

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Graduação em Educação Física

Molina Vasco Milanez

**ALTERAÇÕES AGUDAS NA INIBIÇÃO PRÉ-SINÁPTICA DO REFLEXO DE  
ESTIRAMENTO APÓS ALONGAMENTO COM TÉCNICA DE FACILITAÇÃO  
NEUROMUSCULAR PROPRIOCEPTIVA**

Brasília

2016

Molina Vasco Milanez

**ALTERAÇÕES AGUDAS NA INIBIÇÃO PRÉ-SINÁPTICA DO REFLEXO DE  
ESTIRAMENTO APÓS A LONGAMENTO COM TÉCNICA DE FACILITAÇÃO  
NEUROMUSCULAR PROPRIOCEPTIVA**

Monografia apresentada ao Curso de Educação Física da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Educação Física.

Orientador: Rinaldo André Mezzarane

Brasília

2016

## RESUMO

Apesar dos métodos de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP) terem sido desenvolvidos levando em consideração a ativação das vias neurais de inibição da contração reflexa ao estiramento, a literatura carece de pesquisas que testem em específico estas vias em uma sessão FNP. O objetivo da presente pesquisa foi verificar se o alongamento com a técnica FNP de contração de antagonista (CA) provoca alterações agudas nos mecanismos de modulação do reflexo de estiramento do músculo Sóleo mediados pela via de inibição recíproca pré-sináptica (IPS). Participaram do experimento dez adultos saudáveis com idades entre 19 e 31 anos, sendo cinco homens e cinco mulheres, nos quais foi mensurado o reflexo H, um sinal mioelétrico homólogo ao reflexo de estiramento. O reflexo H foi captado com técnica de eletromiografia de superfície e sob condicionamento elétrico do tipo IPS, antes e após a intervenção FNP, sendo repetidas intervenção e coleta 30 vezes por sujeito. A duração do experimento foi de aproximadamente três horas por participante. O estudo não pôde concluir se o alongamento com a técnica CA provoca alterações agudas nos mecanismos de modulação do reflexo de estiramento mediados pela via da IPS, devido ao imperativo em se descartar após o processamento dos dados 6 dos 10 sujeitos da amostra, resultando em um tamanho amostral final muito reduzido. Consequentemente, os dados não alcançaram significância estatística (teste t pareado;  $p = 0,289$ ). Cinco destes sujeitos foram descartados por não apresentarem neste experimento IPS das aferentes Ia do músculo Sóleo, ainda na condição pré-intervenção. A razão da ausência de inibição nestes sujeitos deve-se possivelmente à co-estimulação das fibras aferentes do nervo fibular superficial. Para resolver esta limitação, é sugerido um estudo com maior tamanho amostral final, realizando-se novas coletas após descarte de sujeitos dos quais não tenha sido possível obter a IPS na condição pré-intervenção, além de se testar a IPS sob diferentes intervalos condicionante-teste, a fim de determinar o intervalo ótimo para cada sujeito. Também se sugere testar a via de inibição recíproca dissináptica, que atua sobre o potencial de membrana dos motoneurônios.

Palavras-chave: Alongamento. Contração de Antagonista. Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva. Flexibilidade. Inibição pré-sináptica. Inibição recíproca. Músculo Sóleo. Reflexo de estiramento. Reflexo H.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
1.1 Problema de pesquisa .....	6
1.2 Objetivo geral .....	6
1.3 Objetivo específico .....	6
1.4 Justificativa .....	6
1.5 Delimitação .....	7
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>8</b>
2.1 Hipóteses de mecanismos neuromusculares subjacentes às técnicas FNP .....	9
2.2 O reflexo H .....	11
2.3 Importância da inibição recíproca para o alongamento por técnicas de FNP .....	12
<b>3. MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
3.1 Modelo do estudo .....	13
3.2 Descrição da amostra .....	13
3.3 Instrumentos .....	14
3.4 Procedimento de coleta de dados .....	15
3.4.1 <i>Colocação dos eletrodos</i> .....	15
3.4.2 <i>Posição dos sujeitos</i> .....	16
3.4.3 <i>Protocolo do experimento</i> .....	17
3.4.4 <i>Intervenção FNP</i> .....	18
3.4.5 <i>Medição da variável dependente</i> .....	19
3.5 Parâmetros de aquisição .....	20
3.6 Tratamento dos dados .....	20
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>21</b>
<b>5. DISCUSSÃO</b> ..	<b>25</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b> ..	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>29</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Diversos métodos de treinamento de flexibilidade (PAGE, 2012) têm sido empregados com o objetivo de aumentar a amplitude de movimento e/ou promover o alongamento muscular, para fins de desempenho, de qualidade de vida (na redução de dores e no aumento de aptidão para atividades do dia-a-dia) e de reabilitação. Não obstante, ainda permanecem na literatura científica muitas lacunas a respeito dos mecanismos responsáveis pela flexibilidade aumentada (BLAZEVOICH et al., 2014; BLAZEVOICH et al., 2012a; WEPPLER; MAGNUSSON, 2010; GUISSARD; DUCHATEAU, 2004). Dentre as técnicas empregadas para o aumento da flexibilidade, as de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP) (PAGE, 2012; SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006) são as que têm se comprovado mais eficazes (MITCHELL et al., 2009; SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006; HINDLE et al., 2012). Os métodos Contrair-Relaxar (CR) e Contrair-Relaxar-Contrair Antagonista (CRCA) são os mais estudados (HINDLE et al., 2012), tendo o último apresentado melhores resultados (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006). As razões da eficácia das técnicas FNP ainda permanecem controversas, e antigos mecanismos propostos têm sido questionados (MITCHELL et al., 2009; HINDLE et al., 2012; SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006). Um dos mecanismos sugeridos para explicar a maior eficácia da técnica CRCA é a Inibição Recíproca (HINDLE et al., 2012; SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006), por meio da qual a contração de um músculo inibe a contração do seu antagonista e, portanto, supostamente facilita o estiramento deste último ao inibir sua contração reflexa ao estiramento. No entanto, o funcionamento desse mecanismo de inibição ainda não foi suficientemente investigado (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006; HAYES et al., 2012; BLAZEVOICH et al. 2012b; MOORE; KUKULKA, 1991; ETNYRE; ABRAHAM, 1986), não sendo encontrado nenhum estudo que tenha testado as vias de inibição recíproca dissináptica e pré-sináptica logo após uma intervenção aguda de FNP.

## **1.1 Problema de pesquisa**

O alongamento com a técnica de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva de contração de antagonista provoca alterações agudas nos mecanismos de modulação do reflexo de estiramento mediados pela via de inibição recíproca pré-sináptica?

## **1.2 Objetivo geral**

Verificar se o alongamento com a técnica de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva de contração de antagonista provoca alterações agudas nos mecanismos de modulação do reflexo de estiramento mediados pela via de inibição recíproca pré-sináptica.

## **1.3 Objetivo específico**

Verificar se o alongamento do músculo sóleo acompanhado de contração do seu antagonista afeta o reflexo H (em posição neutra) evocado 3,1 segundos após o término do alongamento/contração, quando condicionado por estimulação elétrica aplicada 100 milissegundos antes no nervo que supre seu antagonista, o músculo tibial anterior (inibição recíproca pré-sináptica - IPS).

