



**Faculdade de Educação Física  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**OS EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR  
CORRENTE CONTÍNUA SOBRE A DEPENDÊNCIA DAS  
RESPOSTAS REFLEXAS DO MÚSCULO SÓLEO**

Nathália Araújo Marques

**Orientador: Rinaldo André Mezzarane**

BRASÍLIA  
2019



**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

Agradeço primeiramente a Deus, que desde o processo de escolha do curso, tem iluminado o meu caminho e a minha vida acadêmica.

Ao meu orientador, Rinaldo Mezzarane, que me acolheu em seu laboratório, pela sua atenção e paciência em ensinar.

Ao meu namorado, aos meus pais e aos meus irmãos, que sempre me apoiaram em minhas escolhas.



**Faculdade de Educação Física  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**RESUMO**

Estudos que evocam o reflexo H são frequentes na literatura, aliados na busca de uma melhor compreensão da neurofisiologia da medula espinhal, especialmente por ser uma técnica não invasiva e passível de ser aplicada em uma grande variedade de músculos. A estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC), uma técnica utilizada em investigações neurológicas, não possui seus efeitos sobre a variabilidade das vias reflexas elucidados. O presente estudo investigou os efeitos da ETCC sobre a dependência do reflexo H, utilizando a função de Autocovariância (ACV). A amostra foi composta por 10 voluntários, nos quais foi aplicada a técnica de estimulação elétrica para evocar o reflexo H. Foram aplicados 500 estímulos em ambas as pernas, com uma frequência de 1 Hertz (Hz), em três situações - antes, durante e após a aplicação da ETCC – para duas condições - real (com aplicação de corrente de 2 mA) e sham (com corrente igual a zero). Os sinais eletromiográficos (EMG) das respostas foram captados e posteriormente, através das sequências das amplitudes pico a pico das respostas, foi possível estimar as ACVs de cada perna. Os resultados indicaram que a ETCC não foi capaz de induzir efeito sobre a dependência das respostas reflexas, pois não foram encontradas diferenças significativas entre as ACVs de cada situação e condição para ambas as pernas, com exceção da perna direita na condição *sham*, resultado inesperado, visto que não há aplicação de corrente nessa condição. Esse efeito pode ter sido ocasionado devido a fatores psicológicos, contudo, são necessários mais estudos, para uma investigação mais aprofundada das razões desse fator não ter se expressado para a perna esquerda, além da necessidade de se confirmar ou refutar os efeitos psicológicos sobre a variabilidade reflexa.

Palavras-chaves: Reflexo H. ETCC. Autocovariância. EMG.



**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Reflexo H.....	5
Figura 2: Posicionamento dos eletrodos na ETCC.....	6
Figura 3: Sequências de ACVs de sujeitos em repouso e sem condicionamento.....	8
Figura 4: ACVs médias da perna esquerda.....	13
Figura 5: ACVs médias da perna direita.....	14
Figura 6: ACVs médias na condição real. ....	14
Figura 7: ACVs médias na condição sham.....	15



**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**SUMÁRIO**

1 INTRODUÇÃO .....	4
1.1 Fundamentação Teórica .....	5
1.2 Objetivo Geral .....	8
1.3 Objetivos específicos .....	9
1.4 Justificativa .....	9
1.5 Hipóteses .....	9
2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	10
2.1 Tipo de estudo .....	10
2.2 Amostra.....	10
2.3 Critérios de inclusão e exclusão.....	10
2.4 Instrumentos de coleta de dados .....	10
2.5 Procedimentos .....	10
2.6 Processamento dos dados.....	11
2.7 Limitações do estudo .....	12
3 RESULTADOS.....	13
4 DISCUSSÃO .....	16
5 CONCLUSÃO .....	18
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19



## **1 INTRODUÇÃO**

A medula espinhal humana já foi considerada apenas uma “estação de retransmissão”, contudo, respostas reflexas - a citar o reflexo flexor, também conhecido como reflexo de retirada, que se manifesta, por exemplo, quando a pele entra em contato com uma superfície quente e imediatamente é feito o movimento para interromper o contato – são uma evidência da importante função integradora da medula espinhal, contrastando com a teoria de que é apenas um caminho que simplesmente transfere informações do cérebro para as fibras musculares ((Mezzarane *et al.*, 2013a).

Estudos para uma melhor compreensão da neurofisiologia da medula espinhal humana utilizam análise da atividade elétrica do músculo (eletromiografia - EMG). Uma das técnicas comumente empregadas nesses estudos é a que se baseia na obtenção do reflexo de Hoffmann (Reflexo H), resposta observada pela primeira vez por Paul Hoffmann. Trata-se de um homólogo elétrico do reflexo de estiramento muscular, que tem se mostrado especialmente atraente, por ser uma técnica não invasiva capaz de evocar o reflexo em uma grande variedade de músculos envolvendo nervos espinhais e cranianos (Misiaszek, 2003).

Flutuações na excitabilidade da via reflexa ocorrem devido à ação de mecanismos pré e pós-sinápticos. O estudo da variabilidade reflexa permite melhorar o entendimento da neurofisiologia da medula espinhal em seres humanos (Mezzarane, Nakajima e Zehr, 2017). Além de ajudar a explicar a eficiência na execução de tarefas motoras e flutuações na força (Mezzarane *et al.*, 2013a). Melhoras no desempenho podem ser induzidas por meio de intervenções como treinamento físico e condicionamentos diversos. Como exemplos de condicionamentos, podemos citar a imagética motora (Romkema, Bongers e Sluis, van der, 2018) e a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) (em inglês, transcranial direct current stimulation - TDCS) (Sánchez-Kuhn *et al.*, 2017).

