas no Gráfico 12.

GRÁFICO 12: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições EHND, EHD e PL para variável precisão.



EHND= excitabilidade do hemisfério não dominante; EHD= excitabilidade do hemisfério dominante; PL= placebo; MD= mão direita; ME esquerda; *= diferença estatística.

11.2 Análise descritiva das variáveis cinemáticas

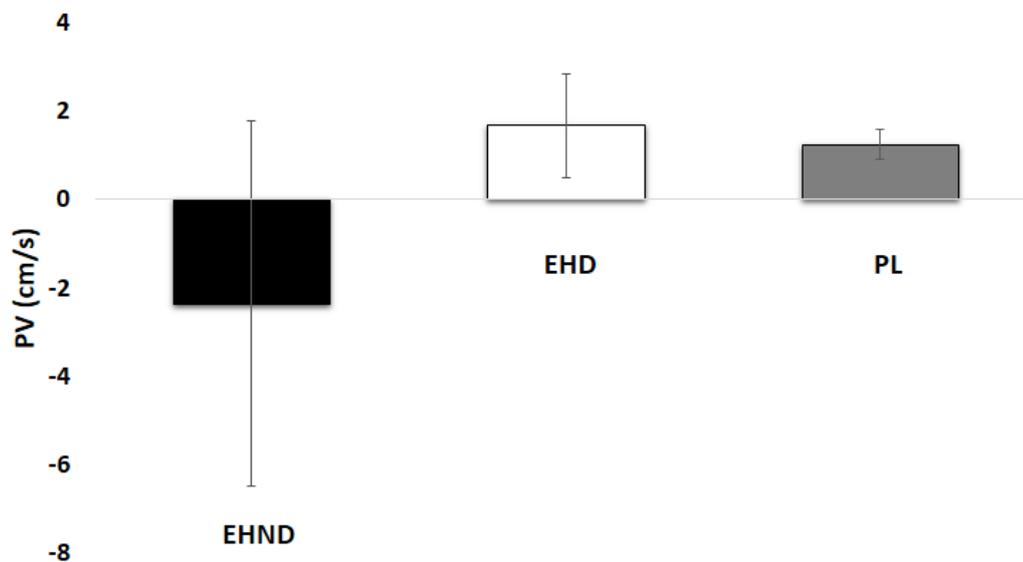
Os dados do pré e pós-teste foram analisados através de uma Anova *One-way* (condição EHND X condição EHD X condição PL) com medidas repetidas. Nos casos em que os valores apresentaram o $p < 0,05$, foi utilizado o teste post-hoc de Tukey. Para análise da direção do aumento e/ou redução das assimetrias a lógica dos valores das médias foi invertida, exceto para a variável NC, uma vez que valores crescentes indicam melhora na performance, sendo que:

- médias com valores negativos para o índice de mudança da mão direita ou esquerda (ex: IMMD= Pós MD – Pré MD): Indicam que os valores do pós-teste foram menores que os valores do pré-teste, evidenciando uma redução na performance da mão;
- médias com valores positivos para o índice de mudança da mão direita ou esquerda (ex: IMMD= Pós MD – Pré MD): Indicam que os valores do pós-teste foram maiores que os valores do pré-teste, evidenciando uma aumento da performance da mão.

A Anova *One-way* (condição EHND X condição EHD X condição PL) com medidas repetidas não detectou diferença significativa entre as condições para a

variável PV [$F(2,16) = 2,92$, $p > 0,05$, $\eta^2=0,26$, $\omega = 0,48$]. As médias do índice de mudança das condições são apresentadas no Gráfico 13.

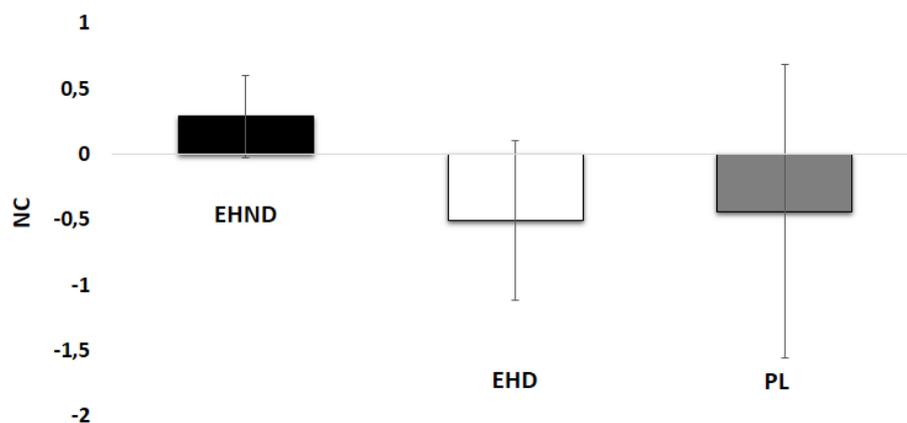
GRÁFICO 13: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável pico velocidade (PV).



EHND= excitabilidade do hemisfério não dominante; EHD= excitabilidade do hemisfério dominante; PL= placebo.

A Anova *One-way* (condição EHND X condição EHD X condição PL) com medidas repetidas não detectou diferença significativa entre as condições para a variável NC [$F(2,16) = 1,70$, $p > 0,05$, $\eta^2=0,17$, $\omega = 0,30$]. As médias do índice de mudança das condições são apresentadas no Gráfico 14.

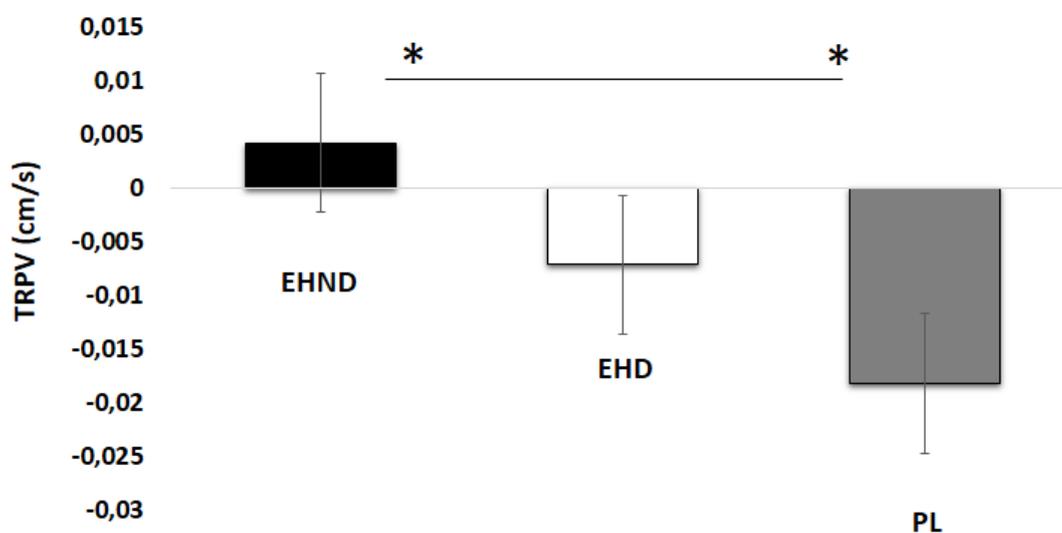
GRÁFICO 14: Médias do índice de mudança e intervalo de confiança das condições para a variável número de correções (NC).



EHND= excitabilidade do hemisfério não dominante; EHD= excitabilidade do hemisfério dominante; PL= placebo.

A Anova *One-way* (condição EHND X condição EHD X condição PL) com medidas repetidas no segundo fator, detectou diferença significativa entre as condições para a variável TRPV [$F(2,16) = 6,32$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,44$, $\omega = 0,83$] (GRÁFICO 15). O teste *post-hoc* de Tukey indicou que as condições EHND e PL se diferenciaram ($p < 0,01$). Através dos valores das médias do IM das condições foi possível identificar que na condição EHND houve um aumento das assimetrias e na condição PL houve uma redução das assimetrias do pré-teste para o pós-teste.

