

Beatriz Magalhães Pereira

**RESPOSTAS BIOMECÂNICA E SENSORIAL DOS MÚSCULOS
POSTERIORES DA COXA SUBMETIDOS À VIBRAÇÃO MECÂNICA
LOCALIZADA E AO TREINAMENTO DA FLEXIBILIDADE COM
SOBREPOSIÇÃO DA VIBRAÇÃO MECÂNICA LOCALIZADA**

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional / UFMG

Belo Horizonte

2016

Beatriz Magalhães Pereira

**RESPOSTAS BIOMECÂNICA E SENSORIAL DOS MÚSCULOS
POSTERIORES DA COXA SUBMETIDOS À VIBRAÇÃO MECÂNICA
LOCALIZADA E AO TREINAMENTO DA FLEXIBILIDADE COM
SOBREPOSIÇÃO DA VIBRAÇÃO MECÂNICA LOCALIZADA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências do Esporte.

Área de concentração: Treinamento Esportivo

Orientador: Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional / UFMG

Belo Horizonte

2016

P436r
2016 Pereira, Beatriz Magalhães
 Respostas biomecânica e sensorial dos músculos posteriores da coxa submetidos à
 vibração mecânica localizada e ao treinamento da flexibilidade com sobreposição da
 vibração mecânica localizada. [manuscrito] / Beatriz Magalhães Pereira – 2016.
 108 f., enc.: il.

Orientador: Mauro Heleno Chagas

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação
Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Bibliografia: f. 96-102

1. Exercícios de alongamento - Teses. 2. Biomecânica - Teses. 3. Articulações -
Teses. 4. Amplitude de movimento - Teses. I. Chagas, Mauro Heleno. II.
Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e
Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 612.76

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



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

A Tese intitulada “**Respostas biomecânica e sensorial dos músculos posteriores da coxa submetidos à vibração mecânica localizada e ao treinamento da flexibilidade com sobreposição da vibração mecânica localizada**”, de autoria da doutoranda **Beatriz Magalhães Pereira**, defendida em 11 de novembro de 2016, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, foi submetida à banca examinadora composta pelos professores:

Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas (orientador)
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Profa. Dra. Andressa da Silva de Mello
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Rodrigo Ribeiro de Oliveira
Universidade Federal do Ceará

Profa. Dra. Luciana De Michelis Mendonça
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Belo Horizonte, 11 de novembro de 2016.

*Dedico este trabalho aos professores que tive
ao longo do caminho da minha aprendizagem.*

“Os clássicos nos fazem entender, por abordar temas e formas perenes, que eles podem ser revistos, época após época, e sempre se manterão questionadores e vivos.”

Paulo Antônio PEREIRA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe Thelma e ao meu pai Paulo todo apoio que sempre me ofereceram ao longo da vida. Foi através deles que tive o primeiro contato com a docência e à paixão que é o ensinar. Obrigada por me apoiarem em mais uma etapa da minha vida com seu amor incondicional.

Agradeço aos meus familiares e amigos que também fizeram parte desta conquista, em especial a minha querida amiga / irmã Flávia da Silva Ferreira.

É difícil encontrar palavras para agradecer não somente a orientação, mas também a amizade do Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas, que em 2012 aceitou trabalhar em conjunto comigo em um novo desafio para ambos. Agora, quatro anos após, tenho certeza de que não poderia ter escolhido pessoa melhor do que você como meu orientador do doutorado. Muito obrigada por todo conhecimento aprendido e compartilhado a cada conversa.

Ao Prof. Dr. Hans-Joachim Menzel, fundador do Laboratório de Biomecânica, agradeço pela dedicação e confiança que me recebeu no laboratório e seu auxílio com importantes contribuições na realização desta e de outras pesquisas.

Agradeço particularmente ao professor Dr. André Gustavo Pereira de Andrade por sua amizade e tempo disponível, que auxiliou em fundamentais contribuições na realização desta pesquisa.

À Prof^a. Sílvia Araújo, muito obrigada pela amizade e parceria nas diversas esferas da vida acadêmica. Você sempre será um exemplo de mestra e educadora a ser seguido.

Ao grande amigo, colega de doutorado, e agora Prof. Dr. Gustavo Henrique da Cunha Peixoto Cançado, que muito contribuiu na elaboração e concretização deste trabalho, agradeço infinitamente por sua ajuda com os problemas que apareceram e as soluções realizadas ao longo desses quatro anos.

Aos integrantes do BIOLAB que sempre me ajudaram com muita dedicação, agradeço em especial àqueles que trabalharam para a realização desta

pesquisa: Álvaro Dressler, Fabíola Bertú Medeiros, Christian Emmanuel Torres Cabido, Gustavo Henrique Cançado Peixoto e Matheus Milanez dos Reis.

Aos profissionais da UFMG: Prof. Dr. Antônio Eustáquio Pertence da Escola de Engenharia Mecânica; Prof. Dr. Bruno Pena Couto da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional; Márcio da eletrônica; e ao torneiro Aragão, agradeço pela contribuição para o desenvolvimento do equipamento de vibração utilizado nesta pesquisa.

Agradeço aos professores do colegiado de Pós-Graduação em Ciências do Esporte por compartilhar seus conhecimentos em sala de aula e contribuir para a minha formação.

Agradeço aos membros da banca da qualificação e defesa (titulares e suplentes) por terem aceitado o convite para fazerem parte desse processo.

Agradeço aos voluntários que se disponibilizaram a participar desta pesquisa com empenho e boa vontade.

A todos vocês que me ajudaram naquilo que lhes foi possível, muito obrigada!

RESUMO

A vibração mecânica tem sido utilizada para potencializar o ganho da amplitude de movimento articular (ADM), porém, não há um consenso sobre as configurações ótimas dos parâmetros do estímulo de vibração e nem dados relacionados ao seu efeito sobre as variáveis biomecânicas e sensoriais dos músculos. Objetivos: comparar o efeito agudo da manipulação das configurações do estímulo de vibração localizada e o efeito crônico do treinamento da flexibilidade combinado com diferentes configurações do estímulo de vibração localizada sobre a ADM máxima ($ADM_{MÁX}$), torque máximo ($TORQUE_{MÁX}$), percepção subjetiva do desconforto ao alongamento (valores de ADM, ADM_{PSDA} , e torque, $TORQUE_{PSDA}$, correspondentes ao momento em que o indivíduo registrava a primeira sensação de tensão na musculatura posterior da coxa durante o teste de extensão passiva do joelho) e rigidez passiva. Foram realizados dois experimentos (E1 e E2) nos quais $ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$ foram mensuradas utilizando o equipamento *Flexmachine*; e a rigidez passiva posteriormente calculada. No E1, 10 homens foram submetidos a diferentes condições de vibração localizada na musculatura posterior da coxa (4x30s) (SV - sem vibração; V1 - frequência=14Hz/amplitude=3mm; V2 - 14Hz/6mm, V3 - 24Hz/3mm, V4 - 24Hz/6mm). Foi encontrado um aumento significativo no ganho médio da $ADM_{MÁX}$ e ADM_{PSDA} para as condições V1, V2, V3 e V4 em comparação a SV, sem diferença entre elas. No E2, 46 homens foram divididos em 4 grupos: CON (n=10), controle; ALONG (n=12) realizou o alongamento passivo-estático por 4 semanas (4x30s, 3x/semana, 90% da $ADM_{MÁX}$ pré-teste), GV1 (n=12) e GV2 (n=12) realizaram o mesmo treinamento do grupo ALONG com sobreposição da vibração mecânica localizada (amplitude=3mm e frequência de 14 e 24 Hz, respectivamente). Foi encontrado aumento significativo no ganho médio da $ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$, para os grupos ALONG, GV1 e GV2 em comparação a CON sem diferença entre os grupos.

Palavras-chave: Alongamento. Flexibilidade. Rigidez passiva. Tolerância ao alongamento. Vibração localizada.

ABSTRACT

Mechanical vibration has been used to potentiate joint range of motion (ROM) gain, however, there is no consensus on how controls and measures of vibration stimulus parameters or data related to their effect on biomechanical and sensory muscles variables. The purposes were to compare the acute effect of the manipulation of the parameters of the localized vibration stimulus and the chronic effect of flexibility training combined with different parameters of the localized vibration stimulus on maximum ROM (ROM_{MAX}), maximum torque ($TORQUE_{MAX}$), subjective perception of stretching discomfort (values of ROM, ROM_{FST}), torque, $TORQUE_{FST}$, corresponding to the moment when the individual registers a first sensation of tension at the hamstrings) and passive stiffness. Two experiments were performed (E1 and E2) in which ROM_{MAX} , $TORQUE_{MAX}$, ROM_{FST} and $TORQUE_{FST}$ were measured by the equipment Flexmachine, and passive stiffness calculated later. In E1, 10 men underwent different localized vibration conditions at hamstrings (NV – no vibration, V1 – frequency=14Hz/amplitude=3mm, V2 – 14Hz/6mm, V3 – 24Hz/3mm, V4 – 24Hz/6mm).). In the conditions V1, V2, 3 and V4 the average gain of ROM_{MAX} and ROM_{FST} was increased with no difference between the conditions. Experiment 2 was composed by 46 men, random into 4 groups: CON (n = 10), control; SS (n = 12), who underwent passive-static stretching for 4 weeks (4x30s, 3x/week, 90% of the pre-test ROM_{MAX}), GV1 (n = 12) and GV2 (n = 12) who underwent to the same training of SS with localized mechanical vibration overlap (amplitude=3mm and frequency of 14Hz and 24Hz, respectively). There was a marked increase in the average gain of ROM_{MAX} , $TORQUE_{MAX}$, ROM_{FST} and $TORQUE_{FST}$, for in SS, GV1 and GV2 groups compared to CON with no difference between groups.

Keywords: Flexibility. Local vibration. Passive stiffness. Stretch tolerance. Stretching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	Protocolo de coleta de dados do Experimento 1.....	32
FIGURA 2 -	Aparelho <i>Flexmachine</i>	32
FIGURA 3 -	Equipamento para geração de vibração mecânica.....	36
FIGURA 4 -	Ganho médio da $ADM_{MÁX}$ das condições.....	44
FIGURA 5 -	Ganho médio do $TORQUE_{MÁX}$ das condições.....	45
FIGURA 6 -	Ganho médio da ADM_{PSDA} das condições.....	46
FIGURA 7 -	Ganho médio do $TORQUE_{PSDA}$ das condições.....	47
FIGURA 8 -	Ganho médio da rigidez passiva das condições.....	48
FIGURA 9 -	Protocolo de coleta de dados do Experimento 2.....	68
FIGURA 10 -	Posicionamento do indivíduo no equipamento de vibração mecânica localizada durante a execução do exercício de alongamento.....	71
FIGURA 11 -	Ganho médio da $ADM_{MÁX}$ dos grupos.....	77
FIGURA 12 -	Ganho médio do $TORQUE_{MÁX}$ dos grupos.....	78
FIGURA 13 -	Ganho médio da ADM_{PSDA} dos grupos.....	79
FIGURA 14 -	Ganho médio do $TORQUE_{PSDA}$ dos grupos.....	80
FIGURA 15 -	Ganho médio da rigidez passiva dos grupos.....	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Dados descritivos referentes à idade, massa corporal e estatura da amostra – Experimento 1.....	30
TABELA 2 - Resultados relativos à análise de confiabilidade da medida das variáveis do Experimento 2 verificadas via CCI e EPM.....	43
TABELA 3 - Dados descritivos referentes à idade, massa corporal e estatura da amostra – Experimento 2.....	67
TABELA 4 - Resultados relativos à análise de confiabilidade da medida das variáveis do Experimento 2 verificadas via CCI e EPM.....	76
TABELA 5 - Delineamento em Quadrado Latino 1.....	104
TABELA 6 - Delineamento em Quadrado Latino 2.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a	-	Aceleração da vibração
α	-	Alfa
A	-	Amplitude da vibração
ADM	-	Amplitude de movimento articular
ADM _{MÁX}	-	Amplitude de movimento máxima
ADM _{PSDA}	-	Amplitude de movimento correspondente ao momento em foi percebida a primeira sensação de alongamento
ANOVA	-	Análise de variância
BIOLAB	-	Laboratório de Biomecânica
CCI	-	Coeficiente de Correlação Intraclasse
CENESP	-	Centro de Excelência Esportiva
CON	-	Grupo Controle
DASYLab	-	<i>Data Acquisition System Laboratory</i>
EEFFTO	-	Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
EMG	-	Eletromiografia
EPM	-	Erro Padrão da Medida
η^2	-	<i>Eta Squared</i>
f	-	Frequência da vibração
γ	-	Gama
GV	-	Grupo Vibração
PSDA	-	Primeira Sensação de Alongamento
TORQUE _{MÁX}	-	Torque passivo máximo
TORQUE _{PSDA}	-	Torque passivo correspondente ao momento em foi percebida a primeira sensação de alongamento
s	-	Segundos
SPSS	-	<i>Statistics Package for Social Science</i>
SV	-	Condição sem Vibração
Reflexo H	-	Reflexo de Hoffmann
RTV	-	Reflexo Tônico de Vibração
UFMG	-	Universidade Federal de Minas Gerais
UMT	-	Unidade músculo-tendão
ω	-	Poder estatístico