A ETCC tem sido frequentemente utilizada na última década como adjunto em processos reabilitativos, bem como nos estudos de neurofisiologia que envolvem alteração da atividade cerebral, de forma a gerar melhoras nas funções motoras em humanos (Madhavan e Shah, 2012). Esta técnica consiste na estimulação do córtex motor por meio de dois eletrodos (ânodo e cátodo) fixados sobre o escalpo, que geram corrente de baixa intensidade, tipicamente, pelo período de 20 minutos. Recentemente, foi verificada influência significativa da ETCC sobre circuitos medulares (Roche *et al.*, 2011).

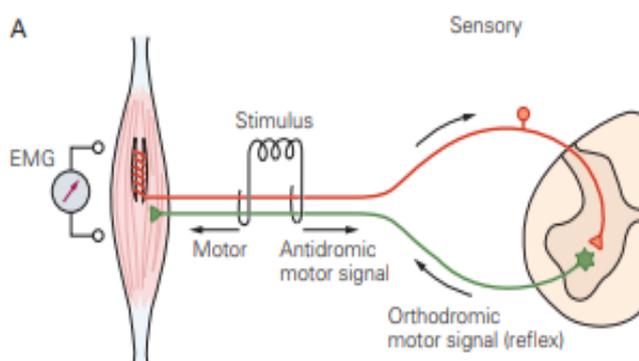


**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

Os efeitos da ETCC sobre a variabilidade na excitabilidade de vias neuronais da medula espinhal ainda não foram explorados. Uma investigação neste sentido poderá fornecer elementos para refinar o conhecimento dos mecanismos medulares envolvidos na melhora do desempenho motor, a partir da análise de variáveis importantes, que ainda não foram consideradas, como por exemplo, a autocovariância (ACV), função que permite investigar o grau de dependência entre as respostas reflexas obtidas em uma sequência de reflexos H.

### 1.1 Fundamentação Teórica

A técnica do reflexo H se baseia na estimulação elétrica das fibras no nervo (que partem dos fusos neuromusculares) e obtenção de um potencial de ação composto no músculo homônimo (resposta reflexa). Esta resposta é chamada de reflexo H (Kandel, Schwartz e Jessell, 2013).



**Figura 1: Reflexo H.**

Fonte: (Kandel, Schwartz e Jessell, 2013).

Com o aumento da intensidade do estímulo, os potenciais de ação gerados nos axônios eferentes se propagam pelo músculo e geram uma resposta de latência menor (onda M) (Mezzarane *et al.*, 2013b). Quando a onda M atinge seu máximo (Mmax) a ativação máxima muscular foi alcançada, já o reflexo H é extinto, uma vez que com o aumento da intensidade do estímulo são provocadas colisões de potenciais de ação nos axônios eferentes, resultando na diminuição da amplitude da resposta reflexa.

A técnica para evocar o reflexo H no músculo sóleo é a mais comumente utilizada, devido à fácil acessibilidade do nervo tibial e seletividade de estimulação (Schieppati, 1987). A amplitude das ondas varia com as mudanças posturais, o reflexo H do músculo sóleo é reduzido durante a postura ereta em comparação com outras condições posturais, como deitado (Abbruzzese, Rubino e Schieppati, 1996) e sentado (Hayashi *et al.*, 1992). Outros

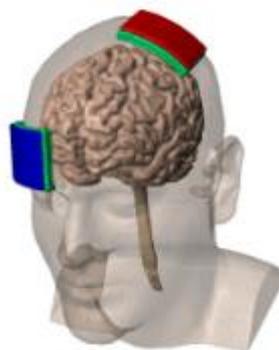


**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

fatores podem interferir na modulação do reflexo H, como alterações na posição da cabeça, estado mental, ação do sistema vestibular e procedimentos de estimulação de aferentes cutâneas dos fusos neuromusculares de músculos heterônimos (Hoffman *et al.*, 2008).

Mesmo mantendo-se a estimulação constante, observam-se flutuações na amplitude do reflexo H. Trens de 500 pulsos, aplicados simultaneamente nas duas pernas com frequência de 1Hertz (Hz), ou seja, 1 estímulo por segundo (s), (para evocar 500 reflexos H em ambos músculos sóleos), permitiram estudar as flutuações simultâneas nas repostas reflexas em diferentes condições (Mezzarane & Kohn, 2002; Mezzarane *et al.*, 2017). No entanto, existe ainda uma lacuna no entendimento dessas flutuações em resposta às alterações na excitabilidade cortical, que podem ser induzidas por meio da ETCC.

A ETCC é uma técnica amplamente usada que pode ser aplicada com total segurança em seres humanos (Madhavan *et al.*, 2012). Utilizando dois eletrodos, anodo e catodo, um fluxo elétrico gera despolarização ou hiperpolarização na região do córtex motor, onde o eletrodo ativo é fixado, aumentando ou diminuindo a excitabilidade dessa área cortical. Segundo Roche *et al.*, (2011) esta estimulação induz alterações na excitabilidade da medula espinhal, sugerindo a ativação de vias cortico-espinhais. A ETCC tem sido largamente utilizada devido ao seu baixo custo, facilidade de uso e efeitos significativos sobre a plasticidade neural humana (Pai *et al.*, 2018).