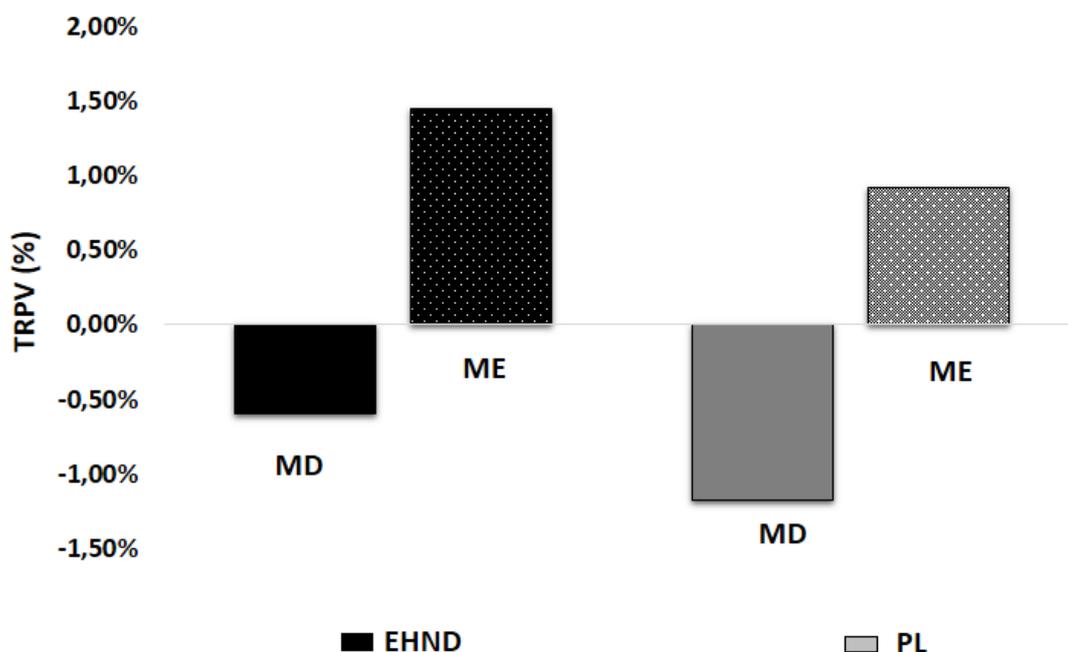
GRÁFICO 15: Médias do índice de mudança e do intervalo de confiança das condições para a variável tempo relativo para o pico vertical (TRPV).



EHND= excitabilidade do hemisfério não dominante; EHD= excitabilidade do hemisfério dominante; PL= placebo; *= diferença estatística.

O teste *t* mostrou que não houve diferença significativa entre os índices de mudanças das mãos nas condições EHND e PL [$t(9) = -1,20$, $p > 0,05$, $\eta^2 = 0,37$, $\omega = 0,30$] (GRÁFICO 16). Uma análise descritiva das médias dos IMMD e IMME das condições EHND e PL indicam que houve uma piora no desempenho para a MD e melhora no desempenho para a ME do pré para o pós-teste.

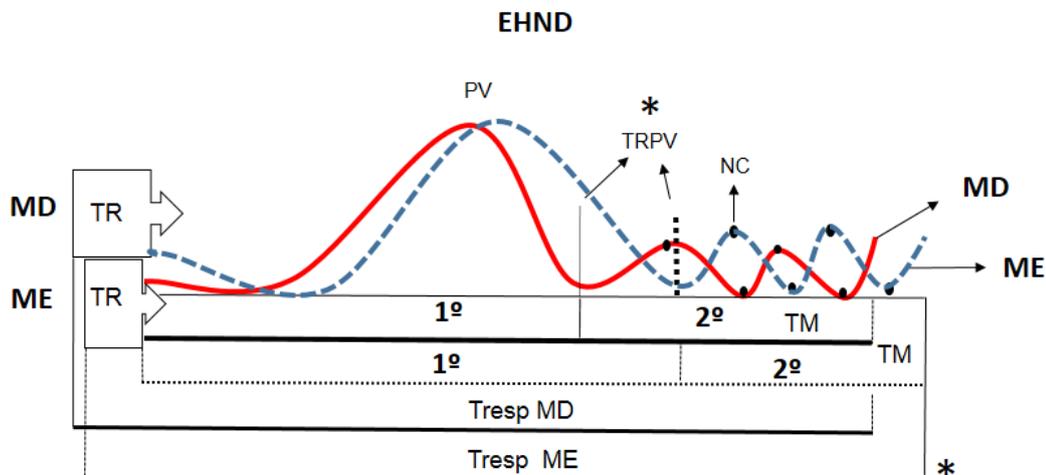
GRÁFICO 16: Médias do índice de mudança da mão direita e mão esquerda nas condições EHND e PL para variável tempo relativo para o pico de velocidade (TRPV).



EHND= excitabilidade do hemisfério não dominante; EHD= excitabilidade do hemisfério dominante; PL= placebo; MD= mão direita; ME= mão esquerda.

Resumindo os achados, a Figura 17 mostra o perfil cinemático da mão direita e esquerda de acordo com o índice de mudança das mãos do pré para o pós-teste na condição EHND. A ME apresentou um maior 1º submovimento e maior Tresp que a MD. Apesar de apresentar um controle característico de maior eficiência motora a ME apresentou um maior Tresp, o que sugere um tempo superior para executar o movimento, uma vez que o TR foi menor que o TR da MD. Já a MD apesar de apresentar um menor 1º submovimento apresentou também menor tempo para planejar e executar a ação, o qual pode ser visto pelo menor Tresp. Para as demais variáveis não foram encontradas diferenças significativas, no entanto, o perfil cinemático do desempenho das mãos parecem ser distintos.

FIGURA 18: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição EHND.

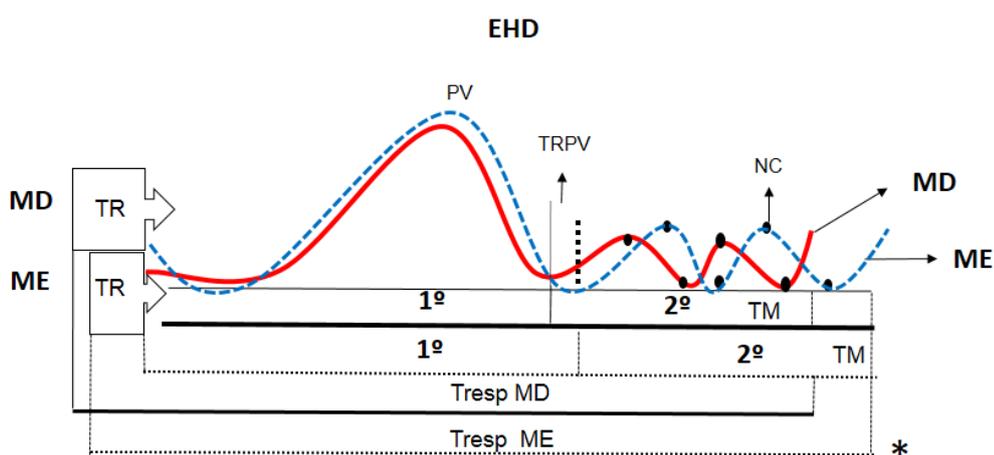


MD= mão direita; ME= mão esquerda; TR= tempo de reação; TM= tempo de movimento; TRPV= tempo relativo para o pico de velocidade; PV= pico de velocidade; NC= número de correções; 1º = primeiro submovimento; 2º= segundo submovimento; * diferença estatística.

Nota: Os valores apresentados refletem valores aproximados do experimento.

A Figura 19 mostra o perfil cinemático da mão direita e esquerda de acordo com o índice de mudança das mãos do pré para o pós-teste na condição EHD. As mãos não apresentaram diferenças em nenhuma das variáveis.

FIGURA 19: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição EHD.



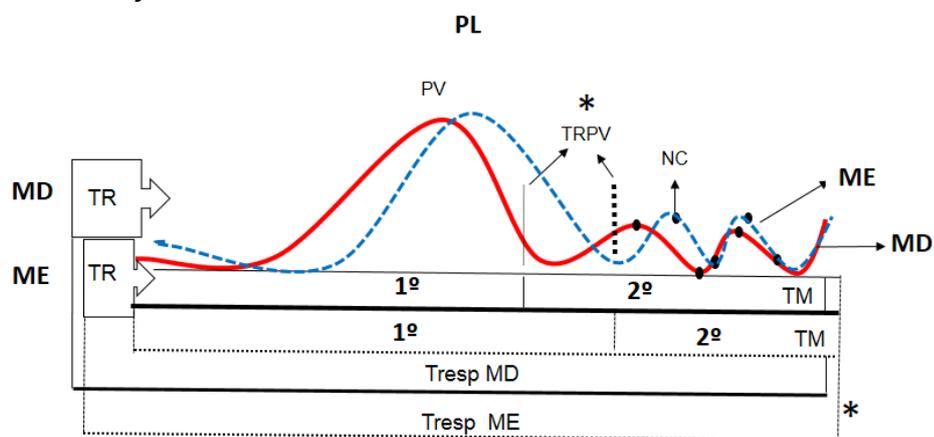
MD= mão direita; ME= mão esquerda; TR= tempo de reação; TM= tempo de movimento; TRPV= tempo relativo para o pico de velocidade; PV= pico de velocidade; NC= número de correções; 1º = primeiro submovimento; 2º= segundo submovimento; * diferença estatística.

Nota: Os valores apresentados refletem valores aproximados do experimento.

A Figura 20 mostra o perfil cinemático da mão direita e esquerda de acordo com o índice de mudança das mãos do pré para o pós-teste na condição PL. A MD

apresentou um menor Tresp que a ME. Para o TRPV a ME apresentou maiores valores. Para as demais variáveis não foram encontradas diferenças significativas.

