

Simone de Menezes Pinto

**APRENDIZAGEM MOTORA:
papel do cerebelo na prática aleatória e constante**

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
2019

Simone de Menezes Pinto

**APRENDIZAGEM MOTORA:
papel do cerebelo na prática aleatória e constante**

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.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte

PARECER

Considerando que a Dissertação da discente **Simone de Menezes Pinto**, intitulada: "**Aprendizagem motora: papel do cerebelo na prática aleatória e constante**" **cumpriu** suas funções didáticas, **atendendo** a todos os critérios científicos, a Comissão Examinadora **aprovou** a defesa de Dissertação, conferindo-lhe as seguintes indicações:

Prof. Dr. **Guilherme Menezes Lage** (Orientador) –
EEFFTO/UFMG

Prof. Dr. **Rodolfo Novellino Benda** – EEFFTO/UFMG

Prof. Dr. **Umberto Cesar Corrêa** – USP (À DISTÂNCIA)

Belo Horizonte, 11 de março de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me mostrou o caminho da realização de um sonho que foi sempre adiado e que agora consegui realizar.

Agradeço aos meus pais Ataíde e Therezinha, principalmente a minha mãe que sempre me apoiou e torceu para que eu conseguisse realizar o meu sonho.

Agradeço ao meu marido Cláudio que sempre me apoiou, entendeu a minha ausência em muitos momentos e por estar ao meu lado em todos os momentos. Sem você eu não teria conseguido!!!!

Agradeço ao meu orientador Dr. Guilherme Menezes Lage, que sem saber foi um incentivador para que eu tivesse coragem de prosseguir. Foi assistindo sua disciplina de **CONTROLE MOTOR** como disciplina isolada que vi realmente que estava no caminho certo. Logo no início foi desafiada com sua fala, “que era muito difícil receber alunos de disciplina isolada, pois eles desistiam logo nas primeiras aulas”. O professor tinha razão, no decorrer da disciplina só EU permaneci e aí não tinha mais jeito de desistir, fui “contaminada”..... rrsrrsrs. Tenho uma enorme admiração por você, um exemplo de mestre que dá oportunidade a todos, um pesquisador sério, responsável e que consegue transmitir aos seus alunos a responsabilidade que é realizar uma pesquisa.

A Nathália Marinho por ter me apresentado o professor Guilherme e o GEDAM, pela nossa amizade que foi fortalecida neste período, discussões noturnas e por toda ajuda durante este processo.

A todos os meus amigos que de certa forma entenderam a minha ausência neste período, em especial ao grupo 43 e as seis amigas.

As minhas amigas do trabalho que sempre me apoiaram em especial a Marcella pelas substituições.

Aos meus amigos Lilian e Rafa que estiveram comigo deste a seleção do mestrado. Valeu pelos finais de semana de estudo e por estarem comigo também nos momentos difíceis durante este processo.

Ao Marco'sTúlio pela disposição, pelos ensinamentos e companheirismo desde o início do processo do mestrado.

Ao Tércio pela paciência e ajuda nos momentos que precisei. Obrigada por todas as contribuições durante este processo.

A menina JU, que não mede esforços para ajudar os colegas. Muito obrigada por dividir o seu conhecimento. Você é uma pessoa muito especial.

Aos colegas do Gedam e aos irmãos da Neurofamily por toda parceria, vocês me receberam de braços abertos.

Ao professor Rodolfo, que me acolheu na sua aula sobre Comportamento Motor mesmo antes do meu ingresso no mestrado e pelas contribuições acadêmicas durante este processo.

Ao professor Umberto, pelas contribuições realizadas neste trabalho e disponibilidade em participar da banca deste trabalho.

Ao professor Herbert Ugrinowitsch, por ter me recebido no GEDAM.

Por fim, a todos os voluntários que participaram desta pesquisa.

Sempre parece impossível, até que seja feito
(Nelson Mandela)

RESUMO

Estudos têm demonstrado que a prática constante proporciona a aprendizagem da dimensão relativa da habilidade beneficiando assim a aquisição de um comportamento consistente. Já a prática aleatória favorece a aprendizagem da dimensão absoluta da habilidade, proporcionando flexibilidade ao comportamento. A aquisição dessas duas características definem um comportamento habilidoso. Atualmente, os estudos têm investigado não apenas os aspectos comportamentais, mas também neurobiológicos envolvidos na organização da prática. Uma estrutura neural que apresenta papel relevante na aprendizagem motora é o cerebelo, que também tem sido associado à organização da prática pois participa da aprendizagem através da atualização de comandos motores via correção de erros ou exigência contextual. Assim, uma forma de investigar essa relação é utilizando a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) cerebelar. Apesar das evidências da participação do cerebelo na prática menos repetitiva, porém, os estudos não têm investigado qual a participação do cerebelo na aprendizagem das dimensões relativa e absoluta da prática aleatória e constante de uma tarefa de sequência motora. O estudo foi conduzido por dois experimentos. O objetivo do experimento I foi verificar a participação do cerebelo na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática aleatória de uma tarefa de sequência motora. Já o experimento II utilizou da prática constante para investigar a mesma temática. Participaram do estudo 30 universitários em cada experimento, de ambos os sexos, destros, inexperientes na tarefa e com média de idade de $22,67 \pm 4,41$ anos no experimento I, e $24,23 \pm 5,56$ anos no experimento II. Os participantes executaram 120 tentativas durante a fase de aquisição no primeiro dia, e 12 tentativas nos testes de aprendizagem, que foram realizados 24 horas após a prática. Os resultados dos experimentos I e II demonstraram que a inibição cerebelar não interferiu na aprendizagem da dimensão absoluta da prática aleatória e constante de uma tarefa de sequência motora. Mas, em relação à dimensão relativa, a inibição favoreceu a aprendizagem dessa dimensão durante a prática constante, observado na aprendizagem *off-line* 1 e 2. Na prática aleatória, a estimulação catódica cerebelar beneficiou o processo de aquisição da dimensão relativa de uma tarefa de sequência motora, evidenciado pela maior mudança durante a aprendizagem *on-line*. No entanto, não houve interferência na aprendizagem. É possível concluir, de forma geral, que o cerebelo não apresentou participação evidente durante a aprendizagem das dimensões absoluta e relativa das práticas aleatória e constante de uma tarefa de sequência motora.

Palavras-chave: Organização da prática. Cerebelo. Prática constante e aleatória. Dimensão relativa e absoluta.

ABSTRACT

Studies have shown that constant practice provides the learning of the relative dimension of motor skills, benefiting the acquisition of a consistent behavior. On the contrary, random practice favors the learning of the skills' absolute dimension by providing a flexible behavior. Acquisition of these two characteristics defines a skilled behavior. Nowadays, studies are investigating not only the behavioral aspects, but also the neurobiological aspects involved in practice scheduling. A neural structure that plays a relevant role in motor learning is the cerebellum, which has also been associated with practice scheduling, since it participates in learning by updating motor commands through error correction or contextual demands. Thus, one way to investigate this relationship is by using cerebellar transcranial direct current stimulation (tDCS). Despite evidences of cerebellum involvement in less repetitive practice, studies have not investigated how the cerebellum participates in the learning of the relative and absolute dimensions in random and constant practice of motor sequencing tasks. This study was conducted with two experiments. The aim of experiment I was to verify the participation of the cerebellum in the learning of absolute and relative dimensions in random practice of a motor sequencing task. Experiment II was conducted with constant practice to investigate the same issue. Thirty students of both sexes were included in each experiment, with mean age of 22.67 ± 4.41 years in experiment I, and $24.23 \pm 5, 56$ years in experiment II. Participants performed 120 trials during the acquisition phase on the first day, and 12 trials on each learning test, that were performed 24 hours after acquisition. The results of experiments I and II demonstrated that cerebellar inhibition did not interfere in the learning of the absolute dimension in random and constant practice of a motor sequencing task. However, in relation to the relative dimension, the cerebellar inhibition favored the learning of this dimension in constant practice, such as observed in off-line learning¹ and². In random practice, cathodal cerebellar stimulation benefited the process of acquisition of the relative dimension of a sequential task, as evidenced by the greatest change during online learning. However, there was no interference in learning. It is possible to conclude that, in general, the cerebellum has no evident participation in the learning of the absolute and relative dimensions in random and constant practice of a motor sequencing task.

Keywords: Practice scheduling. Cerebellum. Constant and random practice. Relative and absolute dimension.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo de plasticidade cerebral dentro do circuito córtico-estriatal e córtico-cerebelar que ocorre durante a aprendizagem de sequência motora e adaptação motora.....	20
Figura 2 - Desenho esquemático das teclas digitadas durante o experimento e os tempos absolutos e relativos.....	30
Figura 3 - Desenho esquemático das posições dos eletrodos para ETCC cerebelar e do aparelho utilizado na coleta.....	31
Figura 4 - Distribuição dos grupos experimentais da prática aleatória.....	32
Figura 5 - Desenho esquemático da execução da tarefa.....	33
Figura 6 - Descrição do delineamento e dos procedimentos na fase de aquisição e nos testes de retenção e transferência.....	34
Gráfico 1 - Médias do erro absoluto dos grupos experimentais PA na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).....	37
Gráfico 2 - Médias do erro relativo dos grupos experimentais da PA na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).....	38
Gráfico 3 - Aprendizagem <i>on-line</i> da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PA.....	39
Gráfico 4 - Aprendizagem <i>on-line</i> da dimensão relativa dos grupos experimentais da PA.....	40
Gráfico 5 - Aprendizagem <i>off-line</i> 1 da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PA.....	40
Gráfico 6 - Aprendizagem <i>off-line</i> 2 da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PA.....	41
Gráfico 7 - Aprendizagem <i>off-line</i> 1 da dimensão relativa dos grupos experimentais da PA.....	41
Gráfico 8 – Aprendizagem <i>off-line</i> 2 da dimensão relativa de todos os grupos experimentais da PA.....	42
Figura 7 - Distribuição dos grupos experimentais da prática constante.....	49
Gráfico 9 - Médias do erro absoluto dos grupos experimentais PC na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).....	50

Gráfico 10 - Médias do erro relativo dos grupos experimentais PC na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).....	51
Gráfico 11 – Aprendizagem <i>on-line</i> da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PC.....	53
Gráfico 12 – Aprendizagem <i>on-line</i> da dimensão relativa dos grupos experimentais da PC.....	53
Gráfico 13 – Aprendizagem <i>off-line</i> 1 da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PC.....	54
Gráfico 14 – Aprendizagem <i>off-line</i> 2 da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PC.....	54
Gráfico 15 – Aprendizagem <i>off-line</i> 1 da dimensão relativa dos grupos experimentais da PC.....	55
Gráfico 16 – Aprendizagem <i>off-line</i> 2 da dimensão relativa dos grupos experimentais da PC.....	55

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância (sigla em inglês para Analysis of Variance)
C/cm ²	Coulomb por centímetro quadrado
CPF DL	Córtex pré-frontal dorsolateral
cm ²	Centímetros quadrados
CR	Conhecimento de Resultados
EA	Erro absoluto
EEFFTO	Escola de Educação Física e Fisioterapia e Terapia Ocupacional
EIC	Efeito de Interferência contextual
ER	Erro relativo
ETCC	Estimulação transcraniana por corrente contínua
Fmri	Imagem de ressonância magnética funcional
PA	Prática aleatória
PAE	Prática aleatória estimulado
PAP	Prática aleatória placebo
PC	Prática constante
PCE	Prática constante estimulado
PCP	Prática constante placebo
M1	Córtex motor primário
mA	Mileampere
ms	Milissegundos
S1	Segmento 1: refere-se ao tempo entre os toques nas teclas 2 e 8
S2	Segmento 2: refere-se ao tempo entre os toques das teclas 8 e 6
S3	Segmento 3: refere-se ao tempo entre os toques das teclas 6 e 4
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
TR	Teste de retenção
TT	Teste de transferência
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Aprendizagem motora	17
2.2 Estruturação da prática	21
2.3 Cerebelo e estimulação transcraniana por corrente contínua	25
3 EXPERIMENTO I	28
3.1 Objetivo Geral	28
3.2 Objetivos específicos	28
3.3 Hipóteses do experimento I	28
3.4 Materiais e método do experimento I	29
3.4.1 Amostra	29
3.4.2 Cuidados éticos	29
3.4.3 Instrumentos e tarefa motora do experimento I	29
3.4.3.1 Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo	29
3.4.3.2 Tarefa de sequência motora	30
3.4.3.3 Estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC)	30
3.4.4 Delineamento experimental e procedimentos do experimento I	31
3.4.5 Variáveis do experimento I	34
3.4.5.1 Variáveis independentes	34
3.4.5.2 Variáveis dependentes motoras	34
3.4.6 Análise de dados do experimento I	36
3.4.7 Resultados do experimento I	36
3.4.8 Discussão do experimento I	42
4 EXPERIMENTO II	47
4.1 Objetivo geral	47
4.2 Objetivos específicos	47
4.3 Hipóteses do experimento II	47
4.4 Materiais e método do experimento II	48
4.4.1 Amostra	48
4.4.2 Cuidados éticos	48
4.4.3 Instrumentos e tarefa motora	48

4.4.4 Delineamentos e procedimentos	48
4.4.5 Variáveis do experimento II	49
4.4.5.1 Variáveis independentes	49
4.4.5.2 Variáveis dependentes motoras	49
4.4.6 Análise de dados.....	49
4.4.7 Resultados do experimento II.....	49
4.4.8 Discussão do experimento II	56
5 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE.....	67
ANEXO I.....	70
ANEXO II.....	71

1 INTRODUÇÃO

O processo de aprendizagem motora caracteriza-se por mudanças no comportamento do indivíduo que passa de uma fase inicial para uma fase avançada (BENDA, 2006). Essas mudanças devem resultar no ganho relativamente permanente do desempenho (SCHMIDT, 1982), e são frequentemente inferidas pela observação de níveis estáveis do desempenho (SCHMIDT; WRISBERG, 2001).

Durante esse processo, várias estruturas e circuitos cerebrais são recrutados, sendo dependentes não só das fases da aprendizagem (aprendizagem *on-line* e *off-line*) (KANTAK; MUMMIDISSETTY; STINEAR, 2012), mas também da natureza da tarefa (aprendizagem de sequência e adaptação motora) (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003). Doyon, Penhune e Ungerleider (2003) propuseram um modelo de plasticidade cerebral que assume que a dinâmica das mudanças na participação de áreas cerebrais está associada aos processos de aprendizagem. Durante o processo de aprendizagem inicial há uma alta demanda de processos cognitivos que recrutam estruturas cerebrais semelhantes, independente da natureza da tarefa. Os circuitos córtico-cerebelar e córtico-estriatal são formados e fortalecidos no período em que o processo de aprendizagem avança e se consolida. Enquanto há uma diminuição da participação do circuito córtico-cerebelar durante a fase final da aquisição de uma aprendizagem de sequência motora, observa-se um aumento da participação do circuito córtico-estriatal. Já o circuito córtico-cerebelar desempenha um papel mais evidente durante a fase de aprendizagem tardia de uma aprendizagem de adaptação motora.

Apesar do modelo de plasticidade cerebral assumir que a natureza da tarefa a ser aprendida é que leva a diferentes tipos de recrutamento de áreas cerebrais em estágios avançados da aprendizagem, é possível especular que a forma como se organiza a prática também pode levar a essas diferenças no recrutamento. Mesmo durante a aprendizagem de uma tarefa de sequência motora a participação do cerebelo pode ser distinta durante a prática mais e menos repetitiva. É possível que a participação do cerebelo seja relevante até mesmo na fase avançada da aprendizagem. Isso pode ocorrer na condição de prática menos repetitiva como na prática aleatória, havendo, portanto, uma constante mudança em relação a qual habilidade é praticada na sequência (LAGE *et al.*, 2011). O mesmo não é esperado

para a condição de prática mais repetitiva como na prática constante. Na prática constante há uma menor demanda de atualização de comandos motores (LAGE *et al.*, 2015), visto que, a habilidade não muda, apresentando então uma rápida diminuição dos erros (LAGE *et al.*, 2017).

O ponto principal em relação à participação cerebelar e à organização da prática de uma tarefa de aprendizagem de sequência motora é que a prática aleatória exige ajustes tentativa a tentativa, o que pode gerar uma demanda de atividade cerebelar similar àquela exigida quando se pratica uma habilidade de adaptação motora. O cerebelo participa da aprendizagem através da atualização de comandos motores via correção de erros ou exigência contextual (CANTARERO *et al.*, 2015; DOPPELMAYR; PIXA; STEINBERG, 2016; SEIDLER *et al.*, 2013), fatores esses que têm fundamental importância na aquisição de tarefas de adaptação motora (CANTARERO *et al.*, 2015).

Como na condição de prática aleatória de uma tarefa de sequência motora há necessidade de atualizações de comandos motores tentativa a tentativa e o nível de erros mantém-se mais alto mesmo nas fases avançadas da prática (LAGE *et al.*, 2015), pode-se esperar uma participação significativa do cerebelo mesmo em um estágio avançado da aprendizagem. Nesse tipo de prática, a resposta da tentativa anterior não contribui para elaboração do plano de ação da tentativa seguinte, sendo necessário um novo plano de ação a cada tentativa, promovendo com isso uma maior flexibilidade ao desempenho e favorecendo a aprendizagem da dimensão absoluta (LAGE *et al.*, 2007; LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998). Já na condição de prática constante, a participação do cerebelo não é esperada durante a fase avançada da aprendizagem, visto que nessa prática os níveis de erros são reduzidos até mesmo na fase inicial da aprendizagem. Dessa forma, a resposta da tentativa anterior contribui para elaboração do plano de ação da tentativa seguinte promovendo assim uma maior estabilidade e consistência ao desempenho, o que favorece a aprendizagem da dimensão relativa da habilidade (LAGE *et al.*, 2007; LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998).

