

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-graduação em Neurociências

BEATRIZ COUTO FORTUNA

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA NA  
APRENDIZAGEM MOTORA DE CURTO E LONGO PRAZO**

BELO HORIZONTE

2022

Beatriz Couto Fortuna

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA NA  
APRENDIZAGEM MOTORA DE CURTO E LONGO PRAZO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Neurociências.

Linha de pesquisa: Aquisição de habilidade motoras

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage

Coorientador: Prof. Dr. Tércio Apolinário-Souza

BELO HORIZONTE

2022

043 Fortuna, Beatriz Couto.  
Efeito da estimulação transcraniana por corrente contínua na aprendizagem motora de curto e longo prazo [manuscrito] / Beatriz Couto Fortuna. – 2022.  
44 f.: il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage. Coorientador: Prof. Dr. Tércio Apolinário-Souza.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-graduação em Neurociências.

1. Neurociências. 2. Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. 3. Atividade Motora. 4. Aprendizagem. 5. Córtex Motor. I. Lage, Guilherme Menezes. II. Souza, Tércio Apolinário. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 612.8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO ALUNO

#### BEATRIZ COUTO FORTUNA

Realizou-se, no dia 28 de março de 2022, às 14:00 horas, Sala Virtual, da Universidade Federal de Minas Gerais, a 235ª defesa de dissertação, intitulada *Efeito da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua na Aprendizagem Motora de curto e longo prazo*, apresentada por BEATRIZ COUTO FORTUNA, número de registro 2019717705, graduada no curso de TERAPIA OCUPACIONAL, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em NEUROCIÊNCIAS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Guilherme Menezes Lage - Orientador (Universidade Federal de Minas Gerais), Prof(a). Tercio Apolinário de Souza - Coorientador (Instituto Izabela Hendrix), Prof(a). Leonardo Cruz de Souza (UFMG), Prof(a). João Roberto Ventura de Oliveira (UEMG).

A Comissão considerou a dissertação: *Aprovada*

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 28 de março de 2022.

Carlos Magno Machado Dias - Secretário(a)

Assinatura dos membros da banca examinadora:

Prof(a). Guilherme Menezes Lage ( Doutor )

Prof(a). Tercio Apolinário de Souza ( Doutor )

Prof(a). Leonardo Cruz de Souza ( Doutor )

Prof(a). João Roberto Ventura de Oliveira ( Doutor )



Documento assinado eletronicamente por **Tercio Apolinário de Souza, Usuário Externo**, em 23/03/2022, às 10:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Menezes Lage, Professor do Magistério Superior**, em 29/03/2022, às 14:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **João Roberto Ventura de Oliveira, Usuário Externo**, em 29/03/2022, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Cruz de Souza, Membro**, em 30/03/2022, às 07:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1307167** e o código CRC **8CDC9262**.

---

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho primeiramente a **Deus**, aos meus pais **José Aluizio Fortuna Monteiro de Barros** e **Ivanice Couto Fortuna**, à minha irmã **Bianca Couto Fortuna Silvano**, ao meu sobrinho **Bernardo Fortuna Silvano**, ao meu orientador e coorientador. Vocês foram e sempre serão essenciais em minha vida!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** que é o criador de todas as coisas e que com sua enorme graça, cuidou de mim em cada detalhe. Ele me protege e me ama infinitamente. Me deu forças quando achei que não aguentaria mais, me deu esperança para confiar que Ele já havia planejado tudo e que tem um futuro brilhante e único para cada um de nós.

Agradeço aos meus **pais**, que me ensinaram valores fundamentais, que me deram amor incondicional, que me incentivaram a sempre persistir e ser esforçada. Vocês se doaram durante toda a vida para que eu pudesse chegar aonde cheguei. Me instruíram a me levantar e reconstruir, quando tudo parecia sem esperança e com isso, a nunca desistir. Aprendi com vocês a ver o belo da vida em cada detalhe e isso sempre me deu fôlego para prosseguir.

Agradeço à minha irmã **Bianca** e ao meu cunhado **Keust** por terem me acolhido sempre e principalmente no início dessa fase da minha vida. Obrigada por serem refúgio e encorajamento sempre. Agradeço ainda por terem me presenteado com o maior e melhor presente que eu poderia ter na vida, meu sobrinho **Bernardo**. Ao **Bernardo**, agradeço por trazer motivos infinitos e diários para sorrir das coisas mais simples, e para comemorar cada passinho seu, meu querido afilhado.

Ao meu avô, Sr. **José Cordeiro Couto**, agradeço por ser sempre um exemplo de inteligência, trabalho árduo e por sempre torcer por mim!

Ao meu querido orientador, professor **Guilherme Lage**, agradeço infinitamente pelo acolhimento mesmo em meio às incertezas. Primeiro, por ter me acolhido em todas as suas disciplinas ofertadas ainda na graduação. Aprendi muito e iniciei meu entusiasmo pelo comportamento motor desde então. Sempre muito pronto a esclarecer dúvidas e a tratar com tanto carinho “as meninas da TO”. Por ter me orientado com excelência, altíssima qualidade e sempre com muito carinho e humanidade. Me ensinou conteúdos essenciais para a vida acadêmica e demais áreas da vida, como a dar prioridade às pessoas que mais amamos. Obrigada por tanto!

Ao meu coorientador, **Tércio Apolinário**, obrigada primeiro por ter aceitado essa missão de me coorientar com tanta paciência e excelência! Obrigada pela didática maravilhosa e por me passar tantos conhecimentos essenciais de maneira tão leve e agradável! Agradeço ao Tércio por ter acreditado em mim sempre!

Aos meus familiares, amigos e colegas que me apoiaram desde sempre, muito obrigada por tanto carinho. Obrigada amiga **Luiza**, por sempre estar perto, mesmo que longe, me ligando e se importando sempre. Sou muito grata a você, **Mylena**, por ter sido minha companheira sempre, desde a graduação! Obrigada **Livia Penido** pelas ajudas, pela paciência e amizade especial! Obrigada **Mayra** por, em tão pouco tempo, ter se mostrado super solícita e parceira! Em especial, **Lucas Bicalho**, obrigada por, principalmente na reta final, em que precisei de maior ajuda, você ter me acompanhado de muito perto, não me deixando desistir e me ensinando conceitos muito importantes. Deus abençoe sua vida abundantemente.

Dedico ainda aqueles que colocaram pedras em meu caminho. No primeiro momento, vocês me fizeram acreditar que não teria forças para retirá-las e prosseguir. Logo percebi que eu teria forças para retirá-las do caminho sim, mas preferi usar dessa força para pegar cada pedra e construir uma escada e de degrau a degrau, cheguei ao meu objetivo.



“Não temas, porque eu sou contigo;  
Não te assombres, porque eu sou teu Deus;  
Eu te fortaleço, e te ajudo,  
e te sustento com a destra da minha justiça.”

Isaías 40:10

Bíblia Sagrada

## RESUMO

Estudos sobre aprendizagem motora têm apontado diversos fatores que favorecem a aprendizagem motora de curto e longo prazo. Dentre esses fatores pode-se citar a estruturação da prática, o direcionamento do foco de atenção, o fornecimento de *feedback*, bem como a neuromodulação via *biofeedback* e estimulações não invasivas como a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). Entretanto, pouco se conhece acerca dos efeitos duradouros da ETCC anódica na aprendizagem de longo prazo. Assim, o objetivo do estudo foi verificar os efeitos da aplicação do ETCC na aprendizagem motora de curto e longo prazo quando inserido um teste de extinção da memória entre os testes de evocação. Vinte participantes adultos foram distribuídos em 2 grupos de prática constante (n=10): grupo ETCC (GE) e grupo placebo (GP). Foi aplicado uma estimulação elétrica (1mA) sobre o córtex motor primário no GE por 20 minutos antes da prática. O grupo GP recebeu somente 36 segundos de estimulação. Na fase de aquisição a tarefa consistiu em realizar uma sequência de toques em um teclado numérico em 120 tentativas nos tempos alvo absoluto de 700, 900 e 1.100 ms. e em tempos relativos entre as teclas (22.2% de 2 para 8, 44.4% de 8 para 6 e 33.3% de 6 para 4). Os testes de evocação 1 (E1) e extinção de memória (TEM) foram realizados 24 horas e o teste de evocação 2 (E2) foi realizado 10 dias ao fim da aquisição, constituído por 12 tentativas cada. O TEM foi realizado com um novo tempo absoluto de 1.300 ms. Os resultados mostraram que a ETCC anódica favoreceu a aprendizagem de curto prazo, mas não favoreceu de longo prazo. Possivelmente, as alterações promovidas pela ETCC anódica parecem não se sustentar quando inserido um processo de extinção da memória.

**Palavras-chave:** Aprendizagem Motora. Córtex Motor Primário. Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua.

## ABSTRACT

Studies on motor learning have pointed out several factors that favor short- and long-term motor learning. Among these factors we can mention the structuring of the practice, the direction of the focus of attention, the supply of feedback, as well as neuromodulation via biofeedback and non-invasive stimulations such as Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). However, little is known about the lasting effects of tDCS on long-term learning. Thus, the aim of the study was to verify the effects of the tDCS application on short and long-term motor learning when a memory extinction test was inserted between the recall tests. Twenty adult participants were divided into 2 constant practice groups (n=10): tDCS group and placebo group. An electrical stimulation (1mA) was applied on the primary motor cortex in the EG for 20 minutes before the practice. The GP group received only 36 seconds of stimulation. In the acquisition phase, the task consisted of performing a sequence of touches on a numeric keypad in 120 attempts at absolute target times of 700, 900 and 1,100 ms. and in relative times between keys (22.2% from 2 to 8, 44.4% from 8 to 6 and 33.3% from 6 to 4). The recall test 1 and memory extinction were performed 24 hours and the recall test 2 was performed 10 days after the acquisition, consisting of 12 attempts each. The TE was performed with a new absolute time of 1300 ms. The results showed that tDCS favored learning in the short term, but not in the long term. Possibly, the changes promoted by tDCS do not seem to be sustained when a process of memory extinction is inserted.