## **1.4 Justificativa**

Apesar dos métodos de facilitação neuromuscular terem sido desenvolvidos levando em consideração a ativação das vias neurais de inibição

da contração reflexa ao estiramento, o que possibilitaria atingir maior alongamento muscular, a literatura carece de pesquisas que testem especificamente vias de inibição do reflexo de estiramento durante ou após uma sessão de FNP. Apesar de ampla pesquisa realizada em bases de dados e de busca de citações de estudos da área, não foi localizado nenhum estudo que tenha testado vias de inibição recíproca após uma intervenção aguda de FNP.

### **1.5 Delimitação**

Este estudo teve como amostra adultos jovens e saudáveis. Portanto, deve-se ter cuidado ao extrapolar seus resultados para fins de reabilitação junto a populações com distúrbios neurais centrais ou periféricos, e para fins de qualidade de vida e desempenho de populações de outras faixas etárias, como idosos e crianças. Ademais, ressalta-se que os resultados obtidos neste estudo podem ter maior especificidade para o alongamento do único músculo investigado (o flexor plantar sóleo).



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As técnicas de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP) foram desenvolvidas em parte baseadas nos achados de Charles Sherrington a respeito dos fenômenos de inibição recíproca e de indução sucessiva (MITCHELL et al., 2009). Portanto, seu desenvolvimento pressupõe aceitação da hipótese neuromuscular de resistência ativa fornecida pelo músculo ao seu estiramento como pelo menos um dos fenômenos que contribuem para a resistência ao alongamento, estando as demais hipóteses (WEPPLER; MAGNUSSON, 2010) relacionadas a fatores biomecânicos e morfológicos (deformação plástica, adição de sarcômeros em série, deformação viscoelástica, etc) ou a fatores sensoriais e de tomada de decisão que envolvem vias supraespinhais, os quais justificariam por que com o treinamento adquire-se maior tolerância ao torque de estiramento (WEPPLER; MAGNUSSON, 2010), postergando a decisão do sujeito em interromper o teste.

Dentre os métodos de FNP, os mais comumente empregados são Contrair-Relaxar (CR) – também chamado de Técnica de Músculo Energia (SILVA, 2013) ou ainda em outros trabalhos de método Sustentar-Relaxar (*Hold-Relax*) (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006) –, Contração do Antagonista (CA) e Contrair-Relaxar-Contrair Antagonista (CRCA). No método CR, o músculo é alongado passivamente até o ângulo de máximo desconforto tolerável (determinação subjetiva do término), quando é solicitada, nesta amplitude, uma contração isométrica do mesmo músculo contra uma resistência fixa, e então, ao relaxar da contração, o músculo é novamente alongado passivamente até um novo ângulo de máximo desconforto tolerável (determinação subjetiva do término). A única diferença deste método para o CRCA é que neste último a segunda fase de alongamento passivo é acompanhada de contração do músculo antagonista ao que está sendo alongado. Já no método CA, o ângulo máximo é atingido sem contração prévia do músculo alvo, sendo efetuado apenas alongamento passivo acompanhado de contração do antagonista (GUISARD; DUCHATEAU, 2001); a amplitude

máxima de alongamento nesta modalidade FNP também é determinada subjetivamente pelo máximo desconforto tolerável. Há diversas variações de cada um destes métodos, podendo ser utilizados tempos de alongamento passivo diferentes (tanto na primeira quanto na segunda fase), intensidades de contração do antagonista diferentes, intensidades de contração do músculo alvo diferentes, tempos de contração do músculo alvo diferentes etc (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006). Cada um destes métodos tem tido sua eficácia atribuída a diferentes mecanismos neuromusculares.

## **2.1 Hipóteses de mecanismos neuromusculares subjacentes às técnicas FNP**

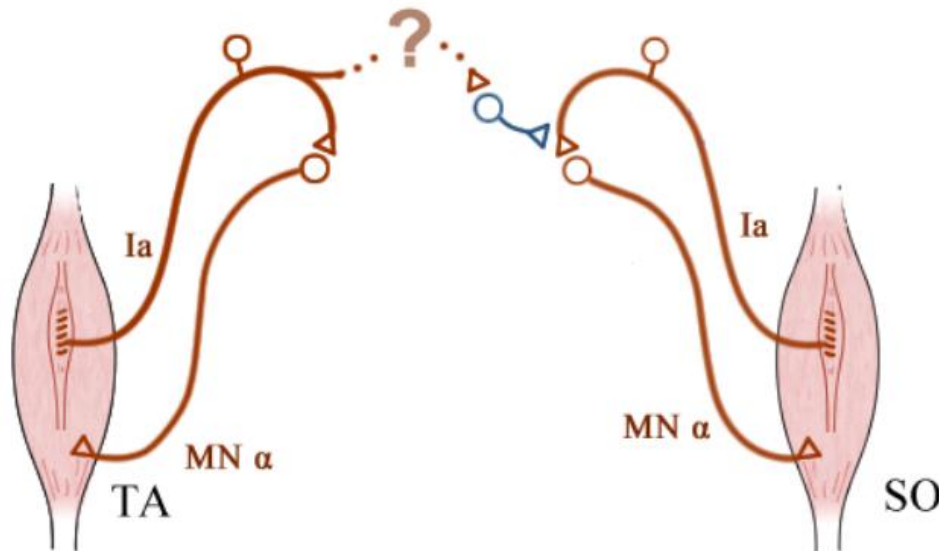
Cogita-se que o método CR se beneficiaria do fenômeno de inibição autogênica, o CA do fenômeno de inibição recíproca e o CRCA de ambos os fenômenos (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006). A inibição autogênica se refere à redução na excitabilidade de um músculo que está contraindo ou sendo estirado (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006). Já a inibição recíproca ocorre quando a contração de um músculo inibe a contração do seu antagonista (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006).

O fenômeno de inibição recíproca pode ocorrer por diferentes vias neurais. Os comandos voluntários para contração de um músculo, oriundos de vias descendentes, além de ativarem os motoneurônios deste músculo também excitam interneurônios inibitórios Ia (os axônios do tipo Ia são as mais velozes fibras do sistema nervoso) que fazem sinapse com os motoneurônios do músculo antagonista (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006), que, em termos de FNP, é o músculo alvo do alongamento. Os mesmos interneurônios inibitórios podem ser ainda mais excitados pelo fluxo de estímulos procedentes das fibras aferentes Ia do músculo excitado (particularmente durante contrações com alta ativação fusimotora), aumentando a inibição do antagonista (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006). Esta via de inibição recíproca é chamada de dissináptica, por haver apenas duas sinapses em seu

caminho (Ia-interneurônio e interneurônio-motoneurônio do antagonista) de flexores para extensores do tornozelo, que são os músculos analisados no presente estudo. Outra possível contribuição inibitória é a inibição recorrente (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006), em que ramos do axônio do motoneurônio (do músculo alvo do alongamento) fazem sinapse excitatória com células de Renshaw (interneurônios da medula espinhal), que por sua vez inibem o mesmo motoneurônio ou algum outro motoneurônio relativo ao mesmo músculo.