FIGURA 20: Mudança observada no perfil cinemático da mão direita e esquerda na condição PL.



MD= mão direita; ME= mão esquerda; TR= tempo de reação; TM= tempo de movimento; TRPV= tempo relativo para o pico de velocidade; PV= pico de velocidade; NC= número de correções; 1º = primeiro submovimento; 2º= segundo submovimento; * diferença estatística.

Nota: Os valores apresentados refletem valores aproximados do experimento.

12 DISCUSSÃO

O objetivo geral do experimento II foi verificar os efeitos do aumento da excitabilidade cortical no comportamento das assimetrias manuais. As questões específicas investigadas foram: 1) analisar os efeitos do aumento da excitabilidade hemisférica nas assimetrias manuais em uma tarefa de apontamento, b) verificar o mecanismo de controle associado às alterações nas assimetrias manuais.

Foram levantadas as seguintes hipóteses: (1) o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) resultaria em aumento da assimetria manual a partir da redução do tempo de reação da mão esquerda, (2) o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não iria alterar o tempo de movimento para ambas as mãos, (3) o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não iria alterar a precisão do movimento para ambas as mãos, (4) o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não iria alterar os mecanismos de controle para ambas as mãos.

Ao analisar os resultados, verificou-se que o aumento da excitabilidade hemisférica alterou apenas o tempo relativo para o pico de velocidade. Foi confirmada a hipótese de que o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não iria alterar o tempo de movimento para ambas as mãos. Foi também confirmada a hipótese de que o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não iria alterar a precisão do movimento para ambas as mãos. Já a hipótese de que o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) resultaria em aumento da assimetria manual a partir da redução do tempo de reação da mão esquerda não foi confirmada. Em relação às variáveis cinemáticas, não foi confirmada a hipótese de que o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não iria alterar os mecanismos de controle para ambas as mãos.

Em relação ao tempo de movimento não foram observadas alterações entre as condições. Este resultado está de acordo com os achados sobre a especialização hemisférica no qual o hemisfério esquerdo/mão direita apresenta uma vantagem observada na preparação do movimento, processamento de *feedback* visual e proprioceptivo e organização sequencial (BOULINGUEZ et al., 2000). Enquanto o hemisfério direito/mão esquerda possui um papel principal no processamento de informação visuoespacial antes do movimento. A mão esquerda pode se beneficiar em situações em que correções *online* não são críticas para o desempenho preciso

(GOODALE, 1985). Portanto, não era esperado alteração para o tempo de movimento uma vez que o hemisfério não dominante (direito) não é especializado no processamento desta função. Somado a isso, a configuração da estimulação no aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não privilegiou a troca de informações entre os hemisférios através da comunicação inter-hemisférica. Assim, o hemisfério não dominante (direito) não poderia se beneficiar das capacidades de processamento do hemisfério dominante (esquerdo) para o tempo de movimento. Além do mais, também não era esperado alteração para a condição de excitação do hemisfério dominante (esquerdo) a partir da noção de que a capacidade de processamento desta variável pode atingir um efeito teto em algumas tarefas.

Foi levantada a hipótese de que o aumento da excitabilidade hemisférica não alteraria a precisão do movimento para ambas as mãos. Esta hipótese foi confirmada. Era esperado que o aumento da excitabilidade do hemisfério dominante (esquerdo) não refletiria alterações para a precisão da mão direita partindo das premissas de que o hemisfério esquerdo é dominante e superior para o processamento de *feedback* visual e proprioceptivo, assim, consideramos que poderia existir um efeito teto para esta tarefa. Em complemento, era esperado que o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não seria suficiente para reduzir as diferenças entre o desempenho das mãos para a precisão do movimento, uma vez que o sistema mão esquerda/hemisfério direito não pode se beneficiar em situações em que correções *online* são críticas para o desempenho preciso (GOODALE, 1985). Neste contexto, sem a comunicação inter-hemisférica para possibilitar a troca de informações entre o hemisfério dominante (esquerdo) e hemisfério não dominante (direito) apenas o aumento da excitabilidade não seria suficiente para reduzir as assimetrias para a mão esquerda.

A hipótese de que o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) resultaria em aumento da assimetria manual a partir da redução do tempo de reação da mão esquerda não foi confirmada. Esse resultado pode ser explicado por um efeito teto, já que o hemisfério não dominante (direito) já apresentaria vantagens em relação ao tempo de reação. Somado ao resultado da estimulação do hemisfério dominante (esquerdo) para o tempo de movimento da mão direita, no qual a estimulação não surtiu alterações, parece que a estimulação do hemisfério, independente da dominância, não surtiu efeitos para as variáveis tempo de movimento e tempo de reação. Sugere-se novos estudos para verificar essa proposição.

Neste experimento não era esperado que ocorressem mudanças nas variáveis cinemáticas. Na condição de aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não era esperado mudanças nas variáveis cinemáticas, uma vez que o hemisfério não dominante (direito), possui um papel principal no processamento de informação visuoespacial antes do movimento, ou seja, não era esperado alterações para as medidas relacionados aos aspectos temporais do movimento como o tempo de movimento e tempo relativo para o pico de velocidade. Além disso, a configuração utilizada na excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não proporciona uma otimização na comunicação inter-hemisférica para suprir as diferenças no processamento do hemisfério não dominante (direito), para esses aspectos do controle motor referidos acima. Essa hipótese não foi confirmada. Foram observados alterações para a variável tempo relativo para o pico de velocidade. Em nenhuma das condições foi possível identificar a direção dessas mudanças.

Contudo, a excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) levou a alterações no tempo relativo para o pico de velocidade e essas alterações podem expressar mudanças relacionadas aos mecanismos de controle motor. Apesar de não identificar a direção dessas alterações nas assimetrias, a partir da análise descritiva é possível especular que na condição de excitação do hemisfério não dominante (direito) houve uma melhora no desempenho da mão esquerda e uma piora no desempenho da mão direita. A melhora no desempenho da mão esquerda pode estar relacionada ao aumento da excitabilidade local enquanto a piora no desempenho da mão direita pode ser decorrente da diminuição da excitabilidade do hemisfério dominante (esquerdo). Enquanto para a redução das assimetrias observadas na condição placebo, houve uma melhora no desempenho da mão esquerda e uma piora no desempenho da mão direita. É possível que estes resultados possam estar vinculados ao efeito da aprendizagem decorrente das tentativas realizadas durante as sessões. Estes resultados desafiam a compreensão e lógica deste estudo.

Uma análise *ad hoc* foi conduzida para uma possível interpretação dos achados em relação a estimulação do hemisfério não dominante e do placebo. Espera-se uma associação entre o tempo de reação, uma medida que envolve aspectos da pré-programação, e as medidas cinemáticas. Sendo que, o tempo relativo para o pico de velocidade e o pico de velocidade estão associados à pré-programação e o número de correções associado ao controle *online*. Dessa forma, foram conduzidas duas regressões múltiplas. A regressão múltipla na condição estimulação do hemisfério não

dominante mostrou que a medida cinemática que melhor explica o tempo de reação foi o tempo relativo para o pico de velocidade [$t(9)=2,67$, $r^2=65$, $p<0,05$]. Já a regressão na condição placebo não mostrou associação significativa para nenhuma das medidas cinemáticas. A literatura só aponta a especialização dos hemisférios para as medidas de tempo de reação, tempo de movimento e precisão. Não há descrição sobre a especialização nas medidas cinemáticas. A análise *ad hoc* indica que, apesar do tempo de reação não sofrer os efeitos da estimulação no hemisfério não dominante, alterações centrais foram observadas. Uma hipótese a ser investigada futuramente, é a de que a distribuição dos submovimentos ao longo da trajetória é mais especializada no hemisfério não dominante. Apesar da estimulação do hemisfério não dominante não ter alterado o tempo de reação, possivelmente pelo efeito teto, a distribuição das fases do movimento foi afetada.

Portanto, os resultados obtidos sugerem que a partir do aumento da excitabilidade hemisférica pode ser observado alterações nas assimetrias manuais apenas para a variável cinemática que corresponde a distribuição do tempo gasto entre os dois submovimentos na tarefa de apontamento manual. Contudo, essas alterações observadas não proporcionam um claro entendimento sobre a relação do aumento da excitabilidade hemisférica e o comportamento das assimetrias manuais. Estes resultados permitem inferir que o aumento da excitabilidade do hemisfério não dominante (direito) não é capaz reduzir as assimetrias relacionadas a precisão e execução do movimento. Mais estudos são necessários para compreender como o aumento da excitabilidade pode ser entendido nas diferenças do controle motor entre as mãos.