**Figura 2: Posicionamento dos eletrodos na ETCC.**  
Fonte: Sorterix Medical

A literatura apresenta estudos que utilizam a ETCC em paralelo à técnica do reflexo H nos músculos do antebraço, a fim de investigar o comportamento da inibição recíproca, mostrando que a ETCC anódica contralateral induz efeitos opostos na inibição recíproca: ou



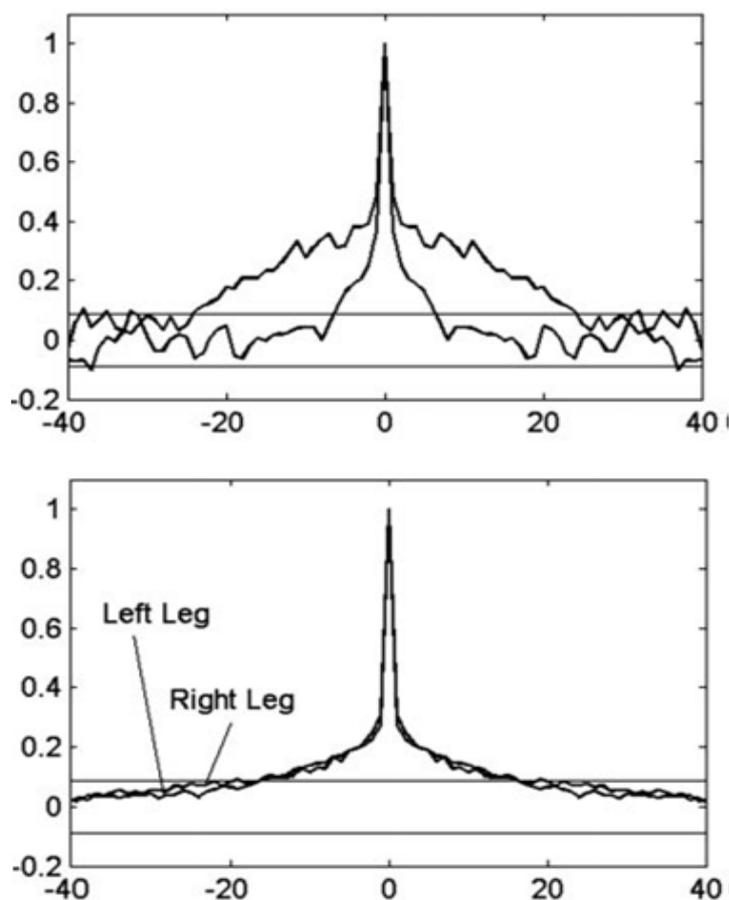
**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

seja, diminui a inibição recíproca dirigida de flexores para extensores, mas aumenta a inibição recíproca direcionada de extensores para flexores (Lackmy-Vallee *et al.*, 2014). Ao examinar o reflexo H condicionado por ETCC, Lamy *et al.* (2012) concluíram que o estudo exploratório fornece mais evidências para o uso de ETCC como uma ferramenta conveniente e não invasiva para induzir mudanças plásticas duradouras em circuitos espinhais.

Experimentos em animais e em seres humanos forneceram evidências de que mecanismos pré-sinápticos estão envolvidos nas flutuações da excitabilidade reflexa (Mezzarane, Nakajima e Zehr, 2017; Rudomin e Dutton, 1967). Roche e colaboradores (2011) reportaram ausência de efeitos da ETCC sobre a inibição pré-sináptica (IPS) induzida com intervalo entre estímulos condicionante e teste (ICT) de 20 ms. Contudo, os autores não investigaram outros intervalos relevantes que podem ser atribuídos à IPS, como o ICT de 100 ms (Mezzarane *et al.*, 2015). Desta forma, existe ainda a possibilidade da ETCC alterar os mecanismos de IPS que, por sua vez, podem afetar a variabilidade do reflexo H.

Estudos sobre o reflexo H demonstraram que existe determinado grau de dependência entre as respostas. Em suas análises, Mezzarane e Kohn (2002) concluíram que o valor médio de memória para as sequências de reflexo H estava em torno de 16 segundos. Essa verificação se deu através da análise da Autocovariância, função semelhante ao Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ), que para Moore (2007) mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas. O Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ) varia de 1 a -1, valores que devem ser interpretados como sendo 1 (ou -1) uma correlação perfeita e 0, a ausência total de relação linear entre as amostras. A ACV se difere na medida em que associa uma série de amostras, não a outra série, mas, a ela mesma, porém com atraso no tempo de uma das duas séries. O que permite analisar o quão dependentes as amostras são entre si. Desta forma, torna-se possível obter a ACV, ou seja, uma sequência de coeficientes de correlação.

A figura de Mezzarane & Kohn (2002) mostra um exemplo de sequência de ACV obtida em sujeitos em repouso e sem condicionamento, onde é possível perceber que quanto mais largo é o pico, maior é a dependência entre as amostras, neste caso, para a sequência de pico mais largo, as amostras “caem” dentro do limite de confiança em torno de 23 segundos, enquanto na outra sequência, as amostras entram no limite em aproximadamente 8 segundos.



**Figura 3: Sequências de ACVs de sujeitos em repouso e sem condicionamento.**

Fonte: modificado de Mezzarane & Kohn 2002, com permissão.

No presente trabalho, estimou-se o grau de dependência entre as respostas reflexas ao longo de uma sequência de 500 reflexos H obtidos com intervalo de 1 segundo em ambas as pernas simultaneamente. Essa dependência entre as respostas foi detectada enquanto os valores dos coeficientes não estivessem dentro de um intervalo de confiança estatística (com  $p < 0,05$ ). Este procedimento analítico permitiu avaliar a duração de um suposto efeito agudo da ETCC sobre a variabilidade reflexa por meio da alteração da ACV entre os momentos pré, durante e pós ETCC.

## 1.2 Objetivo Geral

- Descrever os efeitos da ETCC no grau de dependência das respostas reflexas no músculo sóleo.