Uma das formas de investigar o papel do cerebelo na prática constante e aleatória é utilizando a técnica de estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) para inibir a função do cerebelo. Vários estudos têm sido realizados utilizando a ETCC cerebelar com objetivo de entender melhor as suas funções (CANTARERO *et al.*, 2015; DOPPELMAYR; PIXA; STEINBERG, 2016; GRIMALDI *et al.*, 2016).

Portanto, torna-se possível levantar a hipótese de que a inibição externa no cerebelo levará a piora da aprendizagem da dimensão absoluta na prática aleatória e não haverá alteração significativa da aprendizagem das dimensões relativa e absoluta na prática constante. Quando analisados os processos de aprendizagem *on-line* e *off-line*, é esperado que a inibição do cerebelo afete negativamente o processo de aprendizagem *on-line* de ambas as estruturas de prática, tendo em vista que os processos de correção de erros são muitos exigidos no início do processo de aprendizagem independente da natureza da prática. Porém, a inibição do cerebelo afetará de forma mais pronunciada somente a prática aleatória durante o processo de aprendizagem, pois nesse momento da aprendizagem a prática constante apresenta baixa exigência de correção e reorganização dos comandos motores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aprendizagem motora

Aprendizagem motora é caracterizada por mudanças em processos e mecanismos internos que determinam a capacidade de um indivíduo realizar uma tarefa motora, as quais são inferidas a partir do desempenho (SCHMIDT; WRISBERG, 2001). Dessa forma, a aprendizagem motora também pode ser definida como um conjunto de processos relacionados com a prática ou experiência, que leva a mudanças relativamente permanentes na capacidade de realizar uma tarefa motora (SCHMIDT, 1982).

O processo de aprendizagem motora caracteriza-se por mudanças no desempenho e apresenta características como o ganho em consistência ou estabilidade do desempenho, que está relacionada com a capacidade do aprendiz realizar uma tarefa com um padrão espaço-temporal bem definido e a adaptabilidade ou flexibilidade, que se refere à capacidade de adaptar-se às variações do contexto (GLENCROSS; WHITING; ABERNETHY, 1994). As aprendizagens da dimensão relativa e absoluta da habilidade estão relacionadas com essas duas características da aprendizagem, a consistência e a flexibilidade, respectivamente (LAI; SHEA, 1998). A dimensão relativa é caracterizada por apresentar um padrão bem definido entre os componentes do movimento, informando sobre o processo de aprendizagem da estrutura do movimento. Já a dimensão absoluta da habilidade está relacionada à aprendizagem dos parâmetros do movimento. Estudos comportamentais têm utilizados dessas duas dimensões para investigar o processo de aprendizagem de uma habilidade motora (LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998).

A aprendizagem motora pode ser inferida não só pela medida global de desempenho, mas também por medidas dissociadas que representam a aprendizagem da estrutura e dos parâmetros do movimento. Estudos comportamentais apontam que a aprendizagem da estrutura e dos parâmetros de uma habilidade motora ocorrem de forma distinta (SHEA *et al.*, 2001; WULF; LEE, 1993). Duas medidas têm sido usadas para investigar o papel da prática na aprendizagem. A primeira, medida de erros do tempo relativo que informa sobre a aprendizagem da

estrutura do movimento e a segunda de erros do tempo absoluto que informa sobre a aprendizagem dos parâmetros do movimento (LAGE *et al.*, 2007, 2017).

Estudos em aprendizagem motora utilizam de análises comportamentais para explicar as mudanças que ocorrem no processo de aprendizagem, mas recentemente estudos têm utilizado também de outros níveis de análise como o neurobiológico para investigar essas mudanças (KANTAK; MUMMIDISSETTY; STINEAR, 2012; LAGE *et al.*, 2015). Para estudar os substratos neurais que medeiam a capacidade de aprender comportamentos habilidosos, os pesquisadores mais recentemente utilizam paradigmas experimentais que se enquadram em duas taxonomias de tarefa: a aprendizagem de sequência motora e adaptação motora (CANTARERO *et al.*, 2015; DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003) .

A aprendizagem de uma tarefa de adaptação motora resulta em uma redução progressiva dos erros à medida que os movimentos são ajustados para atender às demandas ambientais (FERNANDEZ *et al.*, 2017). Na aprendizagem de tarefas de adaptação motora o aprendiz tem que lidar com constantes variações ao longo da prática demandando uma dinâmica de manipulação de informações que diferem tentativa a tentativa em uma mesma tarefa (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003; FRISTON, 1992). As tarefas usadas para testar tal paradigma geralmente incluem diferentes versões da tarefa de alcance visuomotora (rotação), tarefa de adaptação sacádica, tarefas de apontamento para um alvo com um braço robótico que sofre diferentes campos de força, por exemplo. O aprendizado de uma tarefa de adaptação motora implica na formação de um circuito córtico-cerebelar (DOYON *et al.*, 2009; SEIDLER; BO; ANGUERA, 2012).

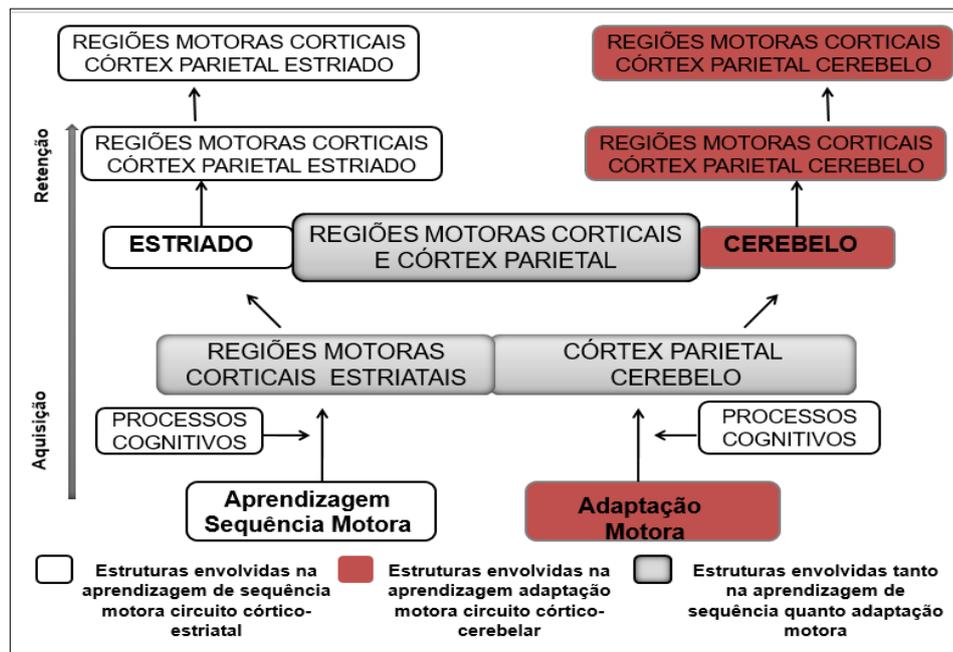
A contribuição do cerebelo para a adaptação motora foi estudada por Imamizu *et al.* (2000) e Flament *et al.* (1996) usando uma técnica de neuroimagem, a ressonância magnética funcional ou fMRI em tarefas nas quais os sujeitos são obrigados a ajustar frequentemente o seu sistema sensório-motor a mudanças. Além disso, esses estudos mostraram um aumento sustentado da atividade em áreas específicas do cerebelo com a prática continuada. Mais especificamente em uma área próxima à fissura superior posterior (IMAMIZU *et al.*, 2000) e no núcleo dentado (FLAMENT *et al.*, 1996), sugerindo que essas regiões cerebelares podem estar envolvidas na criação de uma representação a longo prazo para executar tarefas de adaptação motora.

A aprendizagem de sequência motora refere-se à associação progressiva entre os elementos isolados do movimento, permitindo que uma sequência de múltiplos elementos seja realizada (SEIDLER; BO; ANGUERA, 2012). A aprendizagem de comportamentos motores sequenciais envolve a integração de movimentos separados em ações sequenciais coordenadas através da prática. Tarefas experimentais (ex., tarefas de digitação sequencial, tarefa de sequência de oposição de polegar, tarefa de tempo de reação em série e tarefa de produção sequencial discreta) são utilizadas para verificar a aprendizagem de sequência motora através de melhorias no desempenho. Nesse tipo de aprendizagem, o aprendiz necessita aprender a relação dos componentes do movimento demandando uma dinâmica de manipulação de informação que não diferem tentativa a tentativa (DOYON *et al.*, 2009; SEIDLER; BO; ANGUERA, 2012). Diferentes estágios da aprendizagem de sequência motora têm sido relacionados a diferentes padrões de ativação nas regiões motoras do cérebro. A aprendizagem inicial é caracterizada por uma rede de ativação no cerebelo, núcleos da base e regiões motoras corticais. A aprendizagem avançada por uma ativação decrescente no cerebelo, juntamente com aumento de ativação no córtex motor primário (M1) e núcleos da base (STEELE; PENHUNE, 2010). O aprendizado de uma tarefa de sequência motora implica na formação de um circuito córtico-estriatal (DOYON *et al.*, 2009; DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003; SEIDLER; BO; ANGUERA, 2012).

Doyon, Penhune e Ungerleider (2003) descrevem o processo de aprendizagem motora através do modelo neurocomportamental denominado de plasticidade cerebral. Nesse modelo, pode-se ressaltar que a dinâmica das mudanças na participação de áreas cerebrais está associada aos processos envolvidos na aprendizagem. Durante o processo inicial de aprendizagem há uma alta demanda de processos cognitivos (ex., memória de trabalho e detecção de erros) que recruta estruturas cerebrais semelhantes, como exemplo o estriado, o cerebelo, as regiões motoras corticais, bem como as áreas pré-frontais e as parietais, independentemente da natureza da tarefa (aprendizagem de sequência ou adaptação motora). As interações dinâmicas entre essas estruturas serão críticas para a aquisição de um comportamento motor habilidoso. Esse modelo propõe que os sistemas córtico-estriatal e córtico-cerebelar contribuem diferentemente para o aprendizado de sequência motora e adaptação motora, respectivamente.

Os circuitos córtico-cerebelar e córtico-estriatal são formados e fortalecidos no período em que a aprendizagem ganha relevância. Enquanto há uma diminuição da participação do circuito córtico-cerebelar durante a fase avançada da aquisição de uma tarefa de sequência motora, observa-se um aumento da participação do circuito córtico-estriatal. Por outro lado, em uma tarefa de adaptação motora o circuito córtico-cerebelar, permanece ativo ao longo de todo o processo de aprendizagem motora, desempenhando um papel mais crítico durante a fase de aprendizagem tardia (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003) (FIGURA 1).

Figura 1- Modelo de plasticidade cerebral dentro do circuito córtico-estriatal e córtico-cerebelar que ocorre durante a aprendizagem de sequência motora e adaptação motora.



Fonte: adaptado de DOYON, PENHUNE e UNGERLEIDER, 2003, p. 260.

Durante o processo de aprendizagem motora, várias estruturas e circuitos cerebrais são recrutados, sendo dependentes não só da natureza da tarefa (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003), mas também das fases da aprendizagem (aprendizagem *on-line* e *off-line*) (KANTAK; MUMMIDISSETTY; STINEAR, 2012). Em relação às fases da aprendizagem, as mudanças evidenciadas durante a prática são denominadas aprendizagem *on-line* e as que ocorrem após um período sem prática, de aprendizagem *off-line*. A aprendizagem *off-line* incluindo estabilização e melhoria do desempenho é associada à consolidação da memória motora. As melhorias

observadas durante as aprendizagens *on-line* e *off-line* podem ser mantidas ao longo do tempo, resultando em retenção em longo prazo e transferência de aprendizagem (APOLINÁRIO-SOUZA *et al.*, 2016; CANTARERO *et al.*, 2015; DAYAN; COHEN, 2011; KANTAK; MUMMIDISSETTY; STINEAR, 2012). As aprendizagens *on-line* e *off-line* também podem recrutar estruturas cerebrais distintas. Estudos têm relatado que o cerebelo exerce um papel importante durante a aprendizagem *on-line* de uma tarefa de adaptação motora provavelmente por causa dos processos de correção de erros que são muitos exigidos no início do processo de aprendizagem (CANTARERO *et al.*, 2015; GALEA *et al.*, 2011). Estruturas como o M1 (CANTARERO *et al.*, 2015) e o estriado (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003) participam da aprendizagem *off-line* incluindo tarefas de adaptação e de sequência motora, respectivamente (CANTARERO *et al.*, 2015).

De acordo com o modelo de Doyon, Penhune e Ungerleider (2003), o recrutamento de áreas cerebrais é dependente do tipo de tarefa realizada e das fases da aprendizagem. Esse modelo não leva em consideração as diferentes formas de se estruturar a prática que podem exigir maior consistência ou flexibilidade do desempenho, características que são importantes para aquisição de um comportamento habilidoso. Alguns estudos relacionaram essas duas características da aprendizagem, consistência e flexibilidade, a distintas formas de se organizar a prática (LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998). A consistência sendo proporcionada pela estrutura de prática constante e a flexibilidade pela prática aleatória (LAI *et al.*, 2000).

2.2 Estruturação da prática

A prática apresenta um papel fundamental na aquisição do comportamento habilidoso. A maneira de estruturá-la é de suma importância no processo de aprendizagem motora (LAGE *et al.*, 2007; LAI *et al.*, 2000; SHEA; MORGAN, 1979). A estruturação de prática é um dos principais fatores que pode favorecer a aquisição de habilidades motoras (LAGE *et al.*, 2007; MAGILL; HALL, 1990; SHEA; MORGAN, 1979). A prática pode ser estruturada de forma constante ou variada (LEE; MAGILL; WEEKS, 1985).

A prática constante corresponde à execução de uma só habilidade durante uma sessão de prática (SHEA; KOHL, 1990), tendo uma natureza mais repetitiva. A prática variada, por sua vez, se refere à execução de duas ou mais habilidades em

uma mesma sessão de prática, ou a variações de uma mesma habilidade. Esse tipo de prática apresenta uma natureza menos repetitiva. Existem diferentes formas de se organizar a prática variada, dentre essas, a prática em blocos, que consiste na execução de blocos de tentativas de cada uma das habilidades a serem aprendidas, ou seja, todas as tentativas de uma mesma habilidade são praticadas antes de se iniciar a prática da outra habilidade (ex., AAAABBBBCCCC). A prática aleatória, por sua vez, consiste na execução das habilidades sem uma ordem previsível para o praticante havendo, portanto, uma constante mudança em relação a qual habilidade é praticada na sequência (ex., ABCBCACBABACACB). A estrutura de prática seriada (ex., ABCABCABCABC) apresenta características tanto da prática em blocos quanto da aleatória, ou seja, apresenta a previsibilidade da prática em blocos e a não repetição consecutiva presente na prática aleatória (LAGE *et al.*, 2011). Tais estruturas de prática podem ser investigadas a partir de duas vertentes, uma denominada de hipótese da variabilidade da prática (MOXLEY, 1979) e a outra de efeito da interferência contextual (EIC) (SHEA; MORGAN, 1979).

O EIC pretende verificar qual a melhor forma de se manipular a sequência das habilidades durante a prática. EIC é o grau de interferência na aprendizagem quando duas ou mais habilidades são praticada juntas (MAGILL; HALL, 1990). As estruturas de prática investigadas neste pressuposto são a em blocos, aleatória e a seriada. A prática em blocos é considerada de baixa interferência contextual (IC), pois a IC ocorre somente nas mudanças de um bloco de tentativas para o outro. Já as práticas aleatória e seriada são consideradas de alta IC, devido a constantes mudanças de tentativas durante a prática, após cada tentativa o aprendiz tem que realizar outra habilidade (LAGE *et al.*, 2011; MAGILL; HALL, 1990). Alta IC parece levar a uma representação mais significativa na memória e, conseqüentemente, a uma melhor aprendizagem em comparação com a prática de baixa IC. As práticas de alta IC apresentam pior desempenho na fase de aquisição, mas melhor desempenho nos testes de retenção e transferência (LAGE *et al.*, 2011).

A outra vertente que tem sido investigada é a da hipótese da variabilidade da prática (MOXLEY, 1979). De acordo com esta hipótese, o aumento das variações das experiências motoras durante a prática fortalecem os esquemas (esquemas de lembrança e reconhecimento). A noção de esquema parece eficiente para o armazenamento em longo prazo, uma vez que a cada movimento realizado somente a relação das informações tais como: as condições iniciais, especificações de

resposta, consequências sensoriais e os resultados da resposta são armazenados após a produção do movimento (SCHMIDT, 1975). Além disso, uma vez que o esquema contém essas quatro informações citadas anteriormente, um sujeito com experiência suficientemente variada deve ser capaz de gerar uma resposta pertencente a uma classe de movimento familiar, mas que não tenha sido realizada antes (MOXLEY, 1979). Portanto, quanto maior a variedade de experiências dentro de uma classe de movimento, mais generalizável será a resposta. A Teoria de Esquema prevê que o aumento da variabilidade de tais experiências anteriores leva a um aumento da força do esquema (SHEA; KOHL, 1990).