**Keywords:** Motor Learning. Primary Motor C6rtex. Transcranial Direct Current Stimulation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Engramas motores. Mecanismo para formação de memória proposto por Hebb em 1949. A partir da apresentação de estímulos a neurônios não comunicantes, esse grupo de neurônios sincroniza-se, levando a modificações no grupo de neurônios, fortalecendo-o e formando um cell assembly. .... 22
- Figura 2** – Associação dos processos de aprendizagem motora e processos de memória. Esquemáticamente, a fase de aquisição da habilidade está associada a codificação da memória, o período de evocação à consolidação da memória e a evocação como a recuperação da memória. .... 24
- Figura 3** - Processo de extinção da memória. .... 25
- Figura 4** - Medida de desempenho durante os 85 dias de prática no estudo de Reis *et al.*, (2009). .... 27
- FIGURA 5** - Sistema internacional 10-20 de EEG. A posição C3 equivale a M1 e Fp2 área supraorbital. .... 32
- GRÁFICO 1** - Média do erro global da aquisição, testes de evocação e extinção da memória. .... 35
- GRÁFICO 2** – Medida de erro global dos grupos da E1 para E2. .... 35
- EQUAÇÃO 1** – Equação de transformação dos dados. .... 33

## LISTA DE ABREVIações

B1	Bloco 1
B2	Bloco 2
B3	Bloco 3
B4	Bloco 4
B5	Bloco 5
B6	Bloco 6
B7	Bloco 7
B8	Bloco 8
B9	Bloco 9
B10	Bloco 10
CC	Corrente Contínua
cm <sup>2</sup>	centímetros quadrados
EEFFTO	Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
ETCC	Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua
LTP	<i>Long term potentiation</i>
M1	Córtex Motor Primário
mA	mileampere
Máx	valor máximo
Min	valor mínimo
ms	milissegundos
PL	Grupo placebo
PMG	Programa Motor Generalizado
E1	Teste de Evocação 1
E2	Teste de Evocação 2
SNC	Sistema Nervoso Central
ta	tempo alvo
TCLE	Termo de Consentimento Livre Esclarecido
tr	tempo por seguimento
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
TEM	Teste de Extinção da Memória
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
Yi	Valor observado bruto
Yi'	Valor do sujeito

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
2.1 Aprendizagem motora .....	17
2.2 Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) .....	18
2.3 Memória e aprendizagem motora .....	20
2.4 Processos de habituação e extinção da memória .....	24
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	28
3.1 Objetivo geral .....	28
3.2 Objetivos específicos .....	28
<b>4 HIPÓTESES DE ESTUDO</b> .....	29
<b>5 MÉTODO</b> .....	30
5.1 Participantes .....	30
5.2 Tarefa motora .....	30
5.3 Delineamento experimental .....	31
5.4 Estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) .....	32
5.5 Análise de dados .....	32
<b>6 RESULTADOS</b> .....	34
6.1 Fase de aquisição .....	34
6.2 Testes de aprendizagem .....	34
6.3 Efeitos da extinção .....	35
<b>7 DISCUSSÃO</b> .....	37
<b>8 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

A aprendizagem motora pode ser definida como um conjunto de processos internos associados com a prática ou experiência, que levam a mudanças relativamente permanentes nos ganhos que subsidiam a execução de uma habilidade (SCHMIDT; LEE, 2005). Esse processo de aprendizagem resulta da interação entre a aquisição de novos elementos que geram novas habilidades, observadas pelas mudanças no comportamento (LAGE, 2005).

A memória constitui-se como um dos processos internos determinantes da aprendizagem motora. A memória, enquanto processo, pode ser dividida em: (1) codificação, em que uma informação nova é recebida e vinculada às informações existentes na memória; (2) consolidação, quando as informações armazenadas temporariamente e que ainda são instáveis, tornam-se mais estáveis; (3) recuperação, processo em que a informação armazenada é recuperada (KANDEL *et al.*, 2012).

Além dos processos supracitados, a extinção da memória tem sido um dos processos que recentemente vem ganhando notoriedade (MEDEIROS *et al.*, 2017, IZQUIERDO, 2018; FERREIRA *et al.*, 2019). A extinção é um processo que leva a perda de elementos da memória pela evocação reiterada sem os estímulos semelhantes durante a codificação (IZQUIERDO, 1989). Está relacionada ao grau de similaridade entre as características do conjunto de estímulos presentes durante a formação da memória e durante o momento da evocação (BOUTON, 2004). Se a similaridade for alta, os processos de extinção serão baixos. Por outro lado, se a similaridade for baixa os processos de extinção serão altos (IZQUIERDO, 1989). É possível relacionar os momentos típicos de um delineamento de estudos de aprendizagem motora aos processos de memória citados anteriormente (KANTAK; WINSTEIN, 2012). A fase de aquisição, na qual o indivíduo está praticando a habilidade motora em questão, é associada ao processo de codificação da memória, já que as informações novas recebidas e processadas passam a ser vinculadas ao repertório existente. O período *off-line* compreende o intervalo entre fase de aquisição e os testes de aprendizagem. Nesse período o aprendiz continua o processo de aquisição da habilidade, mas sem a prática, está associado com o processo de consolidação da memória. Já durante o teste de evocação no qual se mantém as características do conjunto de estímulos presentes durante a fase de

aquisição (SCHMIDT *et al.*, 2019), o aprendiz recupera as informações codificadas e consolidadas (KANTAK; WINSTEIN, 2012). Por fim, no teste de extinção da memória modifica-se algumas características do conjunto de estímulos presentes durante a fase de aquisição (SCHMIDT *et al.*, 2019) associando-se ao processo de extinção.

Tradicionalmente, existem alguns fatores que favorecem a aprendizagem motora e que devem estar associados aos processos de memória supracitados. Dentre eles, destacam-se a forma com que a prática da habilidade é organizada, o tipo e frequência do *feedback* que é fornecido, as demonstrações, dentre outros (TANI *et al.*, 2010). Mais recentemente, a neuromodulação tem sido investigada e utilizada como estratégia para favorecer também esses processos de memória e consequentemente a aprendizagem motora (XIVRY; SHADMEHR, 2014). Dentre as estratégias de neuromodulação, encontra-se a técnica de Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). A ETCC consiste na aplicação de baixa corrente elétrica contínua sobre o couro cabeludo gerando pequenas mudanças no potencial de membrana (NITSCHKE; PAULUS, 2000; GHANAVATI *et al.*, 2022). Tornando o conjunto de neurônios alvo mais próximos ao potencial de disparo, favorecendo o fortalecimento daquele conjunto de neurônios (BATSIKADZE *et al.*, 2013; NITSCHKE *et al.*, 2008).

Na literatura há resultados favoráveis à aplicação da ETCC na aprendizagem motora, boa parte deles se concentram em testes de aprendizagem realizados 24 horas após a aquisição (VOLLMANN *et al.*, 2013; XIVRY; SHADMEHR, 2014; STAGG; NITSCHKE, 2011). Por exemplo, Parma *et al.* (2020) encontraram efeitos benéficos da aplicação da ETCC na aprendizagem motora avaliada 24 horas após a aquisição no teste de evocação. Apolinário *et al.* (2016) também encontraram efeitos benéficos da aplicação da ETCC na aprendizagem motora avaliada 24 horas após a aquisição. Considerando os processos de memória anteriormente citados, é possível supor que a aplicação da ETCC durante a codificação da memória favorece sua recuperação (teste de evocação) (Parma *et al.*, 2020) e mitiga os efeitos da extinção (teste de extinção da memória) (Apolinário *et al.*, 2016).

O estudo de Reis *et al.* (2009) uma pesquisa avaliou os efeitos da ETCC para além do período de 24 horas, aqui entendido como aprendizagem de longo prazo. Reis *et al.* (2009) encontraram efeitos benéficos da aplicação da ETCC na aprendizagem motora após 5, 8, 29, 57 e 85 dias. Esses resultados indicam que os



efeitos benéficos da aplicação da ETCC se mantêm a longo prazo quando processos de evocação da memória são repetidos ao longo do tempo sem a interferência de um estímulo diferente que possa levar a algum grau de extinção da memória. Estímulos semelhantes durante a codificação favorecem a manutenção da memória de longo prazo (DUDAI, 2004). Interessante que Reis *et al.* (2009) não encontraram ganhos off-line, o desempenho entre os testes ao longo dos dias foi o mesmo. É possível que o efeito positivo da ETCC esteve presente até o 5º dia e posteriormente a manutenção desse desempenho deveu-se mais à evocação sequencial da memória.

Uma possível forma de investigar a manutenção dos efeitos da ETCC de longo prazo é através da inserção de processos de extinção da memória entre as evocações. Essa inserção poderá enfraquecer os processos de evocação da habilidade motora (ROEDIGER III; DUDAI; FITZPATRICK, 2009). Caso a ETCC continue contribuindo ao longo do tempo para o fortalecimento da memória motora, esse enfraquecimento poderá ser temporário. Posteriormente, a partir da reverberação dos mecanismos associados à ETCC, a capacidade de evocação deverá ser reestabelecida. A partir dessa lógica foi definido como objetivo principal do estudo a avaliação do efeito da ETCC anódica na aprendizagem motora de curto e longo prazo. A hipótese principal levantada é que a ETCC anódica apresentará efeitos benéficos tanto de curto prazo quanto de longo prazo, mesmo com a inserção de um processo de extinção entre as evocações de curto e longo prazo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aprendizagem motora

De acordo com Magill (2011), a aprendizagem motora pode ser conceituada como uma mudança relativamente permanente no desempenho de uma habilidade que ocorre a partir da prática. Como consequência da prática, ocorrem mudanças a nível interno que influenciam não somente a habilidade do aprendiz em executar o movimento, mas também em transferir o que foi aprendido (SCHMIDT; LEE, 1999; MAGILL, 2000).

A aprendizagem motora ocorre a partir de fatores internos e externos que envolvem os órgãos sensoriais, a percepção, a tomada de decisão, a programação, o sistema de feedback e o sistema muscular (MANOEL, 2001). Além disso, através de fatores externos como a prática e a experiência, surgem as mudanças motoras, que influenciam na capacidade de executar desempenho habilidoso e caracterizando-se como relativamente permanentes e adaptáveis a variações contextuais e temporais (SCHMIDT; LEE, 1999; MAGILL, 2000). A tarefa começa a ser executada de forma mais automática, reduzindo a variabilidade dos comandos motores e aumentando a acurácia do desempenho (SCHMUELOF *et al.*, 2012).

As habilidades motoras podem levar semanas e até meses para serem adquiridas (REIS *et al.*, 2009). Algumas evidências mostraram que o aprendizado de habilidades motoras pode continuar por um período prolongado (KORMAN *et al.*, 2003; LUFT; SHEA; KOHL, 1990; SAVION-LEMIEUX; PENHUNE, 2005). As melhorias no desempenho motor que ocorrerem dentro da prática de uma habilidade motora, são chamadas de melhorias *online* e ocorrem minutos ou horas de uma sessão de prática e continuam ao longo de dias e semanas de treinamento. Já as mudanças de desempenho motor que ocorrem entre as sessões de treinamento, são denominadas de melhorias *offline*. Os efeitos *offline* também podem ser negativos em processo de esquecimento (ROBERTSON *et al.*, 2004).

Existem circuitos cerebrais associados a aprendizagem motora. O circuito motor tem início nas áreas motora e somestésica do córtex. Movimentos mais relacionados a equilíbrio e postura, relacionam-se funcionalmente ao circuito mais antigo, do ponto de vista evolutivo, o circuito Córtico-Cerebelar. O circuito Córtico-Cerebelar inclui a comunicação entre o cerebelo, medula espinhal e área cortical motora. Já movimentos mais refinados, como o de digitar e movimentos dos dedos,

requerem o a ativação do Circuito Córtico-Estriatal, que inclui a comunicação de estruturas do Corpo Estriado, como o Putamen e o Globo Pálido, além do Tálamo, Substância Negra e Subtálamo (MACHADO; HAERTEL, 2014).

Uma estrutura que é amplamente investigada nos estudos de aprendizagem motora é o Córtex Motor Primário. O Córtex Motor Primário (M1) é uma estrutura associada ao aprendizado de habilidades motoras. Ela está envolvida, principalmente na consolidação inicial das habilidades motoras (KANDEL, *et al.*, 2012). O M1 é uma saída motora, que pode ser modulado propositalmente por estimulação não invasiva a fim de aumentar ou interromper o processo de aprendizagem motora (APOLINÁRIO-SOUZA, 2014). Essa estrutura é geralmente evidenciada em estudos de neuromodulação por proporcionar o conhecimento exato da excitação da região, pela produção de movimento gerada por excitação nessa região.