**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

### **1.3 Objetivos específicos**

- Analisar a ACV das sequências de reflexos antes, durante e após a ETCC;
- Comparar as ACV bilaterais do reflexo H obtidas simultaneamente no músculo sóleo de ambas as pernas nas três condições (pré, durante e após a intervenção);

### **1.4 Justificativa**

Os reflexos desempenham um papel funcional fundamental no controle motor, pois estão envolvidos na coordenação de movimentos voluntários e na manutenção da estabilidade postural (Mezzarane *et al.*, 2013). O reflexo H tem sido amplamente utilizado para melhor compreensão dos fatores que envolvem a organização neuronal da medula espinhal. Essa técnica tem sido associada à ETCC para análise das alterações induzidas na excitabilidade cortical. Contudo, os estudos ainda são recentes e muitas variáveis ainda precisam ser consideradas, como a Autocovariância, que permite investigar a dependência entre as respostas reflexas ao longo de uma sequência de estímulos.

As variações aleatórias nas amplitudes do reflexo H em humanos podem fornecer informações sobre dinâmicas na transmissão sináptica em diferentes vias neuronais na medula, que afetam direta ou indiretamente os motoneurônios.

(Mezzarane e Kohn, 2002).

Os mecanismos envolvidos nos efeitos da ETCC sobre o controle motor ainda não estão totalmente elucidados. Existem também dúvidas sobre a retenção dos efeitos agudos sobre mecanismos neurofisiológicos medulares.

### **1.5 Hipóteses**

Espera-se que a ACV das sequências seja diferente para cada momento (pré, durante e pós ETCC) bem como para as condições (real e sham).



**Faculdade de Educação Física  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Tipo de estudo**

O estudo experimental será descritivo, transversal, e descreverá de maneira quantitativa os efeitos da utilização da ETCC por meio da ACV das sequências do reflexo H. O presente trabalho está vinculado ao projeto “Estudo de adaptações neurofisiológicas e biomecânicas em idosos após treinamento de marcha associado à estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC)” aprovado pela FAPDF (projeto n. 0193.001655/2017) (edital de demanda espontânea n.04/2017). O projeto foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisas com seres humanos da Faculdade de Ciências da Saúde da UnB (n. 83339318.2.0000.0030).

### **2.2 Amostra**

A amostra constituiu-se de 10 voluntários adultos, de ambos os sexos, ativos e saudáveis, selecionados por conveniência. Todos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, após receberem as instruções necessárias sobre o procedimento.

### **2.3 Critérios de inclusão e exclusão**

Os critérios de inclusão foram: idade entre 18 e 30 anos; e ser “ativo” quanto ao nível de atividade física, segundo os critérios de classificação do Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ), que define como ativo quem cumpre as seguintes recomendações: a) atividade física vigorosa –  $\geq 3$  dias/semana e  $\geq 20$  minutos/sessão; b) moderada ou caminhada –  $\geq 5$  dias/semana e  $\geq 30$  minutos/sessão; c) qualquer atividade somada:  $\geq 5$  dias/semana e  $\geq 150$  min/semana. Foram excluídos da amostra voluntários que apresentaram quaisquer tipos de lesão ou doença crônica degenerativa.

### **2.4 Instrumentos de coleta de dados**

A técnica de estimulação elétrica foi utilizada para evocar o reflexo H, utilizando o sistema MEB 2300 (Nihon-Kohden, Japão), que também captou os sinais eletromiográficos da resposta. A ETCC foi aplicada por meio do aparelho 1x1 tDCS modelo 1300A Low-Intensity Stimulator (Sorterix Medical, EUA).

### **2.5 Procedimentos**

Evocou-se o reflexo H por meio da estimulação elétrica percutânea do nervo tibial, na região da fossa poplíteia, utilizando-se eletrodos bipolares do sistema MEB 2300, com o indivíduo sentado em repouso. Esse mesmo sistema foi utilizado para captação dos sinais eletromiográficos por meio de eletrodos de superfície, de 1 cm de diâmetro, posicionados 2 cm



**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

abaixo da junção do ventre do músculo gastrocnêmio com o tendão do calcâneo, com 2 cm de distância entre os eletrodos. Foram aplicados estímulos para determinar a amplitude da resposta motora máxima ( $M_{max}$ ), para normalizar o reflexo H. É altamente recomendado que a amplitude do reflexo H utilizada esteja dentro da faixa de 20-30% $M_{max}$  (Crone *et al.*, 1990), faixa em que os autores afirmam haver melhor responsividade ao condicionamento. Após a determinação da corrente elétrica para a amplitude calculada, foram aplicados 500 estímulos com frequência de 1Hz nas duas pernas simultaneamente.

Terminada a primeira sequência de estímulos, aplicou-se a estimulação transcraniana por corrente contínua, ao indivíduo ainda sentado e em repouso com uma corrente elétrica, medida em ampere (A), que aumentou em rampa (20 segundos) de 0.5 mA até 2 mA. Após atingir 2 mA a corrente teve duração de 20 minutos. O eletrodo ativo foi posicionado de acordo com os pontos determinados pelo sistema internacional 10-20 que representam o córtex motor no couro cabeludo - C3 (Sánchez-Kuhn *et al.*, 2017). Durante os 9 minutos finais da ETCC (que dura 20 minutos na amperagem máxima) uma nova sequência de 500 estímulos foi aplicada, bem como outra sequência de 500 pulsos imediatamente após o término da ETCC.

Todos os procedimentos descritos foram repetidos em uma segunda visita do mesmo sujeito, porém, com aplicação da ETCC com corrente iniciando-se em 0,3 mA e progressivamente aumentando para 2 mA (rampa de 20 s) e, imediatamente após alcançar este pico de corrente, retornou para zero em 20 s. Esta estimulação foi denominada estimulação *sham*, pois teve o propósito de evitar efeitos placebo, ou seja, se existe algum fator psicológico, este irá se manifestar no *sham* e no *real* (quando a ETCC foi de fato aplicada). Contudo, no caso de haver efeitos fisiológicos, estes se manifestarão apenas na condição *real* (Roche *et al.*, 2011).