13 DISCUSSÃO FINAL

O objetivo geral do experimento I foi analisar os efeitos da inibição inter-hemisférica no comportamento das assimetrias manuais. O experimento II teve como objetivo geral verificar os efeitos do aumento da excitabilidade hemisférica no comportamento das assimetrias manuais. De forma geral, foram levantadas as hipóteses que a modulação, seja bi-hemisférica (experimento I) ou uni-hemisférica (experimento II), alterariam o comportamento das assimetrias manuais.

O emprego da estimulação transcraniana por corrente contínua visou promover efeitos modulatórios no desempenho das mãos por meio da ativação ou inibição do córtex motor primário dos hemisférios dominante (esquerdo) e não dominante (direito). A modulação hemisférica no experimento I alterou claramente as assimetrias de desempenho, sendo que o mesmo não ocorreu no experimento II. No experimento I a modulação alterou as variáveis tempo de reação e tempo de movimento. As alterações dessas variáveis estão de acordo com as proposições de Sperry (1980) e Gazzaniga (2000) sobre a especialização hemisférica. A especialização hemisférica pode ser vista como um princípio subjacente de como o cérebro humano é organizado (BADZAKOVA-TRAJKOV et al., 2015). Assim, parece mais claro que o aumento da comunicação via inibição inter-hemisférica, visto no experimento I, está mais relacionado as diferenças no desempenho das mãos que o aumento da excitabilidade hemisférica, visto no experimento II.

Além disso, as alterações encontradas no tempo relativo para o pico de velocidade, em ambos os experimentos, indicam mudanças nas estratégias de otimização entre os submovimentos. Sendo que, as alterações nas assimetrias estão mais associadas a pré-programação do movimento do que ao controle *online*. Esses resultados parecem refletir alterações nos mecanismos de controle antes do movimento, no entanto, este resultado não permite esclarecer as possíveis relações entre o aumento da excitabilidade, as assimetrias manuais e os mecanismos de controle de movimento. Partindo do princípio de que um maior primeiro submovimento é mais eficaz para o controle em termos de energia e tempo (LAGE et al., 2012), é possível sugerir que a estimulação otimizou a estratégia de controle motor no sistema hemisfério/mão estimulado. Uma possível explicação para esses achados é a especificidade da estimulação. O córtex motor primário esquerdo e direito foram as áreas estimuladas, sendo que essas áreas não estão diretamente associadas ao

controle *online*, como por exemplo, o córtex parietal posterior. Novos estudos são necessários para verificar essas hipóteses.

14 CONCLUSÃO

Na busca por compreender os mecanismos relacionados as assimetrias manuais, os resultados deste estudo mostraram que a modulação hemisférica promoveu alterações no comportamento das assimetrias manuais. Contudo, parece mais claro que a inibição inter-hemisférica está mais associada às diferenças no controle diferenciado entre os membros contralaterais homólogos.

Alterações no tempo de reação e tempo de movimento observado via a inibição inter-hemisférica reforçam os achados sobre a especialização hemisférica no controle motor, ou seja, maior especialização do hemisfério direito para os aspectos relacionados à preparação da ação e o hemisfério esquerdo mais especializado nos aspectos relacionados à execução da ação. A distribuição entre a fase pré-programada e a fase de correções *online* é afetada pela estimulação alterando os níveis de assimetria. É possível que esses achados sejam fruto da especificidade entre área estimulada e a função exercida por essa área no controle motor.

Como sugestão para próximos estudos, sugere-se que a investigação dos efeitos da inibição/desinibição inter-hemisférica seja avaliada pela alteração no nível de conectividade entre os hemisférios. Se a inibição do córtex motor primário dominante desinibe a comunicação inter-hemisférica, é esperado que alguma medida neurofisiológica seja capaz de verificar esse aumento de comunicação.

REFERÊNCIAS

- ABOITIZ, F. A.; SCHEIBEL, A. C.; ZAIDEL, E. Morphometry of the Sylvian fissure and the corpus callosum with emphasis on sex differences. **Brain**, v. 115, p. 1521-1541, 1992.
- ABOITIZ, F.; MONTIEL, J. One hundred million years of interhemispheric communication: The history of the corpus callosum. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 36, p. 409-420, 2003.
- AMUNTS, K. Asymmetry in the Human Motor Cortex and Handedness. **NeuroImage**, v. 4, p. 216-222, 1996.
- ANNETT, M. The binomial distribution of right, mixed and left-handedness. **The Quarterly Journal of Experimental Psychology**, v.19, p.327, 1967.
- ANTAL, et al. Transcranial direct current stimulation over the primary motor cortex during fMRI. **NeuroImage**, v. 55, p. 590–596, 2011.
- APOLINÁRIO-SOUZA, T. **Aprendizagem Motora: o papel do córtex motor primário**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- BADZAKOVA-TRAJKOV, G. et al. Complementarity or Independence of hemispheric specializations? A brief review. **Neuropsychologia**, In Press, 2015.
- BAMIOU, D. E. et al. The role of the interhemispheric pathway in hearing. **Brain Research Reviews**, v. 56, p. 170-182, 2007.
- BEEMAN, M. J.; CHIARELLO, C. Complementary right- and left-hemisphere language comprehension. **Current Directions in Psychological Science**, v.7, n.1, p.2–8, 1998.
- BENNINGER, D. H. et al. Transcranial direct current stimulation for the treatment of Parkinson's disease. **Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry**, v.81, n. 10, p. 1105-1111, 2010.
- BERNARD, J. A.; TAYLOR, S. F.; SEIDLER, R. D. Handedness, Dexterity, and Motor Cortical Representations. **Journal of Neurophysiology**, v. 105, p. 88-99, 2011.
- BINSTED, G.; CULLEN, J.; ELLIOTT, D. (1997). **Manual asymmetries in goal-directed movements: examination of the motor output hypothesis** [Resumo]. Em Canadian Society for Psychomotor Learning and Sport Psychology (Org.), (p. 77). Niagara Falls, Ontário, Canadá, Saint Catharines, Brock University.
- BLOOM, J. S.; HYND, G. W. The role of the corpus callosum in interhemispheric transfer of information: excitation or inhibition? **Neuropsychology Review**, v. 15, p. 59-71, 2005.
- BOGGIO, P. S. et al. Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current stimulation. **Neuroscience Letters**, v.404, n.12, p.232-236, 2006.

BOULINGUEZ, F.; BARTHELEMY, S.; DEBU, B. Influence of the Movement Parameter to Be Controlled on Manual RT Asymmetries in Right-Handers. **Brain and Cognition**, v. 44, p. 653–661, 2000.

BRYDEN, M. P. **Laterality: Functional Asymmetry in the intact brain**. New York, Academic Press, 1982.

CALDAS, C. A. **A Herança de Franz Joseph Gall: o cérebro ao serviço do comportamento humano**. Lisboa: McGraw Hill, 2000.

CARNAHAN, A. A.; VANDERVOORT, L. H. The Influence of Aging and Target Motion on the Control of Prehension. **Experimental Aging Research**, v. 24, n. 3, p. 289–306, 1998.

CAREY, D. P. et al. Are there right hemisphere contributions to visually-guided movement? Manipulating left hand reaction time advantages in dextrals. **Frontiers in Psychology**, v.6, 2015.

CARSON, R. G, et al. The preparation of aiming movements. **Brain and Cognition**, v. 28, p. 133-154, 1996.

CARSON, R. G. et al. Manual asymmetries: feedback processing, output variability, and spatial complexity – resolving some inconsistencies. **Journal of Motor Behavior**, v.21, n. 1, p. 38-47, 1990.

CORBALLIS, P. M.; FUNNELL, M. G.; GAZZANINGA, M. S. A dissociation between spatial and identity matching in callosotomy patients. **Neuroreport**, v. 10, p. 2183-2187, 2009.

CULHAM, J. C. et al. Visually guided grasping produces fMRI activation in dorsal but not ventral stream brain areas. **Experimental Brain Research**, v. 153, p. 180-189, 2003.

DIMOND, S.; BEAUMONT, G. **Different personality patterns of the human cerebral hemispheres**. In: ed. Hemisphere function in the human brain. New York, Wiley, 1974.

DUECKER, F.; FORMISANO, E.; SACK, A. T. Hemispheric differences in the voluntary control of spatial attention: direct evidence for a right-hemispheric dominance within frontal cortex. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 25, n. 8, p. 1332-1342, 2013.

DUQUE, J. et al. Intermanual differences in movement related interhemispheric inhibition. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 19, p. 204–213, 2007.

EDWARDS, J.M.; ELLIOTT, D. The effect of unimanual training on contralateral motor overflow in children and adults. **Developmental Neuropsychology**, v. 3, p. 299, 1987.

ELLIOTT, D.; KHAN, M. **Vision and goal-directed movement: Neurobehavioral Perspectives**. Human Kinetics: United States of America, 2010.

ELLIOTT, D.; BINSTED, G.; HEATH, M. The control of goal-directed limb movements: Correcting errors in the trajectory. **Human Movement Science**, v. 18, p. 121-136, 1999.

ELLIOTT, D, et al. The influence of target perturbation on manual aiming asymmetries in right-handers. **Córtex**, 1995.