A prática é vital para a aquisição de novas habilidades. Após a prática, mudanças ocorrem para fortalecer e modificar a nova habilidade adquirida. Essas mudanças fazem parte da consolidação, que levam ao aprimoramento de habilidades e a estabilização da memória (ROBERTSON, 2004).

Tradicionalmente, estudos que investigam a aprendizagem motora, buscam manipular diferentes fatores que exercem papel importante na prática. Dentre esses diferentes fatores, pode-se incluir a estruturação da prática (MAGILL; HALL, 1990; SEKIYA *et al.*, 1994), quando o nível de variação da habilidade praticada é manipulado, ou mais especificamente estimulado uma prática mais variada (LAGE *et al.*, 2011; LAGE *et al.*, 2015); o foco de atenção (WULF *et al.*, 2001), quando o aprendiz é instruído a direcionar sua atenção à algum elemento do ambiente em detrimento das informações do seu próprio corpo; o feedback (ALBUQUERQUE *et al.*, 2014; LEE; CARNAHAN, 1990), reduzindo a frequência de fornecimento do mesmo ao longo da prática, dentre outros.

## **2.2 Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC)**

Sob uma perspectiva neurocientífica, estudos têm comumente recorrido a técnicas de neuromodulação via biofeedback (MIRIFAR *et al.*, 2017) ou estimulações não invasivas (REIS *et al.*, 2011; APOLINÁRIO-SOUZA, 2014). A Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) compreende um método de estimulação não invasiva, em que a partir de estimulação elétrica do tecido neural, é

possível alterar a função de regiões cerebrais específicas, gerando fortalecimento de memória e evocação da aprendizagem. Estudos têm indicado que o ETCC pode aumentar ou diminuir a excitabilidade em regiões corticais de acordo com os parâmetros de estimulação propostos (WOODS *et al.*, 2016). Xivry e Shadmehr (2014) resumiram esses efeitos do ETCC, propondo três princípios chave: (1) as taxas de disparo neurais são aumentadas quando são empregadas cargas anódicas e diminuídas pelas cargas catódicas; (2) a polarização anódica estabiliza associações recém-formadas no córtex; (3) a polarização modula a memória de padrões de disparos novos.

Em 1950, Bishop e O'Leary começaram os estudos sobre os efeitos da aplicação de corrente contínua para investigar a mudança do potencial estável do cérebro (XIVRY; SHADMEHR, 2014). Os experimentos no tálamo e cerebelo demonstraram que a polarização pode alterar a resposta dos neurônios na entrada sináptica (CHAN; NICHEESON, 1986; CHAN *et al.*, 1988). Os estudos encontraram que a polarização anódica dos dendritos aumentou a taxa de disparo, enquanto anódica diminuiu essa taxa de disparo (CHAN; NICHEESON, 1986; CHAN *et al.*, 1988).

Posteriormente, Morrell (1961) investigou o efeito da ETCC em nível celular e comportamental. Neste estudo, foram colocados eletrodos subdurais na superfície do córtex em ratos e gatos. O ETCC facilitou a produção de movimentos em resposta a estímulo sensorial inesperado. A partir dos achados, Morrell (1961) elaborou 3 princípios que são a base dos efeitos comportamentais do ETCC: (1) as taxas de disparo neurais são aumentadas quando são empregadas cargas anódicas e diminuídas pelas cargas catódicas; (2) a polarização anódica estabiliza associações recém-formadas no córtex; (3) a polarização modula a memória de padrões de disparos novos (XIVRY; SHADMEHR, 2014).

A ETCC consiste em uma corrente de baixa intensidade que altera a excitabilidade do tecido (NITSCHKE; PAULUS, 2000). Esse processo pode fortalecer a memória motora formada durante o processo de adaptação motora (HUNTER *et al.*, 2009). Com o aumento nas taxas de disparo neuronal no M1, induzidas pelo ETCC anódico, aumentaram a força voluntária máxima que os sujeitos podem produzir (TANAKA *et al.*, 2009; SALIMPOUR; SHADMEHR, 2014), bem como a destreza dos movimentos (ANTAL *et al.*, 2004; HUMMEL *et al.*, 2010; WILLIAMS *et al.*, 2010; MATSUO *et al.*, 2011; KEDGEEL *et al.*, 2013). A ETCC é uma técnica não

invasiva de estimulação que pode influenciar na aprendizagem motora por modificações nas funções cerebrais (REIS *et al.*, 2008; UKUEBERUWA; WASSERMANN, 2010).

Resultados de estudos têm indicado que a ETCC facilita o controle e a aprendizagem motora modulando a Potenciação de Longo Prazo (em inglês *long-term potentiation* - LTP) (REIS; FRITSCH, 2011; COOKE; BLISS, 2006). A LTP se relaciona com a plasticidade neural e com a sincronização da atividade elétrica entre os neurônios pré e pós-sináptico. Esse processo fortalece as conexões de neurônios, sendo um dos principais mecanismos de formação de memória e pode estar relacionado ao mecanismo da ETCC (FRITSCH *et al.*, 2010).

Seguindo os modelos clássicos dos estudos de aprendizagem motora, Apolinário-Souza (2014) realizou um estudo para verificar a contribuição relativa do córtex motor primário (M1) na aprendizagem motora a partir da ETCC. Para isso, o autor utilizou uma tarefa de controle manual com a aplicação do ETCC no M1. Os resultados apontaram que a ETCC favoreceu a aprendizagem motora quando comparado a um grupo placebo.

### **2.3 Memória e aprendizagem motora**

Pode-se definir memória como o resultado ou o conteúdo armazenado após a aprendizagem de novos conceitos, que são influenciados pelas individualidades de cada sujeito. Por outro lado, cada pessoa é um ser único por reter e evocar suas memórias de uma forma única e coerente com suas experiências de vida (IZQUIERDO, 2018). Dentre os processos de memória mais tradicionais estão a codificação, consolidação, e evocação de informações (IZQUIERDO, 2018).

É importante destacar que também é possível classificar a memória de acordo com sua função, com o tempo de armazenamento ou ainda de acordo com seu conteúdo (IZQUIERDO, 2018). Quanto ao tempo de armazenamento, as memórias são classificadas como de curto e longo prazo, que envolvem diferentes sistemas neurais. A memória de curto prazo armazena transitoriamente, informações relevantes para objetivos mais imediatos. Essa pode ser chamada também de memória de trabalho (KANDEL, 2012). Um bom exemplo desse tipo de memória, consiste na memorização momentânea de um número de telefone que será necessário para uma ligação urgente (KANDEL, 2012). Seletivamente, a memória de curto prazo vai sendo transferida para a de longo prazo. De acordo com James

(1890), essa memória caracteriza-se como aquela que dura entre 1 e 6 horas, que corresponde ao tempo necessário para que as memórias de longa duração se consolidem. Os lobos parietal, occipital e temporal se relacionam ao armazenamento e recuperação da memória de longo prazo (KANDEL, 2012). O lobo frontal é responsável pelo armazenamento da memória de curto prazo. Um bom exemplo desse tipo de memória, consiste na memorização momentânea de um número de telefone que será necessário para uma ligação urgente (KANDEL, 2012). Seletivamente, a memória de curto prazo vai sendo transferida para a de longo prazo. Os lobos parietal, occipital e temporal (com ressaltado para o hipocampo) são responsáveis pelo armazenamento e recuperação da memória de longo prazo (KANDEL, 2012).

A memória de longo prazo, por sua vez, pode ainda subdividir-se em explícita e implícita. A implícita ou também denominada de não declarativa ou procedural é manifestada de maneira mais automática. É uma forma de memória inconsciente, que se torna evidente no desempenho de uma tarefa motora. Já a memória explícita, ou também chamada de memória explícita, envolve a recuperação consciente de experiências prévias e conhecimento a respeito de pessoas, lugares e coisas. É nessa última forma de memória que se pode adotar as etapas de codificação, armazenamento, consolidação e recuperação (KANDEL, 2012).

Pode-se subdividir a memória explícita em ainda dois outros tipos de memória, a episódica e a semântica. A primeira refere-se ao armazenamento de experiências pessoais e autobiográficas, enquanto a segunda consiste na memória de fatos, conceitos e palavras (KANDEL, 2012).

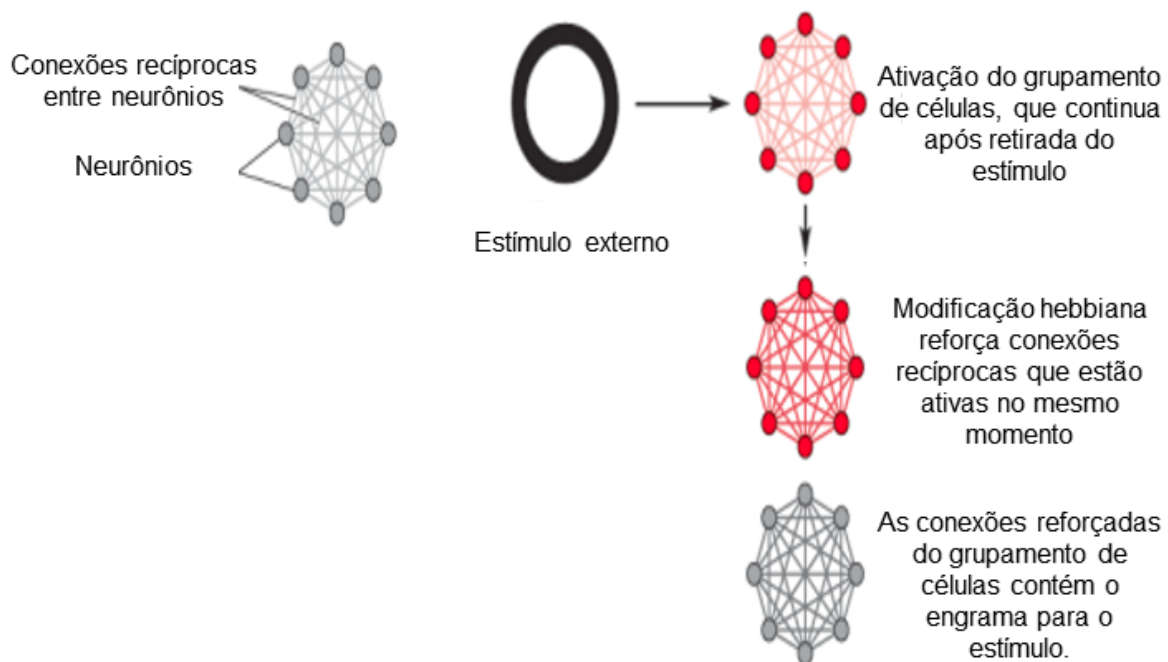
Existem alguns processos principais para compreender as etapas da memória. A codificação (*encoding*) é o processo pelo qual uma informação nova é recebida e vinculada às informações existentes na memória. Já a consolidação (*consolidation*) torna as informações que foram armazenadas temporariamente e que ainda se encontram instáveis, em estáveis (IZQUIERDO, 2018). Em termos moleculares, o momento da consolidação é o que ocorre a expressão dos genes e a síntese proteica que promovem mudanças estruturais nas sinapses. Por fim, o processo de evocação (*retrieval*) é o momento em que as informações necessárias são recuperadas. Nesse último momento, há grande interferência da percepção individual, que podem causar algumas distorções no momento de recuperar as

informações (KANDEL, 2012). É através do processo de evocação da memória que o cérebro recupera as memórias formadas, fortalecendo-as (JAMES, 1890).