Todas as vias de inibição citadas anteriormente são classificadas como pós-sinápticas por serem intermediadas por sinapse (inibitória) com motoneurônios do músculo alvo. Outra importante via que tem sido sugerida como contribuinte para o alongamento do músculo alvo através de inibição recíproca é a via de inibição pré-sináptica (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006). Cogita-se que nesta via fibras aferentes Ia do músculo excitado (do qual o músculo alvo do alongamento é antagonista) afetem a excitabilidade de uma série de interneurônios espinhais - esta via polissináptica leva entre 80 e 120 ms para ser percorrida entre flexores e extensores do tornozelo (HAYES et al, 2012) - e que por fim realizem uma sinapse inibitória não no motoneurônio (MN) do músculo antagonista (o que configuraria uma inibição pós-sináptica), mas no seu terminal pré-sináptico Ia-MN (MEZZARANE et al, 2013) (FIG. 1). Esta sinapse inibitória diminui, portanto, a parcela de motoneurônios (do músculo alvo do alongamento) ativados pela sinapse excitatória oriunda das fibras Ia do mesmo músculo, o que em tese permitiria maior nível de estiramento deste músculo por diminuir sua intensidade de contração reflexa. As fibras Ia mencionadas na sentença anterior são axônios dos fusos neuromusculares do músculo alvo do alongamento (PURVES, 2008). Quando um músculo é estirado, os axônios dos seus sensores de estiramento (os fusos neuromusculares) enviam sinais excitatórios para os motoneurônios do mesmo músculo (sinapse excitatória Ia-MN), provocando sua contração reflexa (PURVES, 2008). Tal contração é denominada de reflexo de estiramento e é evocado principalmente pelas vias monossinápticas descritas acima, e também por vias oligossinápticas (MEZZARANE et al, 2013).

**Figura 1 - Representação esquemática das vias neurais envolvidas na inibição recíproca pré-sináptica**



TA: músculo tibial anterior. SO: músculo sóleo. MN  $\alpha$ : motoneurônio alfa. Ia: fibras nervosas do tipo Ia (axônios dos fusos neuromusculares). O ponto de interrogação refere-se a interneurônios espinhais existentes na via de inibição pré-sináptica. Em azul: interneurônio que realiza sinapse inibitória no terminal pré-sináptico Ia-MN.

Fonte: MEZZARANE et al, 2013

## 2.2 O reflexo H

Com o objetivo de aumentar o controle experimental no estudo do reflexo de estiramento, foram desenvolvidos métodos para evocar artificialmente o reflexo de estiramento, que são o reflexo T – evocado mecanicamente – e o reflexo H, evocado ao estimular-se eletricamente o nervo misto que supre o músculo alvo. Tal nervo misto é composto por fibras eferentes (axônios dos motoneurônios deste músculo) e por fibras aferentes (axônios dos fusos neuromusculares do mesmo músculo) (MEZZARANE et al, 2013). O reflexo H é, portanto, provocado pela estimulação elétrica dos axônios dos fusos, que ao efetuarem sinapse excitatória com os motoneurônios do mesmo músculo, promovem a contração reflexa deste. Logo, trata-se de um

sinal mioelétrico que reflete a despolarização de uma população de fibras musculares ativadas reflexamente. Esta despolarização (potencial de ação muscular composto do músculo) é medida por meio de eletromiografia de superfície.

### **2.3 Importância da inibição recíproca para o alongamento por técnicas de FNP**

Sharman, Cresswell e Riek (2006) relatam que na literatura sobre FNP, a inibição pela via dissinápica é descrita como fator principal a contribuir para o maior alongamento atingido. Entretanto, ainda Sharman, Cresswell e Riek (2006) apontam que existe evidência a sugerir que a maior ativação do músculo antagonista resultará em maiores níveis de inibição pré-sináptica do músculo alvo, e que não haveria qualquer pesquisa clínica que tenha examinado isto. De fato, em 2012 Hayes e outros investigaram a excitabilidade das vias de inibição recíproca dissinápica e pré-sináptica, entretanto seu estudo não teve como variável independente uma intervenção com alongamento FNP, e sim uma intervenção crônica de alongamento estático durante seis semanas. Além do mais, esse estudo relata limitações que poderiam justificar sua falta de achados positivos nas vias de inibição recíproca testadas (HAYES et al, 2012).

### **3. MÉTODOS**

#### **3.1 Variáveis experimentais**

A variável independente (VI) consiste na intervenção FNP (ausência ou presença), classificando-se como uma variável independente categórica nominal. A variável dependente (VD) é quantitativa e contínua, representada pela quantidade de inibição do reflexo H condicionado do músculo sóleo, mensurada antes e após a intervenção FNP.

#### **3.2 Descrição da amostra**

Foi realizada amostragem não probabilística por tipicidade e acessibilidade, tendo sido aplicada como critério de seleção a exigência dos sujeitos terem entre 18 e 32 anos, serem saudáveis, sem comprometimento cognitivo ou neurológico, não terem feito exercício intenso ou treino de flexibilidade nas 72 h anteriores ao teste e estarem em abstinência de estimulantes e depressivos do sistema nervoso central (caféina, álcool etc) nas 6 h anteriores (BLAZEVIK et al, 2014). Os sujeitos não poderiam ter lesionado ou operado os membros inferiores analisados nos últimos doze meses. Caso o sujeito tivesse alguma lesão no membro inferior analisado de mais de doze meses e que ainda manifestasse sintomas (dor, limitação de movimento etc), também não poderia compor a amostra (BLAZEVIK et al, 2012b). Todos os sujeitos deveriam assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Esta pesquisa se inseriu no projeto “Estudo da plasticidade neuromuscular e adaptações do aparelho locomotor no treinamento físico e avaliações no esporte, utilizando uma abordagem multivariável” (CAAE: 16631413.3.0000.0030), aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

Participaram do experimento piloto cinco sujeitos e do experimento com protocolo definitivo dez adultos jovens (cinco homens e cinco mulheres, com idades entre 19 e 31 anos), entretanto, teve de se descartar um dos sujeitos devido ao não-controle do estímulo condicionante.

Na Tabela 1 encontra-se representada a distribuição dos nove participantes por faixa etária (dividida de cinco em cinco anos) e na Tabela 2 a distribuição por sexo.