ELLIOTT, D.; ROY, E. A. **Manual Asymmetries in Motor Performance**. CRC Press: Florida, 1996.

FERBERT, A. et al. Interhemispheric inhibition of the human motor cortex. **Journal of Physiology**, v. 453, p. 525-546, 1992.

FITTS, P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. **Journal of Experimental Psychology**, v. 3, p. 262-269, 1954.

GAZZANINGA, M. S. Cerebral specialization and interhemispheric communication. Does the corpus callosum enable the human condition? **Brain**, v. 123, p. 1293-1396, 2000.

GILIO, F. et al. Effects on the right motor hand-area excitability produced by low-frequency TMS over human contralateral homologous cortex. **The Journal of Physiology**, v. 551, p. 563-573, 2003.

GOODALE, M. A. **Brain asymmetries in the control of reaching: Vision and action**. Amsterdam, North-holland.1990.

HEBB, D. O. **The organization of behavior**. Nueva York: Wiley, 1949.

HEILMAN, K. M.; VAN DEN ABELL, T. Right hemisphere dominance for mediating cerebral activation. **Neuropsychologia**, v. 17, p. 315-321, 1979.

HELLIGE, J. B. Hemispheric asymmetry for visual information processing. **Acta Neurobiologiae Experimentalis**, v. 56, n.1, p. 485-497, 1996.

HOFER, S.; FRAHM, J. Topography of the human corpus callosum revisited. Comprehensive fiber tractography using diffusion tensor magnetic resonance imaging. **NeuroImage**, v. 32, p. 989-994, 2006.

HUGDAHL, K. et al. Dichotic listening performance and intracarotid injections of amobarbital in children and adolescents. Preoperative and postoperative comparisons. **Archives of Neurology**, v.54, p. 1494- 1500, 1997.

IYER, M. B. et al. Safety and cognitive effect of frontal DC brain polarization in healthy individuals. **Neurology**, v.64, n.5, p.872-875, 2005.

KOBAYASHI, M. et al. Ipsilateral motor cortex activation on functional magnetic resonance imaging during unilateral hand movements is related to interhemispheric interactions. **Neuroimage**, v. 20, p. 2259–2270, 2004.

LAGE, G. M. et al. Assimetrias manuais e complexidade da tarefa em habilidades de apontamento. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v.8, p. 47-57, 2008.

LAGE, G.M. et al. A kinematic analysis of manual aiming control on euthymic bipolar disorder. **Psychiatry Research**, v. 208, p.140–144, 2013.

LAGE, G. M. et al. kinematic analysis of the association between impulsivity and manual aiming control. **Human Movement Science**, v. 31, p. 811-823, 2012.

LENT, R. **Neurociência da Mente e do Comportamento Motor**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

LEVY, J. Possible basis for the evolution of lateral specialization of the human brain. **Nature**, v. 224, p. 614-615, 1969.

LEVY, J. **A model for the ontogeny of cerebral organization**. In: Herron, J., ed. *Neuropsychology of left-handedness*. New York, Academic Press, 1980.

LEVIT-BINNUN, N. et al. Transcranial magnetic stimulation in a finger-tapping task separates motor from timing mechanisms and induces frequency doubling. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 19, p. 721-733, 2007.

MATHIAS, K.R. et al. Troca velocidade-acurácia em tarefa de contornar figuras geométricas. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v. 33, n. 1, 2011.

MCGRATH, L. R.; KANTAK, S. S. Reduced asymmetry in motor skill learning in left-handed compared to right-handed individuals. **Human Movement Science**, v. 45, p.130–141, 2015.

NITSCHKE, M. A. et al. Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans. **Clinical Neurophysiology**, v.114, n.11, p.2220-2222, 2003a.

NITSCHKE, M. A. et al. Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v.15, n.4, p. 619-626, 2003b.

MIESCHKE, P. E. et al. Manual Asymmetries in the Preparation and Control of Goal Directed Movements. **Brain and Cognition**, v. 45, p. 129-140, 2001.

MUTHA, P. K. et al. Frontal and parietal cortex contributions to action modification. **Cortex**, v. 57, p. 38-50, 2014.

NITSCHKE, M. A. et al. MRI study of human brain exposed to weak direct current stimulation of the frontal cortex. **Clinical Neurophysiology**, v.115, n.10, p. 2419-2423, 2004.

NITSCHKE, M. A. et al. Transcranial direct current stimulation: State of the art **Brain Stimulation**, v.1, n.3, p.206-223, 2008.

NADEAU, S. E. Hemispheric asymmetry: what, why, and at what cost? **Journal of the International Neuropsychological Society**, v. 16, n. 4, p. 593-595, 2010.

NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. **The Journal of Physiology**, v. 527, p. 633–639, 2000.

NITSCHKE, M. et al. Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans. **The Journal of physiology**, v. 553, n.1, p. 293–301, 2003.

NETZ, J. et al. Hemispheric asymmetry of transcallosal inhibition in man. **Experimental Brain Research**, v. 104, p. 527–533, 1995.

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

OLIVEIRA, M. M. Assimetria cognitiva dos hemisférios cerebrais humanos: uma área a requerer novos enfoques. **Arquivos Brasileiros de Psicologia**, v. 36, n. 2, p. 51-62, 1984.

PAL, P. K. et al. Effect of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on interhemispheric inhibition. **The Journal of physiology**, v. 94, p. 1668–1675, 2005.

PEARCE, J. M. S. Broca's aphasiacs. **European Neurology**, v. 61, p. 183 – 189, 2009.

PETERS, M.; DURDING, B. M. Handedness measured by finger tapping: A continuous variable. **Canadian Journal of Psychology**, v. 32, p. 257-261, 1978.

PETERS, M. Why the preferred hand taps more quickly than the nonpreferred hand: Three experiments on handedness. **Canadian Journal of Psychology**, v. 34, p.62, 1980.

PETERS, M. Incidence of left handed writers and the inverted writing position in a sample of 2194 German elementary school children. **Neuropsychologia**, v. 24, p.429, 1986.

PRIORI, A. et al. Polarization of the human motor cortex through the scalp. **NeuroReport**, v. 9, p. 2257-2260, 1998.

PROVINS, K. A. The specificity of motor skill and manual asymmetry: a review of the evidence and its implications. **Journal of Motor Behavior**, v. 29, n. 2, p. 183-193, 1997.

POLETTI, C. et al. Older and Younger Adults' Strategies in Sensorimotor Tasks: Insights From Fitts' Pointing Task. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 41, n. 2, p. 542–555, 2015.

PURVES, D. et al. **Medical Neuroscience**. 5 ed. Sunderland, MA-U.S.A 2012.

RADMAN, T. Role of cortical cell type and morphology in subthreshold and suprathreshold uniform electric field stimulation in vitro. **Brain Stimulation**, v. 2, p. 215-228, 2009.

REIS, J. et al. Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, p. 1590–1595, 2009.

REID, C. S.; SERRIEN, D. J. Primary motor cortex and ipsilateral control: a TMS study. **Neuroscience**, v. 270, p. 20-26, 2014.

ROMERO, D. H.; TEULINGS, H. L. Submovement analysis in goal-directed pen movements. In: TEULINGS, H. L.; VAN GEMMERT, A. W. A. (Eds.), **Proceedings of the 11th Conference of the International Graphonomics Society**, Scottsdale, Arizona: IGS, p.103-106, 2003.

ROY, E. A.; ELLIOTT, D. Manual asymmetries in visually directed aiming. **Canadian Journal of Experimental Psychology**, v. 40, n.109, 1986.

ROSENKRANZ, K. et al. Diminution of training-induced transiente motor cortex plasticity by weak transcranial direct current stimulation in the human. **Neuroscience letters**, v. 296, n. 1, p. 61–3, 2000.

ROSENTHAL, R., & ROSNOW, R. L. (1991). **Essentials of behavioral research: Methods and data analysis** (2nd ed.). New York: McGrawHill.

ROY, E. A.; BRYDEN, P.; CAVILL, S. Hand differences in pegboard performance through development. **Brain and Cognition**, v. 53, p. 315-317, 2003.

ROY, E.A.; KALBFLEISCH, L.; ELLIOTT, D. kinematic analisys of manual asymmetries in visual aiming movements. **Brain and Cognition**, v. 24, p. 289, 1994.

SAINBURG, R.L. Handedness: differential specializations for control of trajectory and position. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v.33, p. 206–213, 2005.

SCHMIDEK, W. R.; CANTOS, G.A. Evolução do sistema nervoso, especialização hemisférica e plasticidade cerebral: um caminho ainda a ser percorrido. **Revista Pensamento Biocêntrico**, 2008.

STAGG, C. J.; NITSCHKE, M. A. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. **The Neuroscientist: a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry**, v. 17, n. 1, p. 37-53, 2011.

SEELEY, M.K.; UMBERGER, B.R.; SHAPIRO, R. A test of the functional asymmetry hypothesis in walking. **Gait & Posture**, v. 28, p. 24-28, 2008.