Outro processo importante do aspecto evolutivo do ser humano é o do esquecimento. Esse é fundamental para otimização dos processos de memória e armazenamento, sem o qual seria impossível até mesmo pensar, pela quantidade de informações evocadas simultaneamente (IZQUIERDO, 2018). A maioria dos casos de esquecimento podem ser associados a falhas de (ROEDIGER III; DUDAI; FITZPATRICK, 2007).

Processos de memória exercem um papel fundamental no estudo da aprendizagem motora. Esses processos compreendem a maneira pela qual o conhecimento adquirido pelo aprendiz é codificado, armazenado e recuperado (KANDEL, 2012). Eles são embasados pela neuroplasticidade, que é reconhecida como a capacidade do cérebro em se adaptar a novos estímulos e algumas injúrias. Através da prática de uma habilidade, formam-se novas sinapses e terminações dendríticas, sendo produzidas pequenas unidades neurais denominadas engramas motores, que são o substrato neural da memória motora (Figura 1) (XIVRY; SHADMEHR, 2014).

Figura 1 - Engramas motores. Mecanismo para formação de memória proposto por Hebb em 1949. A partir da apresentação de estímulos a neurônios não comunicantes, esse grupo de neurônios sincroniza-se, levando a modificações no grupo de neurônios, fortalecendo-o e formando um cell assembly.

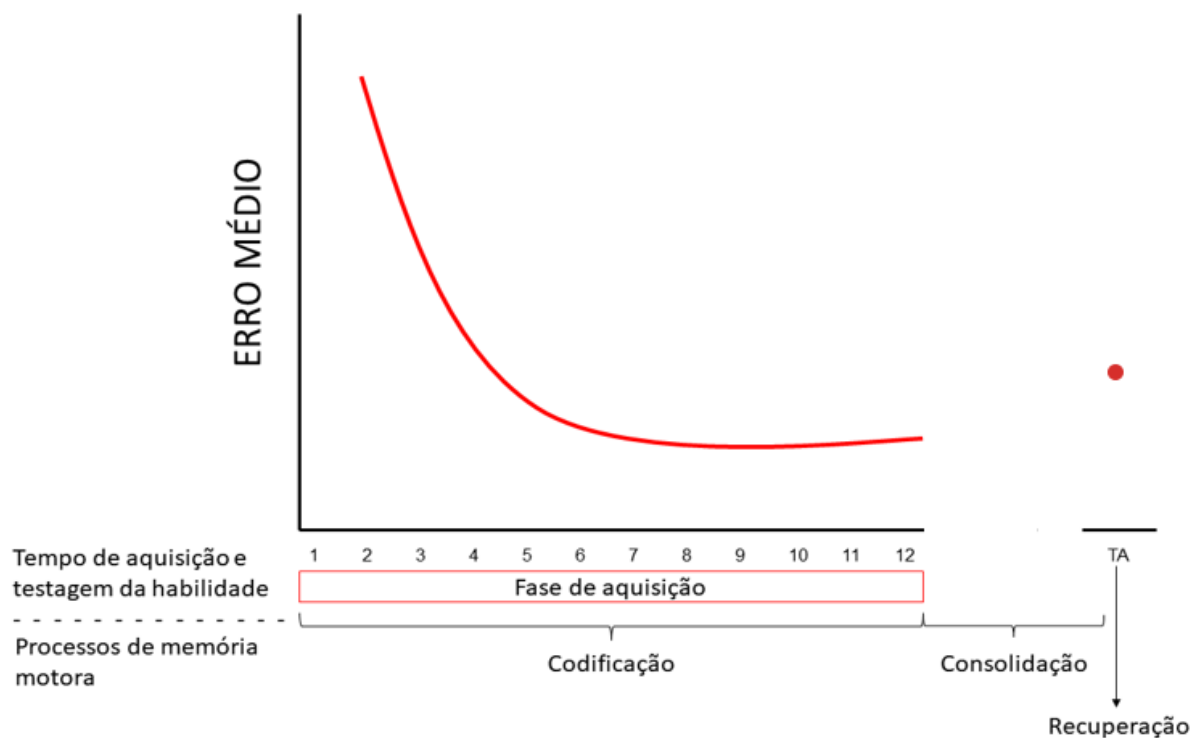


Fonte: Imagem adaptada de Bear; Connors; Paradiso, 2002.

Kantak e Winstein (2012) propuseram uma relação entre processos de memória a cada fase na aprendizagem motora (FIGURA 2). A fase de aquisição relaciona-se com o processo de codificação da memória. Já o período de retenção se associa ao processo de consolidação da memória. Por fim, os testes de aprendizagem estão relacionadas ao processo de recuperação da memória (FIGURA 2).



Figura 2 – Associação dos processos de aprendizagem motora e processos de memória. Esquemáticamente, a fase de aquisição da habilidade está associada a codificação da memória, o período de evocação à consolidação da memória e a evocação como a recuperação da memória.



FONTE: Imagem adaptada de Kantak; Winstein, 2012.

Legenda: eixo y corresponde ao erro médio e eixo x corresponde ao continuum de tempo da aquisição da atividade. A curva vermelha representa um padrão de comportamento da medida de erro médio ao longo das fases de aprendizagem motora e dos processos de memória. TA refere-se aos testes de aprendizagem.

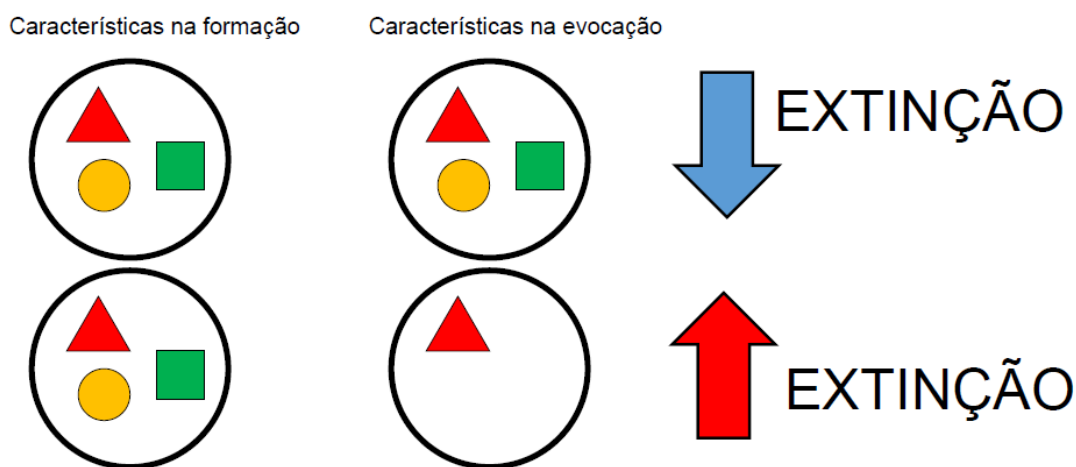
## 2.4 Processos de habituação e extinção da memória

As condições que envolvem a repetição de um estímulo, sem associá-los a outros, ou realizar modificações de contexto, geram uma habituação. Consequentemente, promovem uma reativação das redes sinápticas de cada memória no momento da evocação ou da lembrança. Portanto, quanto mais evocações forem realizadas com características mais fidedignas à da primeira prática, mais os processos de memória se fortalecem (ROEDIGER III; DUDAI; FITZPATRICK, 2007). Porém, com a alteração de estímulos ou de elementos do contexto, promove-se a extinção da memória. Esse processo não envolve estímulo de reforço como no processo de evocação. Portanto, devido ao baixo grau de similaridade entre as características do conjunto de estímulos presentes durante a

formação da memória e durante o momento da evocação, ocorrem falhas no processo de recuperação (IZQUIERDO, 1989).

A extinção, portanto, não se trata de uma forma de esquecimento de memórias, mas sim da inibição de alguns elementos durante a evocação que ocorreu em contexto diferente. A extinção pode passar a constituir um novo aprendizado. Se a repetição da tarefa motora em condições diferentes gera o processo de extinção, a simples reativação da memória em contextos de evocação próximos aos de treino pode levar à sua reconsolidação (LEDOUX; NADER, 2000).

Figura 3 - Processo de extinção da memória.



Fonte: Imagem de autoria da própria autora.

Legenda: Quando as características presentes na formação da memória são semelhantes às existentes no momento de evocação, o processo de extinção da memória tende a ser diminuto ou inexistente. Quando as características presentes no momento de formação se diferem das presentes no momento de evocação, o processo de extinção da memória tende a surgir de forma acentuada.

Existem diversos conceitos a respeito de contexto. Um deles é de que ele se refere à situação ou às circunstâncias de uma tarefa motora durante à prática. Pode-se referir a contexto enquanto ambiente em que a tarefa é realizada, condições diferentes para realização de uma tarefa como o tempo total fornecido, ou condições sensoriais existentes como o feedback, a qualidade da luz, dentre outros (ROEDIGER III; DUDAI; FITZPATRICK, 2007).

Alterar o contexto em um processo de aprendizagem e conseqüentemente de memória, significa alterar as pistas durante a prática, podendo tornar o contexto muito diferente da prática inicial ou semelhante (evocação). Espera-se que quanto mais semelhante os contextos das práticas, maior consolidação da memória e maior generalização do conhecimento. Ao passo em que, quanto mais diferentes os contextos, menores serão esses processos (ROEDIGER III; DUDAI; FITZPATRICK,

2007). Assim, o contexto exerce relação fundamental no estudo de aprendizagem motora e processos de memória.

Algumas memórias são mais dependentes do contexto, já que todas as experiências de prática ocorrem em contextos específicos. Essa influência do contexto pode ser percebida nos processos de codificação, consolidação e evocação da memória. Algumas habilidades que adquirimos, podem estar vinculadas aos contextos em que as adquirimos (ROEDIGER III; DUDAI; FITZPATRICK, 2007). Quanto mais semelhantes os contextos de evocação da memória, são fornecidas mais pistas contextuais, fortalecendo e facilitando o processo de evocação da memória (WATKINS; WATKINS, 1974).