**Tabela 1 - Distribuição de sujeitos por faixa etária**

Faixa etária	Nº de sujeitos
18 a 22 anos	3
23 a 27 anos	3
28 a 32 anos	3

Fonte: Dados da pesquisa

**Tabela 2 - Distribuição de sujeitos por sexo**

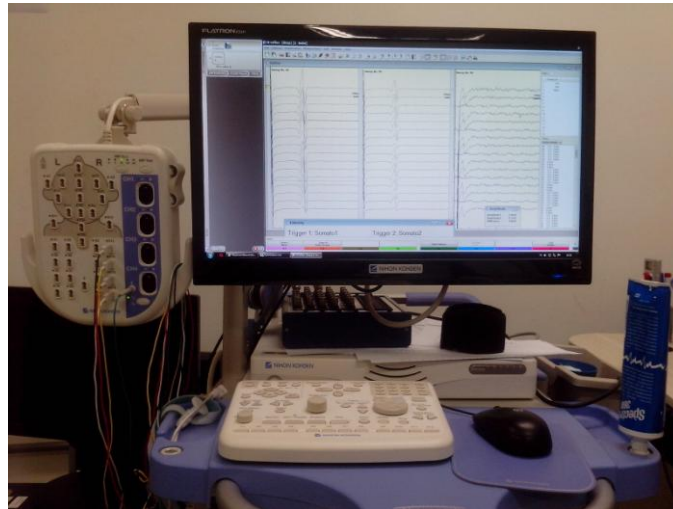
Sexo	Nº de sujeitos
Feminino	4
Masculino	5

Fonte: Dados da pesquisa

### 3.3 Instrumentos

Foi utilizado teste de laboratório para mensurar o reflexo H (quantificado via mensuração de sinal eletromiográfico) através do equipamento MEB 2300, Nihon Kohden, Tóquio, Japão (FIG. 2) contendo 12 canais de aquisição, com conversor AD de 18 bits, e 4 estimuladores.

Figura 2 – Equipamento utilizado (MEB 2300, Nihon Kohden)



Fonte: Fotos do autor

O software Matlab (Mathworks, versão 2012) foi utilizado para processar os dados eletromiográficos obtidos.

### **3.4 Procedimento de coleta de dados**

O procedimento de coleta de dados teve duração de aproximadamente três horas por sujeito e consistiu nas etapas descritas a seguir.

#### **3.4.1 Colocação dos eletrodos**

Foi utilizada eletromiografia de superfície para medir o reflexo H e a onda M (esta última para controle). Os eletrodos usados foram de Ag-AgCl, colocados sobre o ventre muscular do sóleo e do tibial anterior (TA) - orientando-se pelas recomendações do Projeto SENIAM (*Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles*: Eletromiografia



de Superfície para Avaliação Muscular Não-Invasiva) - no membro inferior direito do sujeito, cuja pele havia sido previamente limpa com álcool comum 96<sup>o</sup> GL. Um eletrodo de referência foi colocado no punho direito.

Utilizou-se um estimulador elétrico para aplicar pulsos retangulares (corrente estabelecida por sujeito) de 1 ms através de eletrodos de estimulação colocados sobre a pele acima dos nervos que suprem o TA (estímulo de condicionamento; “estimulador 1”) e o sóleo (para evocar o reflexo H; “estimulador 2”). O primeiro é o nervo fibular comum em sua porção adjacente à cabeça da fíbula. O segundo trata-se do nervo tibial posterior em sua porção localizada na fossa poplítea. Para identificar a localização correta, esses eletrodos foram movidos sobre os nervos até uma resposta muscular ser observável no registro eletromiográfico.

#### **3.4.2 Posição dos sujeitos**

Durante todo o experimento os sujeitos mantiveram-se na posição sentada com joelho flexionado evitando portanto o alongamento do músculo gastrocnêmio. Foram acomodados em uma cadeira com apoio para braços e espaldar ligeiramente reclinado, com quadril fletido a aproximadamente 105 graus (no menor ângulo entre os segmentos tronco e coxa), coxas imobilizadas a fim de aumentar o conforto (evitando-se abdução do quadril), joelho fletido a aproximadamente 110 graus (no menor ângulo entre os segmentos coxa e perna) e tornozelo fletido a aproximadamente 115 graus (no menor ângulo entre os segmentos perna e pé) com o pé apoiado sobre um anteparo de madeira inclinado (exceto durante as intervenções FNP, quando os sujeitos realizavam dorseflexão acompanhada de alongamento). Os ângulos foram mensurados com auxílio de um goniômetro analógico. Solicitou-se aos sujeitos que se mantivessem quietos, porém acordados, durante todo o experimento, evitando movimentos. O experimento foi conduzido em uma sala silenciosa e com temperatura controlada de modo a evitar que o sujeito se incomodasse com sensações de calor ou frio. Os sujeitos passaram por familiarização prévia

de todo procedimento, tanto da intervenção FNP quanto da mensuração do reflexo.

### **3.4.3 Protocolo do experimento**

Antes de se iniciar a intervenção experimental e medição da variável dependente - e com o sujeito devidamente posicionado e equipado com os eletrodos - foi necessário obter alguns dados para serem utilizados como parâmetros no experimento, a saber: amplitude máxima (em mV) de onda M no sóleo; intensidade ótima de corrente (em mA) do estimulador 2; intensidade ótima de corrente (em mA) do estimulador 1.

O valor máximo da onda M tem de ser obtido para cada sujeito a fim de se estipular a intensidade ótima de estímulo (estímulo 2) a se trabalhar. Esta intensidade é tal que em repouso evoque um reflexo H de aproximadamente 20 a 30% do valor máximo de M, uma vez que nestas amplitudes o reflexo é mais responsivo ao condicionamento (MEZZARANE et al, 2013; CRONE et al. 1990). O estimulador 1 (estímulo condicionante) foi configurado para liberar estímulos na intensidade necessária para se produzir uma onda M no tibial anterior (TA) de amplitude de aproximadamente 100  $\mu$ V (padrão para valor limiar de resposta motora).

Tendo sido estabelecidas as intensidades ideais para o estímulo 1 e estímulo 2, foi iniciado o experimento. O equipamento MEB 2300 Nihon Kohden foi configurado para acionar os estimuladores 1 e 2 na frequência de 0,1 Hz, porém com 100 ms de atraso do estimulador 2 em relação ao 1. Os estímulos obedeciam à seguinte sequência: *H controle*, *H condicionado pré-FNP*, *H condicionado pós-FNP*, *H controle*, *H condicionado pré-FNP*, *H condicionado pós-FNP* e assim sucessivamente, sempre repetindo o ciclo "*H controle*, *H condicionado pré-FNP*, *H condicionado pós-FNP*", que durava 20 s cada, com intervalo de 10 s entre cada ciclo (vide Apêndice A). O experimento terminava após completar 90 acionamentos do estimulador 2 (isto é, 30 ciclos), portanto sua duração era de 14 minutos, 50 segundos e 100 milissegundos. "*H*

*controle*” refere-se à resposta obtida (reflexo H) quando apenas o estimulador 2 estava ligado. “*H condicionado pré-FNP*” refere-se à resposta (reflexo H) condicionada, ou seja, aquela obtida quando tanto o estimulador 1 quanto o 2 estavam ligados (sendo o estimulador 2 acionado 100 ms após o 1) logo *antes* de se efetuar a intervenção FNP. “*H condicionado pós-FNP*” refere-se à resposta obtida (reflexo H) quando tanto o estimulador 1 quanto o 2 estavam ligados (sendo o estimulador 2 acionado 100 ms após o 1) logo *após* se efetuar a intervenção FNP. Apesar do estimulador 1 estar configurado na frequência de 0,1 Hz, ele era desligado manualmente logo após obter-se “*H condicionado pós-FNP*”, sendo religado (manualmente) logo após obter-se “*H controle*”, e assim sucessivamente, em todos os 30 ciclos, de modo que durante a obtenção de “*H controle*” apenas o estimulador 2 estivesse ligado. Após o encerramento do experimento, era conferido no monitor do equipamento o correto acionamento/desligamento do estimulador 1.