SERRIEN, D. J. et al. The importance of the dominant hemisphere in the organization of bimanual movements. **Human Brain Mapping**, v. 18, p. 296-305, 2003.

SERRIEN, D. J. et al. Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 7, p. 160-166, 2006.

SUNDERLAND, S. The Distribution of Commissural Fibres in the Corpus Callosum in the Macaque Monkey. **Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry**, v. 3, p. 9-18, 1940.

TAPLEY, S. M.; BRYDEN, M. P. A group test for the assessment of performance between the hands, **Neuropsychologia**, v. 23, p. 215, 1985.

TEIXEIRA, L. A.; PAROLI, R. Assimetrias Laterais em Ações Motoras: Preferência Versus Desempenho. **Motriz**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2000.

TEULINGS, H. L. Optimization of Movement Duration in Accurate Handwriting Strokes in Different Directions in Young, Elderly, and Parkinsonian Subjects. In: MEULENBROEK, R. G. J; STEENBERGEN, B. (Eds.), **Proceedings of the 10th Biennial Conference of the International Graphonomics Society**. Nijmegen: University of Nijmegen, 2001, p. 40-45.

TEIXEIRA, M. M. P. **Estudo da transferência de informação inter-hemisférica em tces ligeiros: o efeito de torção do corpo caloso**. Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa, 2012.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Physics for Scientists and Engineers**. 2a. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008.

TODOR, J. I.; KYPRIE, P. M. Hand differences in the rate and variability of rapid tapping. **Journal of Motor Behavior**, v. 12, p. 57-62, 1980.

TODOR, J. I.; KYPRIE, P.M.; PRICE, H.L. Lateral asymmetries in arm, wrist and finger movements. **Cortex**, v. 18, p. 23-515, 1982.

TODOR, J.I.; SMYLE, A. **Manual assymetries in control motor. Neuropsychological Studies of Apraxia and Related Disorders**, Amsterdam, 309, 1985.

VINES, B. W.; NAIR, D. G; SCHLAUG, G. Contralateral and ipsilateral motor effects after transcranial direct current stimulation. **Cognitive neuroscience and neuropsychology**, v. 17, n. 6, p. 24, 2006.

VINES, B. W.; NAIR, D. G; SCHLAUG, G. Dual-hemisphere tDCS facilitates greater improvements for healthy subjects' non-dominant hand compared to uni-hemisphere stimulation. **BMC Neuroscience**, v. 9, n. 103, 2008a.

VINES, B. W.; NAIR, D. G; SCHLAUG, G. Modulating activity in the motor cortex affects performance for the two hands differently depending upon which hemisphere is stimulated. **European Journal of Neuroscience**, v. 28, p. 1667-1673, 2008b.

ZAIDEL, E. **Callosal dynamics and right hemisphere language**. In: Leporè, F., Ptito, M., Jasper, H.H. (Eds.), *Two Hemispheres—One Brain. Functions of the Corpus Callosum*. Alan Liss, New York, p. 435–461, 1986.

ZIEMANN, U.; Hallett, M. Hemispheric asymmetry of ipsilateral motor cortex activation during unimanual motor tasks: further evidence for motor dominance. **Clinical Neurophysiology**, v. 112, p. 107-113, 2001.

WITELSON, S. F. **Neuroanatomical bases of hemispheric functional specialisation in the human brain: possible developmental factors**. In: Kitterle, F.L. (Ed.), *Hemispheric Communication: Mechanisms and Models*. Lawrence Erlbaum associates, Hillsdale, NJ, p. 61-84, 1995.

WAHL, M. et al. Determining the topography of interhemispheric fibres in the human corpus callosum (CC) between the primary motor cortices with a combined fMRI/DTI-fibretracking procedure. **Clinical Neurophysiology**, v.118, p. 109-110, 2007.

WOODWORTH, R.S. The Accuracy of voluntary movement. **Psychological Review**, v. 3, p. 1-114, 1899.

ANEXO 01 - Parecer do Comitê de Ética e Pesquisa COEP



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

Projeto: CAAE – 24116513.2.0000.5149

**Interessado(a): Prof. Guilherme Menezes Lage
Departamento de Educação Física
EEFFTO - UFMG**

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 03 de fevereiro de 2014, o projeto de pesquisa intitulado **"Modulação do controle motor por meio de estimulação transcraniana por corrente contínua: alterações nas assimetrias de desempenho"** bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.


Profa. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG

ANEXO 02 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Estudo: Os efeitos da modulação hemisférica nas assimetrias manuais: inibição inter-hemisférica e aumento da excitabilidade cortical.

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

Gostaríamos de convidá-lo a participar de nosso estudo. O nosso objetivo é avaliar o efeito do aumento da excitabilidade cortical e da inibição inter-hemisférica nas assimetrias manuais utilizando a técnica de estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC). Essa técnica é barata, indolor, segura e de fácil administração, tendo como princípio básico a aplicação de fraca corrente elétrica por meio do posicionamento de dois eletrodos sobre a cabeça (no couro cabeludo). Assim, este estudo pretende entender um pouco da contribuição dos hemisférios nas assimetrias manuais (Especialização hemisférica) e quais os mecanismos estão relacionados a redução e aumento das assimetrias manuais.

Procedimentos: Os testes serão realizados no Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora – GEDAM, da Faculdade de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – EEEFTO/ UFMG. Você receberá a estimulação transcraniana por corrente contínua por meio de dois eletrodos que serão posicionados em pontos específicos de sua cabeça. Por ser uma corrente muito baixa (1miliampère) após 30 segundos de estimulação, aproximadamente, você não perceberá mais a estimulação. O experimento consistirá em 3 sessões. Inicialmente, na primeira sessão você realizará uma tarefa caracterizada pelo desenho de uma trajetória em uma mesa digitalizadora, em seguida receberá a estimulação. Imediatamente após a estimulação você deverá realizar a tarefa novamente. Você será testado novamente na segunda sessão após 48 horas, seguindo procedimentos idênticos em todas as sessões. Após 48 horas da segunda sessão você realizará a terceira sessão. Os horários para a sua participação serão estabelecidos de acordo com sua disponibilidade. O tempo previsto para realização dos procedimentos é de 60 minutos em cada um dos três encontros.

Riscos e desconfortos: A sua participação no estudo oferece riscos mínimos à sua saúde. Pode ocorrer um pequeno formigamento nos 30 segundos iniciais quando a estimulação transcraniana for iniciada. Após esse período essa sensação desaparece. Há mínimo risco de algum desconforto muscular com a execução das tarefas motoras, tendo em vista que elas são similares a várias atividades manuais que você realiza diariamente. Qualquer desconforto deve ser relatado a experimentadora que o avaliará e encaminhará ao serviço fisioterápico ou médico.

Benefícios esperados: Confidencialidade: Para garantir a confidencialidade da informação obtida, seu nome não será utilizado em qualquer publicação ou material relacionado ao estudo. Não há benefício direto para você. Porém, os benefícios

indiretos serão decorrentes da melhor compreensão do controle motor. Dessa forma, os resultados desse estudo irão contribuir para o avanço do conhecimento na área de Educação Física, Fisioterapia, terapia Ocupacional e Comportamento Motor, assim como para a prática do profissional que atua com o treinamento e a reabilitação de habilidades motoras.

Recusa ou desistência da participação: Sua participação é inteiramente voluntária e você está livre para recusar participar ou desistir do estudo em qualquer momento sem que isso possa lhe acarretar qualquer prejuízo.

Gastos: Não haverá ressarcimento de nenhum tipo de gasto.

Você pode solicitar mais informações ao longo do estudo com o pesquisador responsável pelo projeto (Guilherme Lage), por meio do telefone 8884-0411. Após a leitura completa deste documento, caso concorde em participar do estudo, você deverá assinar o termo de consentimento abaixo e rubricar todas as folhas desse termo.

TERMO DE CONSENTIMENTO

Eu li e entendi toda a informação acima. Todas as minhas dúvidas foram satisfatoriamente respondidas e eu concordo em ser um voluntário do estudo.

Assinatura do Voluntário

Data

Guilherme Menezes Lage

Data

COEP – Comitê de Ética em Pesquisa/UFMG

Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II – 2º. Andar – Sala 2005 – Cep 31270-901- Belo Horizonte – MG / Telefax: (31) 3409-4592

Email: coep@prpq.ufmg.br.

APÊNDICE 01: Parâmetros estatísticos do Estudo Piloto do experimento I para
comparação da Anova *two-way* com medidas repetidas.

Parâmetros estatísticos

Valor de F mínimo para encontrar diferenças	3,40
GL do numerador	2
GL do denominador	24
Total da amostra	27
Poder estatístico	0,99

GL = graus de liberdade.

APÊNDICE 02: Os valores em média de cada um dos participantes nas três condições de estimulação no Estudo Piloto.