## **2.6 Processamento dos dados**

Os sinais EMG foram convertidos para ASCII para serem analisados em ambiente Matlab (MathWorks). Cada sequência de amplitudes pico-a-pico do reflexo H (pré, durante e pós) teve sua ACV calculada.

As amplitudes pico-a-pico dos reflexos H (obtidos pela aplicação de um trem de 500 pulsos) foram usadas para estimar as ACVs (da perna esquerda e direita). A variável de interesse é o momento no qual as amostras deixam de ser dependentes, ou seja, quando os pontos da ACV entram no intervalo de confiança. Este momento é dado em segundo e denominado  $k$ . O intervalo de confiança foi calculado como sendo 1,96 dividido pela raiz de  $N$ , em que " $N$ " é o número de amostras (amplitudes dos reflexos).



**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

Foi obtida uma sequência de  $ACV(k)$  de cada sequência (perna direita e esquerda) segundo as expressões (1) e (2) abaixo:

$$(1) \quad co(k) = \frac{1}{N-|k|} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x}), \quad k = -(N-1) \dots, -1, 0, 1, \dots (N-1)$$

$$(2) \quad ACV(k) = co(k) / \sigma_{x_i}^2,$$

Onde  $x_i$  representa cada ponto do sinal (cada valor de amplitude do reflexo H),  $\bar{x}$  é a média de todos os valores de  $x$ , e  $N$  é o número de amostras. O intervalo de confiança foi calculado como sendo  $\pm 1,96 / \sqrt{N}$ .

A sequência foi normalizada (dividida) pela variância de  $x$  (amplitudes das repostas) de tal forma que no atraso zero (quando se obtém o coeficiente de correlação da sequência por ela mesma) o valor é unitário (igual a 1).

A variável independente utilizada no teste estatístico foi o  $k$ . Uma ANOVA de uma via foi utilizada para avaliar diferenças entre os valores de  $k$  em cada condição, PRE (antes da aplicação da ETCC), TDCS (durante a aplicação da ETCC) e POS (após o término da ETCC). Este procedimento foi adotado para cada perna e em cada condição de estimulação (*real* e *sham*). O nível de significância foi de  $p < 0,05$ . Utilizou-se o software SPSS para a análise estatística.

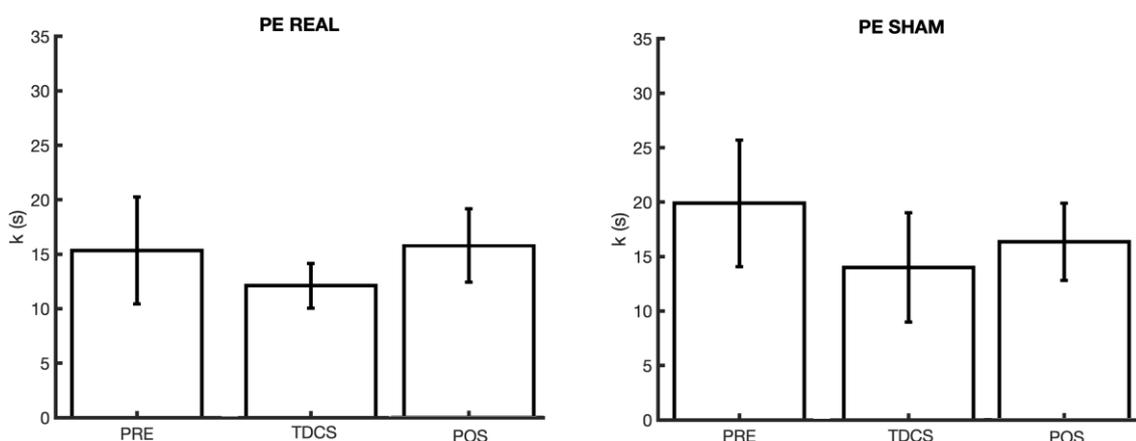
## **2.7 Limitações do estudo**

A principal limitação do presente trabalho está relacionada com a metodologia que consiste na obtenção de respostas reflexas durante o repouso. Portanto, as interpretações realizadas a partir dos resultados obtidos não poderão ser facilmente extrapoladas para situações nas quais os sujeitos realizam ações motoras. Estudos adicionais para avaliar possíveis interações entre a ETCC e mecanismos neurofisiológicos durante a execução de tarefas, em diferentes contextos motores (por exemplo, durante a marcha), necessitam ser realizados para entender melhor os aspectos funcionais decorrentes das possíveis adaptações neurofisiológicas induzidas pela ETCC.



### 3 RESULTADOS

As ACVs médias obtidas para a perna esquerda, não apresentaram diferenças significativas entre os momentos pré, pós e TDCS, como pode ser visto na Figura 4, em que estão representadas as ACVs médias em cada condição, indicando o momento em segundos (representado por  $k$ ) em que os valores de correlação entram no limite de confiança. Tanto no painel da esquerda, que traz os resultados obtidos na condição real, quanto no painel da direita, condição *sham*, percebe-se uma tendência à diminuição nos valores de  $k$  na condição TDCS comparada ao PRE.