Ao acionar o equipamento Nihon para inicialização do experimento, este automaticamente acionava um dispositivo (placa Arduíno) que emitia sinal sonoro em intervalos programados (vide Apêndice A) para sinalizar o início e término da intervenção FNP em cada ciclo.

#### **3.4.4 Intervenção FNP**

Cada intervenção FNP (método CA) durou 5 segundos, sendo repetida 30 vezes durante o experimento (uma a cada ciclo), e consistiu no seguinte procedimento: com o auxílio de uma tira (atadura dobrada) de aproximadamente 3 cm de largura (posicionada sobre a parte média da sola do pé do sujeito e com as pontas seguradas pelo experimentador), o experimentador realizava alongamento do sóleo do sujeito, enquanto este efetuava contração máxima de seu antagonista (TA) durante 5 s, resultando em dorsoflexão ativa. Foram utilizados sinais sonoros automatizados para indicar início e término exatos de cada intervenção FNP. O sujeito foi instruído a realizar dorsoflexão ativa (com o máximo de força que conseguisse) ao ouvir o

sinal sonoro, e a relaxar (repousando o pé sobre o anteparo de madeira) ao ouvir o próximo sinal sonoro. Foi escolhido tempo de 5 s por ser uma duração costumeiramente utilizada nas fases de intervenção FNP que envolvem contração muscular (quanto maior a duração, maior a dificuldade em sustentar uma contração máxima), e também devido a uma limitação de configuração do equipamento, que não permitia automatizar-se um maior intervalo entre estímulos-teste, o que possibilitaria utilizar uma duração de intervenção mais prolongada.

#### **3.4.5 Medição da variável dependente**

A variável dependente (quantidade de inibição do reflexo H condicionado do músculo sóleo) foi mensurada antes e após cada uma das 30 intervenções FNP.

A quantidade de inibição é dada pela seguinte fórmula:

$$QI (\%) = [ (H_{\text{controle}} - H_{\text{condicionado}}) / H_{\text{controle}} ] \times 100 \quad (1)$$

O “*H condicionado*” é o “*H condicionado pré-FNP*” quando mensurado antes da intervenção FNP, e é o “*H condicionado pós-FNP*” quando após a intervenção FNP.

Todo reflexo H foi evocado com o tornozelo em posição neutra e imobilizado por velcro, e sua quantificação foi dada por amplitude pico a pico (em mV). A escolha por testar em repouso a via de inibição deve-se à minimização de outros tráfegos neurais que ocorrem durante a contração, que tornariam demasiada complexa a análise, além de poderem causar confusão e dificuldade do sujeito em manter a contração corretamente enquanto sofre uma sequência de contrações involuntárias em músculos antagonistas entre si, com eventual risco de lesão.

Cada uma das medições do *reflexo H condicionado pós-FNP* foi sempre precedida por uma nova intervenção FNP (respeitando a sequência do ciclo; vide Apêndice A) porque a intensidade de atenuação do reflexo H é dependente do tempo após o término da intervenção (MOORE; KUKULKA, 1991; ENOKA; HUTTON; ELDRED, 1980). Portanto, todas as medições do *reflexo H condicionado pós-FNP* foram realizadas (uma por vez) 3 s após o término de cada intervenção. As intensidades dos estímulos 1 e 2 foram as mesmas utilizadas na condição pré-intervenção. Na condição controle a intensidade do estímulo 2 também era a mesma, porém o estimulador 1 permanecia desligado.

### **3.5 Parâmetros de aquisição**

O sinal eletromiográfico foi adquirido no músculo sóleo por dois canais do sistema de aquisição, com taxa de amostragem de 10 kHz e filtro passa-banda de 10 Hz a 1 kHz.

### **3.6 Tratamento dos dados**

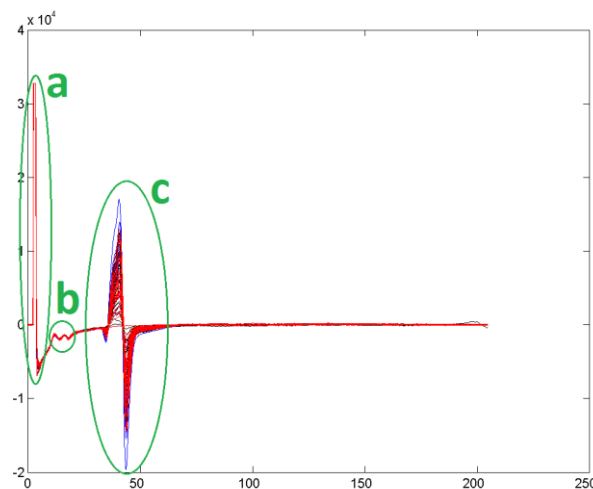
A fim de verificar se a intervenção FNP alterou o reflexo H condicionado pré-sinápticamente, foi aplicado um teste t pareado bicaudal entre as médias de quantidade de inibição pré e pós intervenção, tendo sido adotado nível de significância  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS

Ao se processar no *software* MatLab os dados eletromiográficos adquiridos, constatou-se que não foi possível captar o comum efeito de inibição pré-sináptica na maior parte dos sujeitos, que tiveram, portanto, de ser descartados, resultando em uma amostra final de apenas quatro sujeitos (2 homens e 2 mulheres, com idades entre 20 e 30 anos).

A seguir encontram-se exemplos dos gráficos resultantes do processamento dos dados eletromiográficos. O Gráfico 1 traz a sobreposição de todas as curvas de onda adquiridas para o músculo sóleo do sujeito D. À esquerda, no círculo marcado com a letra “a”, encontra-se o artefato de estímulo. Logo à direita, no círculo marcado com a letra “b”, encontra-se a onda M. Mais à direita, no círculo marcado com a letra “c”, encontra-se a onda referente ao reflexo H.

**Gráfico 1 - Sobreposição das curvas de onda adquiridas para o músculo sóleo**

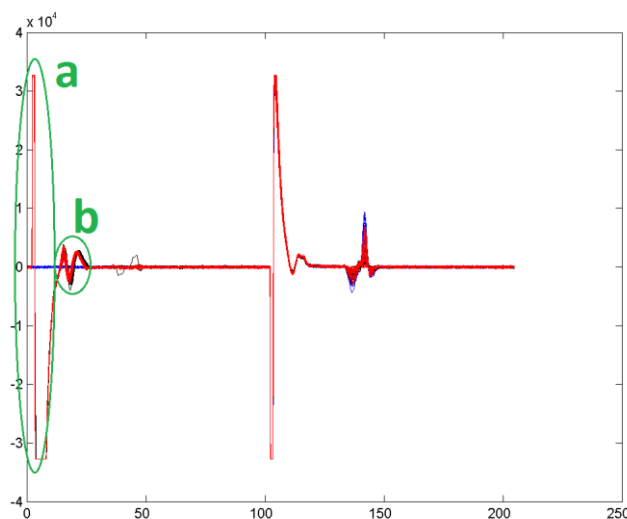


Eixo vertical: unidades arbitrárias. Eixo horizontal: tempo (em ms)

Fonte: Dados da pesquisa

Já o Gráfico 2 traz a sobreposição de todas as curvas de onda adquiridas para o músculo tibial anterior do sujeito D. À esquerda, no círculo marcado com a letra “a”, encontra-se o artefato de estímulo e à direita, no círculo marcado com a letra “b”, encontra-se a onda M. As demais ondas presentes representam *cross-talk* captado do músculo sóleo.