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	15
2 – EXPERIMENTO 1	26
2.1 – OBJETIVO	26
2.2 – HIPÓTESES.....	27
2.3 – MÉTODO.....	28
2.3.1 – Cuidados Éticos.....	28
2.3.2 – Cálculo Amostral	28
2.3.3 – Amostra	29
2.3.4 – Procedimentos.....	30
2.3.5 – Instrumentação.....	33
2.3.5.1 – Aparelho <i>Flexmachine</i>	33
2.3.5.2 – Equipamento de vibração mecânica localizada.....	36
2.3.5.3 – Acelerômetro	37
2.3.5.4 – Medidas antropométricas	38
2.3.6 – Protocolo de teste.....	38
2.3.6.1 – ADM máxima, torque máximo e PSDA.....	38
2.3.6.2 – Cálculo da rigidez passiva	39
2.3.7 – Protocolo de treinamento	39
2.3.8 – Análise estatística.....	41
2.4 – RESULTADOS.....	43
2.4.1 – ADM _{MÁX}	44
2.4.2 – TOQUE _{MÁX}	45
2.4.3 – ADM _{PSDA}	46
2.4.4 – TORQUE _{PSDA}	47
2.4.5 – Rigidez Passiva	48
2.5 – DISCUSSÃO	49
2.5.1 – ADM _{MÁX} e TOQUE _{MÁX}	50
2.5.2 – ADM _{PSDA} e TORQUE _{PSDA}	57
2.5.3 – Rigidez Passiva	59
2.5.4 – Limitações	62
2.6 – CONCLUSÃO	63

3 – EXPERIMENTO 2	64
3.1 – OBJETIVO	64
3.2 – HIPÓTESES	65
3.3 – MÉTODO	66
3.3.1 – Cuidados Éticos.....	66
3.3.2 – Cálculo Amostral	66
3.3.3 – Amostra	66
3.3.4 – Procedimentos.....	67
3.3.5 – Instrumentação.....	70
3.3.5.1 – Aparelho <i>Flexmachine</i>	70
3.3.5.2 – Equipamento de vibração mecânica localizada.....	70
3.3.5.3 – Acelerômetro	71
3.3.5.4 – Medidas antropométricas	71
3.3.6 – Protocolo de teste.....	72
3.3.6.1 – ADM máxima, torque máximo e PSDA.....	72
3.3.6.2 – Cálculo da rigidez passiva.....	72
3.3.7 – Protocolo de treinamento	72
3.3.8 – Análise estatística.....	74
3.4 – RESULTADOS	76
3.4.1 – ADM _{MÁX}	77
3.4.2 – TOQUE _{MÁX}	78
3.4.3 – ADM _{PSDA}	79
3.4.4 – TORQUE _{PSDA}	80
3.4.5 – Rigidez Passiva	81
3.5 – DISCUSSÃO	82
3.5.1 – ADM _{MÁX} e TOQUE _{MÁX}	83
3.5.2 – ADM _{PSDA} e TORQUE _{PSDA}	89
3.5.3 – Rigidez Passiva	91
3.5.4 – Limitações	94
3.6 – CONCLUSÃO	95
REFERÊNCIAS	96
APÊNDICES	103
ANEXO	108

1 INTRODUÇÃO

Os exercícios de alongamento são comumente prescritos no treinamento da flexibilidade com o objetivo de aumentar a amplitude de movimento articular (ADM) (BLACKBURN; PADUA; GUSKIEWIEZ, 2008; GAJDOSIK *et al.*, 2007); prevenir lesões (CROSS e WORREL, 1999; WITVROUW *et al.*, 2004) e aumentar o desempenho físico (SHIER, 2004; WEIR; TINGLEY; ELDER, 2005). No entanto, apenas o aumento da ADM tem sido verificado de maneira consistente na literatura (DECOSTER *et al.*, 2005; MAGNUSSON e RENSTRÖM, 2006). Com o objetivo de verificar o efeito de meios de treinamento para potencializar o aumento da ADM, estudos analisaram os efeitos agudos (GEORGE *et al.*, 2012; KINSER *et al.*, 2008; SANDS *et al.*, 2008) e crônicos (BAKHTIARY *et al.*, 2011; ISSURIN; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1994; VAN DEN TILLAAR, 2006) do treinamento da flexibilidade com sobreposição da vibração mecânica.

Segundo Osawa e Oguma (2013) a combinação da vibração mecânica com os exercícios de alongamento promove maiores ganhos na ADM quando comparados aos mesmos exercícios sem a vibração, devido a uma possível interação entre as alterações na unidade músculo-tendão (UMT) promovidas pelo estímulo do alongamento muscular e da vibração mecânica.

A vibração é uma oscilação mecânica em que há alteração periódica da força, aceleração e deslocamento ao longo do tempo (RITTWEGGER, 2010) e pode ser aplicada ao corpo humano de duas formas: i) vibração de corpo todo: o indivíduo permanece sobre uma plataforma vibratória e o estímulo é transmitido para o corpo inteiro, ii) vibração localizada: o estímulo de vibração é aplicado de forma localizada diretamente no músculo, tendão ou em um segmento corporal (COCHRANE, 2011; DEN HARTOG, 1972; ISSURIN; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1994; MESTER; KLEINÖDER; YUE, 2006).

Segundo Luo, McNamara e Moran (2005), os dois tipos de aplicação da vibração são capazes de estimular o músculo, sendo que a diferença entre eles está na magnitude da amplitude e da frequência do estímulo de vibração original que pode chegar até o músculo alvo. Na vibração aplicada de forma localizada, os valores de amplitude e frequência não se diferenciam de maneira significativa daqueles produzidos pela fonte de vibração, diferentemente da

condição de vibração de corpo todo. Na vibração de corpo todo, a amplitude e a frequência podem ser significativamente atenuadas pelos tecidos durante a transmissão da vibração ao músculo alvo, devido à amortização do estímulo de vibração pelos mesmos. Sendo assim, os músculos que estão distantes da fonte de vibração podem receber um estímulo de vibração diferente do esperado, influenciando dessa forma os possíveis efeitos do treinamento de vibração no músculo alvo quando este está distante da fonte da vibração. A resposta do corpo humano à vibração é influenciada pelas características do estímulo de vibração, que incluem a amplitude e a frequência da vibração, assim como a aceleração gerada devido ao movimento oscilatório (CHAFFIN; ANDERSSON; MARTIN, 2001; COCHRANE, 2011; DEN HARTOG, 1972; ISSURIN, 2005; MESTER; KLEINÖDER; YUE, 2006).

A configuração ótima dos parâmetros do estímulo de vibração mecânica (e. g., duração, frequência e amplitude) para provocar maiores efeitos na ADM necessitam ainda ser esclarecidos tanto para a aplicação da vibração mecânica de maneira aguda quanto crônica (CRONIN; NASH; WHATMAN, 2007). As configurações utilizadas nos estudos são variadas tanto para frequência, sendo encontrados valores entre 14Hz (CRONIN; NASH; WHATMAN, 2007) e 70Hz (HERDA *et al.*, 2009), quanto para amplitude, com variação de 0,1mm (ATHA e WHEATLEY, 1976) a 5mm (CRONIN; NASH; WHATMAN, 2007) e aceleração, apresentando valores entre 19,3m/s² e 49,4m/s² (CRONIN; NASH; WHATMAN, 2007).

Cronin, Nash e Whatman (2007) compararam o efeito de quatro diferentes configurações do parâmetro do estímulo de vibração sobre a ADM de extensão ativa do joelho. A ADM de extensão ativa do joelho antes e após a aplicação do estímulo de vibração foi registrada por filmagem, sendo utilizada a média de 10 repetições dinâmicas do movimento de extensão do joelho como medida de desempenho. Todos os indivíduos foram submetidos de maneira aleatória à aplicação de vibração mecânica localizada diretamente sob os músculos posteriores da coxa por 30 segundos (s) com diferentes configurações do parâmetro de frequência e amplitude de vibração: grupo 1 (frequência=14Hz, amplitude=3mm, aceleração=19,3m/s²), grupo 2 (24Hz, 3mm, 33,2m/s²), grupo 3 (34Hz, 3mm, 42,2m/s²) e grupo 4 (44Hz, 5mm, 49,4m/s²). Após a aplicação do estímulo de vibração mecânica foi verificado um

aumento significativo da ADM nos grupo 2 (1,6%), 3 (2,0%) e 4 (2,1%), sem diferença significativa entre eles. Esses resultados demonstram que diferentes configurações do parâmetro de frequência e amplitude são capazes de gerar um aumento agudo da ADM em uma mesma amostra. Segundo Cronin, Nash e Whatman (2007) é possível que as configurações do parâmetro do estímulo de vibração mecânica influenciem a ADM de uma maneira não sistemática para cada indivíduo, uma vez que, a faixa de alteração da ADM variou de -3,0% a 5,0%. Essa variabilidade individual ao estímulo de vibração pode ser atribuída ao efeito da amortização do estímulo pelos tecidos e ao fenômeno da ressonância.

O corpo humano não se comporta como um corpo rígido e sim como um sistema massa-mola, em que os músculos e tendões agem como elementos “em mola” que absorvem e liberam a energia mecânica imposta ao sistema pelo equipamento de vibração (RITTWEGGER, 2010). Dessa forma, a frequência que os corpos oscilam ao receber um estímulo externo de vibração (frequência natural) é determinada por sua massa e rigidez. Com isso, essa frequência pode ser reduzida aumentando-se a massa do objeto, ou reduzindo sua rigidez. O corpo humano, por sua vez, possui diferentes frequências naturais devido a variações na capacidade dos tecidos e órgãos de absorver a energia mecânica do estímulo de vibração, o que pode justificar a variabilidade individual observada no estudo de Cronin, Nash e Whatman (2007), uma vez que indivíduos com diferentes valores de rigidez muscular podem absorver distintamente a energia mecânica do estímulo de vibração mecânica.

Além da frequência natural, outro fator que deve ser levado em conta é o fenômeno da ressonância que ocorre quando o corpo recebe energia mecânica de frequência igual ou próxima a uma de suas frequências naturais de vibração, passando a vibrar em amplitudes cada vez maiores no decorrer do tempo. A ressonância atua como um amplificador mecânico, pois promove um estímulo de vibração de maior amplitude como resultado da coincidência de uma frequência natural do corpo com uma frequência inerente de um equipamento de vibração. Assim, esse fenômeno poderia resultar em um maior estímulo sobre a UMT, que por sua vez, induziria um maior ganho da ADM. Contudo, esse mesmo fenômeno também está associado com estresses potencialmente prejudiciais à musculatura (CHAFFIN; ANDERSSON; MARTIN,

2001). Considerando que o fenômeno da ressonância está relacionado com a frequência natural e com a resposta de amortização do estímulo de vibração pelo tecido, é possível hipotetizar que, indivíduos com diferentes níveis de rigidez muscular respondam de maneira diferenciada a um mesmo estímulo de vibração.

O corpo humano pode minimizar (amortizar) a vibração dos tecidos moles por diferentes mecanismos, tais como, mudanças na sua frequência de ressonância ou aumento da capacidade de amortização da vibração durante condições em que a musculatura encontra-se ativa (WAKELING; NIGG; ROZITIS, 2002).

Desta forma, a rigidez muscular deve ser considerada em estudos que investiguem o efeito de diferentes configurações do estímulo de vibração na resposta da UMT, uma vez que, pode ter influência sobre a variável resposta. Contudo, até o presente momento, este aspecto metodológico não foi considerado nos estudos realizados. Dados referentes à influência da rigidez na resposta da UMT após aplicação de um estímulo de vibração ou após o exercício de alongamento com sobreposição do estímulo de vibração poderão permitir um melhor entendimento da variabilidade individual neste contexto, assim como, da relação dessa variabilidade individual com o efeito de diferentes estímulos de vibração.

O efeito do estímulo de vibração mecânica na flexibilidade (aumento da ADM) foi investigado em um estudo de meta-análise realizado por Osawa e Oguma (2013). Esses autores relatam que apenas oito estudos, envolvendo o estímulo de vibração localizada, alcançaram os critérios de elegibilidade (n=5 efeito agudo; n=3 efeito crônico). A análise desses estudos mostrou uma diferença significativa na flexibilidade pós-intervenção, indicando um aumento na flexibilidade tanto para a condição aguda quanto crônica. Osawa e Oguma (2013) reportaram também que o exercício de alongamento com sobreposição do estímulo de vibração provocou um maior aumento da flexibilidade quando comparado com o mesmo exercício sem adição do estímulo de vibração. Contudo essa alteração foi significativa apenas para os estudos crônicos. Estes achados abrem discussão sobre se alterações agudas distintas poderiam resultar também em alterações crônicas diferentes, considerando que o processo de treinamento envolve uma repetição dos estímulos agudos de uma

única sessão no tempo. Esta questão ainda não avaliada em estudos experimentais. Analisando os resultados dos estudos que investigaram os efeitos agudos da vibração mecânica, é possível perceber que há uma controvérsia em relação às alterações agudas na ADM. Na maioria dos estudos agudos foi encontrado um aumento significativo da ADM após a aplicação do estímulo de vibração mecânica (APPLE *et al.*, 2010; ATHA e WHEATLEY, 1976; COCHRANE e STANNARD, 2011; CRONIN; NASH; WHATMANN, 2007; GEORGE *et al.*, 2012; GERODIMOS *et al.*, 2010; JACOBS e BURNS, 2009; KINSER *et al.*, 2007; KURT, 2015; SANDS *et al.*, 2008). No entanto, Cronin *et al.* (2008) e Herda *et al.* (2009) não encontraram um ganho da ADM significativo após a vibração mecânica localizada na musculatura posterior da coxa e no tendão de Aquiles, respectivamente. A controvérsia dos resultados parece estar relacionada com os diferentes métodos utilizados nos estudos, como, por exemplo, o tipo de aplicação da vibração (local ou de corpo todo) e as características do estímulo mecânico de vibração (diferentes amplitudes e frequências de vibração). Embora, diversos aspectos tenham sido analisados no estudo de Osawa e Oguma (2013), ainda permanece aberta a discussão sobre uma maior efetividade de uma configuração do estímulo de vibração mecânica localizada (aplicado sozinho ou sobreposto ao alongamento muscular) no aumento da ADM.