Geralmente este pressuposto da hipótese da variabilidade da prática é investigado a partir da utilização das formas variada e constante de se estruturar a prática. O estudo realizado por Moxley (1979) testou tal hipótese em dois experimentos, um com prática de baixa variabilidade e o outro com prática de alta variabilidade. O resultado encontrado foi que o grupo de prática variada teve melhor desempenho durante a fase de aquisição, mas que esse resultado se alterou no teste de transferência (grupo de prática variada foi superior ao de prática constante). Esse resultado confirmou a hipótese da variabilidade da prática.

Em uma condição de prática mais repetitiva, por exemplo, como a prática constante, a redução da carga atencional e a estabilidade tentativa a tentativa, que é proporcionada pela não mudança dos valores dos parâmetros durante a prática é benéfica para o aprendizado da dimensão relativa da habilidade. Já a condição de prática menos repetitiva, como a prática aleatória, a variação tentativa a tentativa que ocorre durante essa prática melhora a parametrização da habilidade (LAI *et al.*, 2000). A menor estabilidade gerada pela prática aleatória favorece a aquisição da dimensão absoluta da habilidade, conferindo flexibilidade à aprendizagem. Essa característica é importante para o comportamento habilidoso devido à necessidade de ajustes que são constantemente requeridos no desempenho motor (LAGE *et al.*, 2007; LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998). Assim, é possível investigar a aquisição de um comportamento habilidoso através do ganho em estabilidade e flexibilidade gerado pelas estruturas de prática mais e menos repetitivas e pelas dimensões relativa e absoluta da habilidade, respectivamente.

Estudos que investigaram os aspectos neurobiológicos dos efeitos da estruturação da prática (LIN *et al.*, 2009; SEIDLER, 2010) relatam que processos neurais distintos são gerados por diferentes condições de prática (LAGE *et al.*, 2015).

Alguns estudos examinaram os substratos neurais envolvidos na estruturação da prática (dentre eles, o M1, córtex pré-motor e córtex pré-frontal dorsolateral) (CROSS; SCHMITT; GRAFTON, 2007; KANTAK *et al.*, 2010; LIN *et al.*, 2009), mas pouco se sabe a respeito da participação do cerebelo. No estudo de Cross, Schmitt e Grafton (2007) foi observado um padrão de ativação comum no cerebelo e nos núcleos da base durante a fase de aquisição em ambas as práticas aleatória e em blocos em uma tarefa de sequência motora. Mas nesse estudo, os pesquisadores não tinham a intenção de discutir se existem diferenças na participação do cerebelo em outras formas de se estruturar a prática, como a prática constante, e sim verificar o efeito da IC entre as práticas em blocos e aleatória. Shimizu, Wu e Knowlton (2016) investigaram se a ativação cerebelar durante a aprendizagem de sequência motora poderia estar associada a uma melhor transferência para uma nova sequência motora. Os autores concluíram que o envolvimento do cerebelo pode ser diferente dependendo da estruturação da prática. A prática menos repetitiva de sequências motoras pode ter uma maior plasticidade dos circuitos cerebelares do que uma prática repetitiva, permitindo assim a formação de uma representação mais generalizada da habilidade praticada.

Apesar das evidências indicando a participação do cerebelo na prática menos repetitiva de uma tarefa de sequência motora ainda existem questões a serem investigadas. Por exemplo, Shimizu, Wu e Knowlton (2016) não investigaram qual a participação do cerebelo ao longo da aprendizagem nas duas dimensões que podem compor as habilidades motoras sequenciais, as dimensões absoluta e relativa. Neste estudo os autores utilizaram somente a medida de erro global para inferir a aprendizagem. É possível que se as duas dimensões da habilidade forem investigadas separadamente, há expectativa de que o cerebelo participe mais da aprendizagem da dimensão absoluta da prática aleatória de uma tarefa de sequência motora. Isso pode ser atribuído ao importante papel que o cerebelo desempenha na atualização dos comandos motores a partir da demanda do contexto (CANTARERO *et al.*, 2015), promovendo com isso uma maior flexibilidade do desempenho favorecendo a aprendizagem então da dimensão absoluta da habilidade. Em relação à prática constante de uma tarefa de sequência motora, é possível que a participação cerebelar não seja tão evidente durante a aprendizagem das duas dimensões da habilidade. Visto que durante essa prática há uma baixa demanda de atualizações dos comandos motores.

2.3 Cerebelo e estimulação transcraniana por corrente contínua

A aprendizagem motora está associada a mudanças em aspectos funcionais e estruturais de uma rede cortical amplamente distribuída, incluindo o M1, o córtex pré-motor, a área motora suplementar, os núcleos da base e o cerebelo (REIS; FRITSCH, 2011). O cerebelo ocupa a maior parte da fossa craniana posterior, consiste em uma estrutura mediana denominada verme e dois hemisférios laterais. Estudos têm demonstrado que o hemisfério cerebelar lateral direito está envolvido no desenvolvimento da adaptação motora (FERNANDEZ *et al.*, 2017; PANOUILLERES *et al.*, 2015; XIVRY; SHADMEHR, 2014).

Uma técnica amplamente utilizada para verificar a função cerebelar é a ETCC. A ETCC é uma técnica de neuromodulação não invasiva que consiste na aplicação de uma corrente direta de baixa intensidade em áreas corticais e subcorticais com a finalidade de facilitar ou inibir a atividade neuronal espontânea, isto é, modificar a atividade cortical de uma área cerebral específica (BRUNONI *et al.*, 2012). Existem dois tipos de ETCC que podem ser usados, dependendo da direção da corrente: anódica e catódica (DUN *et al.*, 2016), a corrente entra no cérebro via eletrodo positivamente carregado, o anodo, e flui até atingir o eletrodo cátodo, negativo (REIS; FRITSCH, 2011).

A estimulação anódica é frequentemente associada à excitabilidade neuronal acentuada abaixo do local da estimulação, enquanto a estimulação catódica é pensada para inibir a excitabilidade neuronal (RAHMAN *et al.*, 2013). Os neurônios, quando inativos, permanecem em seu potencial elétrico de repouso devido ao gradiente de concentração entre o meio intra e extracelular. Quando a ETCC é aplicada, uma diferença de potencial elétrico é criada entre o anodo e cátodo para permitir um fluxo de corrente constante entre eles. O campo elétrico induz uma mudança no potencial elétrico da membrana do neurônio. Essa mudança de potencial pode influenciar a atividade neuronal, mas não é forte o suficiente para induzir potenciais de ação dentro dos neurônios. Como resultado, a ETCC só pode modular a excitabilidade em neurônios ativos e tem pouco impacto sobre as populações neuronais de repouso (WOODS *et al.*, 2016). Um campo extracelular positivo (catódico) hiperpolariza a membrana e reduz a taxa de movimentação do potencial de ação (isto é, menor excitabilidade), enquanto um campo extracelular negativo (anódico) despolariza a membrana e aumenta a taxa de movimentação do potencial

de ação (isto é, hiperexcitabilidade). Campos elétricos podem, portanto, ter um efeito excitatório ou inibitório, dependendo da orientação axonal (DUN *et al.*, 2016).

A ETCC cerebelar demonstrou ser eficaz para melhorar o desempenho motor e aprendizagem motora em indivíduos saudáveis (REIS; FRITSCH, 2011), tendo um impacto tanto na adaptação motora quanto na aprendizagem motora. Em geral, a estimulação anódica parece aumentar a taxa de adaptação e a aprendizagem motora (GALEA *et al.*, 2011), enquanto a estimulação catódica parece prejudicar esses processos (JAYARAM *et al.*, 2012), mas sem afetar o comportamento pós-adaptação. Diferentes formas de adaptação têm sido investigadas, como a adaptação sacádica, visuomotora e locomotora. Panouilléres *et al.* (2015) mostraram que a ETCC cerebelar catódica facilita a adaptação sacádica, enquanto a ETCC anódica interrompeu a adaptação.

Galea *et al.* (2011) utilizaram uma tarefa de adaptação de rotação visuomotora e verificaram que a ETCC anódica no hemisfério cerebelar direito melhorou a taxa de adaptação, mas sem influenciar a retenção. Já o estudo de Block e Celnik (2013) também confirmou o resultado de que a ETCC anódica no hemisfério cerebelar direito impacta positivamente na taxa de adaptação. Nenhum efeito foi observado na taxa de re-adaptação, confirmando os resultados de Galea *et al.* (2011) que o cerebelo não desempenha papel na fase de pós-adaptação.

Cantarero *et al.* (2015) verificaram o impacto da ETCC cerebelar na aprendizagem de uma habilidade motora. Observaram um melhor aprendizado no grupo com ETCC anódica quando comparado à catódica e ao grupo placebo. De forma geral, a estimulação anódica aumenta a excitabilidade cortical durante e após a estimulação, enquanto a estimulação catódica parece ter efeito contrário. Nesse estudo os autores mostraram também que a estimulação anódica cerebelar aumenta a aprendizagem *on-line*. Foi demonstrado que a ETCC modifica a excitabilidade cerebelar e o aprendizado motor (CANTARERO *et al.*, 2015), pois consegue atingir o cerebelo e modular a sua atividade neuronal (DOPPELMAYR; PIXA; STEINBERG, 2016). Em relação à estimulação catódica cerebelar, mais estudos são necessários para se investigar os efeitos específicos (DUN, 2017). Herzfeld *et al.* (2014) encontraram efeitos negativos da ETCC catódica cerebelar na retenção de uma tarefa de alcance de campo de força, mas nenhum efeito com a corrente anódica, enquanto Wessel *et al.* (2016) encontraram um efeito positivo da estimulação anódica na retenção de uma tarefa motora de digitação.

Estudos neurofisiológicos em humanos demonstraram que a ETCC pode modular a excitabilidade na região alvo (GALEA *et al.*, 2009; NITSCHKE *et al.*, 2003; NITSCHKE; PAULUS, 2000) e os comportamentais mostraram que a ETCC cerebelar facilita o aprendizado de tarefas motoras (CANTARERO *et al.*, 2015; GALEA *et al.*, 2011; HERZFELD *et al.*, 2014; JALALI *et al.*, 2017). Portanto a ETCC cerebelar parece ser um método eficaz para modular a excitabilidade do cerebelo, que por sua vez, pode afetar a plasticidade de áreas corticais distantes (córtex motor). Isso pode ocorrer pelo fato do cerebelo ter maior probabilidade de produzir efeitos polarizando as células de Purkinje e alterando os níveis de atividade nos núcleos cerebelares profundos (núcleos de saída) (GALEA *et al.*, 2009).

Estudos neurocomportamentais mostram que a participação de substratos neurais durante a aprendizagem de uma habilidade pode ser diferente dependendo, das fases da aprendizagem e a forma de se estruturar a prática. Porém, no estudo de Shimizu, Wu e Knowlton (2016) os autores investigaram a participação do cerebelo nas estruturas de prática mais e menos repetitiva, mas não pesquisaram tal participação quando se utiliza de uma tarefa de sequência motora que requer o ganho de estabilidade e flexibilidade simultaneamente, que são características essenciais para a aquisição do comportamento habilidoso. A aquisição dessas características pode favorecer o fortalecimento de diferentes circuitos como o córtico-cerebelar ou córtico-estriatal. Assim, o presente estudo tem como objetivo geral investigar a participação do cerebelo nas estruturas de prática mais e menos repetitiva na aprendizagem de uma tarefa de sequência motora. Para alcançar este objetivo, dois experimentos foram propostos. O experimento I investigou a participação do cerebelo na estrutura de prática aleatória e o experimento II investigou a participação do cerebelo na estrutura de prática constante.

3 EXPERIMENTO I

3.1 Objetivo Geral

Investigar o papel do cerebelo na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática aleatória na aprendizagem de uma habilidade motora.

3.2 Objetivos específicos

Investigar o papel do cerebelo na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática aleatória na fase de aquisição e nos testes de retenção e de transferência da habilidade.

Investigar o papel do cerebelo na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática aleatória durante a aprendizagem *on-line* da habilidade.

Investigar o papel do cerebelo na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática aleatória durante a aprendizagem *off-line* da habilidade.

3.3 Hipóteses do experimento I

H₁: A aprendizagem da dimensão absoluta na prática aleatória será prejudicada com a inibição cerebelar durante a fase de aquisição e nos testes de retenção e de transferência e a dimensão relativa não será afetada.

H₂: A aprendizagem da dimensão absoluta na prática aleatória será prejudicada com a inibição cerebelar durante a aprendizagem *on-line* e a dimensão relativa não será afetada.

H₃: A aprendizagem da dimensão absoluta na prática aleatória será prejudicada com a inibição cerebelar durante a aprendizagem *off-line* e a dimensão relativa não será afetada.

3.4 Materiais e método do experimento I

3.4.1 Amostra

A amostra do estudo foi composta por 30 universitários de ambos os sexos (15 mulheres), destros, com idade entre 18 e 40 anos (média de $22,67 \pm 4,41$ anos). Os participantes foram recrutados por meio de convite pessoal e anúncio na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Foram incluídos na amostra participantes que apresentaram índice de preferência manual para a mão direita acima de 80 pontos no Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971), que não participaram anteriormente de um experimento similar, sem comprometimento neurológico autodeclarado e não estavam utilizando implantes de metal no crânio ou marca-passos cardíacos. Além disso, também foram observadas queixas de cefaleias recorrentes, gestação, histórico recente de epilepsia e ingestão de medicamentos que promovessem alterações na excitabilidade cerebral (NITSCHKE *et al.*, 2008).

3.4.2 Cuidados éticos

O estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais e aprovado sob o parecer CAAE 84003518.7.0000.5143 (ANEXO I). Foram respeitadas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde (Res. 466/12) envolvendo pesquisas com seres humanos. Os voluntários foram instruídos previamente sobre os objetivos e procedimentos do estudo e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE I).

3.4.3 Instrumentos e tarefa motora do experimento I

3.4.3.1 Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo

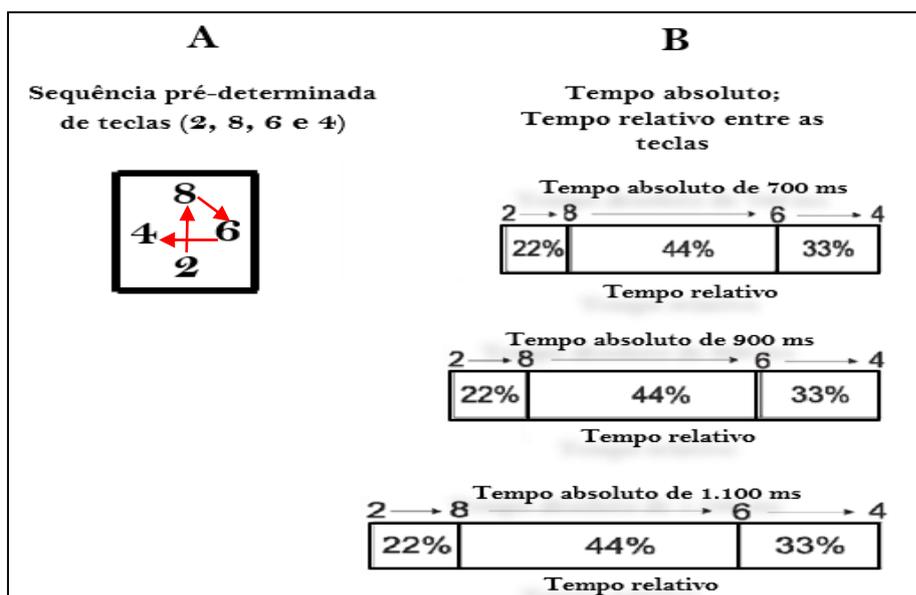
Para determinação do índice de preferência lateral foi empregado o Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971), constituído por 10 questões sobre preferência lateral na execução de 10 tarefas motoras realizadas

usualmente pela maioria das pessoas (ANEXO II). O voluntário deveria apresentar um índice de preferência acima de 80 pontos para a mão direita.

3.4.3.2 Tarefa de sequência motora

A tarefa foi similar a utilizada por Apolinário-Souza *et al.* (2016) e Lage *et al.* (2007), que consiste em realizar uma sequência de movimentos. Foi utilizado um microcomputador, no qual os participantes utilizaram um teclado numérico para digitar uma sequência pré-determinada 2, 8, 6 e 4 com o dedo indicador da mão direita em tempos alvos absolutos de 700, 900 e 1.100 ms, e em um tempo relativo entre as teclas (22,2% de 2 para 8, 44,4% de 8 para 6 e 33,3% de 6 para 4) para cada um dos tempos absolutos e, um *software* específico para controle da tarefa e armazenamento dos dados (FIGURA 2).

Figura 2 - Desenho esquemático das teclas digitadas durante o experimento e os tempos absolutos e relativos.



Fonte: Imagem adaptada do estudo de APOLINÁRIO-SOUZA, 2014, p. 31.

Legenda: (A) teclado numérico e a sequência definida. (B) Tempos alvos absoluto e relativo.