**Gráfico 2 - Sobreposição das curvas de onda adquiridas para o músculo tibial anterior**

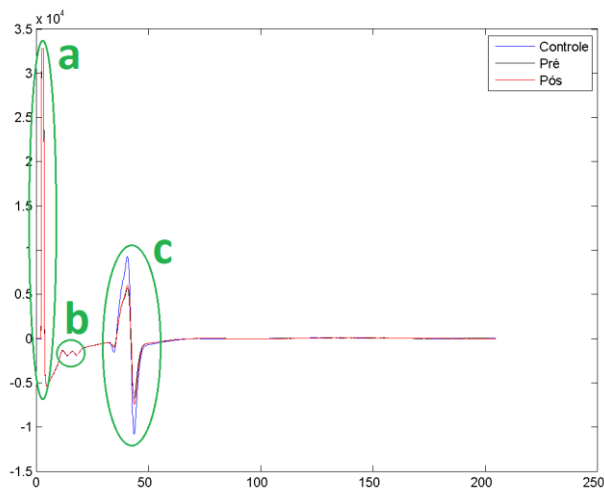


Eixo vertical: unidades arbitrárias. Eixo horizontal: tempo (em ms)

Fonte: Dados da pesquisa

O Gráfico 3 apresenta as curvas de onda médias adquiridas para o músculo sóleo do sujeito D. O traço em azul representa a média de todas as captações na condição controle (não condicionada), o traço em preto a média de todas as captações na condição condicionada antes da intervenção FNP, e o traço em vermelho a média de todas as captações na condição condicionada após a intervenção FNP. À esquerda, no círculo marcado com a letra “a”, encontra-se o artefato de estímulo. Logo à direita, no círculo marcado com a letra “b”, encontra-se a onda M. Mais à direita, no círculo marcado com a letra “c”, encontra-se a onda referente ao reflexo H.

**Gráfico 3 - Curvas de onda médias adquiridas para o músculo sóleo**

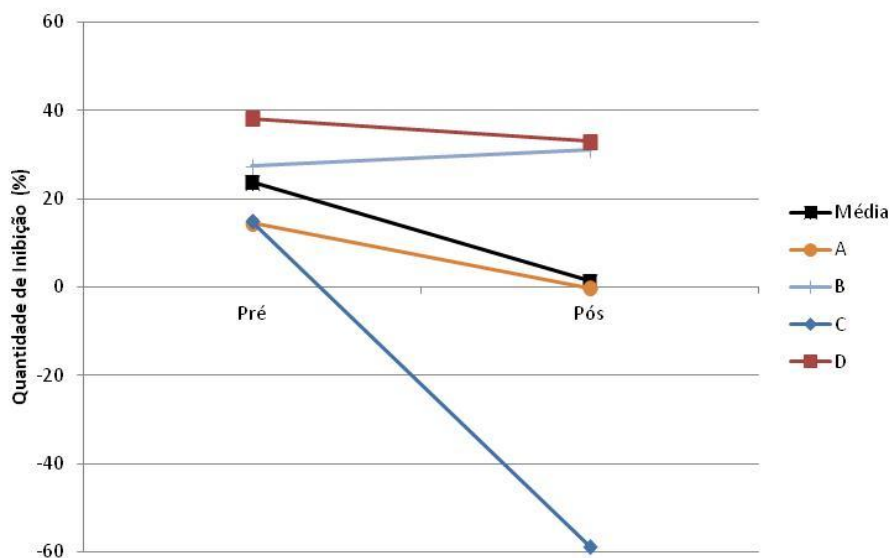


Eixo vertical: unidades arbitrárias. Eixo horizontal: tempo (em ms)

Fonte: Dados da pesquisa

No Gráfico 4 encontra-se expressa a quantidade de inibição (QI) antes e após a intervenção FNP para cada um dos quatro sujeitos, e média da QI de todos eles.

**Gráfico 4 - Quantidade de inibição pré e pós-intervenção FNP para cada um dos quatro sujeitos, e média**



Fonte: Dados da pesquisa



Os quatro sujeitos obtiveram uma redução média de 95% na quantidade de inibição após a intervenção FNP.

Para saber se as médias de quantidade de inibição antes e após a intervenção de fato eram diferentes (hipótese alternativa) ou se isto se deveu ao acaso (hipótese nula), foi aplicado um teste t pareado (amostras repetidas). O valor-p obtido no teste t pareado foi de 0,289.

## DISCUSSÃO

Este estudo teve por objetivo verificar se o alongamento com a técnica de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva de contração de antagonista provoca alterações agudas nos mecanismos de modulação do reflexo de estiramento mediados pela via de inibição recíproca pré-sináptica. Como o valor-p obtido no teste t pareado foi de 0,289, a hipótese nula não foi rejeitada, uma vez que tendo sido adotado nível de confiança 95% bicaudal o valor-p encontrado deveria ser menor que 0,05 para rejeitar tal hipótese. Logo a diferença média encontrada entre quantidade de inibição pré-sináptica pré e pós-FNP não teve significância estatística. Para poder-se concluir se a intervenção FNP de contração de antagonista provoca ou não alterações agudas nos mecanismos de modulação do reflexo de estiramento mediados pela via de inibição recíproca pré-sináptica, sugere-se um estudo com maior tamanho amostral. Uma alternativa para tentar minimizar descarte de sujeitos é testar inibição pré-sináptica sob diferentes intervalos condicionante-teste - entre 80 e 120 ms, conforme indicado por Hayes e outros (2012) - logo antes da coleta com intervenção FNP, a fim de determinar o intervalo ótimo para cada sujeito. Ainda assim, pode ocorrer de não se conseguir detectar inibição pré-sináptica em uma quantidade razoável dos sujeitos, o que pode ser solucionado fazendo novos recrutamentos de sujeitos para a pesquisa até que se atinja um tamanho amostral final dentro do mínimo estipulado.

Também se sugere estudo com o mesmo protocolo experimental, porém usando intervalo entre estímulos (condicionante e teste) de cerca de 1 ms, a fim de se investigar o efeito do alongamento com técnica FNP de contração de antagonista na via de inibição dissináptica pós-sináptica, também conhecida como via de inibição recíproca clássica, uma vez que não foi localizado na literatura nenhum estudo que tenha testado tal via de inibição recíproca após uma intervenção aguda de FNP. A inibição por tal via é apontada na literatura sobre FNP como possivelmente o principal fator a contribuir para o maior alongamento atingido (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006).