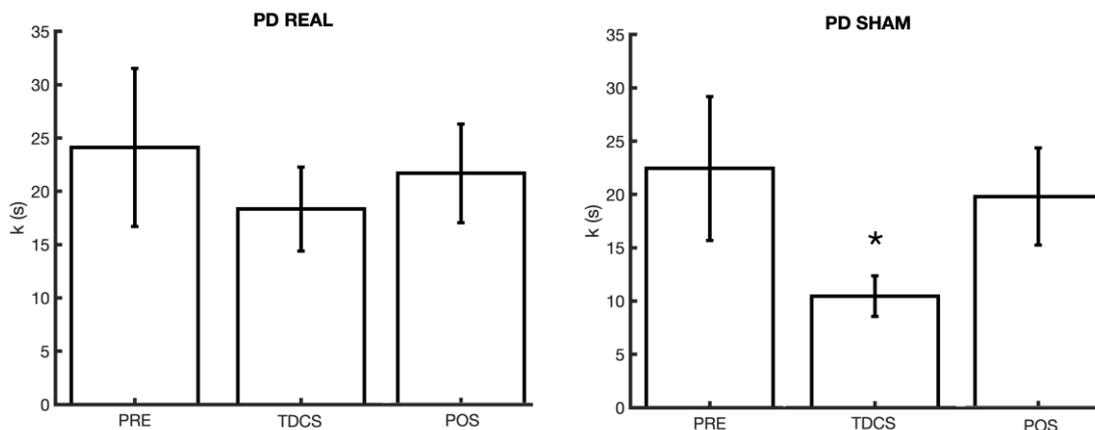
**Figura 4: ACVs médias da perna esquerda. ACVs médias nas condições PRE, POS e TDCS, indicando o momento em que as amostras entram no limite de confiança, representado por  $k$  dado em segundos. A barra vertical representa os erros padrões.**

Fonte: autoria própria.

Da mesma forma, a perna direita não apresentou diferença na condição real, contudo, mostrou uma diminuição significativa na dependência entre as amostras durante a TDCS na condição *sham*, como pode ser visto na figura 5, onde novamente no painel esquerdo se encontra a condição real, enquanto no direito, a condição *sham*, que, diferentemente da perna esquerda, apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na condição TDCS em comparação às outras duas condições (representada pelo asterisco).



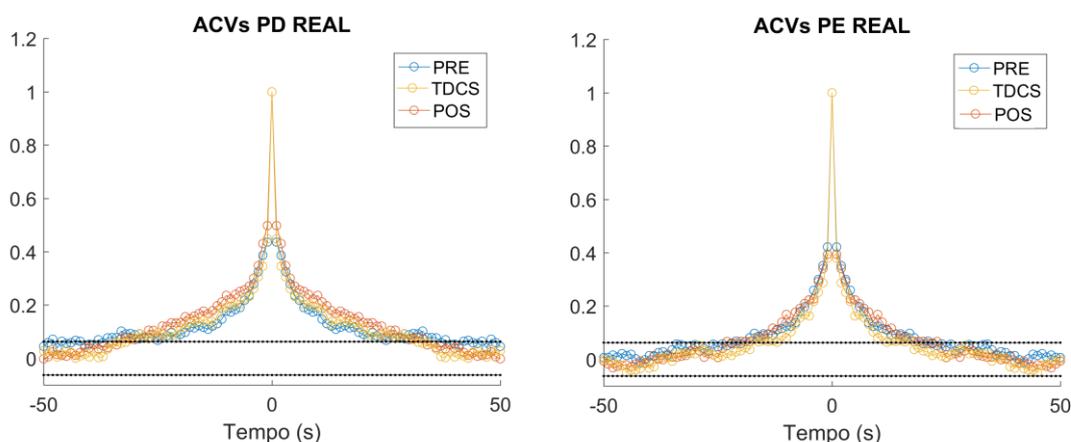
Faculdade de Educação Física  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



**Figura 5: ACVs médias da perna direita. ACVs médias nas condições PRE, POS e TDCS, indicando o momento em que as amostras entram no limite de confiança, representado por  $k$  dado em segundos. A barra vertical representa os erros padrões.**

Fonte: autoria própria.

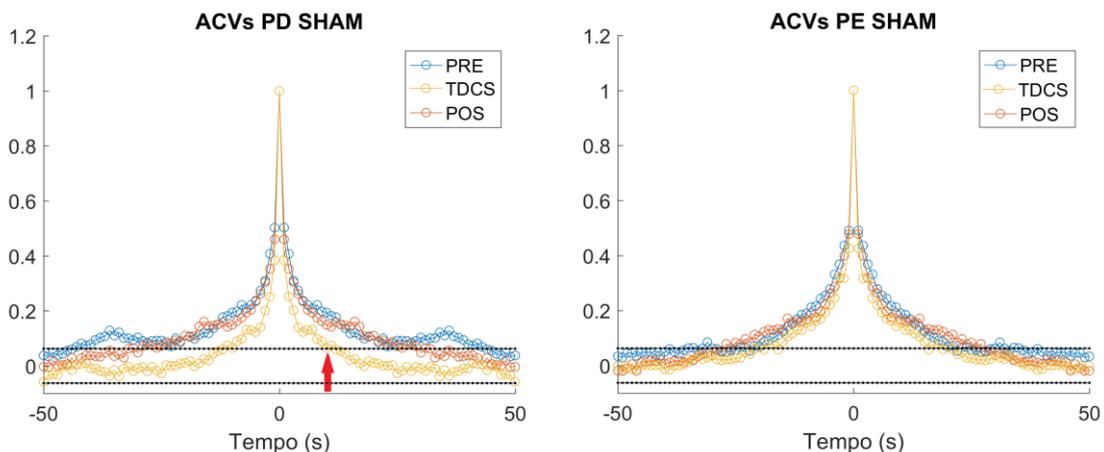
De fato, pode-se perceber nas figuras 6 e 7, a sobreposição das sequências de ACV médias (com dependência variando entre 15 segundos e 20 segundos na condição controle - PRE), com exceção da perna direita na condição sham. Na figura 7, destaca-se ainda a seta vermelha, que indica o momento que os valores de coeficiente na condição TDCS entram no intervalo de confiança, precisamente em 10,4 segundos. Ou seja, nesta condição, a dependência entre os reflexos H chega a 10 s. Isto significa que, na condição TDCS-sham para a perna direita, deve-se esperar aproximadamente 10 s para que a próxima resposta reflexa seja totalmente independente daquela evocada previamente. Enquanto nas outras condições a espera deve ser de pelo menos 20 segundos.