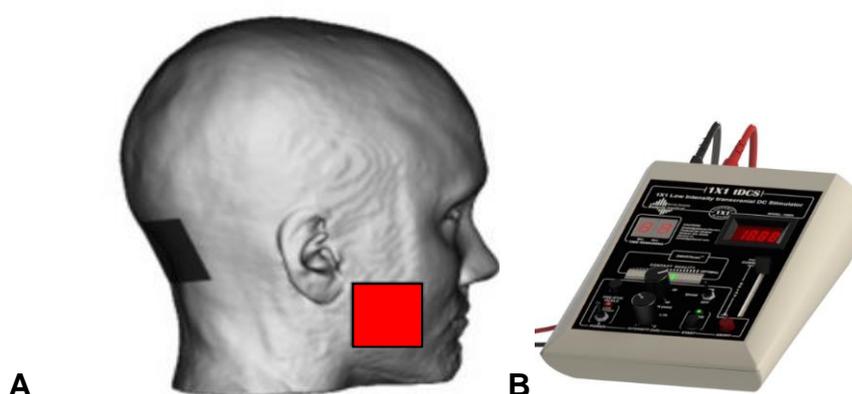
3.4.3.3 Estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC)

Com os participantes sentados confortavelmente em uma cadeira foi aplicada a ETCC. O equipamento utilizado foi o *Soterix Medical 1x1 tDCS Low Intensity Stimulator*. A estimulação foi aplicada por meio de dois eletrodos cobertos

por uma esponja (área de superfície de 25 cm² para cada um dos eletrodos). As esponjas foram embebidas em uma solução salina. A utilização da solução salina e das esponjas serve para evitar a transmissão de calor para o couro cabeludo (NITSCHKE *et al.*, 2008).

Um eletrodo catodo (negativo) foi colocado 3 cm lateral do inion sobre toda parte inferior do cerebelo direito e o eletrodo anodo (positivo) foi colocado sobre o músculo bucinador direito (FIGURA 3) (FERRUCCI; CORTESE; PRIORI, 2015). Foi utilizada uma intensidade de 2mA (densidade de corrente de 0,08 mA/cm²; carga total de 0,086 C/cm²), para garantir que os neurônios cerebelares fossem atingidos (DUN *et al.*, 2016; WESSEL *et al.*, 2016).

Figura 3 - Desenho esquemático das posições dos eletrodos para ETCC cerebelar e do aparelho utilizado.



Fonte: a) Imagem adaptada do estudo Grimaldi *et al.* (2016) p. 88; b) Imagem adaptada da internet.
 Legenda: a) Catodo (eletrodo de carga negativa na cor preta) localizado em toda a parte inferior do cerebelo. Posicionamento do anodo (eletrodo de carga positiva na cor vermelha) sobre o músculo bucinador; b) Aparelho de ETCC.

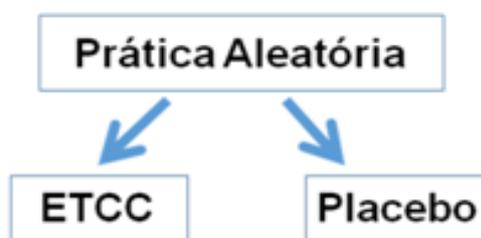
3.4.4 Delineamento experimental e procedimentos do experimento I

A coleta de dados foi realizada pela própria discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Universidade Federal de Minas Gerais de forma individualizada. O estudo foi dividido em dois dias consecutivos. No primeiro dia os voluntários assinaram o TCLE e as eventuais dúvidas ou questões sobre a pesquisa foram esclarecidas. Além disso, os participantes responderam ao Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971). Todos os participantes que realizaram a tarefa motora apresentaram índice de preferência acima de 80 pontos

para a mão direita. Logo em seguida receberam instruções verbais sobre a tarefa e as formas de *feedback* disponibilizadas pelo *software* (familiarização com a tarefa).

Assentados em frente ao microcomputador, os participantes ajustaram o monitor de vídeo e o teclado aos seus critérios. A informação sobre os tempos relativo e tempo total/absoluto foram disponibilizados a cada término de tentativa durante a aquisição na tela do microcomputador para que o aprendiz visualizasse a meta da tarefa. Os voluntários foram aleatoriamente alocados e contrabalanceados por sexo, em dois grupos experimentais da prática aleatória (PA): grupo de prática aleatória estimulado (PAE) e grupo de prática aleatória placebo (PAP) (FIGURA 4).

Figura 4- Distribuição dos grupos experimentais.



Fonte: Imagem de autoria do próprio autor.

Os voluntários do grupo PAE receberam estimulação catódica sobre o hemisfério cerebelar direito durante 20 minutos antes da prática (FERRUCCI; CORTESE; PRIORI, 2015). Já os participantes dos grupos PAP receberam ETCC por apenas 30 segundos, tempo que não interfere na modulação do córtex cerebelar (GALEA *et al.*, 2009). Após esse período de tempo o aparelho foi desligado seguindo a própria configuração do equipamento, sem que os participantes percebessem. Assim, os voluntários do grupo PAP permaneceram com todo aparato até o fim dos 20 minutos. Imediatamente após os 20 minutos de estimulação ou placebo os participantes dos grupos deram início a tarefa motora. No final da coleta, os voluntários foram questionados a respeito de qual estimulação haviam recebido (placebo ou real).

A tarefa motora foi realizada em dois dias consecutivos, sendo que no primeiro dia foi realizada a fase de aquisição. Os participantes dos dois grupos praticaram 120 tentativas da habilidade na fase de aquisição, nos três diferentes tempos totais (absolutos): 700, 900 e 1.100 ms, mantendo as mesmas proporções do tempo relativo. A quantidade total de tentativas adotada foi de acordo com estudo de Lage *et al.* (2007), sendo esse um número de tentativas capaz de atingir uma

diminuição significativa dos erros comumente encontrada em estudos utilizando essa tarefa. Cada sujeito praticou 40 tentativas em cada um dos três tempos totais de forma pseudo-aleatória, evitando apenas a repetição consecutiva dos tempos totais. Durante a fase de aquisição os participantes dos dois grupos receberam o conhecimento dos resultados (CR) após cada tentativa que foram: o percentual dos três tempos relativos e o tempo total absoluto e receberam também informação sobre o percentual do erro total relativo que se refere à soma dos três valores de erro relativo apresentados na tela do monitor (FIGURA 5).

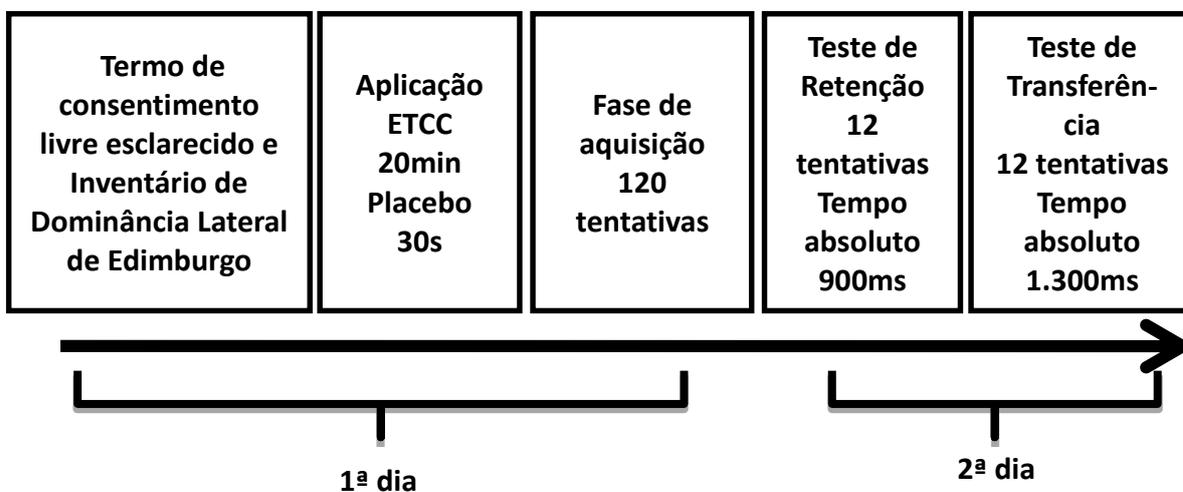
Figura 5 – Desenho esquemático da execução da tarefa. Exemplo do conhecimento dos resultados (tempo alvo de 900 ms) que os participantes receberam após cada tentativa durante a fase de aquisição (erro percentual dos três tempos relativos, tempo total absoluto e percentual do erro total relativo)

2-8	8-6	6-4	Tempo alvo	
22	44	33	900	
2-8	8-6	6-4	Tempo total	Erro relativo Total
51	34	16	1264	56

Fonte: Figura retirada do *software*.

No segundo dia foram realizados os testes de retenção e transferência. O teste de retenção foi realizado 24 horas após o fim da fase de aquisição e consistiu em 12 tentativas da tarefa em um tempo absoluto de 900 ms. O teste de transferência foi realizado imediatamente após o teste de retenção, e os indivíduos executaram 12 tentativas da tarefa no tempo absoluto de 1.300 ms. Em ambos os testes não houve o fornecimento de CR e o tempo relativo não se alterou (FIGURA 6).

Figura 6 - Descrição do delineamento e dos procedimentos na fase de aquisição e nos testes de retenção e transferência.



Fonte: Imagem de autoria do próprio autor. Legenda: ETCC – Estimulação transcraniana por corrente contínua.

3.4.5 Variáveis do experimento I

3.4.5.1 Variáveis independentes

ETCC e estrutura de prática aleatória

3.4.5.2 Variáveis dependentes motoras

Foram utilizados os erros relativo e absoluto. Esses erros fornecem informações sobre a melhoria da consistência motora (erro relativo) e capacidade de flexibilidade motora (erro absoluto) ao longo da prática e nos testes de aprendizagem.

Erro relativo (ER)

O erro relativo se refere à soma das diferenças entre a proporção de tempo determinada para alvo em relação ao tempo total e a proporção atingida para cada segmento.

$$ER = (|S1 - 22,2| + |S2 - 44,4| + |S3 - 33,3|) \times 100$$

Sendo que:

- Segmento 1 (S1): refere-se à proporção de tempo entre os toques nas teclas 2 e 8 e o tempo total;
- Segmento 2 (S2): refere-se à proporção de tempo entre os toques nas teclas 8 e 6 e o tempo total;
- Segmento 3 (S3): refere-se à proporção de tempo entre os toques nas teclas 6 e 4 e o tempo total.

As proporções dos segmentos foram calculadas pela equação: $S_n = (\text{tempo realizado no segmento} / \text{tempo total do movimento}) \times 100$.

Essa medida se relaciona ao ganho de consistência, ou seja, a formação da estrutura do movimento (dimensão relativa).

Erro absoluto (EA)

O erro absoluto corresponde à diferença entre o tempo total realizado em valor absoluto e o tempo total desejado e, possibilita que inferências sobre a capacidade de parametrização dos sujeitos sejam realizadas, ou seja, sobre a flexibilidade adquirida na aprendizagem (dimensão absoluta).

Aprendizagem *on-line*

Diferença no desempenho do início para o final da fase de aquisição. Sendo que a aprendizagem *on-line* foi dada pela diferença entre o 10º bloco e o 1º bloco da fase de aquisição.

Aprendizagem *off-line*

Compreende o período entre a fase final da aquisição e os testes de aprendizagem, e é constituído pelos processos de consolidação da memória motora dependentes do tempo. Para inferir sobre tais processos foi realizada uma análise subtraindo os valores dos testes de aprendizagem (retenção e transferência) e o último bloco da fase de aquisição. Sendo que a aprendizagem *off-line*₁ foi dada pela diferença do teste de retenção e o 10º bloco. Aprendizagem *off-line*₂ foi dada pela diferença do teste de transferência e o 10º bloco.

3.4.6 Análise de dados do experimento I

Foram realizadas análises descritivas dos dados em média intrasujeitos e intersujeitos para todas as variáveis dependentes. Os dados foram organizados em 10 blocos de 12 tentativas na fase de aquisição e um bloco de 12 tentativas para os testes de retenção e transferência. Análise da normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk, os pressupostos de esfericidade pelo teste de *Mauchlye* e de homocedasticidade pelo teste de *Levene*. Para análise inferencial foram utilizados ANOVA *two-way* com medidas repetidas no segundo fator para a fase de aquisição (2 grupos x 10 blocos). Para os testes de retenção e transferência foi utilizado teste *t* independente. Para as análises *post-hoc* foi utilizado o teste de Tukey, o qual indicou quais as diferenças existiam entre os grupos. O valor de significância adotado foi de $p \leq 0,05$. Em relação às aprendizagens *on-line* e *off-line* foi realizado um teste *t* independente para cada. A organização dos dados e as análises foram realizadas utilizando o *software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* versão 20.0.

3.4.7 Resultados do experimento I

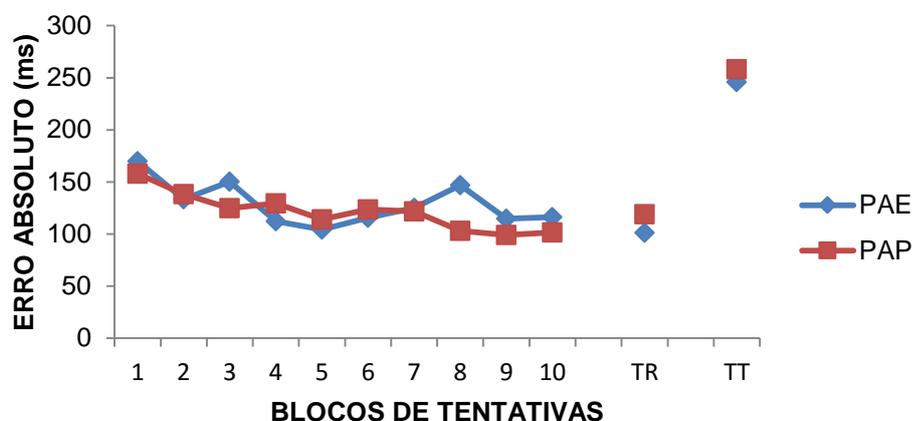
Variável de controle sobre a percepção da estimulação transcraniana

Oitenta e seis por cento dos voluntários do grupo de PAP perceberam ter recebido estimulação real e no grupo de PAE, setenta e três por cento. Pode-se concluir que a estimulação placebo foi satisfatória não permitindo que os voluntários identificassem a qual grupo pertenciam.

Erro Absoluto (EA)

A análise descritiva dos dados indicou que os grupos apresentaram melhora no desempenho do início para o final da fase de aquisição que foi caracterizado pela redução do EA (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 - Médias do erro absoluto dos grupos experimentais PA na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



Fase de aquisição

A ANOVA *Two-way* não detectou diferença significativa na comparação entre os grupos [$F_{(1,28)} = 0,606$, $p = 0,443$, $\eta^2 = 0,021$]. Houve diferença significativa na comparação entre blocos [$F_{(1,9)} = 6,430$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,187$]. O *post-hoc* de Tukey indicou diferença entre os seguintes blocos:

- O 1º bloco com maior número de erros que os demais blocos ($p < 0,05$);
- O 2º e 3º bloco com maior número de erros que o 5º, 6º, 9º e 10º bloco ($p < 0,05$).

Não foi encontrada uma interação significativa entre grupos e blocos [$F_{(1,28)} = 0,606$, $p = 0,443$, $\eta^2 = 0,21$].

Testes de aprendizagem

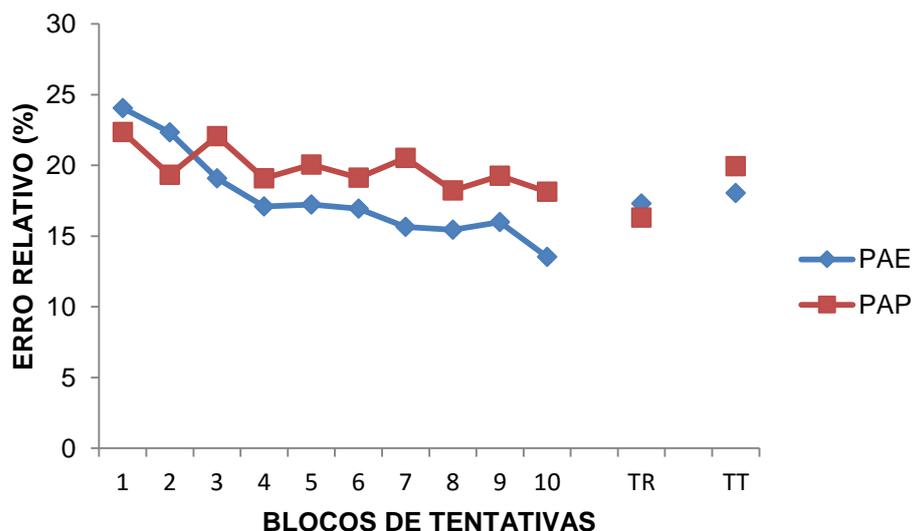
Não foi encontrada diferença significativa entre os grupos nos testes de retenção [$t_{(28)} = -0,639$, $p = 0,528$, $r = 0,014$] e transferência [$t_{(28)} = -0,225$, $p = 0,824$, $r = 0,001$].

Erro Relativo (ER)

A análise descritiva dos dados dos grupos indicou um melhor desempenho do início para o final da fase de aquisição dos grupos, caracterizado pela redução do

ER. De forma geral, o grupo PAE apresentou melhor desempenho na fase de aquisição quando comparado ao grupo PAP. Já em relação aos testes de retenção e transferência os grupos foram similares (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 - Médias do erro relativo dos grupos experimentais da PA na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



Fase de aquisição

A ANOVA *Two-way* não detectou diferença significativa na comparação entre os grupos [$F_{(1,28)} = 1,735$, $p = 0,199$, $\eta^2 = 0,058$]. Houve diferença significativa na comparação entre blocos [$F_{(1,9)} = 12,910$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,316$]. Foi detectada diferença entre os seguintes blocos:

- Os 1º, 2º e 3º blocos com maior número de erros que os demais blocos ($p < 0,05$);
- Os 4º, 5º, 6º, 7º e 9º blocos com maior número de erros que o 10º bloco ($p < 0,05$).