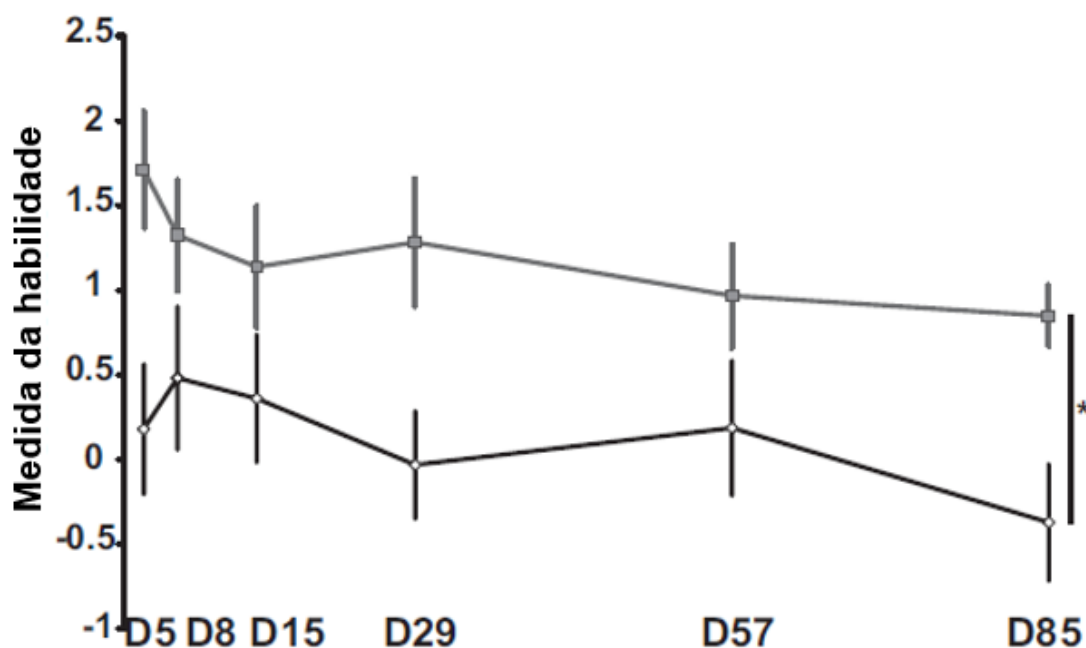
Outra relação que se estabelece entre contexto e memória é de que o primeiro pode ser utilizado para avaliar a segunda. Assim, o contexto auxilia a monitorar o conhecimento e experiências recuperados. Isso implica que a memória pode ficar vinculada a um contexto específico, favorecendo a fortes associações contextuais. Dessa forma, essas memórias tornam-se de difícil recuperação quando as pistas contextuais são alteradas (ROEDIGER III; DUDAI; FITZPATRICK, 2007).

Pode-se modificar algumas variáveis do contexto como o tempo total de realização de uma tarefa motora. Ao analisar os resultados de um experimento realizado por Healy *et al.* (2006), em que foram alteradas pequenas características da tarefa motora, foi possível concluir que para a aprendizagem de habilidades, a evocação exerce papel fundamental e é um forte componente de fortalecimento da memória, enquanto a mudança de características da prática mostra-se limitada para a aprendizagem (ROEDIGER III; DUDAI; FITZPATRICK, 2007). Esses resultados sugerem que, ao inserir um teste de extinção da memória em meio a testes de evocação, espera-se um decaimento da capacidade de evocação, com o aparecimento do processo de extinção da memória.

Reis *et al.* (2009) investigaram o impacto da ETCC anódica nos efeitos da prática no dia (*online*), no final do dia (*offline*) e na taxa de esquecimento (3 meses após a prática), que representa o processo de evocação de longo prazo. Em comparação ao grupo placebo, o grupo que recebeu ETCC anódica no M1 teve maiores níveis de aprendizagem, tanto *online*, quanto *offline*. Os maiores níveis de aprendizagem no grupo ETCC anódico foi mediado principalmente por meio da indução de efeitos *offline* positivos (FIGURA 4). Os resultados desse estudo sugerem que houve um processo de fortalecimento da memória por meio de aplicações

repetidas do teste. Então, é possível que o ETCC suporte a representação da memória, após um processo de extinção da memória devido ao teste de extinção da memória a longo prazo.

Figura 4 - Medida de desempenho durante os 85 dias de prática no estudo de Reis *et al.*, (2009).



FONTE: Imagem adaptada de Reis *et al.*, 2009.

Legenda: Delineamento do estudo de Reis *et al.*, 2009. O eixo y refere-se às medidas da habilidade D5 corresponde ao 5º dia após a prática, D8 ao 8º dia e assim até o D85 que corresponde ao 85º dia após a fase de aquisição. O gráfico mostra ainda, a diferença significativa entre o grupo que recebeu estimulação com ETCC e o grupo placebo, em que a linha cinza indica o grupo placebo e a linha preta o grupo que recebeu ETCC.

Novas questões surgem a partir dos achados de Reis *et al.* (2009). Múltiplas evocações da habilidade aprendida ao longo do tempo favorece a manutenção da memória formada. Uma questão que se abre a partir desses achados é se essa manutenção dessa memória poderia ser observada quando processos de extinção fossem inseridos entre os processos de evocação da habilidade originalmente praticada. Poderiam os efeitos da ETCC serem fortes o suficiente para atenuar os processos de extinção? Essa é uma questão a ser ainda respondida

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar o efeito da ETCC anódica na aprendizagem motora de curto e longo prazo.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1. Avaliar o efeito da ETCC anódica na evocação sem a inserção de um processo de extinção.

2. Avaliar o efeito da ETCC anódica na evocação após a inserção de um processo de extinção

3. Avaliar o efeito da ETCC anódica durante o processo de extinção.

4. Avaliar o efeito da ETCC a partir do processo de extinção.

#### **4 HIPÓTESES DE ESTUDO**

- 1 O grupo que receber ETCC apresentará melhor desempenho em relação ao grupo placebo na aquisição e no teste de evocação.
- 2 O grupo que receber ETCC apresentará melhor desempenho em relação ao grupo placebo no teste de evocação 2.
- 3 O grupo de que receber ETCC apresentará melhor desempenho em relação ao grupo placebo durante o processo de extinção.
- 4 O grupo que receber ETCC sofrerá menor efeito da extinção quando comparada a diferença entre o desempenho da evocação 1 com a evocação.

## 5 MÉTODO

### 5.1 Participantes

Os dados foram coletados por Apolinário-Souza (2014), em uma sala projetada para coletas no prédio da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O presente estudo é uma análise *Post-Hoc* do estudo original de Apolinário-Souza (2014). O modelo de análise *Post-Hoc* foi escolhido principalmente devido às condições restritas de coleta geradas pela pandemia do coronavírus.

Os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) e responderam o Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971) para a determinação do índice de lateralidade. Todos se autodeclararam destros e apresentaram índice de preferência acima de 80 pontos para a mão direita. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, respeitando todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde para pesquisas com seres humanos, com o CAAE 24116513.2.0000.5149.

No total, foram selecionados 20 indivíduos de ambos os sexos, estudantes universitários destros com idade entre 18 a 35 anos (idade média =  $26,95 \pm 3,54$  anos). Os critérios de inclusão para a amostra foram: não apresentar nenhum comprometimento neurológico e não utilizar implantes de metal no crânio ou marca-passos cardíacos. Também foi verificado se os participantes se queixavam de dores de cabeça recorrentes, apresentavam gravidez, histórico recente de epilepsia ou se estavam ingerindo medicamentos que pudessem alterar a excitabilidade do cérebro (NITSCHKE *et al.*, 2008). Foi enviado aos participantes, um convite pessoal e foi realizado um anúncio na EEFFTO da UFMG para recrutamento da amostra. Os participantes elegíveis foram aleatoriamente distribuídos em dois grupos experimentais, pareados por sexo: grupo de prática constante com ETCC (GE) e grupo de prática constante com ETCC placebo (GP).

### 5.2 Tarefa motora

Foi adotada a tarefa sequencial de dígitos, que foi realizada em um microcomputador. Todos os participantes realizaram a tarefa assentados e puderam ajustar o monitor de vídeo e o teclado ao seu critério. Os participantes foram

instruídos a digitar uma sequência pré-determinada de teclas (2, 8, 6 e 4) com o dedo indicador em um teclado alfanumérico. A tarefa teve como meta um tempo absoluto de 900 ms de execução, e uma meta de tempo relativo constante de 22.22%, 44.44% e 33.33% do tempo absoluto para o primeiro, segundo e terceiro segmento (2-8, 8-6, 6-4), respectivamente.

Durante a fase de aquisição, foi disponibilizado na tela do computador um *feedback* sobre a meta e os tempos relativos/absoluto executado (conhecimento de resultados) após o final de cada tentativa. O conhecimento de resultados incluiu as seguintes informações: erro percentual dos 3 tempos relativos, tempo total absoluto em milissegundos e o percentual do erro total relativo que se refere a soma dos 3 valores de erro relativo apresentados na tela do monitor. Antes de iniciarem as coletas foram fornecidas instruções verbais sobre a tarefa e as formas de *feedback* disponibilizadas pelo *software*.

### **5.3 Delineamento experimental**

O presente estudo adotou o mesmo número de tentativas de estudos prévios tanto para a fase de aquisição quanto para os testes de aprendizagem (LAGE, 2005; APOLINÁRIO-SOUZA, 2014; BICALHO *et al.*, 2019). Na fase de aquisição, os participantes dos GE e GP executaram 120 tentativas com tempo absoluto de 900 ms, com fornecimento de *feedback* e ETCC anódica ou placebo. Já nos testes de evocação e extinção os participantes praticaram um bloco de 12 tentativas, sem *feedback* e estimulação transcraniana. Enquanto nos testes de evocação 1 e 2 o tempo absoluto foi mantido em relação à fase de aquisição, no teste de extinção os participantes realizaram um tempo absoluto de 1.300 ms. O intervalo adotado para a inferência da aprendizagem de curto e longo prazo também foi baseado em estudos prévios e envolveu um período de 24 horas e 10 dias após a prática, respectivamente (APOLINÁRIO-SOUZA, 2014).

Um teste de evocação e outro de extinção foram realizados em sequência após o período de 24h, com 12 tentativas de prática da tarefa, sendo o teste de extinção conduzido imediatamente após o teste de evocação, com tempo absoluto de 1.300ms. Um segundo teste de evocação foi conduzido 10 dias após o fim da fase de aquisição, com as mesmas características do primeiro teste de evocação.



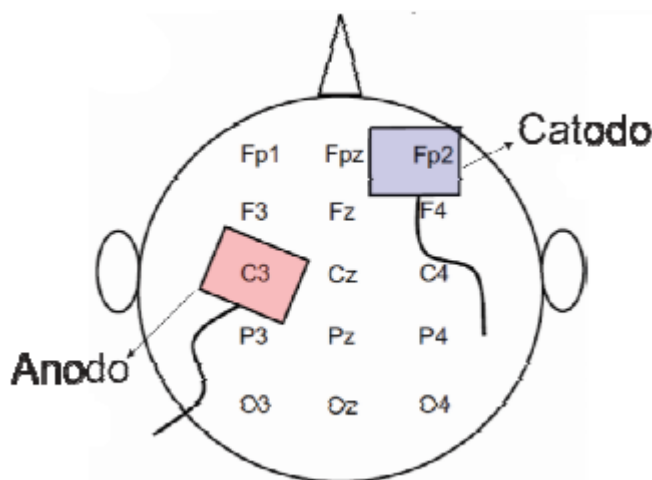
#### 5.4 Estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC)

Os participantes de ambos os grupos receberam estimulação sobre o M1 por 20 minutos antes de realizar a prática. Embora o grupo PL tenha recebido a estimulação com o mesmo aparato, sob as mesmas configurações de eletrodo, a estimulação foi mantida por um breve período de tempo (36 segundos) e desligado logo após, evitando assim, a percepção da estimulação placebo.