**Figura 6: ACVs médias na condição real.** Fonte: autoria própria.



Faculdade de Educação Física  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



**Figura 7: ACVs médias na condição sham. A seta vermelha indica o momento em que a ACV entra no intervalo de confiança, definido pelas linhas horizontais pretas, aos 10,4 segundos.**

Fonte: autoria própria.

Na figura 7, a seta vermelha destaca o momento que os valores de coeficiente na condição TDCS entram no intervalo de confiança, precisamente em 10,4 segundos. Ou seja, nesta condição, a dependência entre os reflexos H chega a 10 s. Isto significa que, na condição TDCS-sham para a perna direita, deve-se esperar aproximadamente 10 s para que a próxima resposta reflexa seja totalmente independente daquela evocada previamente. Enquanto nas outras condições a espera deve ser de pelo menos 20 segundos.



#### 4 DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo indicam que não há efeito da ETCC sobre a dependência das respostas reflexas, visto que não houve diferença significativa na condição real (com aplicação de estímulos) para ambas as pernas.

Contudo, um resultado surpreendente foi a diminuição significativa da dependência entre as respostas reflexas na condição *sham*, já que se trata da aplicação de corrente igual a zero. Uma possível explicação para este efeito poderia ser o fator psicológico (efeito placebo), mas, curiosamente, este efeito não se manifestou na condição real e tampouco na perna esquerda.

Não obstante este resultado inesperado, é interessante notar alguma tendência à diminuição da dependência entre as amostras na condição TDCS em comparação à condição PRE, independentemente da situação (*sham* ou *real*). Esta diminuição qualitativa ocorreu em ambas as pernas, mesmo sendo o estímulo (ETCC) aplicado no escalpo do lado esquerdo (para aumentar a excitabilidade do córtex esquerdo e, portanto, influenciar apenas a perna direita).

Esta análise qualitativa reforça a hipótese de que efeitos psicológicos são importantes para modular a dinâmica da transmissão sináptica na via do reflexo de estiramento. Tais efeitos têm impacto na interpretação de resultados de estudos que utilizam imagética motora para modular a excitabilidade da via reflexa, como os estudos de Grosprêtre *et al.* (2019) e Kaneko *et al.* (2018), que identificaram efeitos da aplicação da imagética motora sobre a excitabilidade dos reflexos espinhais, aspecto interessante a ser explorado, não se limitando apenas na avaliação de valores médios de amplitude.

É possível que os resultados não tenham alcançado significância estatística devido ao pequeno *n* amostral, ou pelo fato do efeito do condicionamento não ser muito forte, ou ainda pela grande variabilidade dos dados. Portanto, são necessários experimentos em um número maior de participantes, que poderão revelar as diferenças e confirmar (ou refutar definitivamente) a hipótese de efeitos psicológicos sobre a variabilidade reflexa.

Quanto aos efeitos da ETCC, estudos adicionais são necessários, podendo ser utilizadas diferentes técnicas de análise de dados e de sinais, a citar a coerência espectral, descrita por Stoica (1997), e utilizada tanto em trabalhos com reflexo H (Laine *et al.*, 2014) quanto em trabalhos com aplicação da ETCC (Silva, 2017), ou, ainda, outras abordagens experimentais, como a estimulação magnética transcraniana, tecnologia não invasiva baseada no princípio da indução eletromagnética (Cattaneo, 2017), utilizada por Matsugi *et al.* (2014) em seu estudo sobre reflexo H.



**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

Na hipótese de ocorrência de efeitos significativos em ambas as pernas, uma explicação razoável para os efeitos ipsolaterais advém de um aspecto anatômico, ou seja, a existência de um contingente (cerca de 10%) das vias cortico-espinhais que não participam da decussação das pirâmides, descendo paralelamente a medula espinhal e inervando a musculatura do lado ipsolateral (Purves, 2008). Este contingente poderia transmitir alterações nas dinâmicas sinápticas do lado ipsolateral.

Os resultados do presente trabalho contribuem para as investigações sobre flutuações na excitabilidade da via do reflexo de estiramento. O alto grau de convergência proveniente de diferentes fontes (aferentes periféricas, vias descendentes e interneurônios medulares) é responsável por estas flutuações, cujos mecanismos neurofisiológicos podem ser estudados por meio de paradigmas condicionante-teste para avaliar as principais vias inibitórias (moduladoras) da medula espinhal (por exemplo, inibição recíproca, inibição pré-sináptica, dentre outras) (Mezzarane et al., 2013).



**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

## **5 CONCLUSÃO**

A estimulação transcraniana por corrente contínua não apresentou efeitos sobre a ACV das respostas reflexas obtidas para os membros inferiores. Contudo, novos estudos com maior  $n$  amostral são indicados para confirmação dos achados, tendo em vista que foi possível perceber uma tendência à diminuição nos valores de ACV durante a aplicação da ETCC.

Os resultados desse estudo apontam ainda para os efeitos psicológicos que agem na modulação do reflexo H, sugerindo a importância de técnicas como a imagética motora no condicionamento de vias reflexas, que podem contribuir para o entendimento da neurofisiologia da medula espinhal.