Foi encontrada uma interação significativa entre grupos e blocos [$F_{(1,28)} = 4,394$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,136$]. O *post-hoc de Tukey* indicou diferença entre os seguintes blocos:

- O grupo PAE apresentou maior número de erros em comparação ao grupo PAP no 9º bloco ($p = 0,007$).

Testes de aprendizagem

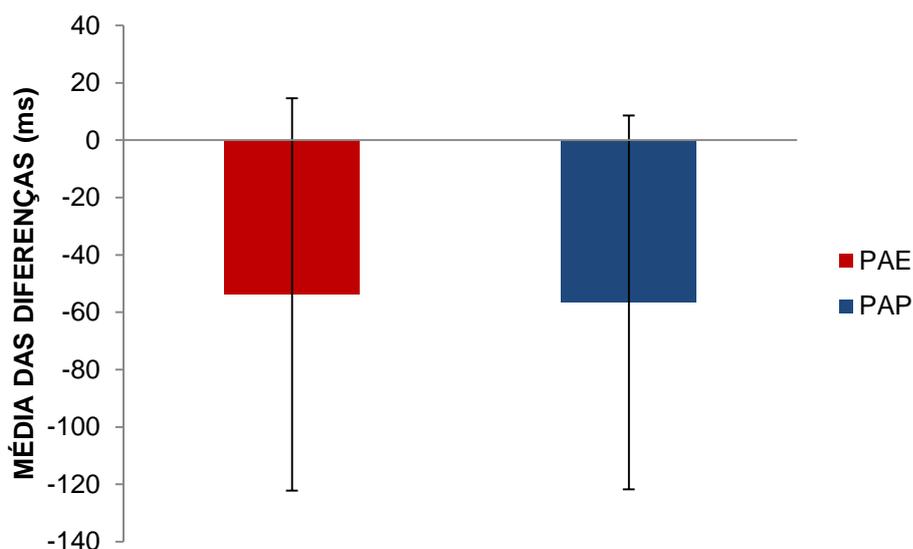
Não foi encontrada diferença significativa entre os grupos nos testes de retenção [$t_{(28)} = 0,358$, $p = 0,723$, $r = 0,004$] e transferência [$t_{(28)} = -0,632$, $p = 0,533$, $r = 0,014$].

Aprendizagem *on-line*

Erro Absoluto

A análise inferencial não indicou diferença significativa entre os grupos [$t_{(28)} = 0,115$, $p = 0,909$, $r = 0,001$] (GRÁFICO 3).

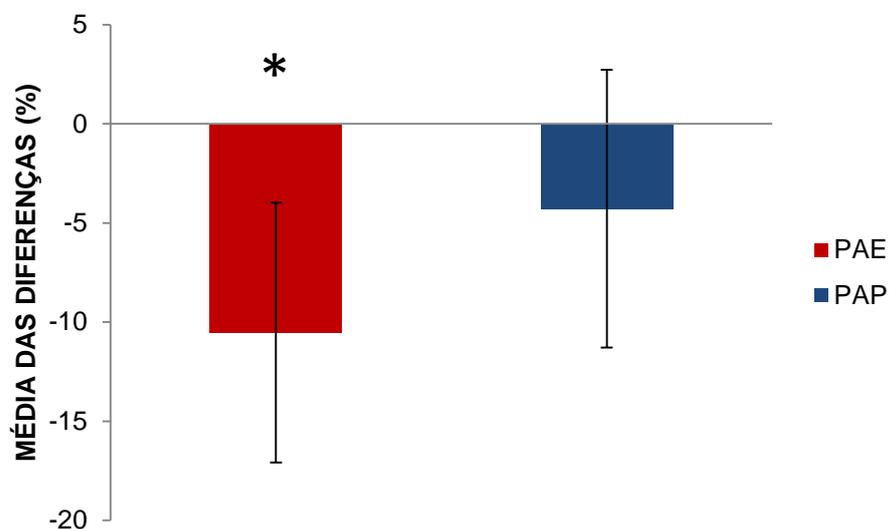
Gráfico 3 – Aprendizagem *on-line* da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PA.



Erro Relativo

A análise inferencial indicou diferença significativa entre os grupos [$t_{(28)} = -3,982$, $p = 0,001$, $r = 0,36$] (GRÁFICO 4). O grupo PAE apresentou melhor aprendizagem *on-line* do que o grupo PAP.

Gráfico 4 – Aprendizagem *on-line* da dimensão relativa dos grupos experimentais da PA.



Aprendizagem *off-line*

Erro absoluto

A análise inferencial não indicou diferença significativa entre os grupos para aprendizagem *off-line*1 [$t_{(28)} = -1,055$, $p = 0,300$, $r = 0,038$] (GRÁFICO 5) e para aprendizagem *off-line*2 [$t_{(28)} = -0,624$, $p = 0,644$, $r = 0,013$] (GRÁFICO 6).

Gráfico 5 – Aprendizagem *off-line* 1 da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PA.

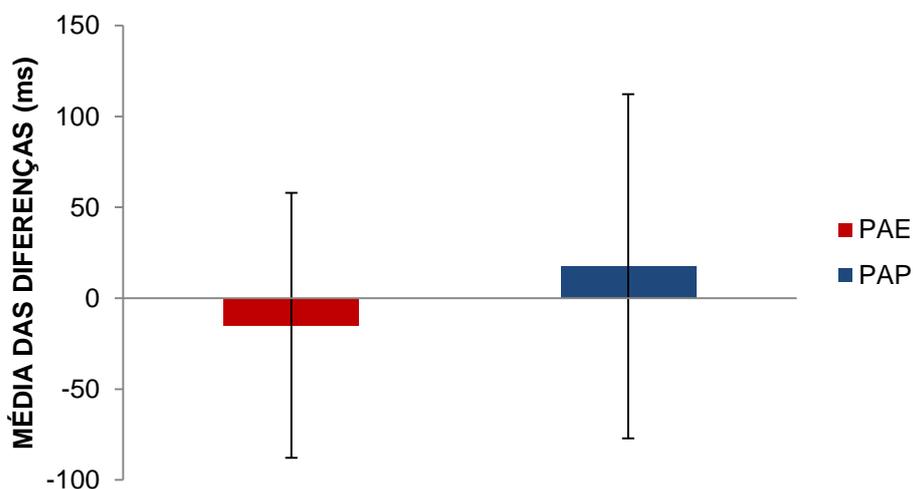
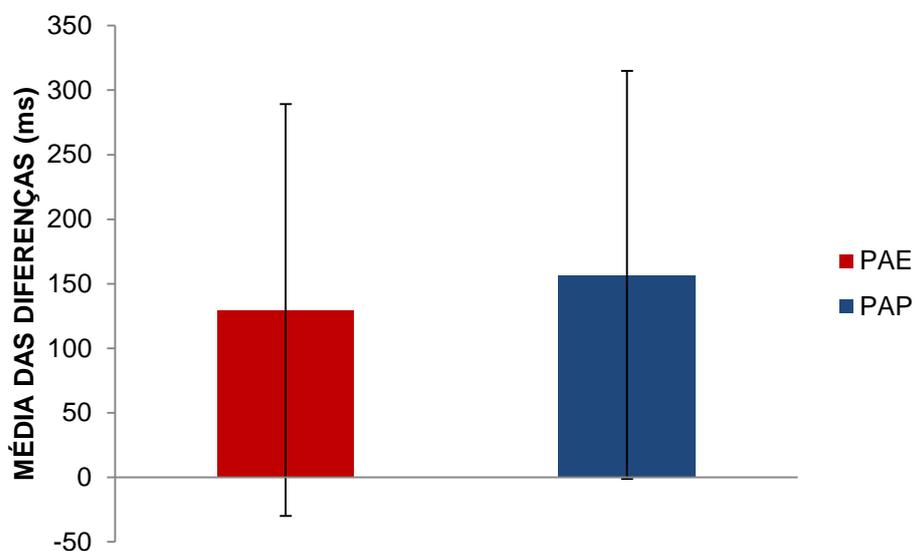


Gráfico 6 – Aprendizagem off-line 2 da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PA.



Erro Relativo

A análise inferencial indicou diferença significativa entre os grupos para aprendizagem *off-line* 1 [$t_{(28)} = 2,793$, $p = 0,009$, $r = 0,21$]. O grupo PAP apresentou melhor aprendizagem *off-line* 1 do que o grupo PAE (GRÁFICO 7). Não foi encontrada diferença significativa entre os grupos para aprendizagem *off-line* 2 [$t_{(28)} = 1,002$, $p = 0,329$, $r = 0,03$] (GRÁFICO 8).

Gráfico 7 – Aprendizagem *off-line* 1 da dimensão relativa dos grupos experimentais da PA.

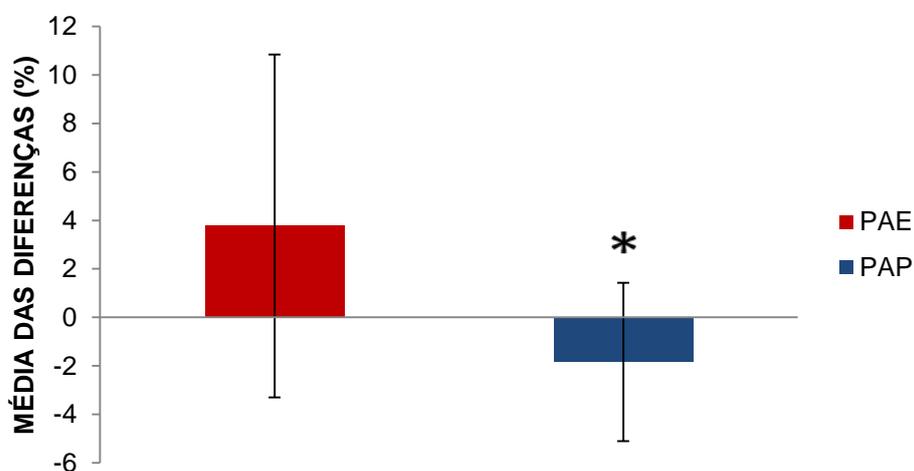
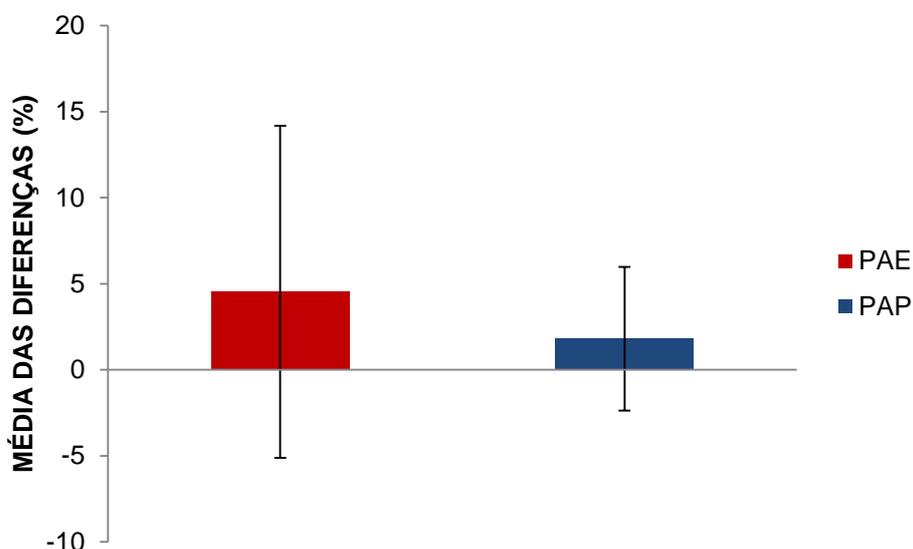


Gráfico 8 – Aprendizagem *off-line* 2 da dimensão relativa de todos os grupos experimentais da PA.



3.4.8 Discussão do experimento I

O presente experimento teve como objetivo geral investigar a participação do cerebelo na prática aleatória durante as aprendizagens das dimensões absoluta e relativa da habilidade motora. A hipótese inicial levantada foi de que a aprendizagem da dimensão absoluta seria prejudicada durante a fase de aquisição e testes de retenção e de transferência com a inibição cerebelar e a dimensão relativa não seria afetada. Os resultados das análises dos grupos confirmam parcialmente tal hipótese, pois a inibição cerebelar não gerou prejuízos nas dimensões absoluta e relativa da habilidade. A segunda hipótese de que a aprendizagem da dimensão absoluta na prática aleatória seria prejudicada com a inibição cerebelar durante a aprendizagem *on-line* e a dimensão relativa não seria afetada, não foi confirmada. Não foi detectada diferença entre os grupos que receberam a estimulação catódica e placebo para a aprendizagem da dimensão absoluta. Entretanto, em relação à aprendizagem da dimensão relativa, contrariando a hipótese proposta, foi observado que o grupo que recebeu a estimulação catódica apresentou melhor aprendizagem *on-line* do que o grupo placebo. A terceira hipótese de que a aprendizagem da dimensão absoluta na prática aleatória seria prejudicada com a inibição cerebelar durante a aprendizagem *off-line* e a dimensão relativa não seria afetada também não foi confirmada. Não houve diferença entre os grupos no que se refere à aprendizagem da dimensão absoluta. No

entanto, diferentemente do esperado em relação à aprendizagem da dimensão relativa os aprendizes do grupo inibido apresentaram pior aprendizagem *off-line* 1 do que o grupo placebo, que foi observado pelo aumento do erro relativo nesse grupo.

As análises dos resultados da estimulação catódica do cerebelo durante a prática aleatória mostram que para as dimensões absoluta e relativa da aprendizagem de uma tarefa de sequência motora, a estimulação não gerou mudança diferenciada entre os grupos no desempenho. Foi observada aprendizagem a partir das análises dos blocos, mostrando que ambos os grupos mudaram o comportamento ao longo da prática. Entretanto, não houve diferença entre os grupos. A estimulação catódica cerebelar não alterou o desempenho do grupo que recebeu a estimulação em comparação com o grupo placebo. Uma possível explicação para tal achado pode ser que a inibição cerebelar pode ter levado a um efeito compensatório de outras áreas cerebrais e circuitos condizentes com a aprendizagem motora, como o córtex pré-frontal dorsolateral e o circuito estriatal. Possivelmente, quando o cerebelo é inibido, essa inibição afeta também o circuito córtico-cerebelar, e com isso o circuito córtico-estriatal passa a ter uma maior participação durante a realização da tarefa. Gheysen *et al.* (2017) relataram que a inibição do hemisfério cerebelar direito facilitou o aprendizado de uma tarefa de sequência de dígitos. Os autores encontraram que tal inibição foi associada com a melhoria das atividades de outros circuitos motores tais como o circuito córtico-estriatal. Mizuguch, Katayama e Kanousue (2017) corroboram com essa ideia que os efeitos positivos da ETCC catódica aumentam a atividade em outras áreas motoras.

Lin *et al.* (2013) observaram uma maior conectividade funcional entre o núcleo caudado (uma estrutura do estriado) e CPFDL (áreas envolvidas no circuito córtico-estriatal) durante a prática variada. Tal fato é consistente com a ideia de que a aprendizagem motora está associada com o aumento da conectividade funcional entre circuitos córtico-subcorticais. O núcleo caudado projeta para áreas motoras, incluindo M1 e áreas pré-motoras (CPFDL), e essas conexões são consideradas importantes para a aquisição e coordenação de sequências motoras (LIN *et al.*, 2013). Como a inibição cerebelar pode ter facilitado a ativação do circuito córtico-estriatal durante a prática aleatória de uma tarefa de sequência motora, o CPFDL pode ter sido também ativado por causa da sua conectividade com o núcleo caudado e participado mais do processo de aprendizagem motora. Estudos têm mostrado evidências neurais e comportamentais que a memória de trabalho desempenha um papel importante nos

estágios iniciais de uma tarefa motora durante a aprendizagem motora. Diante disso, os autores propõem que a informação do erro seja atualizada na memória de trabalho para modificar o plano motor de acordo com ações subsequentes (DIAMOND, 2000; SEIDLER; BO; ANGUERA, 2012).

Essa hipótese de que a inibição cerebelar gera uma compensação de outro circuito cerebral contraria a hipótese inicial proposta no estudo. Essa proposta inicial partia do princípio de que a estimulação individual de uma área permitiria a verificação do papel específico dessa área no processo de aprendizagem. Mas, como discutido, essa estratégia parece não ser adequada para o cerebelo e, possivelmente, também para outras áreas cerebrais que são terciárias ou secundárias. A estimulação de áreas primárias, como o M1, parece possibilitar a investigação do papel específico da área em determinadas funções (APOLINÁRIO-SOUZA *et al.*, 2016). Isso se deve à posição que a área se encontra e exerce no circuito. No caso do M1, trata-se de uma área de saída dos comandos motores, fruto de vários estágios de processamento em áreas secundárias e terciárias. O M1 constitui-se como principal fonte de projeções dos neurônios motores na medula espinhal (LENT, 2010). O M1 projeta axônios à medula espinhal para fazer sinapses com interneurônios ou diretamente com os neurônios motores, conectando-o com os músculos (APOLINÁRIO-SOUZA, 2014; BUYS *et al.*, 1986; MCKIERNAN *et al.*, 1998). Nessa perspectiva, a expectativa de análise da função do cerebelo via estimulação catódica, pode ser não tão adequada, pois essa estimulação desencadeia compensações que podem mascarar os efeitos daquela área. É possível que a lógica mais adequada de condução das ideias é a de efeito em circuitos e não em áreas exclusivas.