Além disso, a utilização de diferentes configurações de vibração em um estudo crônico poderia criar expectativas de diferentes respostas, fato este ainda não investigado.

Cronin, Nash e Whatmann (2007) e Gerodimos *et al.* (2010) compararam o efeito agudo de diferentes configurações do estímulo de vibração localizada e de corpo todo, respectivamente, para determinar qual seria a configuração ótima dos parâmetros da vibração mecânica para atingir maiores ganhos de ADM. Em ambos os estudos não foi encontrada uma configuração que resultasse em uma maior efetividade. Um importante ponto observado nestes estudos, é que a única variável investigada foi a ADM. Existem poucos dados disponíveis de estudos que tenham investigado outras variáveis além da ADM. Por exemplo, Herda *et al.* (2009) e de Lapole e Pérot (2011) avaliaram de forma aguda e crônica, respectivamente, a ADM e a rigidez passiva após a vibração mecânica localizada, no entanto não foi encontrado nenhum estudo

que tenha avaliado a tolerância ao alongamento. Dessa forma, é necessário ampliar a análise do efeito da vibração mecânica utilizando diferentes configurações por meio da avaliação de diferentes variáveis ainda não investigadas, para aumentar a compreensão sobre o efeito da vibração mecânica na resposta músculo-tendínea. A investigação de diversas variáveis é comumente utilizada nos estudos sobre os efeitos dos exercícios de alongamento (CABIDO *et al.*, 2014; HALBERTSMA e GÖEKEN, 1994; MAGNUSSON *et al.*, 1996b; PEIXOTO *et al.*, 2015) e podem ser utilizadas da mesma maneira nos estudos sobre os efeitos da vibração mecânica sobre a ADM.

O aumento da ADM provocado pelo estímulo de alongamento agudo é justificado por meio de alterações biomecânicas e sensoriais (WEPLER e MAGNUSSON, 2010). A efetividade do treinamento regular da flexibilidade (estímulo crônico) em promover ganho da ADM parece estar relacionada com esses mesmos mecanismos anteriormente mencionados, assim como, com o aumento do comprimento muscular por meio do aumento do número de sarcômeros em série (GOLDSPINK *et al.*, 1974). Embora, a importância de cada um desses mecanismos para o aumento da ADM após a realização do estímulo de alongamento agudo e crônico ainda permaneça em discussão (WEPLER e MAGNUSSON, 2010), a fundamentação do efeito do estímulo de vibração mecânica neste contexto encontra-se incipiente. Foram propostos três mecanismos para explicar os benefícios da vibração mecânica no ganho da ADM: 1) relaxamento muscular induzido pela vibração; 2) alteração no limiar de dor do indivíduo, com conseqüente aumento na sua tolerância ao alongamento; e 3) aumento no fluxo sanguíneo muscular acompanhado de um aumento na temperatura muscular (ISSURIN; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1994; VAN DEN TILLAAR, 2006).

De acordo com De Gail, Lance e Neilson (1966), o relaxamento muscular induzido pela vibração pode estar associado com uma depressão da excitabilidade dos motoneurônios alfa (α). O estímulo da vibração excita os receptores primários ou dinâmicos dos fusos musculares, o que gera uma descarga aferente composta por uma série de ondas rítmicas e sincronizadas com a frequência da vibração. A descarga aferente das fibras Ia promove duas diferentes respostas do sistema nervoso central, uma redução nos reflexos

monosinápticos fásicos (reflexo de alongamento, reflexo tendinoso ou reflexo de Hoffmann - H) que promovem o relaxamento muscular, e a ativação do reflexo tônico de vibração (RTV), que gera uma contração tônica involuntária e aumento da tensão muscular. Estes dois efeitos são considerados paradoxais, no entanto, é proposto que, para induzir altos níveis de tensão muscular capazes de gerar resistência ao aumento da ADM, a estimulação ótima das terminações primárias do fuso muscular deve ocorrer em frequências de vibração muito altas, em torno de 100Hz, e em amplitude muito baixas, aproximadamente 1mm (EKLUND e HAGBARTH, 1966), configurações estas dos parâmetros do estímulo da vibração que normalmente não são empregadas nos treinamentos com vibração localizada.

A depressão dos reflexos fásicos e a contração tônica utilizam diferentes caminhos centrais e utilizam diferentes tipos de motoneurônios. É possível que o grupo de fibras aferentes Ia do fuso muscular, quando ativadas pela vibração, produzam efeitos reflexos em ambos os motoneurônios alfa e gama (γ) através do cerebelo. Apesar de existir considerável independência entre os efeitos cerebelares sobre o sistema α e γ , existe uma relação entre os dois sistemas, no qual a quantidade de ativação do gama pode determinar a ativação dos efeitos do alfa. A ativação do gama deixa o fuso mais susceptível aos efeitos da vibração e pode levar a progressivo aumento da ação reflexa nos motoneurônios alfa (α) tônicos, o que aumentaria progressivamente o reflexo de contração. Com a contração tônica involuntária que ocorre em resposta da ativação do RTV, as terminações primárias do fuso encontram-se sob menor tensão (folga), o que reduz sua capacidade de responder ao estímulo de vibração. O sistema gama, por sua vez, é estimulado e gera um estado de tensão nas terminações primárias do fuso, permitindo que o fuso permaneça sempre em uma posição capaz de perceber o estímulo constante da vibração (DE GAIL; LANCE; NEILSON, 1966). Segundo Eklund e Hagbarth (1966), o comprimento em que o músculo se encontra ao receber a vibração pode influenciar a contração tônica muscular. Foi verificado que a resposta do RTV aumentou em proporção com o aumento do comprimento muscular quando a articulação é passivamente movimentada, no entanto, a contração tônica reflexa de repente desapareceu quando o músculo se aproximou de seu

comprimento máximo, sendo ainda percebido o efeito de depressão dos reflexos fásicos. Não é claro ainda porque o RTV desaparece quando o músculo é estendido em sua amplitude máxima, uma possível explicação para isso seria a ativação dos órgãos tendinosos de Golgi (OTG), que promoveriam uma inibição autogênica da musculatura. Desta forma, apesar do RTV ser um mecanismo que aparentemente promoveria uma maior resistência na UMT ao alongamento, é possível que este mecanismo não exerça importante papel durante a aplicação da vibração associada ao alongamento muscular, no qual o músculo pode ser mantido em posições próximas da sua amplitude máxima.

Em contraste à contração tônica, a depressão dos reflexos monossinápticos fásicos depende dos mecanismos espinhais, uma vez que ocorre em nível medular, mas também pode ser influenciado pelos níveis supraespinhais. A depressão da atividade monossináptica dos motoneurônios alfa observada durante a vibração pode ser explicada pela redução dos potenciais excitatórios pós-sinápticos. É pouco provável que a inibição pré-sináptica seja responsável pela depressão monossináptica provocada pela vibração. A descarga aferente das fibras Ia originária do estímulo dos fusos musculares tem pouco ou nenhum efeito inibitório nos grupos de fibras Ia vizinhos da medula espinhal. É possível que uma via de neurônios internúcleares possa participar desse processo de inibição (DE GAIL; LANCE; NEILSON, 1966).

Outro mecanismo relacionado à influência da vibração sobre a ADM é o aumento da tolerância de dor induzido pela alteração no limiar de dor. O estímulo de vibração é capaz de aumentar o limiar de dor, modificando a posição articular na qual a dor é sentida, auxiliando desta forma no ganho da ADM máxima (ATHA e WHEATLEY, 1976). No estudo de Issurin, Liebermann e Tenenbaum (1994), os indivíduos reportaram uma redução da dor 10 à 15s após o início do exercício de alongamento muscular com adição da vibração mecânica. Para esses autores, a redução na dor foi o fator que mais contribuiu para o ganho na ADM observado após o treinamento. Lundeberg, Nordemar e Ottoson (1984) verificaram que o estímulo de vibração (em especial com frequências entre 50 e 150Hz) é capaz de afetar a sensação de dor, promovendo um efeito de analgesia, durante e após 30 a 45min de aplicação da vibração mecânica na musculatura. Contudo, Sands *et al.* (2008) avaliaram

a sensação de dor de 10 meninos ginastas por meio de um algômetro de pressão e não confirmaram os resultados da alteração da sensação de dor após a realização de alongamentos musculares com sobreposição de vibração localizada na região posterior de coxa e na extremidade distal da perna (duração=3min, frequência=30Hz, amplitude=2mm, aceleração=35,6m/s²). Baseado no fato de que a variação no limiar de tolerância da dor dos indivíduos e na percepção da dor é alta, é possível que a sensação de dor gerada pelo alongamento muscular durante um teste de ADM máxima seja diferente do limiar de dor à pressão e por isso não foi encontrada alteração na sensação de dor dos indivíduos após a execução do exercício com vibração mecânica.

O terceiro mecanismo relacionado ao efeito da vibração sobre a ADM está relacionado ao aumento do fluxo sanguíneo acompanhado de um aumento na temperatura muscular. Rittweger, Beller e Felsenberg (2000) relataram um aumento no fluxo sanguíneo após a realização de exercícios de agachamento (duração=6s/ciclo, 3s descida e 3s subida) até a exaustão sobre uma plataforma de vibração (frequência=26Hz, amplitude=1,05mm, pico de aceleração=147m/s²), sendo que o fluxo retornou a valores similares à condição pré-vibração 15 minutos pós-interrupção do exercício. Os autores relataram ainda outros sintomas relacionados à vasodilatação capilar logo após o exercício, como a presença de eritema, edema e coceira na região do tornozelo dos voluntários, no entanto estas mudanças se dissiparam rapidamente após os indivíduos realizarem uma curta caminhada. Similarmente, Kerschman-Schindl *et al.* (2001) encontraram aumento na velocidade do fluxo sanguíneo nos músculos quadríceps femoral e gastrocnêmios, assim como, na resistência vascular após 9 minutos de exposição do indivíduo a vibração de corpo todo (frequência=26Hz, amplitude=3mm, pico de aceleração=78m/s²). Segundo Van Den Tillaar (2006), o aumento no fluxo sanguíneo geraria calor adicional, promovendo um aumento na temperatura e complacência muscular, o que facilitaria um possível aumento na ADM durante os exercícios de alongamento. Considerando que a temperatura pode influenciar a propriedade viscoelástica da UMT (MUTUNGI e RANATUNGA, 1998; WARREN; LEHMANN; KOBLANSKI, 1976), é possível que o aumento na temperatura provocado pelo estímulo de vibração possa diminuir a viscosidade da UMT, por consequência a rigidez muscular,

permitindo assim que o indivíduo atinja uma maior ADM após o alongamento. Contudo, esta hipótese ainda necessita ser comprovada experimentalmente em estudos futuros.

Embora, diferentes mecanismos sejam relatados na literatura para explicar o efeito do estímulo de vibração e do alongamento agudo e crônico no aumento da ADM, uma abordagem teórica integrativa desses mecanismos para fundamentar uma possível maior efetividade no aumento da ADM, quando esses estímulos são aplicados de maneira combinada, ainda não está disponível. A ADM tem sido a principal variável analisada nos estudos que investigaram o efeito do estímulo de vibração mecânica, assim como, o efeito do exercício de alongamento com e sem sobreposição do estímulo de vibração na resposta da UMT em seres humanos. O estudo de Herda *et al.* (2009) comparou os efeitos da aplicação isolada do estímulo de vibração mecânica localizada no tendão de Aquiles (frequência=70Hz, duração=20min) e do alongamento passivo-estático dos músculos flexores plantares (9 séries de 135s, duração total=20min) sobre a ADM e rigidez passiva. Foi encontrado um aumento significativo da ADM de dorsiflexão ($p < 0,01$) e redução significativa da rigidez passiva após o alongamento muscular ($p < 0,05$), porém sem alteração nos valores de ADM e rigidez passiva após a aplicação do estímulo de vibração mecânica ($p = 0,330$ e $p = 0,320$, respectivamente). Neste sentido, aumentar o número de variáveis investigadas pode fornecer informações adicionais para o entendimento da resposta da UMT. Estudos ampliaram as informações sobre a resposta da UMT ao alongamento, incluindo a análise de outras variáveis, como o torque máximo e a própria rigidez passiva da UMT (variação do torque pela variação da ADM). Outra variável investigada em estudos envolvendo o alongamento da UMT em seres humanos, introduzida por Halbertsma e Göeken (1994) foi a “primeira sensação de dor”. Esses pesquisadores definiram “dor” como sendo a primeira sensação de tensão na musculatura durante o alongamento passivo. A medida dessa variável foi realizada operacionalmente em função da ADM, ou seja, o valor da ADM era registrado no momento em que o indivíduo sinalizava a “primeira sensação de dor”. Apesar de utilizar o termo “dor”, os autores não instruíram os voluntários a atingir qualquer nível de dor. Os autores registraram a primeira sensação de alongamento, dado pela primeira sensação de tensão na musculatura, gerada

durante o alongamento passivo. Outros estudos utilizaram esta variável para descrever a tolerância individual ao alongamento (CABIDO *et al.*, 2014; YLINEN *et al.*, 2009). Cabido *et al.* (2014) denominaram esta variável como a “primeira sensação de alongamento” (PSDA). Desta forma, considerar a análise de outras variáveis para além da ADM em estudos futuros envolvendo o estímulo da vibração mecânica e o exercício de alongamento poderá permitir aos pesquisadores argumentar com mais aprofundamento sobre as alterações na UMT.