Tempo de Reação (TR)		
Condição 1	Condição 2	Condição 3
0,08	-0,02	-0,01
0,02	0,03	0,02
0,02	-0,06	0,01
0,05	-0,10	0,03
-0,01	-0,07	0,01

APÊNDICE 03: Médias do desempenho motor para a variável tempo de reação (TR)

SUJ	IHD				IHND				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME										
1	0,29	0,33	0,37	0,34	0,32	0,28	0,29	0,27	0,32	0,29	0,30	0,28
2	0,28	0,29	0,28	0,26	0,37	0,37	0,38	0,35	0,32	0,34	0,30	0,34
3	0,40	0,40	0,37	0,35	0,44	0,33	0,41	0,46	0,32	0,32	0,32	0,31
4	0,34	0,38	0,31	0,30	0,35	0,33	0,39	0,48	0,31	0,35	0,36	0,33
5	0,35	0,35	0,32	0,33	0,41	0,35	0,33	0,34	0,31	0,32	0,32	0,31
6	0,28	0,32	0,29	0,31	0,33	0,36	0,32	0,34	0,32	0,29	0,27	0,31
7	0,29	0,28	0,33	0,27	0,31	0,33	0,30	0,30	0,32	0,31	0,29	0,28
8	0,35	0,34	0,31	0,32	0,28	0,30	0,29	0,27	0,34	0,34	0,36	0,34
9	0,43	0,35	0,45	0,31	0,38	0,36	0,45	0,45	0,33	0,30	0,36	0,35
10	0,31	0,34	0,38	0,31	0,30	0,32	0,26	0,31	0,31	0,31	0,30	0,28
11	0,29	0,31	0,26	0,29	0,37	0,35	0,32	0,31	0,32	0,33	0,32	0,29

Nota: IHD: Inibição Hemisfério Dominante; IHND: Inibição Hemisfério não Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 04 - Médias do desempenho motor para a variável tempo de movimento (TM)

SUJ	IHD				IHND				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME										
1	1,07	1,05	1,01	1,02	1,01	1,15	0,95	0,98	1,77	1,75	1,74	0,92
2	1,22	1,13	1,03	1,14	0,93	1,18	0,86	1,03	1,00	1,22	1,27	1,06
3	1,37	1,31	1,29	1,26	1,27	1,06	1,22	1,24	1,12	0,93	1,17	1,04
4	1,07	1,05	1,01	1,02	1,11	1,15	0,99	1,07	0,48	0,46	0,48	0,49
5	0,81	0,73	0,97	0,96	1,11	1,15	0,70	1,07	0,71	0,75	0,76	0,75
6	0,96	0,95	0,85	0,92	1,04	1,15	0,89	0,96	0,88	0,80	0,91	0,94
7	1,18	1,29	1,18	1,13	1,17	1,20	0,97	1,05	1,01	1,07	0,96	1,05
8	0,94	0,95	0,98	0,89	0,98	1,19	0,88	0,85	0,97	0,88	0,98	0,84
9	1,13	1,12	1,07	1,11	1,08	1,21	1,10	1,12	1,38	1,22	1,14	1,12
10	1,03	1,05	0,99	1,01	0,91	1,19	0,93	0,95	1,35	1,43	1,41	1,33
11	0,97	0,94	0,78	0,76	1,59	1,47	1,40	1,45	1,40	1,42	1,41	0,58

Nota: IHD: Inibição Hemisfério Dominante; IHND: Inibição Hemisfério não Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 05: Médias do desempenho motor para a variável precisão do movimento.

SUJ	IHD				IHND				PL				
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós		
	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	0	1	1	0	2	4	3	3	2	1	1	1	0
3	1	0	0	1	0	2	0	0	1	2	2	2	0
4	6	5	1	2	12	10	13	1,5	14	13	13	13	6
5	6	3	3	1	14	11	6	6	6	7	5	5	2
6	3	4	2	0	0	1	2	1	2	2	2	1	2
7	1	0	3	2	1	1	1	0	0	1	1	1	1
8	3	0	3	1	2	2	2	2	3	5	3	3	1
9	0	0	0	0	2	1	1	2	3	1	2	2	0
10	1	3	3	1	2	1	0	1	1	1	1	0	0
11	0	0	0	0	0	1	0	0	3	2	5	5	3

Nota: IHD: Inibição Hemisfério Dominante; IHND: Inibição Hemisfério não Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 06: Médias do desempenho motor para a variável pico de velocidade (PV)

SUJ	IHD				IHND				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME										
1	21,5	22,6	25,1	23,3	26,8	26,7	28,8	29,8	34,3	23,7	27,4	26,8
2	33,1	32,3	19,8	32,1	24,9	26,1	26,1	40,1	37,5	40,0	35,9	36,6
3	22,3	28,7	25,5	30,4	24,0	28,8	21,3	23,6	29,5	36,8	26,2	29,3
4	26,3	28,1	25,4	27,9	26,6	27,9	26,1	29,4	27,6	29,0	26,7	28,7
5	24,3	26,3	19,6	22,5	40,7	33,7	29,8	34,2	27,8	30,1	24,6	28,6
6	31,0	29,1	33,3	28,0	21,7	22,0	25,3	26,3	37,7	33,7	32,9	32,5
7	19,5	20,1	17,7	20,9	19,3	20,1	23,4	24,2	22,4	23,9	24,5	24,5
8	28,1	31,6	29,7	31,7	26,4	34,1	29,7	33,4	27,1	31,4	23,3	29,4
9	23,1	24,0	20,8	23,1	27,1	25,0	23,5	27,1	17,2	25,7	23,4	27,7
10	33,0	35,2	35,9	38,0	39,6	40,3	30,3	30,8	21,8	23,1	21,9	23,1
11	26,5	31,3	26,7	29,5	15,4	22,0	22,4	24,8	21,0	21,5	20,0	52,2

Nota: IHD: Inibição Hemisfério Dominante; IHND: Inibição Hemisfério não Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 07: Médias do desempenho motor para a variável tempo relativo para o pico de velocidade (TRPV).

SUJ	IHD				IHND				PL				
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós		
	MD	ME											
1	0,23	0,15	0,16	0,16	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,14	0,12	0,13
2	0,18	0,18	0,30	0,18	0,29	0,22	0,18	0,19	0,16	0,17	0,16	0,16	0,18
3	0,21	0,15	0,18	0,16	0,21	0,20	0,21	0,20	0,21	0,17	0,21	0,21	0,15
4	0,26	0,26	0,24	0,25	0,22	0,32	0,28	0,30	0,28	0,28	0,28	0,25	0,24
5	0,35	0,35	0,29	0,29	0,35	0,22	0,35	0,41	0,38	0,32	0,39	0,39	0,32
6	0,21	0,29	0,20	0,25	0,28	0,28	0,25	0,33	0,18	0,24	0,20	0,20	0,20
7	0,29	0,26	0,25	0,29	0,29	0,27	0,32	0,31	0,25	0,29	0,29	0,29	0,28
8	0,25	0,23	0,25	0,23	0,25	0,22	0,27	0,26	0,26	0,27	0,31	0,31	0,29
9	0,22	0,23	0,20	0,22	0,23	0,19	0,22	0,19	0,22	0,19	0,22	0,22	0,20
10	0,19	0,16	0,19	0,16	0,20	0,19	0,23	0,22	0,15	0,17	0,15	0,15	0,18
11	0,20	0,20	0,25	0,25	0,16	0,15	0,18	0,15	0,14	0,18	0,17	0,17	0,26

Nota: IHD: Inibição Hemisfério Dominante; IHND: Inibição Hemisfério não Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 08: Médias do desempenho motor para a variável número de correções (NC).

SUJ	IHD				IHND				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME										
1	1,72	2,06	4,21	3,45	5,20	2,50	4,74	4,75	1,83	5,10	1,74	2,70
2	2,16	2,45	3,45	2,00	1,00	2,60	1,60	0,61	1,55	3,10	2,05	1,58
3	3,20	1,83	3,45	2,60	3,45	2,55	3,45	3,55	2,65	2,71	3,50	3,05
4	0,45	0,17	0,45	0,40	0,00	2,50	0,00	0,00	0,40	0,30	0,40	0,37
5	0,50	0,53	1,70	1,21	0,00	2,50	0,55	0,00	0,22	0,65	0,50	0,47
6	1,20	1,50	1,55	2,05	2,05	2,60	1,05	0,47	2,10	1,95	1,55	1,28
7	2,55	2,20	1,75	1,37	2,65	2,53	1,20	1,10	1,60	1,40	1,40	1,25
8	1,35	2,60	1,65	2,79	1,60	2,50	0,35	2,75	0,85	1,85	1,10	1,55
9	1,65	1,63	1,60	1,68	1,50	2,50	2,85	2,80	2,35	2,40	1,63	2,00
10	2,00	3,21	1,90	2,10	1,25	2,50	1,40	1,65	2,95	4,30	4,50	3,95
11	2,15	1,95	1,15	0,30	3,37	2,50	3,50	5,35	3,60	5,15	3,42	0,70

Nota: IHD: Inibição Hemisfério Dominante; IHND: Inibição Hemisfério não Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 09: Parâmetros estatísticos do Estudo Piloto para comparação da Anova *two-way* com medidas repetidas.