Experimentos futuros poderão elucidar todas as questões levantadas pelo presente estudo. Para tanto, sugere-se, além de um maior número de sujeitos, o uso de diferentes técnicas de análises de sinais, que poderão refinar o tratamento dos dados obtidos. Além disso, a diversificação de condicionamentos se faz necessária, diante das lacunas que ainda precisam ser preenchidas no conhecimento acerca da variabilidade das respostas reflexas.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBRUZZESE, M.; RUBINO, V.; SCHIEPPATI, M. Task-dependent effects evoked by foot muscle afferents on leg muscle activity in humans. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology - Electromyography and Motor Control**, 1996.
- CATTANEO, L. Transcranial magnetic stimulation. *In: Neuromethods*. [s.l.: s.n.].
- CRONE, C. *et al.* Sensitivity of monosynaptic test reflexes to facilitation and inhibition as a function of the test reflex size: a study in man and the cat. **Experimental brain research**, v. 81, n. 1, p. 35–45, 1990.
- GROSPRÊTRE, S. *et al.* Spinal plasticity with motor imagery practice. **Journal of Physiology**, v. 597, n. 3, p. 921–934, 2019.
- HAYASHI, R. *et al.* Comparison of amplitude of human soleus H-reflex during sitting and standing. **Neuroscience Research**, 1992.
- HOFFMAN, M. *et al.* The interrelationships among sex hormone concentrations, motoneuron excitability, and anterior tibial displacement in women and men. **Journal of Athletic Training**, v. 43, n. 4, p. 364–372, 2008.
- KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSELL, T. M. **Principles of Neural Science**. [s.l.: s.n.].
- KANEKO, N. *et al.* Modulation of Hoffmann reflex excitability during action observation of walking with and without motor imagery. **Neuroscience Letters**, 2018.
- LACKMY-VALLEE, A. *et al.* Anodal transcranial direct current stimulation of the motor cortex induces opposite modulation of reciprocal inhibition in wrist extensor and flexor. **Journal of neurophysiology**, v. 112, n. 6, p. 1505–1515, set. 2014.
- LAINE, C. M.; YAVUZ, Ş. U.; FARINA, D. Task-related changes in sensorimotor integration influence the common synaptic input to motor neurones. **Acta Physiologica**, v. 211, n. 1, p. 229–239, 2014.
- LAMY, J.-C. *et al.* Modulation of soleus H reflex by spinal DC stimulation in humans. **Journal of neurophysiology**, v. 108, n. 3, p. 906–914, ago. 2012.
- MADHAVAN, S.; SHAH, B. Enhancing Motor Skill Learning with Transcranial Direct Current Stimulation – A Concise Review with Applications to Stroke. **Frontiers in Psychiatry**, 2012.
- MATSUGI, A. *et al.* Task dependency of the long-latency facilitatory effect on the soleus H-reflex by cerebellar transcranial magnetic stimulation. **NeuroReport**, v. 25, n. 17, p. 1375–1380, 2014.
- MEZZARANE, R. A. *et al.* Enhanced D1 and D2 inhibitions induced by low-frequency trains of conditioning stimuli: Differential effects on H- and T-reflexes and possible mechanisms. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1–16, 2015.
- MEZZARANE, R. A.; NAKAJIMA, T.; ZEHR, E. P. Bilateral Reflex Fluctuations during Rhythmic Movement of Remote Limb Pairs. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 11, n. July, p. 1–14, 2017.
- MEZZARANE, R. A. *et al.* Experimental and simulated EMG responses in the study of the human spinal cord. **Electrodiagnosis in new frontiers of clinical research**, p. 57–87, 2013.
- MEZZARANE, R. A.; KOHN, A. F. Bilateral soleus H-reflexes in humans elicited by simultaneous trains of stimuli: symmetry, variability, and covariance. **Journal of Neurophysiology**, v. 87, p. 2074–2083, 2002.
- MISIASZEK, J. E. The H-reflex as a tool in neurophysiology: Its limitations and uses in understanding nervous system function. **Muscle and Nerve**, v. 28, n. 2, p. 144–160, 2003.
- PAI, M. Y. BIN *et al.* The Combined Use of Transcranial Direct Current Stimulation and Robotic Therapy for the Upper Limb. **Journal of visualized experiments : JoVE**, n. 139, set. 2018.
- PURVES, Dale. **Neuroscience**. [s.l.: s.n.].
- ROCHE, N. *et al.* Effects of anodal transcranial direct current stimulation over the leg motor area on lumbar spinal network excitability in healthy subjects. **Journal of Physiology**, 2011.



**Faculdade de Educação Física**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

ROMKEMA, S.; BONGERS, R. M.; SLUIS, C. K. VAN DER. Influence of mirror therapy and motor imagery on intermanual transfer effects in upper-limb prosthesis training of healthy participants: A randomized pre-posttest study. **PloS one**, v. 13, n. 10, p. e0204839, 2018.

RUDOMIN, P.; DUTTON, H. **Effects of presynaptic and postsynaptic inhibition on the variability of the monosynaptic reflex [37]***Nature*, 1967.

SÁNCHEZ-KUHN, A. *et al.* Transcranial direct current stimulation as a motor neurorehabilitation tool: An empirical review. **BioMedical Engineering Online**, 2017.

SCHIEPPATI, M. The Hoffmann reflex: A means of assessing spinal reflex excitability and its descending control in man. **Progress in Neurobiology**, v. 28, n. 4, p. 345–376, 1987.

SILVA, F. T. G. DA *et al.* Transcranial direct current stimulation in individuals with spinal cord injury: Assessment of autonomic nervous system activity. **Restorative neurology and neuroscience**, v. 35, n. 2, p. 159–169, 2017.

STOICA, Peter; MOSES, Randolph. **Spectral Analysis of Signals**. [s.l: s.n.].