Outra possível explicação que possa ter influenciado para não diferença entre os grupos pode ser devido à hipótese da lateralização funcional, na qual algumas funções neurais ou processos cognitivos são especializados para um lado do cérebro ou para o outro. Estudos em aprendizagem motora relatam mudanças consistentes dentro de ambos os hemisférios cerebelares, qualquer que seja a mão usada para executar a tarefa particularmente durante os estágios iniciais de aprendizado (HARDWICK *et al.*, 2013; LOHSE *et al.*, 2014). Autores têm sugerido que partes do cerebelo direito podem estar especificamente envolvidas no processo de aprendizagem da sequência da mão esquerda (GHEYSEN *et al.*, 2017; ORBAN *et al.*, 2010). Desta forma, esses autores apoiam essa visão da existência das funções lateralizadas em algumas partes no cerebelo.

Por outro lado, apesar dos grupos não apresentarem diferenças em relação à aprendizagem das dimensões absoluta e relativa, ao analisar os resultados da aprendizagem *on-line* foi verificado algum grau de mudança diferenciada entre os grupos na dimensão relativa. Essa mudança foi significativa no grupo que recebeu a estimulação catódica, contrariando as expectativas. A inibição do cerebelo levou a uma melhor aprendizagem *on-line* da dimensão relativa. Cabe aqui lembrar que o conceito adotado de aprendizagem *on-line* refere-se a uma análise do grau de mudança apresentada quando se analisa o fim com o início da prática. Esse achado em relação ao grau de mudança durante a prática ajuda a confirmar a explicação realizada acima. É possível que, com a inibição do cerebelo, tenha havido um efeito de compensação de outras áreas participantes da aprendizagem motora (GHEYSEN *et al.*, 2017; MIZUGUCH; KATAYAMA; KANOUSUE, 2017) e, em especial, de áreas associadas à aprendizagem da dimensão relativa da tarefa. A aprendizagem da dimensão relativa da habilidade, caracterizada por reproduzir um padrão temporal bem definido entre os componentes do movimento, está associada ao ganho de consistência (LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998). Assim, uma maior participação dessas áreas pode ter levado a uma diminuição do erro relativo do início para o final da prática, levando a uma maior aprendizagem *on-line*. Tal achado pode ter ocorrido pela inibição cerebelar que intensificou a participação do circuito córtico-estriatal (GHEYSEN *et al.*, 2017) favorecendo a aprendizagem da estrutura do movimento (dimensão relativa) (LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998).

Entretanto, a maior magnitude do nível de mudança ocorrida durante a aprendizagem *on-line* em relação à dimensão relativa pode ter levado a um menor do fortalecimento dos processos de memória, resultando em um processo de consolidação motora prejudicado. Esse achado foi observado pela maior mudança do último bloco da aquisição para retenção, observado na aprendizagem *off-line* 1 da dimensão relativa dos aprendizes que tiveram o cerebelo inibido. Esse resultado denota um pior processo de consolidação da memória motora. Provavelmente, a facilitação do desempenho que a estimulação catódica cerebelar proporcionou não favoreceu a consolidação da habilidade, visto que o cerebelo possa ter um papel na consolidação de uma tarefa de sequência motora.

Uma possível explicação para tal resultado pode ser que a aquisição e a retenção demandam distintos processos e substratos neurais (CANTARERO *et al.*, 2015). Estudos têm proposto que o cerebelo desempenha um papel importante

durante a aquisição de tarefas de adaptação visuomotora sem influenciar a retenção (CANTARERO *et al.*, 2015; GALEA *et al.*, 2011). Outros estudos têm relatado a contribuição do cerebelo também na retenção de uma habilidade motora. O estudo de Herzfeld *et al.* (2014), por exemplo, relatou que a formação da memória motora parece ser dependente da integridade do cerebelo e do córtex motor primário. Os resultados do estudo supracitado apontam para o cerebelo como uma das estruturas que desempenham um papel crítico na aquisição e retenção dessa memória motora, principalmente em tarefas de adaptação motora. Já o estudo de Steele e Penhume (2010) sugeriram a possibilidade de estruturas como o cerebelo contribuir para o processo de consolidação de habilidades sequenciais. Wessel *et al.* (2014) não encontraram efeitos da ETCC cerebelar durante a aquisição de uma habilidade motora temporal, entretanto foi observado melhoras na aprendizagem *off-line*, provavelmente mediada por mecanismos de consolidação motora. Portanto, foram evidenciadas melhoras na retenção de uma habilidade motora.

Os achados descritos acima dão suporte para os resultados encontrados nesse estudo. Entretanto, esses achados inconsistentes dos estudos em relação à participação do cerebelo durante a aquisição e retenção de uma habilidade motora podem ser explicados pelas distintas tarefas utilizadas nos experimentos (adaptação e sequência motora). Além disso, os desenhos experimentais também são diferentes, por exemplo, como o momento em que o teste de retenção foi avaliado. No estudo de Cantarero *et al.* (2015) o teste de retenção foi realizado uma semana após a aquisição, já no estudo de Wessel *et al.* (2015) os sujeitos executaram dois testes de retenção em momentos distintos, 90 minutos e 24 horas após a aquisição. No presente estudo o teste de retenção foi realizado um dia após a aquisição, como nos estudos de Herzfeld *et al.* (2014) e Steele e Penhume (2010). Esses autores sugerem que o cerebelo apresenta um papel importante para a retenção da memória motora. Diferentemente dos resultados em relação à dimensão relativa, não houve efeito da inibição cerebelar para a aprendizagem *on-line* e *off-line* da dimensão absoluta.

De forma geral, a ETCC catódica cerebelar não foi capaz de interferir na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa da prática aleatória, mas foi evidenciado que essa estimulação alterou o grau de mudanças ocorridas durante essa prática em relação a dimensão relativa, evidenciado pela aprendizagem *on-line*.

4 EXPERIMENTO II

4.1 Objetivo geral

Investigar o papel do cerebelo na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa da prática constante na aprendizagem de uma habilidade motora.

4.2 Objetivos específicos

Investigar o papel do cerebelo na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática constante na fase de aquisição, e nos testes de retenção e de transferência da habilidade.

Investigar o papel do cerebelo na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática constante durante a aprendizagem *on-line* da habilidade.

Investigar o papel do cerebelo na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática constante durante a aprendizagem *off-line* da habilidade.

4.3 Hipóteses do experimento II

H₁: A aprendizagem das dimensões absoluta e relativa não será prejudicada durante a fase de aquisição, dos testes de retenção e de transferência na prática constante com a inibição cerebelar.

H₂: A aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática constante não será prejudicada com a inibição cerebelar durante a aprendizagem *on-line*.

H₃: A aprendizagem das dimensões absoluta e relativa na prática constante não será prejudicada com a inibição cerebelar durante a aprendizagem *off-line*.

4.4 Materiais e método do experimento II

4.4.1 Amostra

A amostra do estudo foi composta por 30 universitários de ambos os sexos (15 mulheres), destros, com idade entre 18 e 40 anos (média de $24,23 \pm 5,56$ anos). Os critérios de inclusão foram similares ao do experimento I.

4.4.2 Cuidados éticos

Foram os mesmos adotados no experimento I.

4.4.3 Instrumentos e tarefa motora

Instrumentos e a tarefa motora foram os mesmos utilizados no experimento I. Entretanto, a tarefa foi realizada em apenas um tempo absoluto de 900ms durante a fase de aquisição, mas com o mesmo tempo relativo entre as teclas do experimento I (22,2% de 2 para 8, 44,4% de 8 para 6 e 33,3% de 6 para 4).

4.4.4 Delineamentos e procedimentos

Os delineamentos e procedimentos foram o mesmo utilizado no experimento I, diferindo apenas em relação à distribuição dos grupos experimentais. Os voluntários foram aleatoriamente alocados e contrabalanceados por sexo, em dois grupos experimentais: grupo de prática constante estimulado (PCE) e grupo de prática constante placebo (PCP) (FIGURA7). Os grupos de prática constante (PC), PCE e PCP executaram a mesma quantidade de tentativas do experimento I (120 tentativas) no tempo total de 900 ms.

Figura 7- Distribuição dos grupos experimentais.



Fonte: Imagem de autoria do próprio autor.

4.4.5 Variáveis do experimento II

4.4.5.1 Variáveis independentes

ETCC e estrutura de prática constante.

4.4.5.2 Variáveis dependentes motoras

Foram às mesmas analisadas no experimento I (erros do tempo relativo e do absoluto).

4.4.6 Análise de dados

Foram as mesmas analisadas no experimento I.

4.4.7 Resultados do experimento II

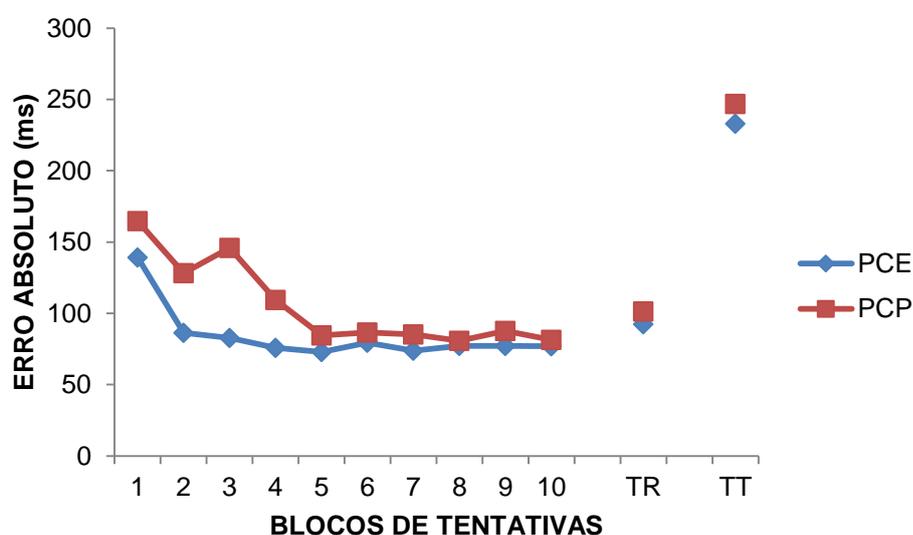
Variável de controle

A percepção dos voluntários em relação a qual estimulação eles receberam foram iguais nos dois grupos (noventa e três por cento dos voluntários acreditaram ter recebido estimulação real). Assim, pode-se concluir que a estimulação placebo foi satisfatória não permitindo que os voluntários identificassem qual grupo pertenciam.

Erro Absoluto (EA)

A análise descritiva dos dados indicou que os grupos apresentaram melhora no desempenho do início para o final da fase de aquisição que foi caracterizado pela redução do EA (GRÁFICO 9).

Gráfico 9 - Médias do erro absoluto dos grupos experimentais PC na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



Fase de aquisição

A ANOVA *Two-way* detectou diferença significativa na comparação entre os grupos [$F_{(1,28)} = 4,187$, $p = 0,050$, $\eta^2 = 0,130$]. O grupo PCP apresentou maiores erros em relação ao grupo PCE. Houve diferença significativa na comparação entre blocos [$F_{(1,9)} = 8,745$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,238$]. Foi detectada diferença entre os seguintes blocos:

- O 1º bloco com maior número de erros que os demais blocos ($p < 0,05$);
- O 2º bloco com maior número de erros que o 5º, 7º, 8º e 10º blocos ($p < 0,05$);
- O 3º bloco com maior número de erros que os demais blocos ($p < 0,05$);
- O 4º bloco com maior número de erros que os demais blocos ($p < 0,05$);

Não foi encontrada uma interação significativa entre grupos e blocos [$F_{(1,9)} = 1,485$, $p = 0,154$, $\eta^2 = 0,050$].

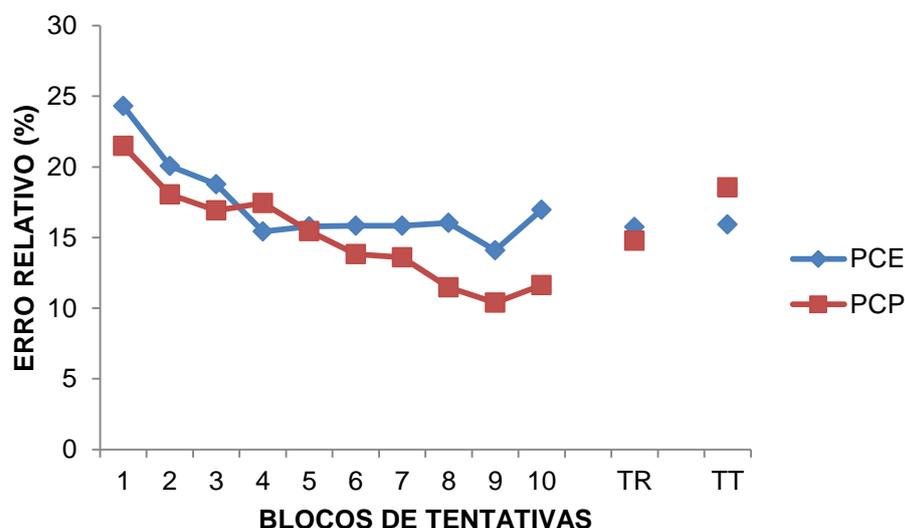
Testes de aprendizagem

Não foi encontrada diferença significativa entre os grupos nos testes de retenção [$t_{(28)} = -0,387$, $p = 0,702$, $r = 0,005$] e transferência [$t_{(28)} = -0,250$, $p = 0,805$, $r = 0,022$].

Erro Relativo

A análise descritiva dos dados indicou um melhor desempenho do início para o final da fase de aquisição dos dois grupos, caracterizado pela redução do ER. De forma geral, o grupo PCP apresentou melhor desempenho na fase de aquisição quando comparado ao PCE. Quanto aos testes de retenção e transferência os grupos foram similares (GRÁFICO 10).

Gráfico 10 - Médias do erro relativo dos grupos experimentais PC na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



Fase de aquisição

A ANOVA *Two-way* não detectou diferença significativa na comparação entre os grupos [$F_{(1,28)} = 1,977$, $p = 0,171$, $\eta^2 = 0,066$]. Houve diferença significativa na comparação entre blocos [$F_{(1,9)} = 18,633$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,400$]. Foi detectada diferença entre os seguintes blocos:

- O 1º, 2º e 3º blocos com maior número de erros que os demais blocos ($p < 0,05$);
- O 4º bloco com maior número de erros que o 6º, 7º, 8º e 9º 10º blocos ($p < 0,05$);
- O 5º, 6º e 7º blocos com o maior número de erros que o 9º bloco;
- O 10º bloco com o maior número de erros que o 9º bloco.

Foi encontrada uma interação significativa entre grupos e blocos [$F_{(1,28)} = 2,151$, $p = 0,026$, $\eta^2 = 0,071$]. O *post-hoc* de Tukey indicou diferença entre os seguintes blocos:

- O grupo PCE apresentou maior número de erros em comparação ao grupo PCP no 10º bloco ($p = 0,022$).

Testes de aprendizagem

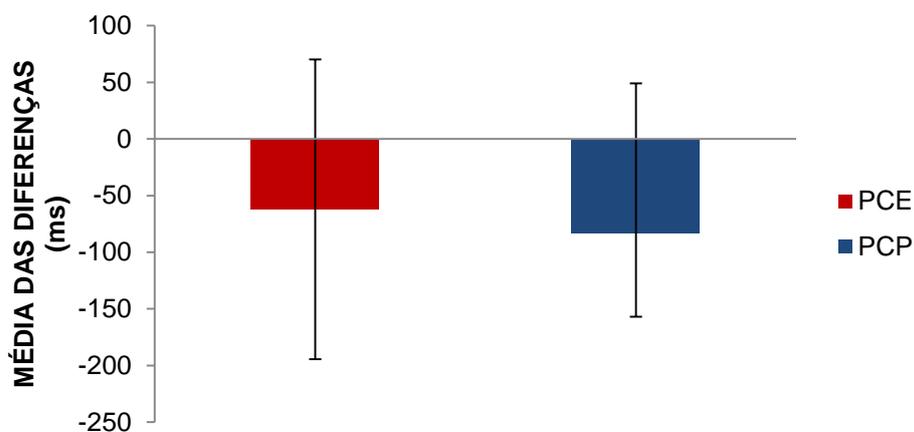
Não foi encontrada diferença significativa entre os grupos nos testes de retenção [$t_{(28)} = -1,729$, $p = 0,095$, $r = 0,096$] e transferência [$t_{(28)} = 1,047$, $p = 0,304$, $r = 0,037$].

Aprendizagem *on-line*

Erro Absoluto

A análise inferencial não indicou diferença significativa entre os grupos [$t_{(28)} = 0,542$, $p = 0,592$, $r = 0,010$] (GRÁFICO 11).