Durante o procedimento de estimulação, os participantes mantiveram-se assentados, confortavelmente em uma cadeira. O equipamento de ETCC utilizado é da marca HDC kit MarcaMagstim. A estimulação foi aplicada por meio de dois eletrodos cobertos por uma esponja (área de superfície de eletrodos) embebida em uma solução salina, a fim de evitar a transmissão de calor para o couro cabeludo (NITSCHÉ *et al.*, 2008).

O eletrodo anodo foi posicionado sobre o M1 (C3 do sistema internacional 10-20 de EEG) esquerdo e o eletrodo catodo foi posicionado sobre a área supra orbital contralateral (no Fp2 do sistema internacional 10-20 de EEG). Foi utilizada uma intensidade de 1 mA/cm<sup>2</sup>; (densidade de corrente de 0,04mA/cm<sup>2</sup>; carga total de 0,048 C/cm<sup>2</sup>).

FIGURA 5 - Sistema internacional 10-20 de EEG. A posição C3 equivale a M1 e Fp2 área supra orbital.



Fonte: Imagem adaptada de Nitsche *et al.*, 2008.

#### 5.5 Análise de dados

Como variável dependente, o erro global foi estimado a partir da soma do erro relativo com erro absoluto. Essa medida foi determinada pela soma das diferenças

absolutas entre o tempo alvo ( $t_a$ ) do segmento e o tempo realizado para cada segmento ( $t_r$ ), definido pela seguinte equação:  $EG = |t_{E1} - t_{a1}| + |t_{E2} - t_{a2}| + |t_{E3} - t_{a3}|$ . Esse foi escolhido pois, apesar da irrefutável importância de analisar os erros relativo e absoluto, que estão relacionados a dimensões da habilidade, esse trabalho tem como objeto de estudo o desempenho global da tarefa. A medida de erro global foi utilizada para fazer inferências no desempenho no teste de aquisição, testes de aprendizagem e mudanças *online* e *offline*.

Para conduzir a análise estatística, as 120 tentativas da fase de aquisição foram agrupadas em 10 blocos, enquanto as 12 tentativas dos testes de aprendizagem foram agrupadas em um único bloco.

Para analisar os dados da aquisição, foi conduzida uma ANOVA *two-way* (2 Grupos X 10 Blocos), com medidas repetidas no segundo fator (2 Grupos X 10 Blocos). As análises *post-hoc* foram realizadas com o teste de *Tukey*. Para o teste de evocação 1 (E1), evocação 2 (E2) e Teste de extinção (EX), foi utilizado o Teste t independente para cada teste.

Para avaliar o efeito da extinção na evocação de 10 dias, foi calculada a diferença entre o desempenho de E2 e E1. Um teste t independente foi conduzido para avaliar qual grupo sofreu mais os efeitos off-line da extinção entre as evocações. O valor de significância adotado foi de  $p < 0,05$ , o tamanho do efeito foi calculado usando o *eta-squared* ( $\eta^2$ ) para as ANOVAS e Cohen (d) para os testes t de *Student*.

Os valores de erro global foram pré-processados e ajustados de acordo com o *range* apresentado (Equação 1). O processo de normalização em questão permite que os diferentes valores sejam normalizados e avaliados em um único conjunto de dados e tem sido muito utilizado em algoritmos de aprendizagem de máquinas que utilizam de um certo critério para reduzir a magnitude de erro em suas análises (WU, *et al.*, 2019).

EQUAÇÃO 1 – Equação de normalização dos dados.

$$E' = \frac{e - \min}{\max - \min}$$

Legenda: “E’ “ é o valor normalizado; “e” representa o valor a ser normalizado; “min” é o valor mínimo da série que precisa ser normalizado; “max” é o valor máximo da série que deve ser normalizado.

## 6 RESULTADOS

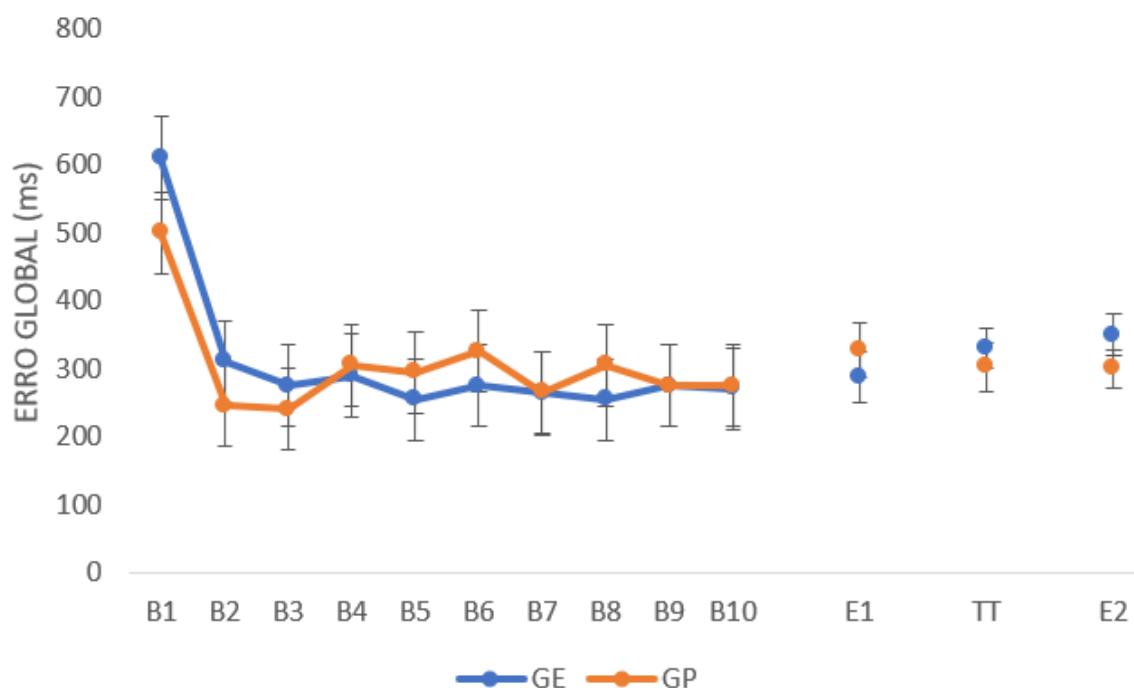
### 6.1 Fase de aquisição

O desempenho dos grupos em todas as fases do estudo pode ser observado no Gráfico 1. A ANOVA two-way (2 Grupos X 10 Blocos), com medidas repetidas no segundo fator (2 Grupos X 10 Blocos) indicou diferenças no fator Blocos [ $F(9) = 43,01$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,683$ ]. Já o teste *post-hoc* indicou que Bloco 1 apresentou maior erro global em relação aos demais blocos ( $p < 0,001$ ). A ANOVA two-way não indicou diferenças no fator Grupos [ $F(9) = 0,29$ ,  $p = 0,59$ ,  $\eta^2 = 0,002$ ]. A ANOVA two-way indicou interação entre Blocos e Grupos [ $F(9) = 2,42$ ,  $p = 0,01$ ,  $\eta^2 = 0,10$ ] e o teste *post-hoc* não indicou diferenças entre blocos e grupos ( $p > 0,05$ ).

### 6.2 Testes de aprendizagem

No teste de E1, o teste t independente identificou diferença significativa entre Grupos [ $t(df=18) = -2,425$ ,  $p = 0,02$ ,  $d = -41,36$ ], sendo que o GE teve melhor desempenho, com menor média de erro global (287,46 ms) em comparação ao GP (328,83 ms). No TEM, o teste t independente não identificou diferença significativa entre Grupos [ $t(df=18) = 1,90$ ,  $p = 0,73$ ,  $d = 27,63$ ]. No teste de E2, o teste t independente identificou diferença significativa entre Grupos [ $t(df=18) = 3,72$ ,  $p = 0,02$ ,  $d = 13,33$ ], sendo que o GE obteve pior desempenho, com maior média de erro global (349,46 ms) quando comparado ao grupo PL (299,86 ms).

GRÁFICO 1 - Média do erro global da aquisição, testes de evocação e extinção da memória.

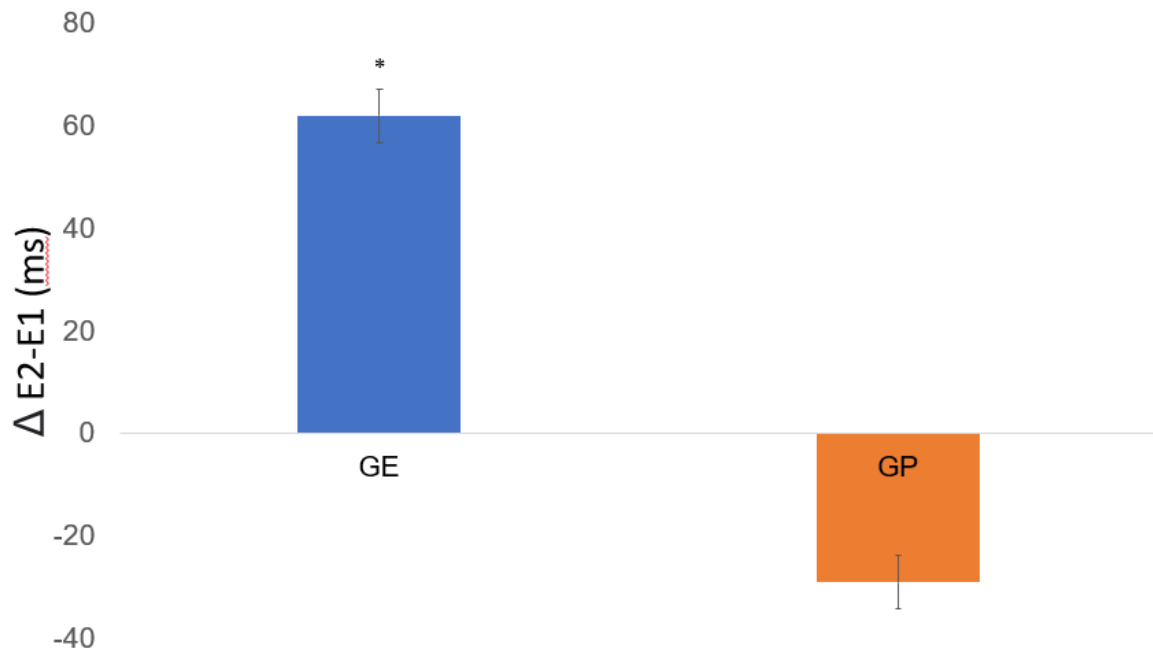


Descrição: A linha laranja corresponde ao grupo placebo e a linha azul ao grupo que recebeu ETCC anódica e a barra de erro indica o desvio padrão. Na vertical, encontram-se os valores de erro global, enquanto na horizontal, encontram-se os blocos de tentativa (B1 até B10), bem como o primeiro teste de evocação (E1), teste extinção da memória (TEM) e o segundo teste de evocação (E2). As barras de erro correspondem às medidas de desvio padrão.

### 6.3 Efeitos da extinção

O grau de mudança do desempenho dos grupos da E1 para E2 pode ser observado no Gráfico 2. O teste t independente mostrou diferença significativa entre Grupos [ $t(df=18) = 13,67, p < 0,01, d = 6,65$ ], sendo que o GE teve pior desempenho, com maior variação da média de erro global (61,99 ms) em comparação ao GP (-28,97 ms).