Um dos fatores que poderia comprometer a conclusividade dos dados seria a falta de estabilidade na estimulação. Entretanto, como o Gráfico 1 ilustra, houve pouca variabilidade nas amplitudes das ondas M nas noventa estimulações (30 ciclos com três estimulações cada) aplicadas no nervo do músculo sóleo de cada sujeito, assim como houve pouca variabilidade das ondas M nas sessenta estimulações (30 ciclos com duas estimulações cada) aplicadas no nervo do músculo tibial anterior de cada sujeito (GRAF. 2), indicando estabilidade no condicionamento. O Gráfico 3 ilustra que não houve diferença na estabilidade de estimulação (vide onda grifada com círculo *b*) no nervo do sóleo entre as três condições (controle, pré-FNP, e pós-FNP), e, portanto, indica que as alterações nas amplitudes do reflexo H entre as três condições dever-se-iam a fatores neurofisiológicos e não a alterações na eficácia de estímulo, as quais modificariam também a onda M (MEZZARANE et al, 2013).

No presente estudo não foi possível detectar o efeito de inibição pré-sináptica em mais da metade dos sujeitos, o que é uma ocorrência bastante incomum, tendo que se descartar estes sujeitos, comprometendo o tamanho final da amostra e a conclusividade da pesquisa. Buscando-se explicações na literatura, encontrou-se a sugestão de que a possível co-estimulação das fibras aferentes do nervo fibular superficial (um dos ramos do nervo fibular comum) poderia causar excitação do reflexo H do músculo sóleo (LEVIN; CHAPMAN, 1987; MEUNIER; PIERROT-DESEILLIGNY; SIMONETTA, 1993), competindo com o efeito de inibição recíproca gerado pela estimulação das fibras aferentes do nervo fibular profundo (o outro ramo do nervo fibular comum). A rigor, para propiciar exclusivamente inibição recíproca, dever-se-ia estimular apenas as aferentes do nervo fibular profundo, o qual - por ser de difícil acesso em estimulação transcutânea - deve ser alcançado através da estimulação do seu nervo-raiz (nervo fibular comum). Ocorre que ao se estimular o nervo fibular comum corre-se o risco de se estimular também aferentes do nervo fibular superficial, o qual provocaria facilitação do reflexo H do músculo sóleo (LEVIN; CHAPMAN, 1987; MEUNIER; PIERROT-DESEILLIGNY; SIMONETTA, 1993). Durante a coleta de dados procurou-se minimizar a estimulação do nervo fibular superficial através de dois métodos: palpação dos músculos fibular e

tibial anterior (apenas o tibial anterior deveria se contrair) e inquirição do sujeito sobre possíveis parestesias sentidas na lateral da perna (não deveriam ocorrer na lateral da perna, e sim apenas na parte frontal). Quando havia uma das ocorrências acima, alterava-se o posicionamento do eletrodo de estimulação até não haver mais contração dos músculos fibular e até o sujeito não relatar mais parestesia na lateral da perna. Ainda assim, pode ter havido certa estimulação do nervo fibular superficial, não percebida por alguns sujeitos e que não tenha gerado contração forte o suficiente nos músculos fibular para ser percebida pelo experimentador.

Além da possível excitação de aferentes do nervo fibular superficial e do reduzido tamanho final amostral, outra limitação do estudo reside na falta de plena especificidade de estimulação de fibras Ia. Ao se estimular eletricamente o nervo, foi minimizada a ativação de outras fibras que não do tipo Ia através do uso da menor intensidade necessária de estímulo (MEZZARANE et al, 2013), entretanto há possibilidade de ter sido atingido limiar de ativação de outras fibras, particularmente as do tipo Ib, acionando-se outras comunicações neurais que não apenas as estudadas. É válido lembrar que este tipo de limitação está presente de forma geral nos estudos do reflexo de estiramento, não havendo ainda tecnologia capaz de suprimi-la, e sim apenas de mitigá-la.

## CONCLUSÃO

Este estudo não pôde concluir se o alongamento com a técnica de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva de contração de antagonista provoca alterações agudas nos mecanismos de modulação do reflexo de estiramento mediados pela via de inibição recíproca pré-sináptica, devido ao imperativo em se descartar – após o processamento dos dados – a maior parte dos sujeitos da amostra, dos quais não foi possível captar o comum efeito de inibição pré-sináptica do reflexo H do músculo sóleo. A razão desta ausência de inibição nestes sujeitos descartados deve-se possivelmente à co-estimulação das fibras aferentes do nervo fibular superficial (LEVIN; CHAPMAN, 1987; MEUNIER; PIERROT-DESEILLIGNY; SIMONETTA, 1993).

Para poder-se concluir se a intervenção FNP de contração de antagonista provoca alterações agudas nos mecanismos de modulação do reflexo de estiramento mediados pela via de inibição recíproca pré-sináptica, sugere-se um estudo com maior tamanho amostral final, realizando-se novas coletas após descarte de sujeitos dos quais não foi possível captar o fenômeno de inibição pré-sináptica. Uma alternativa para tentar minimizar descarte de sujeitos é testar a inibição pré-sináptica sob diferentes intervalos condicionante-teste, a fim de determinar o intervalo ótimo para cada sujeito. Também é sugerido estudo com o mesmo protocolo experimental porém usando intervalo entre estímulos (condicionante e teste) de cerca de 1 ms, a fim de se investigar o efeito do alongamento com técnica FNP de contração de antagonista na via de inibição dissináptica pós-sináptica, uma vez que não foi localizado na literatura nenhum estudo que tenha testado tal via de inibição recíproca após uma intervenção aguda de FNP, a despeito de sua provável importância (SHARMAN; CRESSWELL; RIEK, 2006).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLAZEVICH, A. J.; CANNAVAN, D.; WAUGH, C. M.; FATH, F.; MILLER, S. C.; KAY, A. D. Neuromuscular factors influencing the maximum stretch limit of the human plantar flexors. **Journal of Applied Physiology**, v. 113, p. 1446–1455, August 2012a.

BLAZEVICH, A. J.; KAY, A. D.; WAUGH, C. M.; FATH, F.; MILLER, S. C.; CANNAVAN, D. Plantarflexor stretch training increases reciprocal inhibition measured during voluntary dorsiflexion. **Journal of Neurophysiology**, v. 107, p. 250-256, October 2012b.

BLAZEVICH, A. J.; CANNAVAN, D.; WAUGH, C. M.; MILLER, S. C., THORLUND, J. B.; AAGAARD, P.; KAY, A. D. Range of motion, neuromechanical, and architectural adaptations to plantar flexor stretch training in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 117, p. 452-462, June 2014.

CRONE, C.; HULTBORN, H.; MAZIERES, L.; MORIN, C.; NIELSEN, J., PIERROT-DESEILLIGNY, E. 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, p. 35-45, 1990.

ENOKA, Roger M.; HUTTON, Robert S.; ELDRED, Earl. Changes in excitability of tendon tap and Hoffmann reflexes following voluntary contractions. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, v. 48, p. 664-672, 1980.

ETNYRE, BRUCE R.; ABRAHAM, LAWRENCE D. H-reflex changes during static stretching and two variations of proprioceptive neuromuscular facilitation techniques. **Electroencephalography and clinical Neurophysiology**, v. 63, p. 174-179, 1986.

GUISSARD, Nathalie; DUCHATEAU, Jacques. Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. **Muscle Nerve**, v. 29, p. 248–255, Feb. 2004.

GUISSARD, Nathalie; DUCHATEAU, Jacques; HAINAUT, Karl. Mechanisms of decreased motoneurone excitation during passive muscle stretching. **Experimental Brain Research**, v. 137, p. 163–169, Feb. 2001.