Baseado no anteriormente exposto, um estudo, que tenha como foco verificar a efetividade de diferentes estímulos de vibração mecânica e do exercício de alongamento com a sobreposição de diferentes estímulos de vibração na resposta da UMT envolvendo diferentes variáveis mecânicas e sensoriais, pode fornecer subsídios para uma interpretação mais adequada das alterações provocadas por estes estímulos na UMT. Além disso, tal investigação poderá também contribuir para um melhor direcionamento da prescrição de intervenções associadas aos exercícios de alongamento e ao estímulo de vibração mecânica, uma vez que são utilizadas na área esportiva e da reabilitação.

2 EXPERIMENTO 1

2.1 OBJETIVO

- Comparar o efeito agudo da manipulação das configurações do estímulo de vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa sobre a ADM máxima, torque máximo, primeira sensação de alongamento e rigidez passiva.

2.2 HIPÓTESES

- **Hipótese 1:** Independente da configuração do estímulo de vibração utilizado, a ADM máxima, torque máximo e primeira sensação de alongamento aumentarão de forma significativa após a aplicação da vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa.
- **Hipótese 2:** Independente da configuração do estímulo de vibração utilizado, a rigidez passiva não irá alterar após a aplicação da vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa.

2.3 MÉTODO

2.3.1 Cuidados Éticos

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), parecer nº. CAAE 49552415.4.0000.5149 (Anexo A) e foram respeitadas todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional em Saúde (Resolução 466/12) envolvendo pesquisas com seres humanos. Antes de iniciarem a participação neste projeto, os voluntários receberam todas as informações quanto ao processo metodológico e objetivos, assinaram o termo de consentimento (Apêndice A) e foram informados de que poderiam abandonar a pesquisa a qualquer momento. Foram tomadas todas as precauções no intuito de preservar a privacidade dos voluntários, estando à saúde e o bem-estar destes sempre acima de qualquer outro interesse.

2.3.2 Cálculo Amostral

O tamanho amostral foi calculado através do programa *GPower* 3.1.9.2 (*Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Alemanha*). Para a análise estatística adotada nesse estudo, foi realizado o cálculo amostral do tipo “a priori” para Análise de Variância (ANOVA) para efeito de tamanho de 0,67 (KINSER *et al.*, 2008) e objetivando um poder de 0,90 (PORTNEY e WATKINS, 2009). O resultado dos cálculos realizados apresentou um n total de 38. Devido à possibilidade de desistência ou exclusão de alguns voluntários (perda amostral), optou-se por coletar, por segurança, um n total de 50, que representaria 10 indivíduos para cada condição experimental analisada. Uma forma encontrada para reduzir o n total de indivíduos e reduzir o efeito da variabilidade individual sobre os efeitos do estímulo de vibração optou-se pela alocação dos indivíduos nas condições experimentais por meio do delineamento em quadrado latino (PORTNEY e WATKINS, 2009). Desta forma, foram necessários apenas 10 indivíduos para atingir o n total de 50 unidades amostrais.

2.3.3 Amostra

Participaram deste estudo 10 voluntários do sexo masculino com idade entre 21 e 32 anos, estudantes da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Os voluntários foram submetidos a cinco condições com diferentes configurações do estímulo de vibração mecânica (Sem Vibração – SV e Vibração 1 – V1, V2, V3, V4) distribuídas de maneira aleatória em diferentes dias. O membro inferior direito de todos os indivíduos foi aleatoriamente designado para todas as configurações do estímulo de vibração. Apenas os indivíduos do sexo masculino foram selecionados para a amostra, uma vez que, foram verificados desempenhos distintos entre os sexos para as variáveis ADM articular e rigidez passiva (BLACKBURN *et al.*, 2004).

Foram adotados os seguintes critérios de inclusão: 1) ausência de lesões musculoesqueléticas nos últimos seis meses nos membros inferiores; 2) não estarem participando de qualquer atividade que envolva o treinamento de flexibilidade ou força para membros inferiores nos últimos seis meses; 3) possuir ADM de extensão do joelho inferior a 130° (150° extensão máxima do joelho), quando posicionado no aparelho *Flexmachine*.

Os critérios de exclusão foram: 1) por livre e espontânea vontade do voluntário; 2) ter praticado exercícios de alongamento e/ou fortalecimento muscular durante o período de coleta de dados; 3) não comparecer aos locais de coleta no dia e hora programados; 4) algum tipo de enfermidade e/ou patologia que comprometa a coleta de dados, tais como lesão musculoesquelética de membros inferiores ou coluna; e 5) alcançar 150° de ADM de extensão completa do joelho durante as medidas no aparelho *Flexmachine*.

Os dados referentes às características da amostra estão presentes na TABELA 1.

TABELA 1 – Dados descritivos referentes à idade, massa corporal e estatura da amostra – Experimento 1 (n=10).

	Média ± Desvio padrão	Amplitude
Idade (anos)	24,8 ± 1,0	21,0 – 32,0
Estatura (cm)	173,4 ± 1,6	167,8 – 183,5
Massa corporal (Kg)	71,2 ± 3,1	55,8 – 86,7

2.3.4 Procedimentos

Durante o estudo, os voluntários compareceram ao Laboratório de Biomecânica (BIOLAB) do Centro de Excelência Esportiva (CENESP) da UFMG durante seis sessões distintas, sendo a sessão 1 destinada à familiarização e as outras cinco sessões (sessão 2 a 6) destinadas às condições experimentais. Nas sessões de 2 a 6, o membro inferior direito dos indivíduos foi submetido a um pré-teste, seguido pela aplicação da condição experimental e um pós-teste, sendo o pré e pós-teste realizados na mesma sessão (FIGURA 1). A ordem de seleção da aplicação das condições experimentais (SV, V1, V2, V3, e V4) foi realizada através de combinações aleatórias de um quadrado latino de matriz 5x5 (Apêndice B).

Na sessão de familiarização foram realizadas medidas antropométricas e a aferição da massa do segmento perna-pé. Em seguida, os voluntários foram posicionados no aparelho *Flexmachine* e todos os ajustes realizados para o posicionamento do mesmo no aparelho foram registrados para serem utilizados nos testes das sessões de 2 a 6 (procedimentos para mensuração das variáveis estudadas). Os voluntários receberam as instruções de funcionamento do aparelho e na sequência realizaram a familiarização no aparelho *Flexmachine*. A familiarização consistiu da repetição do movimento passivo de extensão máxima do joelho para que o voluntário se acostumassem com os comandos e com o procedimento de avaliação do aparelho. O voluntário realizou a manobra no aparelho *Flexmachine* o número de vezes necessário para alcançar o entendimento do procedimento de avaliação (média de 8 repetições por voluntário). Em seguida, os voluntários foram encaminhados a uma cadeira similar a do aparelho *Flexmachine*. Nessa

cadeira estava acoplado o equipamento de vibração mecânica localizada. Após posicionamento do voluntário na cadeira, todos os ajustes individuais foram registrados e uma série de 30 segundos (s) para cada uma das configurações do estímulo de vibração mecânica localizada (V1: frequência=3mm/amplitude=14Hz, V2: 3mm/24Hz, V3: 6mm/14Hz e V4: 6mm/24Hz) foi realizada nos músculos posteriores da coxa direita para familiarização do mesmo com os estímulos de vibração.

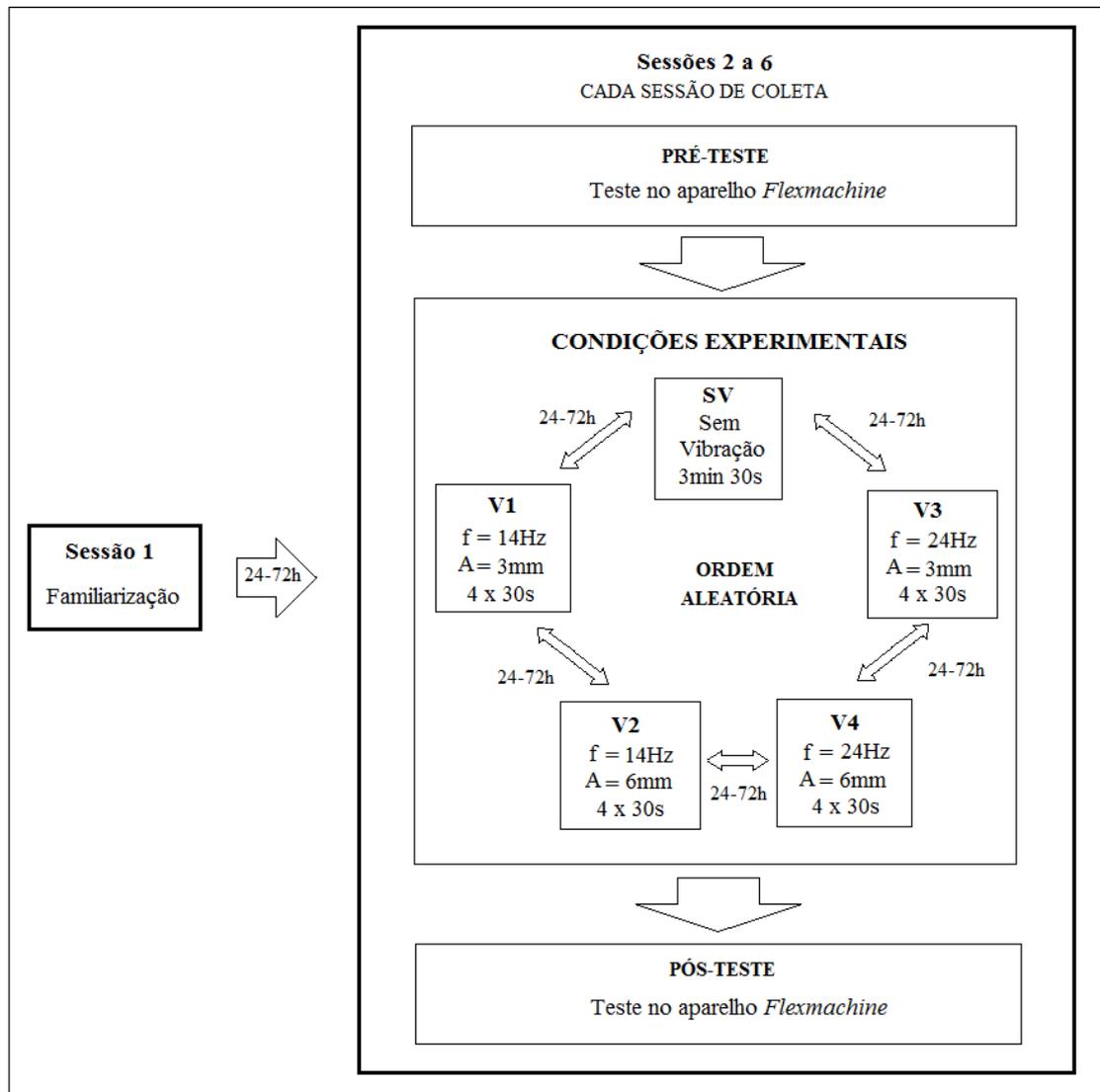
A marcação dos horários de coleta dos dados foi realizada pelos próprios voluntários após a familiarização, cientes de que todo o procedimento levaria cerca de 30 a 45 minutos por dia, e que o mesmo horário deveria ser respeitado em todas as sessões. Um intervalo de 24 a 72 horas foi realizado entre cada sessão, para evitar que possíveis adaptações alcançadas em uma sessão pudessem interferir nas respostas da UMT durante as sessões seguintes.

Nas sessões de 2 a 6, os voluntários foram posicionados no aparelho *Flexmachine* e as instruções fornecidas durante a familiarização foram repetidas para a realização de um pré-teste (FIGURA 1). No pré-teste os indivíduos realizaram seis tentativas válidas para mensuração da ADM máxima de extensão do joelho, PSDA e torque máximo apenas no membro inferior direito, sendo os valores de Torque vs. ADM, posteriormente utilizados para o cálculo da rigidez passiva.

As três primeiras tentativas foram realizadas para acomodação do tecido e a média das últimas três tentativas utilizada na análise dos dados.

Em seguida, o membro inferior direito de todos os voluntários foi submetido aleatoriamente a uma das cinco condições experimentais (SV, V1, V2, V3, e V4) em diferentes dias. No pós-teste, os indivíduos realizaram novamente seis tentativas válidas e a média das últimas três tentativas utilizada na análise dos dados. Os valores médios obtidos no pré e pós-testes foram utilizados para calcular o ganho médio das variáveis do estudo através da fórmula: Pós - Pré-teste. Resultados positivos indicaram um aumento nos valores da variável após a aplicação da vibração mecânica localizada, e negativos uma redução nos mesmos.

Figura 1 – Protocolo de coleta de dados do Experimento 1.



Legenda: A = amplitude de vibração, f = frequência de vibração, SV = Condição Sem Vibração, V1 = Condição Vibração 1, V2 = Condição Vibração 2, V3 = Condição Vibração 3 e V4 = Condição Vibração 4.