GRÁFICO 2 – Medida de erro global dos grupos da E1 para E2.



Legenda: A barra azul corresponde ao grau de mudança do desempenho do GE de E1 para E2. A barra laranja corresponde ao grau de mudança do desempenho do GP de E1 para E2. O grau de mudança foi calculado seguindo a fórmula:  $\Delta = E2 - E1$ . As barras de erro correspondem às medidas de desvio padrão.

## 7 DISCUSSÃO

O objetivo geral do presente estudo foi avaliar o efeito da ETCC anódica na aprendizagem motora de curto e longo prazo. Como objetivos secundários buscou-se (1) avaliar o efeito da ETCC anódica na evocação sem a inserção de um processo de extinção, (2) avaliar o efeito da ETCC anódica na evocação após a inserção de um processo de extinção, (3) avaliar o efeito da ETCC anódica durante o processo de extinção e (4) avaliar o efeito da ETCC a partir do processo de extinção. Para tal, foi utilizada uma tarefa de sequência de dígitos que foi administrada em dois grupos distintos, um grupo que recebeu Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua, grupo ETCC, e outro que passou por um procedimento de simulação da ETCC, grupo placebo. As hipóteses levantadas foram que a ETCC anódica apresentaria efeitos benéficos tanto de curto prazo quanto de longo prazo, o grupo ETCC apresentaria melhor desempenho em relação ao grupo placebo no teste de evocação 2 e o grupo ETCC apresentaria melhor desempenho em relação ao grupo placebo no teste de extinção da memória.

Os resultados do presente estudo confirmaram parcialmente as hipóteses levantadas, pois a ETCC anódica favoreceu a aprendizagem de curto prazo, mas não favoreceu de longo prazo, nem no teste de extinção da memória, pelo contrário, prejudicou a aprendizagem motora. Em relação aos efeitos da ETCC anódica na aprendizagem de curto prazo, os resultados do presente estudo estão de acordo com os achados na literatura (ex., APOLINÁRIO-SOUZA *et al.*, 2016; PARMA *et al.*, 2020). Já em relação aos efeitos de longo prazo, a aplicação da ETCC anódica prejudicou o desempenho no teste de evocação 2. Esse resultado contraria a expectativa que a aplicação da ETCC anódica favoreceria a aprendizagem de longo prazo. Como possível explicação, pode-se citar o processo de extinção da memória estabelecido entre o teste de extinção da memória e o teste de evocação 2. É importante destacar que esse mecanismo até então ainda não havia sido investigado. Portanto, é possível especular que os demais estudos encontraram efeitos positivos da ETCC anódica na aprendizagem motora de longo prazo devido ao delineamento de testes de evocação consecutivos. Esse formato pode fortalecer a memória ao facilitar sua evocação o que por sua vez nos faz questionar o real papel da ETCC anódica no processo de aprendizagem motora de longo prazo.

A aprendizagem motora é possível de ser inferida a partir dos testes de aprendizagem, compreendidos neste estudo como teste de evocação 1 (E1), teste de extinção da memória (TEM) e teste de evocação 2 (E2). O objetivo do teste de evocação é realizar inferências sobre o desempenho na habilidade que foi retida pelo aprendiz. Assim, o desempenho obtido no teste de evocação demonstra a força da representação da memória motora ao longo do tempo e a capacidade de recuperar a memória motora necessária para reproduzir a habilidade motora (KANTAK; WINSTEIN, 2012). E o fortalecimento das conexões neurais gerado pela ETCC anódica é um dos mecanismos que podem justificar tais achados, o que pode ser interpretado a partir dos mecanismos de LTP que são fortalecidos pela técnica (REIS; FRITSCH, 2011; COOKE; BLISS, 2006; FRITSCH *et al.*, 2010). Com o fortalecimento de mecanismos de LTP, conexões recíprocas são reforçadas durante o processo de consolidação à medida em que a memória for evocada em condições similares (APOLINÁRIO-SOUZA, 2014).

Por outro lado, os resultados observados no TEM no presente estudo não corroboram com os achados de Apolinário-Souza, *et al.* (2016), cujo os efeitos benéficos da ETCC anódica foram observados no teste de extinção da memória. No estudo de Apolinário-Souza *et al.* (2016) a aprendizagem da habilidade motora foi dividida em duas dimensões, relativa e absoluta. A dimensão relativa diz respeito à estrutura espaço-temporal (LAI; SHEA, 1998), associada a diferentes conceitos, tais como o Programa Motor Generalizado (SCHMIDT, 1975). Por outro lado, a dimensão absoluta caracteriza a capacidade de promover mudanças na estrutura do movimento, podendo ser conceituada como a capacidade de parametrização (WULF; LEE, 1993), por exemplo. No estudo de Apolinário-Souza *et al.* (2016) os efeitos benéficos da ETCC anódica foram observados na dimensão absoluta, mas não foram observados na dimensão relativa. Possivelmente, a ETCC anódica não promove efeitos benéficos sobre a aprendizagem quando a mesma é avaliada em termos globais.

Esses resultados desafiam a lógica e a expectativa apresentada no presente trabalho. Com a aplicação da ETCC anódica na prática, aumenta-se os processos de fortalecimento da memória, o que por sua vez se espera uma diminuição dos efeitos da extinção da memória. Afinal, quanto mais fortalecida a memória, maior será a habilidade do indivíduo em manter para outra tarefa. No entanto, a extinção da memória não parece operar de forma tão linear. Existem

evidências que alguns fatores aumentam os processos de fortalecimento da memória, mas não facilitam a transferência (ROBERTSON, 2018). Como exemplo, a quantidade de prática. A prática prolongada parece impedir mais do que auxiliar na transferência. No estudo de Lage *et al.* (2016), um grupo praticou 80 tentativas e outro grupo 120 tentativas de uma mesma habilidade e, posteriormente, ambos os grupos foram testados em uma nova condição (teste de transferência). O grupo de 120 tentativas apresentou pior desempenho na nova condição (teste de transferência) em relação ao grupo com 80 tentativas. Portanto, o exemplo acima demonstra que a transferência não é simplesmente ditada pelo acúmulo dos processos de fortalecimento da memória e depende de outros processos (ROBERTSON, 2018).

Um desses processos é instabilidade da memória (MOSHA; ROBERTSON, 2016). Moshá e Robertson (2016) indicaram que a condição para suportar mudanças de uma tarefa está relacionada à instabilidade da memória motora ao final da prática. Quanto mais instável a memória maior a adaptabilidade às mudanças e o oposto também é verdadeiro. Assim, a adaptabilidade fica impedida quando a memória está muito estável, enquanto é facilitada quando há a presença de memória instável. Esses pressupostos reforçam que possivelmente ETCC anódica tornou a memória motora mais estável e consolidada, enquanto a memória motora do GP permaneceu instável.

A mudança de contexto, ou de apenas uma das características da tarefa parece ter exigido muito de uma habilidade que foi fortalecida no teste de evocação 1 pela ETCC anódica. Assim, os grupos não se diferiram no TEM e o GE obteve pior desempenho em comparação ao GP no teste de evocação 2. Dessa forma, é possível que devido a grande influência contextual gerada pelo fortalecimento da memória, a ETCC anódica prejudicou o teste de evocação. Em outras palavras, os resultados indicam que a ETCC anódica não favoreceu o processo de evocação de longo prazo. Como possível explicação, pode-se citar o processo de extinção da memória criado entre o teste de extinção da memória e o teste de evocação 2.

O efeito negativo da extinção na evocação 2 foi devido a uma representação mais forte criada inicialmente pela ETCC anódica (verificada a partir do melhor desempenho do GE na evocação 1), mas que gerou uma memória mais estável, pouco flexível. E a estabilidade, por sua vez, gerou processos de esquecimento (ROBERTSON *et al.*, 2004). O esquecimento está usualmente associado a falhas de



recuperação ou acesso a parte da informação consolidada. A inserção de um estímulo diferente durante o processo de extinção levou a perdas na capacidade de evocação da habilidade anteriormente praticada.

A análise das mudanças entre o E1 para o E2 também indica os efeitos da extinção da memória de longo prazo. Os achados dessa análise corroboram com a lógica supracitada de que a manutenção da memória motora não foi favorecida pelo processo de extinção, uma vez que o grupo GE apresentou um maior decaimento no desempenho entre os testes em comparação ao grupo GP.

É importante destacar que o delineamento adotado neste estudo e os efeitos observados ainda não foram descritos na literatura. O grande diferencial no delineamento do presente estudo foi a inserção de um teste de extinção da memória entre testes de evocação o que gerou um processo de extinção de memória. Possivelmente, estudos anteriores encontraram efeitos positivos do ETCC anódica na aprendizagem motora de longo prazo, devido ao delineamento de testes de evocação consecutivos que representam diversas evocações da memória de forma consecutiva. Esse formato por si só pode fortalecer a memória, facilitando sua evocação, fazendo surgir o questionamento do real papel da ETCC anódica no processo de aprendizagem motora de longo prazo.

## 8 CONCLUSÃO

No presente estudo foi investigado o efeito da ETCC anódica na aprendizagem motora de curto e longo prazo. Os resultados encontrados sugerem que a ETCC anódica fortalece os processos de memória, favorecendo menor erro global de curto prazo. Contudo, a técnica de modulação não favorece a manutenção dessa memória devido ao processo de extinção e impacta negativamente no desempenho motor de longo prazo.

Os achados são parcialmente contrários aos de estudos anteriores. Pois o efeito de curto prazo da ETCC anódica foi encontrado como em estudos prévios, porém não foi encontrada como no estudo de Reis *et al.* (2019) os benefícios de longo prazo. Assim com a inserção do processo de extinção da memória, a ETCC não sustentou a memória de longo prazo.

Para futuros estudos sugere-se que efeitos aditivos da ETCC anódica ao longo do tempo sejam estudados. Para tal, a estimulação poderia ser aplicada após a primeira evocação. E uma segunda proposta seria a inserção de um terceiro grupo que não sofrerá o processo de extinção. Outra proposta seria a inserção de um grupo controle que não passaria pela estimulação com ETCC anódica nem placebo, mas faria a tarefa com o mesmo delineamento. Por fim, uma última proposta seria inserir uma medida neurobiológica para investigação mais profunda dos efeitos da ETCC anódica a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. *et al.* Effects of knowledge of results frequency on the learning of generalized motor programs and parameters under conditions of constant practice. **Perceptual & Motor Skills: Learning & Memory**, v. 119, n. 1, p. 1-13, 2014.

ANTAL, A. *et al.* Facilitation of visuo-motor learning by transcranial direct current stimulation of the motor and extrastriate visual areas in humans. **The European journal of neuroscience**, v. 19, n. 10, p. 2888–92, 2004.

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, dimension of a task: A tDCS study. **Physiol Behav**. V. 160, p. 18-25, 2016.

BATSIKADZE, G. *et al.* Partially non-linear stimulation intensity-dependent effects of direct current stimulation on motor cortex excitability in humans. **The Journal of Physiology**. v. 591, n. Pt 7, p. 1987–2000, 2013.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

BISHOP, G.H.; O'LEARY, J. L. The effects of polarizing currents on cell potentials and their significance in the interpretation of central nervous system activity. **Electroencephalogr Clin Neurophysiol**. v. 2, p. 401–416, 1950.