HAYES, Bradley T.; HARTER, Rod A.; WIDRICK, Jeffrey J.; WILLIAMS, Daniel P.; HOFFMAN, Mark A.; HICKS-LITTLE, Charlie A. Lack of Neuromuscular Origins of Adaptation After a Long-Term Stretching Program. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 21, p. 99-106, 2012.

HINDLE, Kayla B.; WHITCOMB, Tyler J.; BRIGGS, Wyatt O.; HONG, Junggi. Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF): Its Mechanisms and Effects on Range of Motion and Muscular Function. **Journal of Human Kinetics**, v. 31, p. 105-113, 2012.

LEVIN, M.; CHAPMAN, C. E.. Inhibitory and facilitatory effects from the peroneal nerve onto the soleus H-reflex in normal and spinal man. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, v. 67(5), p. 468-478, 1987.

MEUNIER, S.; PIERROT-DESEILLIGNY, E.; SIMONETTA, M. Pattern of monosynaptic heteronymous Ia connections in the human lower limb. **Experimental Brain Research**, v. 96, p. 534-544, 1993.

MEZZARANE, Rinaldo André; ELIAS, Leonardo Abdala; MAGALHÃES, Fernando Henrique; CHAUD, Vitor Martins; KOHN, André Fabio. Experimental and Simulated EMG Responses in the Study of the Human Spinal Cord. In: TURKER, Hande (Org.). **Electrodiagnosis in New Frontiers of Clinical Research**. InTech, 2013. Cap. 4, p. 57-87.

MITCHELL, Ulrike H.; MYRER, J. William; HOPKINS, J. Ty, HUNTER, Iain; FELAND, J. Brent; HILTON, Sterling C. Neurophysiological Reflex Mechanisms' Lack of Contribution to the Success of PNF Stretches. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 18, p. 343-357, 2009.

MOORE, Marjorie A; KUKULKA, Carl G. Depression of Hoffmann Reflexes Following Voluntary Contraction and Implications for Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Therapy. **Physical Therapy**, v. 71, n. 4, p. 321-329, April 1991.

PAGE, Phil. Current concepts in muscle stretching for exercise and rehabilitation. **The International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 7, n. 1, p. 109-119, February 2012.

PURVES, Dale. Lower Motor Neuron Circuits and Motor Control. In: PURVES, Dale. **Neuroscience**. 4. ed. Sanderland: Sinauer Associates, 2008. Cap. 16, p. 397-422.

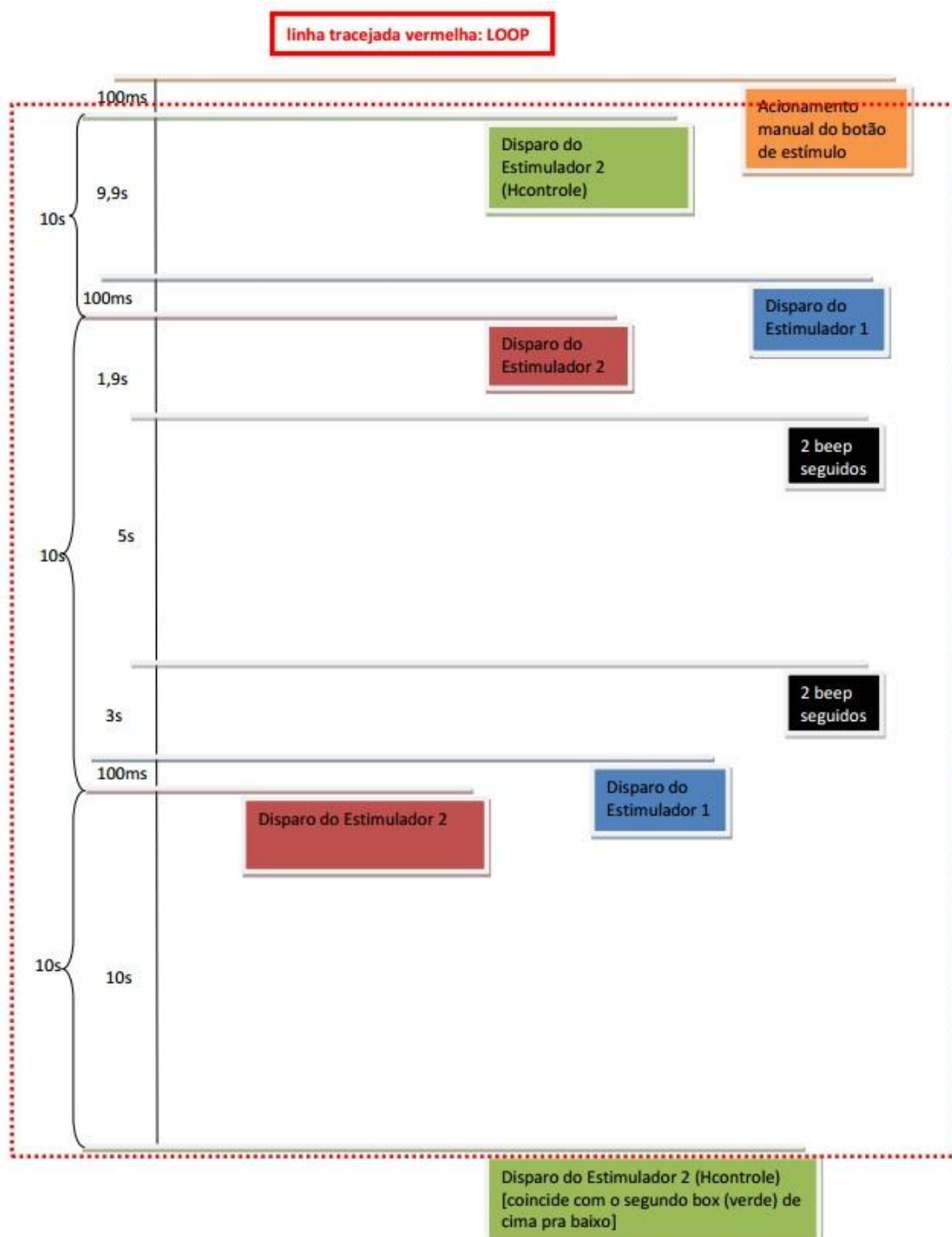
SHARMAN, Melanie J.; CRESSWELL, Andrew G.; RIEK, Stephan. Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching: Mechanisms and Clinical Implications. **Sports Medicine**, v. 36, n. 11, p. 929-939, 2006.

SILVA, Paula Ramos Tavares da. **Comparação do efeito da técnica de facilitação neuromuscular proprioceptiva com a técnica de músculo energia no alongamento muscular dos isquiotibiais a curto prazo**. 2013. Dissertação (Mestrado em Fisioterapia) - Instituto Politécnico do Porto, Porto.

WEPLER, Cynthia Holzman; MAGNUSSON, S. Peter. Increasing Muscle Extensibility: A Matter of Increasing Length or Modifying Sensation? **Physical Therapy**, v. 90, n. 3, p. 438-449, March 2010.



## APÊNDICE A – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO CICLO DE ESTIMULAÇÃO



“2 beep”: sinal sonoro emitido pela placa Arduíno

Fonte: Elaborado pela autora