Fonte: Elaboração própria.

2.3.5 Instrumentação

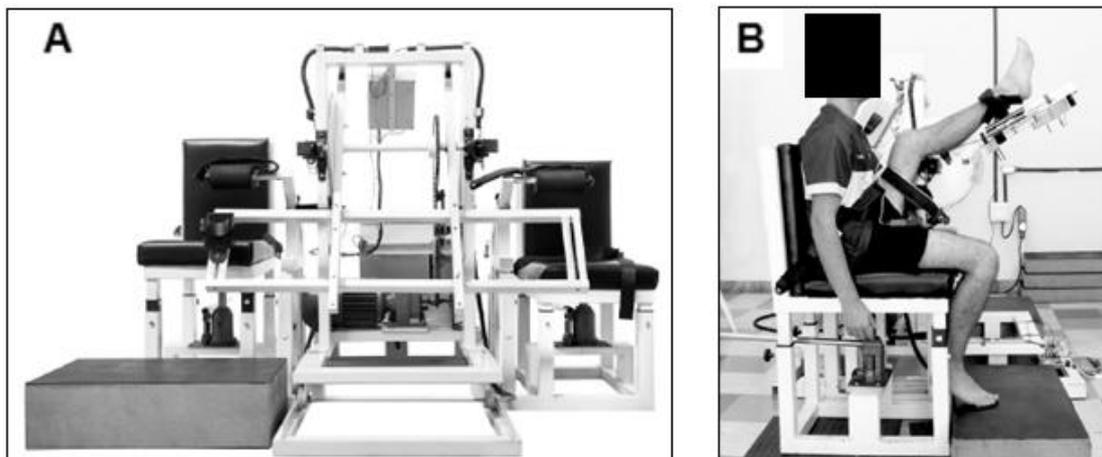
2.3.5.1 Aparelho *Flexmachine*

Descrição do aparelho

O aparelho isocinético denominado *Flexmachine*, desenvolvido no BIOLAB do CENESP/UFMG, foi utilizado para investigar o efeito do estímulo de vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa por meio da mensuração sincronizada do torque máximo, ADM máxima de extensão passiva do joelho e PSDA (CHAGAS *et al.*, 2016; CABIDO *et al.*, 2014; PEIXOTO *et al.*, 2015).

O aparelho consiste em duas cadeiras conectadas lateralmente a um braço mecânico. Cada cadeira possui um ajuste de altura, um encosto com reclinção de 95° em relação ao assento e um desnível na região posterior do assento, para minimizar a báscula posterior do quadril. Com o objetivo de reduzir qualquer movimento compensatório, foram utilizadas cintas sobre as espinhas ilíacas ântero-superiores e no terço distal da coxa (FIGURA 2A e FIGURA 2B).

FIGURA 2 - Aparelho *Flexmachine*. A) Vista anterior e B) Vista lateral.



Fonte: Arquivo de fotos do BIOLAB.

Suportes com ajustes de comprimento fixados às cadeiras possibilitam sustentar o membro inferior testado à 45° de flexão de quadril a partir da posição sentada (FIGURA 2B). De acordo com Magnusson *et al.* (1996a), essa posição do membro inferior examinado permite o alongamento dos músculos flexores do joelho com mínima participação de estruturas anatômicas que limitam a extensão passiva do joelho, como a cápsula articular posterior.

Sobre o braço mecânico está localizada uma plataforma de força para registro do torque máximo (*Refitronic®*, *Schmitt*, *Germany*), cujo posicionamento é ajustável individualmente (FIGURA 2B). O braço mecânico é movimentado por um motor de indução (SEW Eurodrive, Belo Horizonte, Brasil), cujo acionamento é realizado por um dispositivo manual com dois botões, sendo um para subir e outro para descer. A amplitude de movimento do braço mecânico é registrada por um potenciômetro localizado em seu eixo de rotação, sendo 150° a amplitude máxima do braço (90°, a perna encontra-se paralela ao solo). O aparelho *Flexmachine* permite um deslocamento horizontal que possibilita o alinhamento do eixo do braço mecânico ao côndilo lateral do fêmur. Para isso, uma ponteira laser, localizada no eixo do braço mecânico, foi alinhada ao marcador previamente colocado sobre o côndilo lateral do fêmur.

Para a calibração do potenciômetro presente no aparelho *Flexmachine* foi utilizado um goniômetro digital Bosch (precisão de 0,5°). O delta dos valores da ADM foi dividido pelo delta da voltagem possibilitando encontrar a variável x da equação linear ($f(x) = ax + b$), que explica o comportamento linear do

potenciômetro. Através do software *DasyLab 11.0* (*Dasytec Daten System Technik GmbH, Germany*) foram calculadas múltiplas equações lineares a partir da posição inicial do braço mecânico, e a cada 10°, até a posição final para corrigir possíveis erros de linearidade do posicionamento. Em seguida, o braço foi posicionado em ângulos conhecidos para verificar a precisão das medidas, sendo o erro inferior a 1°.

Durante a realização da manobra de alongamento para a mensuração da ADM máxima de extensão passiva do joelho e do torque máximo, um segundo dispositivo manual foi utilizado pelos voluntários. Neste dispositivo existe um botão que deveria ser pressionado quando o voluntário percebesse a “primeira sensação de alongamento” (PSDA) na região posterior da coxa. Desta forma, o sinal registrado a partir do acionamento do botão no dispositivo seria utilizado para determinar os valores de amplitude de movimento e torque correspondentes ao momento do acionamento.

Para assegurar que os valores de torque obtidos na coleta representaram a resistência muscular ao alongamento, a massa do segmento perna-pé foi mensurada para a correção do torque em relação à gravidade. A correção da gravidade durante o deslocamento angular do *Flexmachine* foi realizado subtraindo da força mensurada o resultado da multiplicação entre o seno do ângulo e a massa do segmento perna-pé. A massa do segmento perna-pé direito foi mensurada posicionando os voluntários em decúbito dorsal sobre uma superfície de madeira, com o quadril e joelho a 90° e a perna apoiada sobre a plataforma de força.

O potenciômetro, a plataforma de força e o dispositivo para registro da PSDA foram interligados a um computador por meio de um conversor analógico/digital *Data Translation (DT BNC Box USB 9800 Series)* e os dados mensurados foram armazenados de maneira sincronizada. A coleta e a análise dos sinais foram realizadas no programa *DasyLab 11.0*.

Posicionamento do voluntário

Cada voluntário foi posicionado no *Flexmachine* com o terço distal do membro inferior a ser examinado sobre o suporte para a coxa. Utilizando um goniômetro digital (*Bosch, DWM 40 L*), o trocânter maior e o epicôndilo lateral

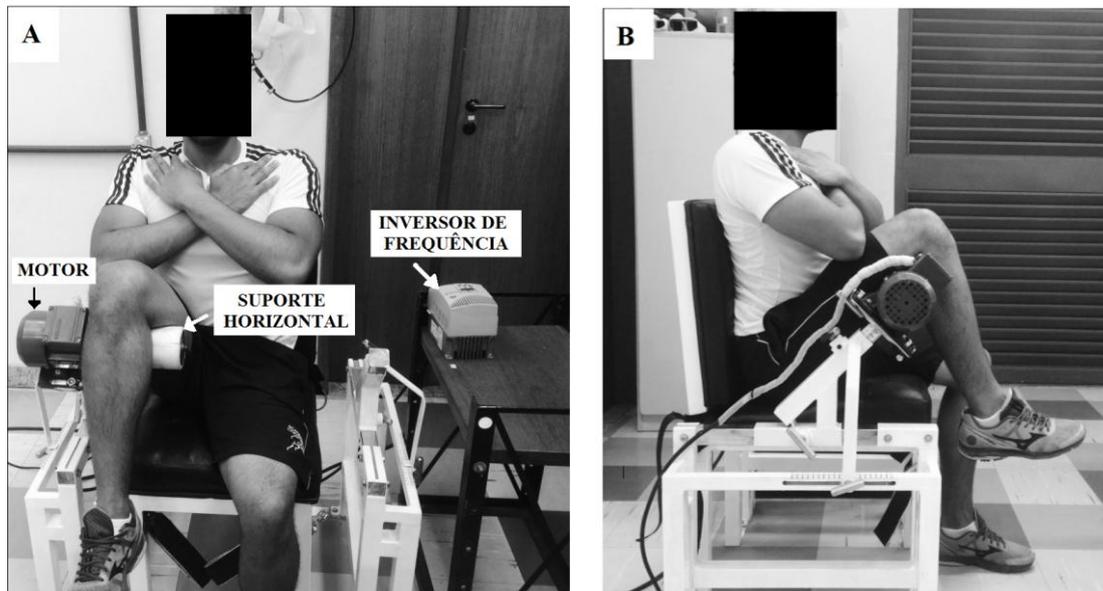
do fêmur foram alinhados para posicionar o quadril a 135° de flexão (45° em relação ao assento). A cadeira e o braço mecânico foram ajustados para alinhar o côndilo lateral do fêmur do membro inferior a ser examinado ao eixo do braço mecânico. A plataforma de força foi posicionada a uma distância de aproximadamente dois centímetros acima do maléolo e o membro inferior a ser examinado posicionado sobre ela. O pé contralateral foi posicionado sobre blocos de madeira de alturas variáveis, mantendo toda a região plantar apoiada (FIGURA 2B).

2.3.5.2 Equipamento de vibração mecânica localizada

Descrição do equipamento de vibração mecânica localizada

O equipamento de vibração mecânica localizada é constituído por um motor (SIEMENS, Belo Horizonte, Brasil) conectado a um eixo excêntrico e foi utilizado para aplicar o estímulo de vibração mecânica sinusoidal de forma localizada nos músculos posteriores da coxa. Este equipamento foi desenvolvido no BIOLAB em conjunto com o Laboratório de Avaliação da Carga do CENESP/UFMG e acoplado a uma cadeira idêntica a do aparelho *Flexmachine*, possibilitando dessa maneira a reprodução da posição do indivíduo durante a manobra de alongamento realizada no *Flexmachine* ao ser aplicado o estímulo de vibração (FIGURA 3A e 3B). A cadeira possui um encosto com reclinção de 95° em relação ao assento e um desnível na região posterior do assento, para minimizar a báscula posterior do quadril. Para minimizar qualquer movimento compensatório, na pelve e nos membros inferiores, foram utilizadas cintas sobre as espinhas ilíacas ântero-superiores e no terço distal da coxa.

FIGURA 3 - Equipamento para geração de vibração mecânica. A) Vista frontal (Inversor de frequência, suporte horizontal e motor) e B) Vista lateral.



Fonte: Arquivo de fotos do BIOLAB.

Um suporte horizontal com ajuste de comprimento é fixado à cadeira bilateralmente e possibilita sustentar o membro inferior testado à 45° de flexão de quadril a partir da posição sentada. O suporte é conectado diretamente ao eixo do motor e composto por um eixo excêntrico de diferentes amplitudes (3mm e 6mm) acoplado a um rolo de metal revestido de espuma rígida. A frequência da vibração mecânica foi controlada por um inversor de frequência (WEG, Santa Catarina, Brasil) e a amplitude da vibração determinada pelo grau de excentricidade do eixo excêntrico móvel posicionado de acordo com a amplitude de vibração desejada (FIGURA 3A e 3B).

Posicionamento do indivíduo

Cada indivíduo foi posicionado na cadeira com o terço distal do membro inferior direito apoiado sobre o suporte com ajuste horizontal. Utilizando um goniômetro digital (*Bosch, DWM 40 L*), o trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur foram alinhados para posicionar o quadril a 135° de flexão (45° em relação ao assento). O pé contralateral foi posicionado sobre blocos de madeira de alturas variáveis, mantendo toda a região plantar apoiada.

2.3.5.3 Acelerômetro

Um acelerômetro biaxial (*Biovision*) foi fixado na porção posterior proximal da coxa de um voluntário com o uso de esparadrapo, e utilizado para mensurar na musculatura posterior da coxa a aceleração, amplitude e frequência gerada pelo estímulo de vibração. Isso com o objetivo de caracterizar o estímulo de vibração utilizado em cada condição e verificar se os valores das configurações do estímulo que chegavam ao membro inferior do indivíduo eram similares aos gerados pelo equipamento de vibração. A frequência de coleta dos dados foi de 100Hz e os dados analisados através do programa *DasyLab* 11.0. Os dados analisados referem-se ao primeiro segundo da primeira série de vibração realizada para cada uma das condições em diferentes dias. Os valores médios encontrados para as configurações dos parâmetros do estímulo de vibração utilizado em cada condição foram: V1 (frequência=13,67Hz, amplitude=3mm, aceleração=7,41ms²), V2 (13,7Hz, 6mm, 16,0ms²), V3 (23,44Hz, 3mm, 23,0ms²) para a condição V4 (f=23,44Hz, 6mm, 46,0ms²).

2.3.5.4 Medidas antropométricas

A mensuração da massa corporal e estatura dos voluntários foi realizada com a utilização de uma balança Filizola® e do estadiômetro acoplado a este equipamento, com precisões de 0,1Kg e 0,5cm, respectivamente.

2.3.6 Protocolo de Teste

2.3.6.1 ADM máxima, Torque máximo e PSDA

O protocolo de teste adotado nesta pesquisa foi similar ao utilizado em estudos prévios (CABIDO *et al.*, 2014; MAGNUSSON *et al.*, 1997; MAGNUSSON; AAGARD; NIELSON, 2000; PEIXOTO *et al.*, 2015).