BOUTON, M.E. Context and behavioral processes in extinction. **Learn Mem**. v.11, p.485-94, outubro, 2004.

CHAN, C.Y.; HOUNSGAARD J.; NICHOLSON, C. Effects of electric fields on transmembrane potential and excitability of turtle cerebellar Purkinje cells in vitro. **J Physiol**. V. 402, p.751–771, 1988.

CHAN, C.Y.; NICHOLSON C. Modulation by applied electric fields of Purkinje and stellate cell activity in the isolated turtle cerebellum. **J Physiol**. v. 371, p.89–114, 1986.

COOKE, S. F.; BLISS, T. V. P. Plasticity in the human central nervous system. **Brain: a journal of neurology**, v. 129, n.7, p. 1659–73, 2006.

DUDAI, Y. **Memory: From A to Z**. Nova York, v.1, 330 p. 2004.

FERREIRA, F. F. *et al.* Social support favors extinction and impairs acquisition of both short- and long-term contextual fear conditioning memory. **Neuroscience Letters**. Porto Alegre, v. 712, setembro, 2019.

FRITSCH, B. *et al.* Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. **Neuron**. v. 66, n. 2, p. 198–204, 2010.

GHANAVATI, E. *et al.* NMDA receptor–related mechanisms of dopaminergic modulation of tDCS-induced neuroplasticity. **Cerebral Cortex**. Bochum, v.00, p.1–11 2022.

HEALY, D.; JONES, R.R.; HOLDSWORTH, R.E. New insights into the development of brittle shear fractures from a 3-D numerical model of microcrack interaction. **Earth Planet. Sci. Lett.** v.249, p.14-28, 2006b.

HEALY, D.; JONES, R.R.; HOLDSWORTH, R.E. Polymodal faulting by crack or anticrack interaction. **AGU Fall Meeting Abstracts**, v. 1, p. 0449, 2006c.

HEALY, D.; JONES, R.R.; HOLDSWORTH, R.E. Three-dimensional brittle shear fracturing by tensile crack interaction. **Nature**. v. 439, p. 64-67, 2006a.

HUMMEL, F.C. *et al.* Facilitating skilled right hand motor function in older subjects by anodal polarization over the left primary motor cortex. **Neurobiol Aging**. v. 31, p. 2160–2168, 2010.

HUNTER, T. *et al.* Modulation of internal model formation during force field-induced motor learning by anodal transcranial direct current stimulation of primary motor cortex. **J Physiol**. v. 587, p. 2949–2961, 2009.

IZQUIERDO, I. Different forms of posttraining memory processing. **Behav. Neural Biol.**1989.

IZQUIERDO, I. **Memória**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 220 p., 2018.

JAMES W. The Principles of Psychology. **Dover**. New York, 1890.

KANDEL, E. R. *et al.* **Principles of neural science**. 5 ed. Medical,1761 p., 2012

KANTAK, S. S.; WINSTEIN, C. J. Learning-performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. **Behavioural Brain Research**, v. 228, n. 1, p. 219–231, 2012.

KIDGELL, D.J., *et al.* Induction of cortical plasticity and improved motor performance following unilateral and bilateral transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex. **BMC Neurosci**. P.14 – 64, 2013.

KOLB, B.; WHISHAW, I. Q. **Fundamentals of Human Neuropsychology**. 5ed. 764p. 2003.

KORMAN, M. *et al.* Multiple shifts in the representation of a motor sequence during the acquisition of skilled performance. **PNAS**. v. 100, n. 21, p. 12492–12497, outubro, 2003.

LAGE, G. M. **Efeito de Diferentes Estruturas de Prática na Aprendizagem de Habilidades Motoras**. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

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 de Ciência e Movimento**. v.19, 2011.

LAGE, G. M. *et al.* The effect of constant practice in transfer tests. **Motriz. Revista de Educacao Fisica**, v. 23, n. 1, p. 22–32, 2016.

LAGE, G.M. *et al.* Repetition and variation in motor practice: A review of neural correlates. **Neurosci Biobehav Rev**. 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.

LEE, T. D.; WHITE, M. A.; CARNAHAN, H. On the role of knowledge of results in motor learning: Exploring the guidance hypothesis. **Journal of Motor Behavior**. v.22(2), p.191–208, 1990.

LUFT, A.R. Buitrago MM Stages of motor skill learning. **Mol Neurobiol**. v.32, p. 205–216, 2005.

MACHADO, A.; HAERTEL, L. M. Neuroanatomia funcional. **Atheneu**, Belo Horizonte, 3ed, 2014.

MAGILL, R.A.; HALL, K.G. A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.9, p.241-289, 1990.

MAGILL, R. A. **Aprendizagem Motora - Conceitos e Aplicações**. 5 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

MAGILL, R. A. **Aprendizagem Motora - Conceitos e Aplicações**. 8 ed. São Paulo: Phorte editora, 567p., 2011.

MANOEL, E. J. O diálogo no processo de aquisição de habilidade motoras. **Aprendizagem motora: problemas e contextos**. Lisboa: MH edições, p.19-33, 2001.

MATSUO, A. Enhancement of precise hand movement by transcranial direct current stimulation. **NeuroReport**. v. 22, p. 78–82, 2011.

MEDEIROS, F. M. *et al.* Can an aversive, extinction-resistant memory trigger impairments in walking adaptability? An experimental study using adult rats. **Neuroscience Letters**. Porto Alegre, dezembro, 2017.

MIRIFAR, A; BECKMANN, J.; EHRENSPIEL, F. Neurofeedback as Supplementary Training for Optimizing Athletes' Performance: A Systematic Review with Implications for Future Research. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**. 2017.

MORRELL, F. Effect of anodal polarization on the firing pattern of single cortical cells. **Ann N Y Acad Sci**. v. 92, p. 860–876, 1961.

MOSHA, N.; ROBERTSON, E. M. Unstable Memories Create a High-Level Representation that Enables Learning Transfer. **Current Biology**. v. 26, p. 100–105 janeiro, 2016.

NADER, K.; SCHAFE, G.; LE DOUX, J. Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval. **Nature**. v. 406, p. 722–726, 2000.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Modulating parameters of excitability during and after transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. **JPhysiol**. v.568, p. 291–303, 2005.

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

NITSCHKE, M.; PAULUS, W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. **The Journal of physiology**, v. 527, p. 633–9, 2000.

PARMA, J. O. **A estimulação do córtex motor primário na aprendizagem de uma habilidade motora complexa**. 2018. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Esporte) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

REIS, J. *et al.* Contribution of transcranial magnetic stimulation to the understanding of cortical mechanisms involved in motor control. **J Physiol**. V. 586, p. 325-351, 2008.

REIS, J. *et al.* Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. **PNAS**. Nova York, v. 106, p. 1590–1595, fevereiro, 2009.

REIS, J.; FRITSCH, B. Modulation of motor performance and motor learning by transcranial direct current stimulation. **Current Opinion in Neurology**. Freiburg, v.24, p. 590–596, 2011.

ROBERTSON, E.M. Memory instability as a gateway to generalization. **PLoS Biol**. v. 16, março 2018.

ROBERTSON, E.M. Skill learning: putting procedural consolidation in context. **Curr Biol**. v.14, p. 1061–1063, 2004.

ROEDIGER III, H. L.; DUDAI, Y.; Fitzpatrick, S. M. Science of memory: concepts. **Oxford University Press**. Nova York, 2007.

ROEDIGER III, H. L.; DUDAI, Y.; FITZPATRICK, S. M. **Science of Memory: Concepts**. Nova York: Oxford University Press, 465 p., 2007.

SALIMPOUR, Y.; SHADMEHR, R. Motor costs and the coordination of the two arms. **J Neurosci**. v. 34, p. 1806–1818, 2014.

SAVION-LEMIEUX, T.; PENHUNE, V. B. The effects of practice and delay on motor skill learning and retention. **Exp Brain Res**. v. 161, p. 423–431, 2005.

SCHMIDT, R. A. *et al.* Motor control and learning: a behavioral emphasis. 6 ed **Champaign, IL: Human Kinetics**. 2019.

SCHMIDT, R. A. Psychological Review. **American Psychological Association**, v. 82, n. 4, p. 225 – 260, 1975.

SCHMIDT, R. A.; LEE, T. D. Motor control and learning: A behavioral emphasis. 4 ed. **Human Kinetics**. 2005.

SCHMIDT, R. A; LEE, T. D. **Motor control and learning: a behavioral** emphasis. 3.ed. Champaign: Human Kinetics, 1999.

SEKIYA, H. *et al.* **Research quarterly for exercise and sport**. v.65, p.330- 338, 1994.

SHEA, C. H.; KOHL, R. M. Specificity and variability of practice. **Res Q Exerc Sport**. v. 61, p. 169–177, 1990.

SHMUELOF, L.; KRAKAUER, J. W.; MAZZONI, P. How is a motor skill learned? Change and invariance at the levels of task success and trajectory control. **J Neurophysiol**. v. 108, p. 578–594, 2012.

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

TANAKA, S. Enhancement of pinch force in the lower leg by anodal transcranial direct current stimulation. **Exp Brain Res**. v.196, p. 459–465, 2009.

TANI, G. *et al.* Pesquisa na área de comportamento motor: modelos teóricos, métodos de investigação, instrumentos de análise, desafios, tendências e perspectivas. **R. da Educação Física/UEM**. Maringá, v. 21, n. 3, 2010.

UKUEBERUWA, D.; WASSERMANN, E. M. Direct current brain polarization: a simple, noninvasive technique for human neuromodulation. **Neuromodulation: journal of the International Neuromodulation Society**, v. 13, n. 3, p. 168–73, 2010.

VOLLMANN, H. *et al.* Anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over supplementary motor area (SMA) but not pre-SMA promotes short-term visuomotor learning. **Brain stimulation**. v. 6, n. 2, p. 101–7, 2013.

WATKINS, M. J. Concept and measurement of primary memory. **Psychological Bulletin**. v.81, p. 695–711, 1974.

WILLIAMS, J. A.; PASCUAL-LEONE, A.; FREGNI, F. Interhemispheric modulation induced by cortical stimulation and motor training. **Phys Ther**. v. 90, p. 398–410, 2010.

WOODS, A. J. *et al.* A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. **Clinical Neurophysiology**. v.127, p. 1031-1048, fevereiro, 2016.

WU, W. *et al.* Time series analysis of human brucellosis in mainland China by using Elman and Jordan recurrent neural networks. **BMC Infectious Diseases**. v.19, 2019.

WULF, G.; MCNEVIN, N.; SHEA, C. H. The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. **The quarterly journal of experimental psychology**. v.54, p.1143–1154, 2001.

WULF, G.; SCHMIDT, R.; DEUBEL, H. Reduced feedback frequency enhances generalized motor program learning but not parameterization learning. **Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition**, v. 1, n. 5, p. 1134–50, set. 1993.

XIVRY, J-J. O.; SHADMEHR, R. Electrifying the motor engram: effects of tDCS on motor learning and control. **Exp Brain Res**. p. 1-17, agosto, 2014.