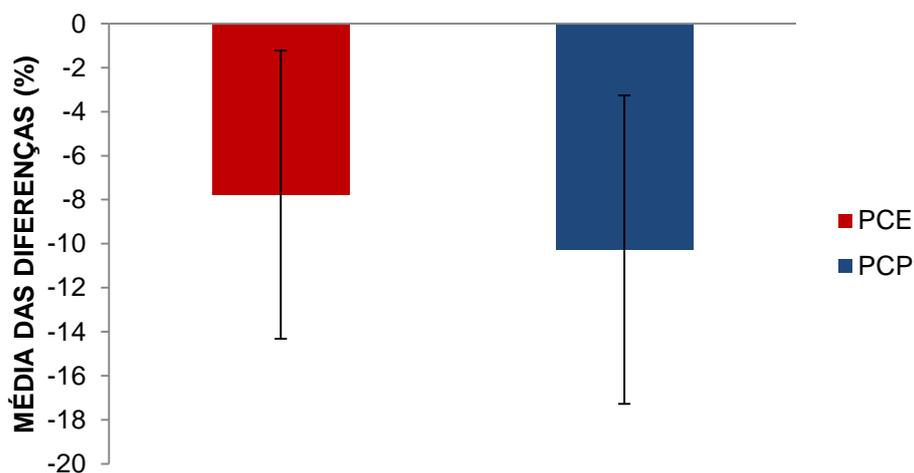
Gráfico 11 – Aprendizagem *on-line* da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PC.



Erro Relativo

A análise inferencial não indicou diferença significativa entre os grupos para aprendizagem *on-line* [$t_{(28)} = 1,009$, $p = 0,321$, $r = 0,035$] (GRÁFICO 12).

Gráfico 12 – Aprendizagem *on-line* da dimensão relativa dos grupos experimentais da PC.



Aprendizagem *off-line*

Erro absoluto

A análise inferencial não indicou diferença significativa entre os grupos para aprendizagem *off-line* 1 [$t_{(28)} = -0,093$, $p = 0,926$, $r = 0,001$] (GRÁFICO 13) e para aprendizagem *off-line* 2 [$t_{(28)} = -0,177$, $p = 0,861$, $r = 0,001$] (GRÁFICO 14).

Gráfico 13 – Aprendizagem *off-line* 1 da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PC.

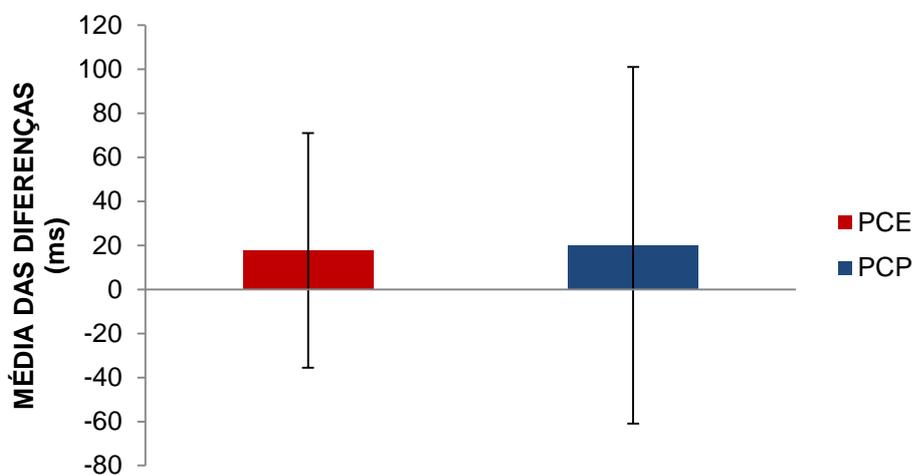
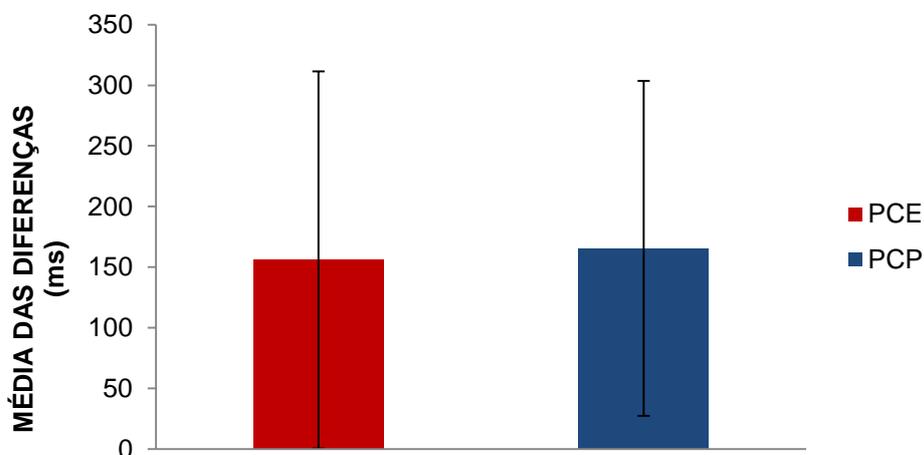


Gráfico 14 – Aprendizagem *off-line* 2 da dimensão absoluta dos grupos experimentais da PC.



Erro relativo

A análise inferencial indicou diferença significativa entre os grupos para a aprendizagem *off-line* 1 [$t_{(28)} = -2,302$, $p = 0,029$, $r = 0,159$], sendo que o grupo PCE apresentou melhor aprendizagem *off-line* 1 do que o grupo PCP (GRÁFICO 15). A aprendizagem *off-line* 2 também apresentou diferença significativa [$t_{(28)} = -3,534$, $p = 0,001$, $r = 0,308$], sendo que o grupo PCE apresentou melhor aprendizagem *off-line* 2 do que o grupo PCP (GRÁFICO 16).

Gráfico 15 – Aprendizagem *off-line* 1 da dimensão relativa dos grupos experimentais da PC.

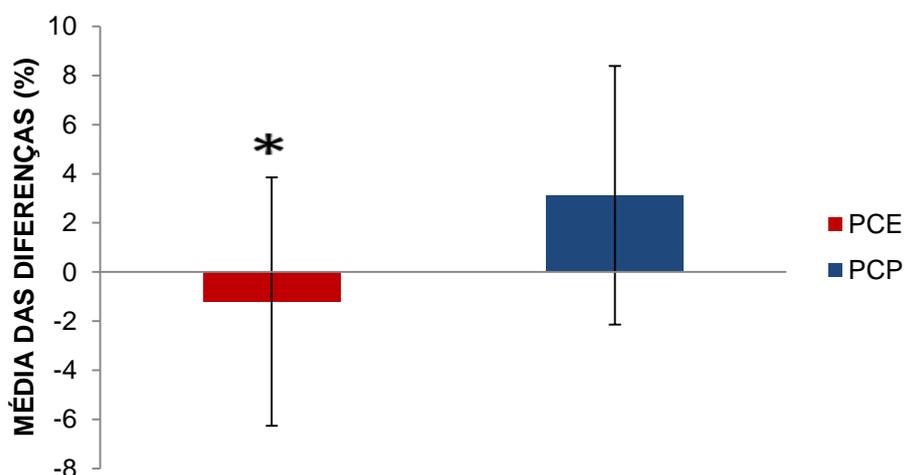
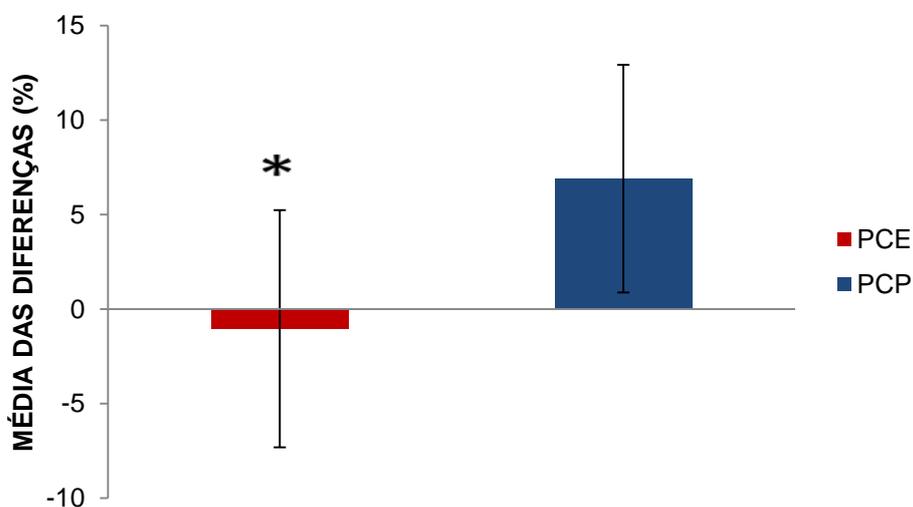


Gráfico 16 – Aprendizagem *off-line* 2 da dimensão relativa dos grupos experimentais da PC.



4.4.8 Discussão do experimento II

O presente experimento teve como objetivo geral investigar a participação do cerebelo na prática constante durante a aprendizagem das dimensões absoluta e relativa de uma habilidade motora. A hipótese inicial foi de que a inibição cerebelar não afetaria a aprendizagem das dimensões absoluta e relativa da prática constante durante a fase de aquisição e nos testes de retenção e de transferência, foi parcialmente confirmada. Os resultados indicaram que, em relação a aprendizagem da dimensão absoluta e relativa, a inibição cerebelar não foi capaz de interferir na aprendizagem da tarefa de sequência motora, mas interferiu no desempenho durante a fase de aquisição. Foi também levantada a hipótese de que a aprendizagem das dimensões absoluta e relativa da prática constante não seria prejudicada com a inibição cerebelar durante as aprendizagens *on-line* e *off-line*. De forma geral, os resultados do presente estudo confirmam parcialmente essas hipóteses propostas. A inibição do cerebelo não interferiu nas aprendizagens *on-line* e *off-line* da dimensão absoluta e também não alterou a aprendizagem *on-line* da dimensão relativa. Já a aprendizagem *off-line* da dimensão relativa do grupo estimulado apresentou melhor aprendizagens *off-line* 1 e 2 do que o grupo placebo.

As análises dos grupos em relação à estimulação catódica cerebelar durante a prática constante suportam parcialmente a hipótese de que a aprendizagem das dimensões absoluta e relativa não seria prejudicada durante a fase de aquisição e nos testes de retenção e transferência com a inibição cerebelar. No que diz respeito aos testes de retenção e transferência, a inibição cerebelar não foi capaz de alterar a aprendizagem do grupo que recebeu a estimulação catódica. Uma possível explicação para tal achado é que a tarefa realizada nesse estudo foi praticada de forma constante. A execução de uma única habilidade permite que o processamento dos erros cometidos na tentativa anterior influencie o planejamento da tentativa seguinte e assim, gerando maior consistência do desempenho (LAGE *et al.*, 2007; LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998). Desta forma, a inibição cerebelar não prejudicou a aprendizagem das dimensões absoluta e relativa durante a prática constante de uma tarefa de sequência motora, visto que o cerebelo tem uma maior participação em tarefas que requerem flexibilidade. Tal como, em tarefas de adaptação motora no qual o circuito córtico-cerebelar, permanece ativo durante todo o processo de aprendizagem motora. A aprendizagem de tarefas de adaptação motora está

associada à formação de circuito córtico-cerebelar (DOYON; BENALI, 2005; DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003). Doyon, Penhune e Ungerleider (2003) relatam que o circuito neural responsável pela aprendizagem de uma tarefa de sequência motora é o córtico-estriatal e, que a participação do circuito córtico-cerebelar durante essa tarefa é mais evidenciado no início da aprendizagem. Mas, como a tarefa de sequência motora utilizada no presente estudo foi realizada de forma repetitiva, havendo, portanto, pouca necessidade de correção de erros durante a prática, sugere-se que o cerebelo tem pouca participação mesmo no início da prática constante.

É importante ressaltar que apesar de não haver diferenças na aprendizagem entre os grupos evidenciados pelos testes de aprendizagem, as análises dos resultados mostram que a inibição cerebelar foi benéfica para a aprendizagem da dimensão absoluta na fase de aquisição o que não era esperado. Os resultados dos estudos mostraram que a estabilidade tentativa a tentativa produzida por essa condição de prática constante tem um impacto maior na aprendizagem da dimensão temporal relativa da tarefa do que a dimensão absoluta (LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA *et al.*, 1998). Em outras palavras, a prática constante promove a aprendizagem da estrutura do movimento, mas não favorece o aprimoramento da estimativa de parâmetros (LAGE *et al.*, 2017). A prática constante utilizada nesse experimento gerou consistência que foi caracterizada pela aprendizagem das dimensões absoluta e relativa (caracterizadas pelo tempo absoluto e relativo constante). Inibir o cerebelo pode ter facilitado, outras áreas cerebrais responsáveis também pela aprendizagem motora, como, áreas relacionadas com a aprendizagem da dimensão relativa da habilidade, conferindo ao aprendiz uma maior consistência do desempenho como observado no experimento I. Uma explicação para tal achado é que quando o cerebelo é inibido, essa inibição também interfere no circuito córtico-cerebelar e com isso o circuito córtico-estriatal provavelmente passa a ter uma maior participação durante a realização da tarefa. Esses achados são coerentes com o estudo de Gheysen *et al.* (2017) como explicado no experimento I. Os autores encontraram que a inibição do cerebelo direito acelerou o aprendizado e aumentou a ativação cerebral em outras regiões motoras relacionadas com a aprendizagem motora, tais como regiões que constituem o circuito córtico-estriatal, durante a fase inicial e foi observado também bom desempenho na fase avançada da aprendizagem. Os autores concluíram que o hemisfério cerebelar direito é uma

estrutura chave que coordena outros circuitos neuronais no início da fase de aquisição de uma tarefa de sequência motora.

Entretanto, apesar da estimulação catódica cerebelar não ter interferido na aprendizagem das dimensões absoluta e relativa, quando investigadas as aprendizagens *on-line* e *off-line* os resultados foram diferentes do que era esperado. Em relação à dimensão absoluta da tarefa, as aprendizagens *on-line* e *off-line* 1 e 2 não foram alteradas pela inibição cerebelar, já na dimensão relativa, a aprendizagem *on-line* também não foi alterada. No que se refere a dimensão relativa, contrariando as expectativas, a inibição cerebelar levou a uma melhor aprendizagem *off-line* 1 e 2. Assim, parece que essa inibição gerou certo grau de interferência no desempenho do aprendiz durante a aquisição da tarefa, sendo que foi evidenciado um melhor nível de desempenho do último bloco da aquisição para os testes de aprendizagem. O grupo inibido apresentou melhores aprendizagens *off-line* 1 e 2 do que o grupo placebo. Desta forma, há indicativos que a inibição cerebelar forneceu algum benefício para o grupo que recebeu a estimulação catódica. Essa melhoria da aprendizagem da dimensão relativa promovida pela estimulação cerebelar catódica foi observada tanto em relação a melhor retenção do parâmetro aprendido quanto de um novo parâmetro exigido pela tarefa durante o teste de transferência. As aprendizagens *off-line* 1 e 2 estão associadas às melhoras ocorridas no período pós-prática, tal período é caracterizado por uma memória inicialmente frágil que é transformada em um traço estável e duradouro (CANTARERO *et al.*, 2013; DAYAN; COHEN, 2011). A melhora ou a estabilização da habilidade que ocorre após o período da prática reflete na consolidação da memória motora. Os processos neurais que levam à consolidação dessa memória motora são iniciados durante a prática e evoluirão com o tempo após o seu término (DAYAN; COHEN, 2011; DOYON *et al.*, 2009; KANTAK *et al.*, 2010). A consolidação da memória motora ocorre 4- 6 horas imediatamente o período pós prática e resulta na estabilização da memória motora (KANTAK *et al.*, 2010).

Apesar da hipótese geral desse experimento ter sido confirmada, de que a aprendizagem das dimensões absoluta e relativa não seria prejudicada na prática constante com a inibição cerebelar, foi possível observar que a aprendizagem da dimensão relativa apresentou benefícios com essa estimulação quando foram analisados os dados da aprendizagem *off-line* 1 e 2.

5 CONCLUSÃO

As habilidades motoras são compostas por duas dimensões, a absoluta que está relacionada à flexibilidade do desempenho e a relativa ao ganho de consistência do desempenho. Dessa forma, os estudos que investigaram a participação do cerebelo na estruturação da prática não utilizaram de medidas que dissociam essas dimensões. As análises distintas das dimensões da habilidade motora contribuem para o melhor entendimento da maneira pela qual um comportamento habilidoso é adquirido e para investigar a participação de estruturas e áreas cerebrais durante o processo de aprendizagem motora. A tarefa utilizada no presente estudo demanda a aprendizagem dessas duas dimensões. Contrariando estudos anteriores, diante dos resultados obtidos no presente estudo é possível concluir que o cerebelo não apresenta uma participação efetiva durante a aprendizagem das duas dimensões que compõem a habilidade durante as práticas aleatória e constante. A inibição cerebelar não interferiu durante a aprendizagem da dimensão absoluta nas práticas constante e aleatória. A aprendizagem da dimensão relativa apresentou benefícios com a estimulação catódica, principalmente na prática constante.

De forma geral, os experimentos I e II são complementares, independente de como a prática é organizada a inibição cerebelar interferiu no desempenho da dimensão relativa da habilidade observado durante as aprendizagens *on-line* e *off-line*. Futuros estudos poderiam confirmar a participação do cerebelo nas diferentes estruturas de prática utilizando outras tarefas motoras discretas. Outro ponto que ainda necessita maiores investigações é sobre a hipótese da lateralização cerebelar, se a resposta cerebelar é anatomicamente lateralizada.

REFERÊNCIAS

APOLINÁRIO-SOUZA, T. **Aprendizagem motora**: o papel do córtex motor primário. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Esporte) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

APOLINÁRIO-SOUZA, T. *et al.* The primary motor cortex is associated with learning the absolute, but not relative, timing dimension of a task: A tDCS study. **Physiology & Behavior**, v. 160, p. 18–25, 2016.