Padronização para o teste: Foram realizadas seis tentativas válidas pré e pós-teste para o membro inferior direito. Em cada tentativa, o joelho foi estendido passivamente pelo braço mecânico do *Flexmachine* a uma velocidade de 5°/s (BLACKBURN *et al.*, 2004) até alcançar a ADM máxima, e, em seguida, retornava à posição inicial. O intervalo entre cada tentativa foi de

aproximadamente 15s, tempo necessário para ajustar o programa. A $ADM_{MÁX}$ (ADM máxima de extensão do joelho) foi definida como a maior ADM suportada pelo voluntário durante o alongamento, e o $TORQUE_{MÁX}$ o valor de torque correspondente a esta ADM.

Execução do teste: O indivíduo deveria permanecer com a musculatura relaxada durante todo o procedimento e, já devidamente posicionado no aparelho, ele recebeu dois dispositivos, sendo um para acionamento do motor e outro para registro da PSDA. Ao comando do avaliador, o indivíduo apertava o botão de subida no dispositivo de acionamento do motor, iniciando a extensão do joelho. Ao perceber a primeira sensação de que a musculatura foi alongada, ou seja, uma tensão na musculatura durante o alongamento, o indivíduo pressionava o dispositivo da PSDA. A ADM e o torque correspondente ao momento em que foi acionado o dispositivo da PSDA correspondem à ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$ respectivamente. Ao alcançar a $ADM_{MÁX}$, o voluntário soltava o botão de subida do dispositivo de acionamento do motor e, imediatamente, acionava o botão responsável por descer o braço mecânico até que este retornava à posição inicial.

Variáveis investigadas: $ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$.

2.3.6.2 Cálculo da Rigidez Passiva

A rigidez passiva foi calculada através da inclinação da curva torque – ADM (CHAGAS *et al.*, 2016; BLACKBURN *et al.*, 2004; MAGNUSSON *et al.*, 1997; MAGNUSSON; AAGARD; NIELSON, 2000). A curva torque passivo – ADM foi obtida realizando um corte na curva torque – ADM, no valor de ADM correspondente a 80% da $ADM_{MÁX}$. Este corte foi realizado para remover uma possível influência da contração muscular durante o alongamento e determinar o valor do torque passivo, procedimento este semelhante ao realizado por McNair *et al.* (2001) e Cabido *et al.* (2014). A curva torque passivo – ADM foi então dividida em três partes e a rigidez passiva (N.m/°) calculada através da inclinação do terceiro terço dessa curva. Este terço foi escolhido já que estudos anteriores apresentaram menores coeficientes de variação para o terceiro terço da curva torque – ADM (MAGNUSSON *et al.*, 1996a; 1996b).

A comparação da rigidez passiva entre as situações pré e pós-teste foi possível, uma vez que as curvas torque passivo – ADM para o pré e pós-teste foram analisadas simultaneamente e o menor valor correspondente a 80% da $ADM_{MÁX}$ encontrado no pré ou pós-teste de cada indivíduo foi utilizado como valor de corte em ambas as curvas para análise da rigidez passiva (MAGNUSSON; AAGARD; NIELSON, 2000).

2.3.7 Protocolo de treinamento

Vibração Mecânica Localizada

As configurações dos parâmetros (aceleração, frequência e amplitude da vibração) do estímulo de vibração mecânica localizada que foram utilizadas no presente estudo são baseadas em estudos que investigaram os efeitos do estímulo de vibração mecânica sobre a ADM (BAKHTIARY *et al.*, 2011; CRONIN; NASH; WHATMAN, 2007; FAGNANI *et al.*, 2006; ISSURIN; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1994; KINSER *et al.*, 2008; SANDS *et al.*, 2008). Nos estudos que combinaram o exercício de alongamento com vibração mecânica, a duração do estímulo de vibração mecânica geralmente é o mesmo do estímulo de alongamento (KINSER *et al.*, 2008, SANDS *et al.*, 2008). Cronin, Nash e Whatman (2007) aplicaram apenas o estímulo de vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa e verificaram que a duração de 30s é suficiente para gerar ganhos significativos na ADM.

Como não há um consenso sobre uma configuração dos parâmetros do estímulo de vibração mecânica localizada mais eficaz no ganho da ADM, as frequências de 14 e 24Hz, que foram utilizadas no presente estudo, são baseadas no estudo de Cronin, Nash e Whatman (2007). Esses autores verificaram que após a aplicação de 30s de vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa para uma amplitude de 3mm houve um ganho similar na ADM entre as frequências de 24 e 34Hz, não sendo encontrado um aumento significativo com a aplicação da frequência de 14Hz. Uma vez que o ganho de ADM foi similar entre as frequências de maior valor (24Hz e 34Hz), a frequência de 24Hz foi escolhida por representar uma menor demanda mecânica sobre todo o equipamento utilizado para vibração. Embora a

frequência de 14Hz e a amplitude de 3mm não tenham resultado em um ganho de ADM no estudo de Cronin, Nash e Whatman (2007), a mesma frequência foi selecionada no presente estudo. Como era objetivo investigar diferentes amplitudes de vibração, manter a frequência de 14Hz associada a uma amplitude de vibração maior (6mm) poderia fornecer dados sobre o impacto da amplitude também neste contexto.

As amplitudes de 3 e 6mm foram selecionadas, uma vez que, já foi encontrado aumento da ADM com a utilização de 3mm (CRONIN; NASH; WHATMAN, 2007) e 6mm (COCHRANE e STANNARD, 2005). A amplitude de 6mm foi escolhida por representar um valor diferente do utilizado no estudo de Cronin, Nash e Whatman (2007) que, não encontrou diferença no ganho de ADM entre as amplitudes de 3 e 5mm.

Sendo assim, todos os indivíduos foram submetidos aleatoriamente às diferentes configurações do estímulo de vibração mecânica localizada: SV (frequência= 0Hz, amplitude= 0mm), V1 (frequência= 14Hz, amplitude= 3mm), V2 (14Hz, 6mm), V3 (24Hz, 3mm) e V4 (24Hz, 6mm) em diferentes dias. A condição SV foi utilizada para verificar o efeito da intervenção do próprio procedimento de mensuração das variáveis e o quanto ele interfere na mensuração das variáveis. A diferença do pré e pós-teste foi utilizada para verificar e comparar o efeito das intervenções.

2.3.8 Análise estatística

A análise descritiva foi realizada para todas as variáveis estudadas, assim como o teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homocedasticidade (Mauchly). A análise de confiabilidade dos procedimentos da coleta foi realizada através do cálculo do coeficiente de correlação intraclasse ($CCI_{3,1}$), do erro padrão da medida (EPM) absoluto e percentual (percentual do EPM em relação à média dos valores pré-teste) e do valor da estatística F na ANOVA de medidas repetidas (para verificar a presença de erro sistemático) (WEIR, 2005). Para esse procedimento, os valores pré e pós-teste obtidos na condição sem vibração (SV) foram utilizados. A classificação adotada para os valores de CCI foram “muito baixo” (0,00 – 0,25), “baixo” (0,26 – 0,49), “moderado” (0,50 –

0,69), “alto” (0,70 – 0,89) e “muito alto” (0,90 – 1,00) (PORTNEY e WATKINS, 2009; WEIR, 2005).

A análise de variância com medidas repetidas, com um fator, foi utilizada para determinar se a média dos valores pré-teste para cada variável ($ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} , $TORQUE_{PSDA}$ e rigidez passiva) diferiu entre as condições de configurações do estímulo de vibração (SV, V1, V2, V3 e V4). Uma segunda análise de variância com medidas repetidas, com um fator, foi utilizada para determinar se o ganho médio (Pós - Pré-teste) diferiu entre as condições de configurações do estímulo de vibração (SV, V1, V2, V3 e V4). Se o teste F da ANOVA fosse significativo, o teste *post hoc* de Tukey foi utilizado para localizar as diferenças entre as condições estudadas. O poder estatístico (ω) das análises de variância e o *Eta Squared* (η^2) foram calculados para demonstrar a magnitude das diferenças entre os grupos (pequeno $\leq 0,01$, médio $\geq 0,06$, grande $\geq 0,14$) (COHEN, 1988).

O nível de significância adotado foi de $\alpha \leq 0,05$ e os procedimentos estatísticos foram realizados no pacote estatístico SPSS *Statistics* 17.0 (*Statistical Package for Social Science*, SPSS, Inc.).

2.4 RESULTADOS

Os dados apresentaram distribuição normal e foram homocedásticos. Os dados descritivos de todas as variáveis estão apresentados no Apêndice C. O coeficiente de correlação intraclasse ($CCI_{3,1}$) e o erro padrão da medida, absoluto e relativo, para as variáveis $ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} , $TORQUE_{PSDA}$ e Rigidez passiva estão descritos na tabela 2.

Tabela 2

Resultados relativos à análise de confiabilidade da medida das variáveis do Experimento 1 verificadas via CCI e EPM.

Variável	CCI	EPM	EPM%	p (teste F)
$ADM_{MÁX}$	0,99	2,49 (°)	2,12	0,29
$TORQUE_{MÁX}$	0,98	2,31 (N.m)	3,85	0,56
ADM_{PSDA}	0,99	2,81 (°)	3,24	0,67
$TORQUE_{PSDA}$	0,99	1,63 (N.m)	5,05	0,92
Rigidez passiva	0,96	0,03 (N.m/°)	5,65	0,58

CCI – coeficiente de correlação intraclasse; EPM – erro padrão da medida; EPM% – percentual do EPM em relação à média dos valores pré-teste; $ADM_{MÁX}$ – amplitude de

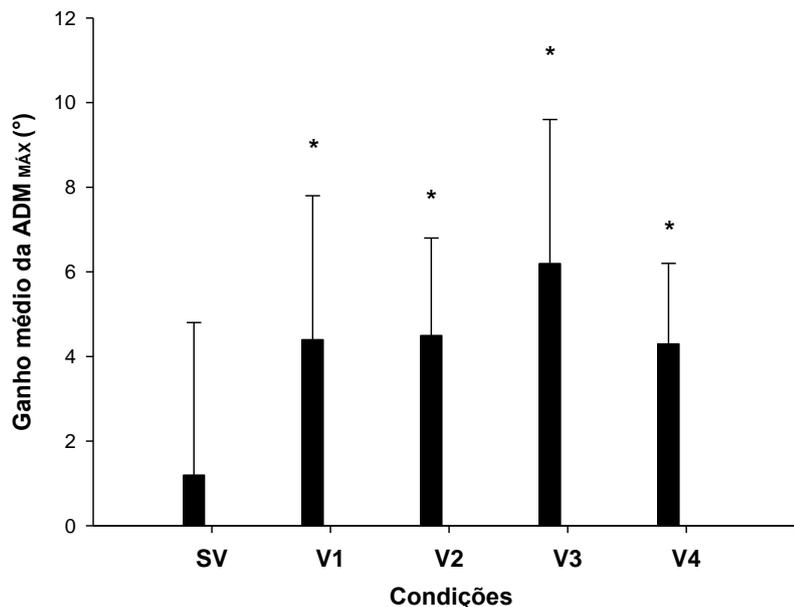
movimento máxima; $TORQUE_{MÁX}$ – torque máximo; ADM_{PSDA} – amplitude de movimento correspondente à primeira percepção subjetiva do desconforto ao alongamento; $TORQUE_{PSDA}$ – torque correspondente à primeira percepção subjetiva do desconforto ao alongamento; n=10.

2.4.1 $ADM_{MÁX}$

Na análise estatística realizada para comparar os valores de $ADM_{MÁX}$ pré-teste entre as condições (fator Condição), a ANOVA medidas repetidas, com um fator, não mostrou diferença nos valores de $ADM_{MÁX}$ pré-teste entre as condições SV ($117,5 \pm 15,4^\circ$), V1 ($108,9 \pm 14,5^\circ$), V2 ($114,8 \pm 16,0^\circ$), V3 ($111,9 \pm 14,6^\circ$) e V4 ($113,6 \pm 15,1^\circ$) ($F_{(4,45)}=0,456$; $p=0,767$; $\eta^2=0,0006$; $\omega=0,147$).

A ANOVA medidas repetidas, com um fator, mostrou diferença nos valores do ganho médio de $ADM_{MÁX}$ entre as condições ($F_{(4,45)}=3,694$; $p<0,05$; $\eta^2=0,0946$; $\omega=0,846$). Na comparação entre as condições foi identificado que a média da diferença de $ADM_{MÁX}$ da condição SV ($1,2 \pm 3,6^\circ$) foi significativamente menor que a das condições V1 ($4,4 \pm 3,4^\circ$, $p<0,05$), V2 ($4,5 \pm 2,3^\circ$, $p<0,05$), V3 ($6,2 \pm 3,4^\circ$, $p<0,01$) e V4 ($4,3 \pm 1,9^\circ$, $p<0,05$), sem diferença entre as condições de vibração (Figura 4).

FIGURA 4 – Ganho médio da $ADM_{MÁX}$ das condições.



Legenda: ADM_{MÁX} – amplitude de movimento máxima; SV – condição sem vibração; V1 – condição vibração 1 (frequência=14Hz, amplitude=3mm); V2 – condição vibração 2 (14Hz, 6mm); V3 – condição vibração 3 (24Hz, 3mm); V4 – condição vibração 4 (24Hz, A=6mm).