Parâmetros estatísticos

Valor de F mínimo para encontrar diferenças	14,437
GL do numerador	2
GL do denominador	30
Total da amostra	33
Poder estatístico	0,90

GL = graus de liberdade

APÊNDICE 10: Os valores em média de cada um dos participantes nas três condições de estimulação no Estudo Piloto.

TR		
Condição 1	Condição 2	Condição 3
-0,00	0,10	0,00
0,05	-0,02	-0,11
-0,01	0,07	-0,16
0,01	0,01	0,07
0,00	0,03	-0,03

APÊNDICE 11: Médias do desempenho motor para a variável tempo de reação (TR)

SU J	EHN D				EH D				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME
1	0,30	0,28	0,29	0,27	0,28	0,30	0,26	0,27	0,29	0,28	0,29	0,27
2	0,39	0,29	0,29	0,27	0,37	0,30	0,27	0,29	0,38	0,30	0,29	0,27
3	0,42	0,40	0,40	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
4	0,33	0,33	0,33	0,36	0,33	0,36	0,33	0,36	0,33	0,33	0,33	0,33
5	0,37	0,34	0,34	0,34	0,37	0,34	0,34	0,37	0,37	0,34	0,34	0,34
6	0,49	0,42	0,42	0,41	0,49	0,42	0,42	0,41	0,49	0,42	0,42	0,41
7	0,48	0,48	0,48	0,38	0,48	0,38	0,48	0,38	0,48	0,48	0,48	0,38
8	0,33	0,33	0,33	0,30	0,33	0,30	0,33	0,30	0,33	0,33	0,33	0,30
9	0,30	0,31	0,31	0,42	0,30	0,42	0,30	0,42	0,30	0,31	0,31	0,42

Nota: EHND: Excitação Hemisfério não Dominante; EHD: Excitação Hemisfério Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 12 - Médias do desempenho motor para a variável tempo de movimento (TM)

SUJ	EHND				EHD				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME										
1	1,01	1,08	0,91	0,94	1,25	1,14	1,03	1,01	1,23	1,35	1,21	1,10
2	1,66	1,75	1,68	1,74	1,68	1,77	1,68	1,76	1,58	1,72	1,68	1,72
3	1,62	1,64	1,66	1,66	1,67	1,63	1,65	1,69	1,62	1,70	1,58	1,64
4	1,12	1,11	1,11	1,03	1,26	1,16	1,24	1,13	1,05	1,01	1,03	1,09
5	1,67	1,72	1,69	1,72	1,70	1,72	1,69	1,71	1,69	1,75	1,69	1,72
6	1,07	1,02	0,95	0,81	0,84	0,78	0,82	0,80	0,96	0,92	0,96	0,92
7	0,61	0,96	0,69	0,76	0,79	0,72	0,75	0,71	0,85	1,23	0,92	1,15
8	0,93	1,01	1,02	1,11	0,88	1,02	0,87	1,12	0,96	0,97	0,94	0,97
9	0,65	0,66	0,91	0,70	0,83	0,65	0,72	0,74	0,66	0,67	1,41	1,34

Nota: EHND: Excitação Hemisfério não Dominante; EHD: Excitação Hemisfério Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 13: Médias do desempenho motor para a variável precisão do movimento.

SUJ	EHND				EHD				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME
1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Nota: EHND: Excitação Hemisfério não Dominante; EHD: Excitação Hemisfério Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 14: Médias do desempenho motor para a variável pico de velocidade (PV).

SU J	EHN D				EH D				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME
1	47, 2	39,8	41, 1	40, 2	47, 7	41,9	45, 5	39, 4	51, 1	47, 8	52, 2	48, 4
2	37, 5	71,0	34, 8	37, 1	37, 3	77,8	39, 6	39, 2	39, 5	76, 3	86, 7	34, 8
3	15, 4	18,8	16, 9	20, 4	16, 2	19,6	14, 1	16, 5	14, 8	17, 7	17, 1	19, 0
4	39, 8	42,5	38, 6	40, 5	40, 8	35,3	43, 3	38, 9	46, 0	38, 7	43, 9	34, 6
5	43, 2	55,7	49, 6	53, 3	50, 8	60,5	62, 0	58, 3	61, 4	66, 7	59, 6	59, 2
6	28, 1	25,4	26, 2	29, 8	28, 2	31,1	27, 5	29, 1	27, 6	30, 8	29, 2	30, 2
7	45, 0	50,6	35, 6	37, 5	36, 4	46,9	39, 0	46, 9	30, 7	26, 0	26, 8	29, 2
8	30, 6	28,5	29, 0	27, 7	31, 1	32,9	34, 4	34, 0	32, 6	36, 6	31, 5	35, 0
9	50, 5	47,0	41, 1	47, 1	47, 2	51,7	51, 3	50, 4	51, 8	50, 4	20, 0	22, 6

Nota: EHND: Excitação Hemisfério não Dominante; EHD: Excitação Hemisfério Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 15: Médias do desempenho motor para a variável tempo relativo para pico velocidade (TRPV).

SU J	EHN D				EH D				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME
1	0,1 2	0,11	0,1 5	0,1 2	0,1 1	0,10	0,1 4	0,1 2	0,1 3	0,0 8	0,1 2	0,1 1
2	0,0 5	0,06	0,0 6	0,0 6	0,0 6	0,06	0,0 5	0,0 6	0,0 6	0,0 6	0,0 6	0,0 6
3	0,2 3	0,24	0,2 2	0,2 0	0,2 4	0,18	0,2 7	0,2 2	0,3 0	0,2 2	0,2 3	0,2 6
4	0,1 4	0,10	0,1 5	0,1 0	0,1 5	0,10	0,1 4	0,1 1	0,1 4	0,1 1	0,1 5	0,1 3
5	0,1 0	0,07	0,0 9	0,0 6	0,0 9	0,07	0,0 7	0,0 7	0,0 7	0,0 6	0,0 6	0,0 6
6	0,2 3	0,25	0,2 5	0,3 0	0,2 5	0,30	0,3 1	0,2 9	0,2 4	0,2 5	0,2 3	0,2 7
7	0,3 8	0,20	0,3 4	0,2 8	0,2 9	0,27	0,2 7	0,2 6	0,2 8	0,2 2	0,2 6	0,2 2
8	0,2 3	0,19	0,2 4	0,1 9	0,2 4	0,18	0,2 2	0,1 6	0,2 2	0,1 5	0,2 3	0,1 8
9	0,2 2	0,23	0,1 5	0,2 5	0,1 8	0,23	0,2 0	0,1 9	0,2 0	0,2 2	0,1 7	0,1 8

Nota: EHND: Excitação Hemisfério não Dominante; EHD: Excitação Hemisfério Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.

APÊNDICE 16: Médias do desempenho motor para a variável número de correções (NC).

SU J	EHN D				EH D				PL			
	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós	
	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME	MD	ME
1	0,6 3	2,50	0,5 5	1,2 0	2,2 5	2,55	0,9 5	1,8 0	1,0 5	2,1 0	2,2 5	1,4 2
2	1,1 7	0,78	2,6 0	2,8 0	2,4 5	0,35	2,7 5	2,5 5	4,3 0	2,5 5	2,0 5	2,8 5
3	3,8 5	2,40	2,3 0	2,6 8	3,8 0	2,90	3,6 5	3,8 0	4,1 0	3,1 1	3,8 5	2,2 5
4	2,0 5	3,25	1,8 0	2,6 1	2,3 0	3,75	2,3 0	3,7 0	2,1 0	2,9 0	2,6 5	2,9 5
5	1,4 1	4,55	5,2 0	2,2 6	7,0 0	3,95	7,3 2	4,5 0	5,6 5	5,2 5	4,2 5	4,4 0
6	0,7 4	1,20	0,9 4	0,7 9	0,5 0	0,17	0,5 3	0,5 0	0,9 5	0,5 3	0,3 7	0,4 7
7	0,7 9	1,50	0,0 0	0,6 5	0,8 0	0,74	0,3 5	0,3 5	0,7 0	1,3 5	0,7 2	0,6 5
8	1,4 5	2,21	1,7 2	2,2 0	1,2 5	1,11	0,7 9	2,1 5	1,1 5	2,0 5	1,0 0	1,5 0
9	0,6 0	0,33	0,5 5	0,2 5	0,2 0	1,21	1,3 5	1,1 0	0,1 2	0,9 0	3,4 2	4,5 0

Nota: EHND: Excitação Hemisfério não Dominante; EHD: Excitação Hemisfério Dominante; PL: placebo; SUJ: sujeito; MD: mão direita; ME: mão esquerda.