BENDA, R. N. Sobre a natureza da aprendizagem motora: mudança e estabilidade... e mudança. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v. 20, p. 43-45, 2006.

BLOCK H.; CELNIK P. Stimulating the cerebellum affects visuomotor adaptation but not intermanual transfer of learning. **The Cerebellum**, v. 12, p. 781–93, 2013.

BRUNONI, A. R. *et al.* Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): challenges and future directions. **Brain Stimulation**, v. 5, n. 3, p. 175-195, 2012.

BUYS, E. J. *et al.* Selective facilitation of different hand muscles by single corticospinal neurones in the conscious monkey. **The Journal of Fisiologi**, v. 381, p. 529–549, 1986.

CANTARERO, G. *et al.* Cerebellar direct current stimulation enhances on-line motor skill acquisition through an effect on accuracy. **The Journal of Neuroscience**, v. 35, n. 7, p. 3285-3290, 2015.

CANTARERO, G. *et al.* Motor learning interference is proportional to occlusion of LTP-like plasticity. **The Journal of Neuroscience**, v. 33, n. 11, p. 4634-4641, 2013.

CROSS, E. S.; SCHMITT, P. J.; GRAFTON, S. T. Neural substrates of contextual interference during motor learning support a model of active preparation. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 19, n. 11, p. 1854–1871, 2007.

DAYAN, E.; COHEN, L. G. Neuroplasticity subserving motor skill learning. **Neuron**, v. 72, n. 3, p. 443-454, 2011.

DIAMOND, A. Close Interrelation of Motor Development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. **Child Development**, v. 71, n.1, p. 44-56, 2000.

DOYON, J. *et al.* Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. **Behavioral Brain Research**, v. 199, n.1, p. 61-75, 2009.

DOYON, J.; PENHUNE, V.; UNGERLEIDER, L. Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. **Neuropsychologia**, v. 41, n. 3, p. 252–262, 2003.

DOYON, J.; BENALI, H. Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 15, n. 2, p. 161-7, 2005.

DOPPELMAYR, M.; PIXA, N.H.; STEINBERGN, F. Cerebellar, but not motor or parietal, high-density anodal transcranial direct current stimulation facilitates motor adaptation. **Journal of the International Neuropsychological Society**, v. 22, n. 9, p. 928-936, 2016.

DUN, K.V. *et al.* TDCS of the cerebellum: where do we stand in 2016? Technical issues and critical review of the literature. **Frontiers in Human Neuroscience**, v.10, p. 1-14, 2016.

DUN, K.V; MANTO, M. Non-invasive Cerebellar Stimulation: Moving towards clinical applications for cerebellar and extra-cerebellar disorders. **The Cerebellum**, v. 16, p. 695-741, 2017.

FERNANDEZ, L. *et al.* Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) to the right cerebellar hemisphere affects motor adaptation during gait. **Cerebellum**, v. 16, n 1, p. 168-177, 2017.

FERRUCCI, R.; CORTESE, F.; PRIORI, A. Cerebellar tDCS: How to do it. **Cerebellum**, v. 14, n.1, p. 27-30, 2015.

FLAMENT *et al.* Functional magnetic resonance imaging of cerebellar activation during the learning of a visuomotor dissociation task. **Human Brain Mapping**, v. 4, p. 210-226, 1996.

FRISTON, K.J. *et al.* Motor practice and neurophysiological adaptation in the cerebellum: a positron tomography study. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 223, p. 223-8, 1992.

GALEA, J.M. *et al.* Dissociating the roles of the cerebellum and motor cortex during adaptive learning: the motor cortex retains what the cerebellum learns. **Cerebral Cortex August**, v. 21, n.8, p. 1761-1770, 2011.

GALEA, J. M. *et al.* Modulation of cerebellar excitability polarity-specific noninvasive direct current stimulation. **The Journal of Neuroscience**, v. 29, n. 28, p. 9115-9122, 2009.

GHEYSEN, F.; LASNE, G.; PELEGRINI-ISSAC, M. *et al.* Taking the brakes off the learning curve. **Human Brain Mapping**, v. 38, p. 1676–1691, 2017.

GLENCROSS, D.J.; WHITING, H.T.A.; ABERNETHY, B. Motor control, motor learning and the acquisition of skill: historical trends and future directions. **International Journal of Sport Psychology**, v.25, p.32-52, 1994.

GRIMALDI, G. *et al.* Cerebellar transcranial direct current stimulation (ctDCS): a novel approach to understanding cerebellar function in health and disease. **Neuroscientist**, v. 22, n. 1, p. 83-97, 2016.

HARDWICK, R.M. *et al.* A quantitative meta-analysis and review of motor learning in the human brain. **Neuroimage**, v. 15, n 67, p. 283-297, 2013.

HERZFELD, D.J. *et al.* Contributions of the cerebellum and the motor cortex to acquisition and retention of motor memories. **Neuroimage**, v. 98, p. 147-158, 2014.

IMAMIZU, H. *et al.* Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. **Nature**, v. 403, p. 192-195, 2000.

JALALI, R.; MIAL, R.C.; GALEA, J.M. No consistent effect of cerebellar transcranial direct current stimulation (tDCS) on visuomotor adaptation. **Journal Neurophysiology**, v. 2, p. 655-665, 2017.

JAYARAM, G. *et al.* Modulating locomotor adaptation with cerebellar stimulation. **Journal Neurophysiology**, v. 107, p, 2950-2957, 2012.

KANTAK, S. S. *et al.* Neural substrates of motor memory consolidation depend on practice structure. **Nature Neuroscience**, v. 13, n. 8, p. 923–925, 2010.

KANTAK, S. S.; MUMMIDISETTY, C. K.; STINEAR, J. W. Primary motor and premotor cortex in implicit sequence learning—evidence for competition between implicit and explicit human motor memory systems. **European Journal of Neuroscience**, v. 36, n. 5, p. 2710-2715, 2012.

LAGE, G.M. *et al.* The combination of practice schedule: effects on relative and absolute dimensions of the task. **Journal of Human Movement Studies**, v. 52, p. 21-35, 2007.

LAGE, G. M. *et al.* O efeito da interferência contextual na aprendizagem motora: contribuições científicas após três décadas da publicação do primeiro artigo. **Revista Brasileira Ciência e Movimento**, v. 19, n. 2, p. 107-119, 2011.

LAGE, G.M. *et al.* The effect of constant practice in transfer tests. **Motriz**, v.23, n.1, p. 22-32, 2017.

LAGE, G.M. *et al.* Repetition and variation in motor practice: A review of neural correlates. **Neuroscience Biobehavioral Reviews**, v. 57, p. 132–141, 2015.

LAI, Q.; SHEA, C. H. Generalized motor program (GMP) learning: effects of reduced frequency of knowledge of results and practice variability. **Journal of Motor Behavior**, v. 30, n. 1, p. 51–9, 1998.

LAI, Q. *et al.* Optimizing generalized motor program and parameter learning. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 71, n. 1, p. 10– 24, 2000.

LEE, T. D. T. D.; MAGILL, R. A. R. A.; WEEKS, D. J. D. J. Influence of practice schedule on testing schema theory predictions in adults. **Journal Motor Behavior**, v. 17, p. 283–299, 1985.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios? conceitos fundamentais de neurociência**. 2 ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

LIN, C. H. J. *et al.* Interleaved practice enhances skill learning and the functional connectivity of fronto-parietal networks. **Human Brain Mapping**, v. 34, n. 7, p. 1542–58, jul. 2013.

LIN, C.H. J. *et al.* Neural correlate of the contextual interference effect in motor learning: A kinematic analysis. **Journal of Motor Behavior**, v. 41, n. 3, p. 232–242, 2009.

LOHSEA, K.R. *et al.* Motor skill acquisition across short and long time scales: A meta-analysis of neuroimaging data. **Neuropsychologia**, v. 59, p.130-141, 2014.

MAGILL, R. A.; HALL, K. G. A Review of The Contextual Interference in Motor Skill Acquisition. **Human Movement Science**, n. 9, p. 241–289, 1990.

MCKIERNAN, B. J. *et al.* Corticomotoneuronal Postspike Effects in Shoulder , Elbow, Wrist, Digit, and Intrinsic Hand Muscles During a Reach and Prehension Task Corticomotoneuronal Postspike Effects in Shoulder, Elbow, Wrist, Digit, and Intrinsic Hand Muscles During a Reach. **The American Physiological Society**, v. 80, p. 1961–1980, 1998.

MOXLEY, S. E. E. Schema: the variability of practice hypothesis. **Journal of Motor Behavior**, v. 11, p. 65–70, 1979.

MIZUGUCHI, N.; KATAYAMA, T.; KANOUSUE, K. The effect of cerebellar transcranial direct current stimulation on a throwing task depends on individual level of task performance. **Neuroscience**, v.10, n.371, p. 119-125, 2018.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Transcranial direct current stimulation: State of the art. **Brain Stimulation**, v. 1, n. 3, p. 206-23, 2008.

NITSCHKE, M. A. *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.

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.

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

ORBAN, P. *et al.* The multifaceted nature of the relationship between performance and brain activity in motor sequence learning. **Neuroimage**, v. 49, p. 694-702, 2010.

PANOUILLÈRES M.T.N. *et al.* Reversing motor adaptation deficits in the ageing brain using non-invasive stimulation: restoring motor adaptation in older adults. **Journal Physiology**, v.593, n. 16, p. 3645–55, 2015.

RAHMAN A. *et al.* Cellular effects of acute direct current stimulation: somatic and synaptic terminal effects: somatic and terminal origin of tDCS effects. **Journal Physiology**, v. 591 n.10, p. 2563–78, 2013.

REIS, J.; FRITSCH, B. Modulation of motor performance and motor learning by transcranial direct current stimulation. **Current opinion in neurology**, v. 24, n. 6, p. 590-596, 2011.

SCHMIDT, R. A. The schema concept. In: KELSO, J.A.S. (Ed.). **Human Motor Behavior: an introduction**, Hillsdale: Erlbaum, 1982, p.219-235.

SCHMIDT, R. A. A schema theory of discrete motor skill learning. **Psychological Review**, v. 82, n. 4, p. 225–260, 1975.

SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C. A. **Aprendizagem e performance motora: uma abordagem da aprendizagem baseada no problema**. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2001.

SEIDLER, R. D. Neural correlates of motor learning, transfer of learning, and learning to learn. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 38, n. 1, p. 3–9, 2010.

SEIDLER, R.D.; BO, J.; ANGUERA, J.A. Neurocognitive contributions to motor skill learning: The role of working memory. **Journal Motor Behavior**, v.44, n. 6, p. 445-453, 2012.

SEIDLER, R.D. *et al.* Neurocognitive mechanisms of error-based motor learning. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 782, p. 39-60, 2013.

SHEA, C. H. *et al.* Consistent and variable conditions: effects on relative and absolute timing. **Journal of Motor Behavior**, v.33, p.139-152, 2001.

SHEA, C. H.; KOHL, R. M. Specificity and variability of practice. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 61, n. 2, p. 169–177, 1990.

SHEA, J. B.; MORGAN, R. L. Contextual interference effects on the acquisition,

Retention, and Transfer of a Motor Skill. **Journal of experimental psychology**, v. 5, n. 2, p. 179–187, 1979.

SHIMIZU, R. E.; WU, A. D.; KNOWLTON, B. J. Cerebellar activation during motor sequence learning is associated with subsequent transfer to new sequences. **Behavioral Neuroscience**, v. 130, n. 6, p. 572-584, 2016.

STEELE, C.J.; PENHUNE, V.B. Specific increases within global decreases: A functional magnetic resonance imaging investigation of five days of motor sequence learning. **The Journal of Neuroscience**, v. 30, p. 8332-8341, 2010.

WESSEL, M.J. *et al.* Enhancing consolidation of a new temporal motor skill by cerebellar noninvasive stimulation. **Cerebral Cortex**, v.26, n. 4, p. 1660-1667, 2016.

WOODS, A.J. *et al.* A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. **Clinical Neurophysiology**, V. 2, p. 1031–48, 2016.

WULF, G.; LEE, T. D. Contextual interference in movements of the same class: Differential effects on program and parameter learning. **Journal of motor behavior**, v. 25, n. 4, p. 254-263, 1993.

XIVRY, J. O.; SHADMEHR, R. Electrifying the motor engram: effects of tDCS on motor learning and control. **Experimental brain research**, v. 232, n. 11, p. 3379-3395, 2014

APÊNDICE - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Estudo: APRENDIZAGEM MOTORA: ASSOCIAÇÃO ENTRE O CEREBELO E ORGANIZAÇÃO DA PRÁTICA

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 investigar o papel do cerebelo na aprendizagem motora nas estruturas de prática constante e aleatória. Será utilizada a tarefa de sequenciamento de teclas e a técnica de estimulação cerebral denominada de estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC). Essa técnica é indolor, segura, reversível e de fácil administração, tendo como princípio básico a aplicação de uma corrente elétrica fraca (dois milliampère) por meio do posicionamento de dois eletrodos sobre a cabeça (no couro cabeludo). Assim, este estudo pretende relacionar as regiões corticais e os fatores que influenciam a aprendizagem motora.

Procedimentos: Os testes serão realizados em dois dias no Grupo de Estudo de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da UFMG. No primeiro dia, você responderá ao Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo, poderá ou não receber a estimulação transcraniana por corrente contínua (isto dependerá de qual grupo de sujeitos você participará) por meio de dois eletrodos que serão posicionados em pontos específicos de sua cabeça. Neste mesmo dia você realizará também prática motora de pressionamento de teclas (a tarefa de sequenciamento de teclas) Por ser uma corrente muito baixa, depois de 30 segundos aproximadamente você não percebe mais a estimulação. No segundo dia, você será testado novamente na mesma tarefa, através de dois testes (retenção e transferência). Já a segunda sessão deverá ocorrer aproximadamente 24h após a sessão anterior. O tempo previsto para realização dos procedimentos é de aproximadamente 30 minutos no primeiro e segundo dia 15 minutos. Os horários para a sua participação serão estabelecidos de acordo com sua disponibilidade.

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 um risco mínimo de algum desconforto muscular devido à execução da tarefa motora, e qualquer desconforto deve ser relatado ao experimentador que irá parar a coleta de dados imediatamente. Em caso de algum desconforto em relação aos procedimentos, você será encaminhado ao serviço de enfermagem da EEFETO e ao atendimento fisioterapêutico da EEFETO.

Confidencialidade: Para garantir a confidencialidade da informação obtida, seu nome não será utilizado em qualquer publicação ou material relacionado ao estudo.

Benefícios esperados: Não há benefício direto para você. Porém, os benefícios indiretos serão decorrentes da melhor compreensão da aprendizagem motora. 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 ou constrangimento.

Gastos: Não haverá ressarcimento de nenhum tipo de gasto.

Você pode solicitar mais informações ao longo do estudo, tirar dúvidas e maiores esclarecimentos da pesquisa com o pesquisador responsável pelo projeto (Guilherme Menezes Lage), por meio do telefone (31) 98884-0411 ou endereço eletrônico menezeslage@gmail.com. Após a leitura completa deste documento, caso concorde em participar do estudo, você deverá assinar em duas vias o termo de consentimento e rubricar todas as folhas. Uma das vias ficará com você e a outra com o pesquisador. Você poderá obter qualquer informação deste estudo com o pesquisador ou se tiver dúvidas sobre questões éticas, pode consultar o Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Informações para contato com o COEP/UFMG abaixo.

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

ANEXO I - INVENTÁRIO DE DOMINÂNCIA LATERAL DE EDIMBURGO
(OLDFIELD, 1971)

Nome: _____ N°: _____

Por favor, indique sua preferência no uso das mãos nas seguintes atividades pela colocação do sinal + na coluna apropriada. Onde a preferência é tão forte que você nunca usaria a outra mão a menos que fosse forçado a usá-la, coloque ++. Se em algum caso a mão utilizada é realmente indiferente, coloque + em ambas as colunas.

Algumas das atividades requerem ambas as mãos. Nestes casos a parte da tarefa, ou objeto, para qual preferência manual é desejada é indicada entre parênteses.

Por favor, tente responder a todas as questões, e somente deixe em branco se você não tiver qualquer experiência com o objeto ou tarefa.

		Esquerda	Direita
1	Escrever		
2	Desenhar		
3	Arremessar		
4	Uso de tesouras		
5	Escovar os dentes		
6	Uso de faca (sem garfo)		
7	Uso de colher		
8	Uso de vassoura (mão superior)		
9	Acender um fósforo (mão do fósforo)		
10	Abrir uma caixa (mão da tampa)		

ANEXO II - Aprovação do projeto no COEP

Saúde
Ministério da Saúde

Plataforma
Brasil

principal sair

Público Pesquisador Alterar Meus Dados

Cadastros

SIMONE DE MENEZES PINTO - Pesquisador | V3.2
Sua sessão expira em: 18min 06

DETALHAR PROJETO DE PESQUISA

DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Aprendizagem motora: associação entre o cerebelo e a organização da prática
Pesquisador Responsável: Guilherme Menezes Lage
Área Temática:
Versão: 1
CAAE: 84003518.7.0000.5149
Submetido em: 26/02/2018
Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais
Situação da Versão do Projeto: Aprovado
Localização atual da Versão do Projeto: Pesquisador Responsável
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio



Comprovante de Recepção:  PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_1080606