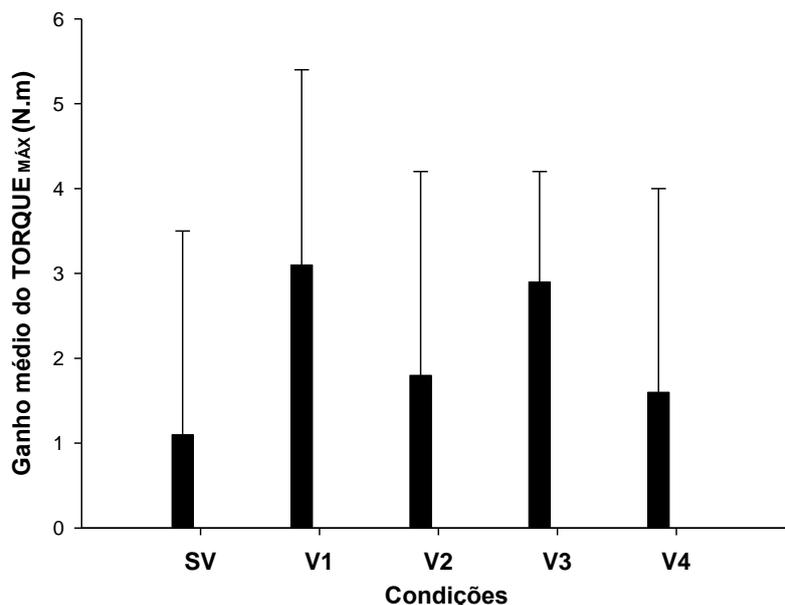
* Diferente da condição controle ($p < 0,05$).

2.4.2 TORQUE_{MÁX}

Na análise estatística para o fator Condição, a ANOVA medidas repetidas, com um fator, não mostrou diferença nos valores de TORQUE_{MÁX} pré-teste entre as condições SV ($59,5 \pm 10,4$ Nm), V1 ($55,6 \pm 10,0$ Nm), V2 ($57,0 \pm 9,8$ Nm), V3 ($59,4 \pm 8,4$ Nm) e V4 ($59,1 \pm 11,1$ Nm) ($F_{(4,45)} = 0,307$; $p = 0,872$; $\eta^2 = 0,0007$; $\omega = 0,112$).

A ANOVA medidas repetidas, com um fator, não mostrou diferença nos valores do ganho médio de TORQUE_{MÁX} entre as condições SV ($1,1 \pm 2,4$ Nm), V1 ($3,1 \pm 2,3$ Nm), V2 ($1,8 \pm 2,4$ Nm), V3 ($2,9 \pm 1,3$ Nm) e V4 ($1,6 \pm 2,4$ Nm) ($F_{(4,45)} = 1,475$; $p = 0,225$; $\eta^2 = 0,0613$; $\omega = 0,420$) (Figura 5).

FIGURA 5 – Ganho médio do TORQUE_{MÁX} das condições.

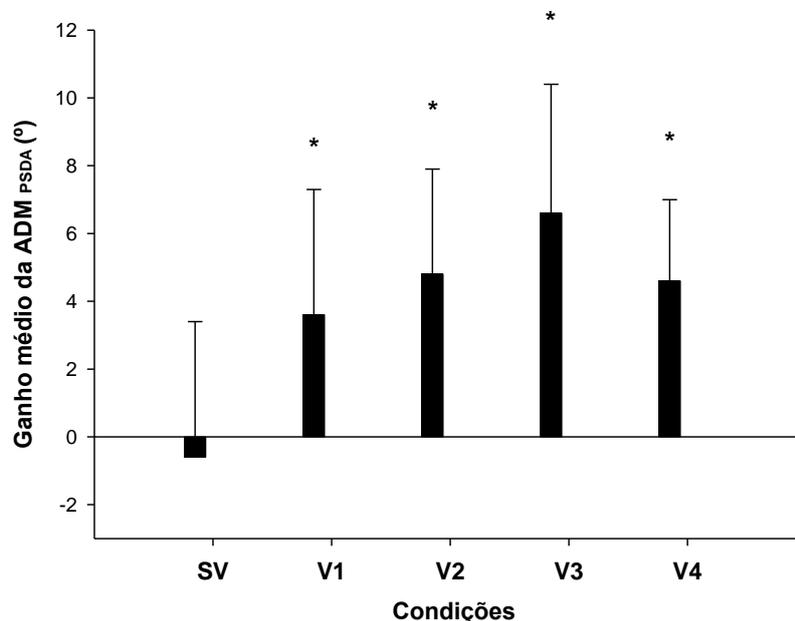


Legenda: TORQUE_{MÁX} – torque máximo; SV – condição sem vibração; V1 – condição vibração 1 (frequência=14Hz, amplitude=3mm); V2 – condição vibração 2 (14Hz, 6mm); V3 – condição vibração 3 (24Hz, 3mm); V4 – condição vibração 4 (24Hz, A=6mm).

2.4.3 ADM_{PSDA}

Na análise estatística para o fator Condição, a ANOVA medidas repetidas, com um fator, não mostrou diferença nos valores de ADM_{PSDA} pré-teste entre as condições SV ($86,8 \pm 21,2^\circ$), V1 ($79,2 \pm 21,4^\circ$), V2 ($83,0 \pm 21,1^\circ$), V3 ($79,4 \pm 17,6^\circ$) e V4 ($82,8 \pm 21,1^\circ$) ($F_{(4,45)}=0,231$; $p=0,920$; $\eta^2=0,0011$; $\omega=0,095$).

A ANOVA medidas repetidas, com um fator, mostrou diferença nos valores do ganho médio de ADM_{PSDA} entre as condições ($F_{(4,45)}=5,999$; $p<0,01$; $\eta^2=0,1844$; $\omega=0,975$). Na comparação entre as condições foi identificado que a média da diferença de ADM_{PSDA} da condição SV ($-0,6 \pm 4,0^\circ$) foi significativamente menor que a das condições V1 ($3,6 \pm 3,7^\circ$, $p<0,05$), V2 ($4,8 \pm 3,1^\circ$, $p<0,01$), V3 ($6,6 \pm 3,8^\circ$, $p<0,01$) e V4 ($4,6 \pm 2,4^\circ$, $p<0,01$), sem diferença entre as condições de vibração (Figura 6).

FIGURA 6 – Ganho médio da ADM_{PSDA} das condições.

Legenda: ADM_{PSDA} – amplitude de movimento correspondente à primeira sensação de alongamento; SV – condição sem vibração; V1 – condição vibração 1 (frequência=14Hz, amplitude=3mm); V2 – condição vibração 2 (14Hz, 6mm); V3 – condição vibração 3 (24Hz, 3mm); V4 – condição vibração 4 (24Hz, A=6mm).

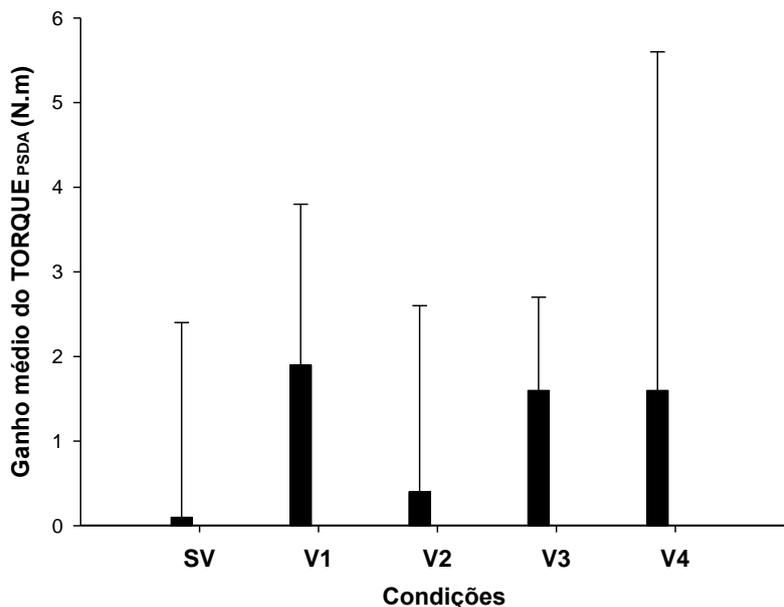
* Diferente da condição controle ($p < 0,05$).

2.4.4 TORQUE_{PSDA}

Na análise estatística para o fator Condição, a ANOVA medidas repetidas, com um fator, não mostrou diferença nos valores de TORQUE_{PSDA} pré-teste entre as condições SV ($32,4 \pm 12,6$ Nm), V1 ($30,3 \pm 14,9$ Nm), V2 ($30,5 \pm 11,5$ Nm), V3 ($31,3 \pm 12,4$ Nm) e V4 ($31,2 \pm 12,8$ Nm) ($F_{(4,45)}=0,041$; $p=0,997$; $\eta^2=0,0005$; $\omega=0,057$).

A ANOVA medidas repetidas, com um fator, não mostrou diferença nos valores do ganho médio de TORQUE_{PSDA} entre as condições SV ($0,1 \pm 2,3$ Nm), V1 ($1,9 \pm 1,9$ Nm), V2 ($0,4 \pm 2,2$ Nm), V3 ($1,6 \pm 1,1$ Nm) e V4 ($1,6 \pm 4,0$ Nm) ($F_{(4,45)}=1,060$; $p=0,387$; $\eta^2=0,0714$; $\omega=0,307$) (Figura 7).

FIGURA 7 – Ganho médio do TORQUE_{PSDA} das condições.



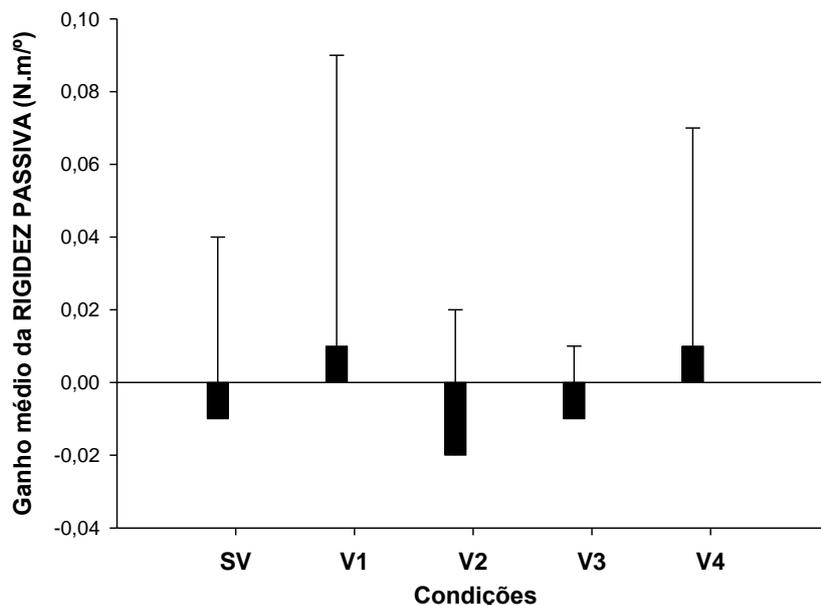
Legenda: TORQUE_{PSDA} – torque correspondente à primeira sensação de alongamento; SV – condição sem vibração; V1 – condição vibração 1 (frequência=14Hz, amplitude=3mm); V2 – condição vibração 2 (14Hz, 6mm); V3 – condição vibração 3 (24Hz, 3mm); V4 – condição vibração 4 (24Hz, A=6mm).

2.4.5 Rigidez Passiva

Na análise estatística para o fator Condição, a ANOVA medidas repetidas, com um fator, não mostrou diferença nos valores de rigidez passiva pré-teste entre as condições SV ($0,56 \pm 0,13 \text{ Nm}^0$), V1 ($0,57 \pm 0,09 \text{ Nm}^0$), V2 ($0,57 \pm 0,13 \text{ Nm}^0$), V3 ($0,53 \pm 0,08 \text{ Nm}^0$) e V4 ($0,54 \pm 0,10 \text{ Nm}^0$) ($F_{(4,45)}=0,306$; $p=0,873$; $\eta^2=0,0009$; $\omega=0,112$).

A ANOVA medidas repetidas, com um fator, não mostrou diferença nos valores do ganho médio de rigidez passiva entre as condições SV ($-0,01 \pm 0,05 \text{ Nm}^0$), V1 ($0,01 \pm 0,08 \text{ Nm}^0$), V2 ($-0,02 \pm 0,04 \text{ Nm}^0$), V3 ($-0,01 \pm 0,02 \text{ Nm}^0$) e V4 ($0,01 \pm 0,06 \text{ Nm}^0$) ($F_{(4,45)}=0,757$; $p=0,558$; $\eta^2=0,0597$; $\omega=0,224$) (Figura 8).

FIGURA 8 – Ganho médio da rigidez passiva das condições.



Legenda: SV – condição sem vibração; V1 – condição vibração 1 (frequência=14Hz, amplitude=3mm); V2 – condição vibração 2 (14Hz, 6mm); V3 – condição vibração 3 (24Hz, 3mm); V4 – condição vibração 4 (24Hz, A=6mm).

2.5 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar o efeito agudo da manipulação das configurações do estímulo de vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa sobre a ADM máxima, torque máximo e primeira sensação de alongamento e rigidez passiva. Todas as variáveis apresentaram valores de CCI classificados como muito alto, demonstrando que os procedimentos de medida realizados neste estudo foram confiáveis. Como não foram encontradas diferenças significativas entre o pré-teste dos grupos em nenhuma das variáveis estudadas, conclui-se que as diferenças nas comparações realizadas, quando verificadas, podem ser atribuídas exclusivamente à intervenção realizada.

Sendo assim, após uma sessão de vibração mecânica localizada na musculatura posterior da coxa, foi encontrado um aumento nos valores de $ADM_{MÁX}$ e ADM_{PSDA} , sem diferença no ganho médio entre as condições V1, V2, V3 e V4. Não foi encontrada diferença significativa no ganho médio das variáveis $TORQUE_{MÁX}$, $TORQUE_{PSDA}$ e na redução da rigidez passiva, indicando que o aumento encontrado nos valores de $TORQUE_{MÁX}$ e $TORQUE_{PSDA}$ e as alterações nos valores de rigidez passiva pós-vibração foram semelhantes aos encontrados na condição sem vibração.

A primeira hipótese do estudo era que independente da configuração do estímulo de vibração mecânica utilizado, a ADM máxima, torque máximo e primeira sensação de alongamento aumentariam de forma significativa após a aplicação da vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa. No entanto, não foi encontrado aumento no $TORQUE_{MÁX}$ e $TORQUE_{PSDA}$ em nenhuma das condições, rejeitando parcialmente esta hipótese. Os resultados encontrados para a rigidez passiva, por sua vez, confirmam a segunda hipótese do estudo que dizia que independente da configuração do estímulo de vibração mecânica, a aplicação do estímulo de vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa não promoveria alteração significativa nos valores de rigidez passiva.

2.5.1 $ADM_{MÁX}$ e $TORQUE_{MÁX}$

Os resultados do presente estudo mostraram um aumento significativo da $ADM_{MÁX}$ para as condições V1, V2, V3 e V4, sem diferença entre as elas. Após uma sessão de vibração mecânica localizada na musculatura posterior da coxa, as condições V1, V2, V3 e V4, apresentaram um aumento relativo da $ADM_{MÁX}$ (percentual do ganho médio da $ADM_{MÁX}$ em relação à média dos valores pré-teste) de 4,1%, 4,0%, 5,5% e 3,9%, respectivamente. Com relação ao $TORQUE_{MÁX}$, não foi observado um aumento significativo em seus valores após a aplicação das condições experimentais. Esse resultado demonstra que todas as condições foram igualmente eficazes para gerar aumento da $ADM_{MÁX}$, sem alteração nos valores de $TORQUE_{MÁX}$.

Em contraste à investigação da $ADM_{MÁX}$, o $TORQUE_{MÁX}$ não havia sido ainda investigado nos estudos sobre os efeitos da vibração mecânica, não sendo possível comparar os achados dessa variável no presente estudo com outros estudos. Os resultados relacionados ao aumento da ADM no presente estudo corroboram com os achados de outras pesquisas (ATHA e WHEATLEY, 1976; CRONIN; NASH; WHATMAN, 2007; KINSER *et al.*, 2007). No entanto, o aumento médio percentual da $ADM_{MÁX}$ encontrado no presente estudo foi superior aos encontrados por Cronin, Nash e Whataman (2007) e inferior aos encontrados por Atha e Wheatley (1976) e Kinser *et al.* (2007). Cronin, Nash e Whatman (2007) encontraram um aumento significativo ($p < 0,05$) de 2,4° (ganho de 1,6%), 2,9° (ganho de 2,0%) e 3,1° (ganho de 2,0%) na ADM ativa de extensão do joelho após 30s de vibração localizada na musculatura posterior da coxa utilizando, respectivamente, as três diferentes configurações dos parâmetros do estímulo de vibração: A) frequência=24Hz, amplitude=3mm, aceleração=33,2m/s²; B) 34Hz, 3mm, 42,2m/s²; e C) 44Hz, 5mm, 49,4m/s². Esses autores não verificaram diferença no ganho da ADM entre essas configurações. Atha e Wheatley (1976) verificaram, em 3 diferentes dias, o efeito de 15 min de vibração localizada na região posterior da coxa e tronco ($f=44\text{Hz}$, $A=0,1\text{mm}$ pico a pico) sobre a ADM de flexão do quadril em 42 homens por meio do teste de sentar e alcançar. Os autores encontraram um aumento significativo de 2,7cm (ganho de 10,1%) no primeiro dia de coleta, de 2,5cm (ganho de 8,2%) no segundo dia, e de 2,4cm (ganho de 8,2%) no terceiro dia. Já Kinser *et al.* (2007) verificaram, por meio da distância entre o chão e a espinha ílica ântero-posterior, um aumento significativo ($p < 0,05$) de 9,1% na ADM do quadril direito e 10,0% do esquerdo após a aplicação da vibração localizada na região anterior de coxa e extremidade distal da perna (duração total=2min, $f=30\text{Hz}$, $A=2\text{mm}$) em 22 meninas ginastas.

Essa variação de aumento da ADM encontrada nos estudos de vibração mecânica localizada (1,6 a 10,1%) pode ser devido à diversidade nos métodos utilizados para avaliar a ADM máxima. Alguns estudos utilizam testes funcionais para avaliação da ADM, tais como o teste de sentar e alcançar (ATHA e WHEATLEY, 1976; KURT, 2015) e o teste de abertura anterior do quadril (KINSER *et al.*, 2007; SANDS *et al.*, 2008), enquanto em outros a avaliação foi realizada de forma direta por meio da mensuração da ADM

articular ativa (CRONIN, NASH e WHATMAN, 2007) ou passiva (HERDA *et al.*, 2009). Como o erro padrão de medida (EPM) não foi reportado em todos os estudos, é possível que diferenças na precisão (menor ou maior EPM) possam explicar em parte a variação no aumento da ADM entre os estudos.

Outro aspecto metodológico diz respeito à especificidade entre tarefa (posição do voluntário durante aplicação do estímulo de vibração mecânica) e teste de flexibilidade. Geralmente os testes são realizados com o indivíduo permanecendo em uma posição diferente à adotada durante a aplicação da vibração mecânica localizada. No presente estudo, a mensuração da ADM passiva de extensão do joelho e a aplicação da vibração mecânica localizada na musculatura posterior do joelho foram realizadas em instrumentos que permitiam um mesmo posicionamento do indivíduo, garantindo uma maior especificidade entre o processo de mensuração e de aplicação do estímulo de vibração mecânica. Com esse procedimento possibilitou-se que as alterações provocadas pelo estímulo de vibração fossem detectados com maior precisão, os outros estudos em que este aspecto não foi considerado (ATHA e WHEATLEY, 1976; CRONIN; NASH; WHATMAN, 2007; KURT, 2015) podem ter apresentados resultados sub ou superestimados em relação aos ganhos da ADM máxima, assim como em relação às alterações de outras variáveis investigadas.

Como verificado no presente estudo, todas as configurações do estímulo de vibração mecânica localizada provocaram um aumento na $ADM_{MÁX}$, mas não foi encontrada uma maior efetividade de uma das configurações investigadas. Tais achados confirmam a primeira hipótese do estudo com relação à variável $ADM_{MÁX}$. A fundamentação teórica utilizada para sustentar a formulação da primeira hipótese está relacionada, no primeiro momento, ao fato de que a utilização de diferentes configurações dos parâmetros do estímulo de vibração mecânica localizada em estudos anteriores (frequência=14 - 70Hz, amplitude=0,1 - 5mm, aceleração=19,3 - 49,4m/s²) resultaram em um aumento na ADM. Além disso, apenas no estudo de Cronin, Nash e Whatman (2007) foi comparada a efetividade de diferentes configurações dos parâmetros do estímulo de vibração mecânica localizada e nenhuma diferença no ganho da $ADM_{MÁX}$ foi verificada entre as configurações. Segundo estes autores, as configurações dos parâmetros do estímulo de

vibração mecânica parecem influenciar a ADM de uma maneira não sistemática para cada indivíduo, o que justificaria uma similaridade no ganho da $ADM_{MÁX}$.

Cronin, Nash e Whatman (2007) reportaram uma variação de -3,0% a 5,0% no ganho da ADM ativa de extensão do joelho após 30s de vibração localizada nos músculos posteriores da coxa utilizando diferentes configurações do estímulo de vibração. No presente estudo, também foi encontrada uma grande variação relativa ao ganho médio da $ADM_{MÁX}$ nas condições experimentais com variação do aumento percentual entre 0,4% e 12,3%. Dessa forma, é possível que exista uma configuração ótima individual capaz de gerar maior ganho da ADM. Ao analisar os dados individuais dos voluntários, é possível perceber que o indivíduo que obteve um maior ganho da $ADM_{MÁX}$ em uma das condições, não é necessariamente o que obteve maior ganho da $ADM_{MÁX}$ em outra condição. A possível diferença na frequência natural dos tecidos pode ser um fator que justificaria o maior aumento individualizado da $ADM_{MÁX}$. A frequência natural dos tecidos é responsável por sua variação na capacidade dos mesmos de absorver a energia mecânica do estímulo de vibração e um dos fatores que influencia seus valores é a rigidez do tecido (RITTWEGGER, 2010). Dessa forma, é possível hipotetizar que, indivíduos com diferentes níveis de rigidez muscular respondem de maneira diferenciada a um mesmo estímulo de vibração e isto pôde ser verificado no presente estudo pela grande variabilidade do ganho médio da $ADM_{MÁX}$ observado após a aplicação da vibração mecânica localizada.

A fundamentação do efeito do estímulo de vibração mecânica sobre o aumento da ADM encontra-se incipiente, no entanto foram propostos três possíveis mecanismos para explicar o aumento da ADM verificado após a aplicação da vibração mecânica localizada, sendo eles o relaxamento muscular induzido pela vibração, a alteração no limiar de dor do indivíduo, com conseqüente aumento na sua tolerância ao alongamento e o aumento no fluxo sanguíneo muscular acompanhado de um aumento na temperatura muscular (ISSURIN; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1994; VAN DEN TILLAAR, 2006). Considerando que o corpo humano apresenta uma resposta integrada de diferentes sistemas frente a determinadas demandas, é possível que os mecanismos não atuem de maneira isolada, mas sim concomitante.

Com relação ao relaxamento muscular induzido pela vibração, ele está relacionado com uma possível redução na excitabilidade dos motoneurônios (DE GAIL; LANCE; NEILSON, 1966). O estímulo da vibração excita as terminações primárias dos fusos musculares, gerando uma descarga aferente das fibras Ia, promovendo duas diferentes respostas, uma redução nos reflexos monossinápticos fásicos (reflexo de alongamento, reflexo tendinoso ou reflexo H) promovendo o relaxamento muscular, e a ativação do reflexo tônico de vibração (RTV) que gera uma contração tônica involuntária em um nível insuficiente para gerar resistência ao alongamento da UMT (EKLUND e HAGBARTH, 1966), no entanto a maneira como estes mecanismos estão envolvidos no aumento da ADM ainda não estão completamente esclarecidos. Com relação aos efeitos do alongamento sobre a ADM, estudos têm mostrado que um maior nível de relaxamento muscular não está associado necessariamente com maior ou menor aumento da ADM (MOORE e HUTTON, 1980; MITCHELL *et al.*, 2009). Moore e Hutton (1980) e Mitchell *et al.* (2009) verificaram aumento na ADM após a aplicação de diferentes técnicas de alongamento e verificaram que, mesmo a musculatura apresentando uma maior ativação muscular, ao invés de menor ativação, um aumento significativo da ADM foi alcançado. Neste sentido, é pouco provável que estes mecanismos também tenham um impacto na explicação do aumento da ADM verificada pós-vibração mecânica localizada.

Outro mecanismo relacionado à influência da vibração mecânica sobre o aumento da ADM é o aumento da tolerância de dor induzido pela alteração no limiar de dor, ou seja, redução da sensação de dor. Apesar de Sands *et al.* (2008) não terem verificado modificação na sensação de dor em meninas ginastas, Issurin, Liebermann e Tenenbaum (1994), associaram o ganho na ADM ao aumento na tolerância à dor dos indivíduos, que reportaram uma redução da dor 10 à 15s após o início do exercício de alongamento muscular com adição da vibração mecânica. Porém, neste último estudo a sensação de dor não foi mensurada objetivamente. Sendo que o dado sobre a redução da dor foi obtido por meio de autorrelato dos voluntários. Lundeberg, Nordemar e Ottoson (1984) verificaram que diferentes valores de frequência (20 a 200Hz) são capazes de afetar a sensação de dor durante e após 30-45min de aplicação de vibração mecânica na musculatura, no entanto, a faixa de

frequência entre 50 e 150Hz foi a que promoveu maiores redução na sensação de dor. No entanto, tais configurações de vibração mecânica localizada são diferentes das utilizadas no presente estudo (duração total do estímulo=2min e frequências da vibração de 14 e 24 Hz).

A sensação de desconforto/dor ao alongamento no presente estudo pode ser relacionada com a variável ADM_{PSDA} e $ADM_{MÁX}$, sendo que a primeira diz respeito a uma sinalização da primeira sensação de que a musculatura está sendo alongada e a segunda, a sensação máxima suportada de desconforto durante o alongamento. Estas duas variáveis foram sinalizadas quando uma determinada carga mecânica estava sendo imposta a UMT durante o alongamento (CABIDO *et al.*, 2014; PEIXOTO *et al.*, 2015). Neste sentido, os valores de torque registrados nestes momentos (*e.g.*, $TORQUE_{PSDA}$) poderiam representar a carga mecânica necessária para estimular as estruturas envolvidas (*e.g.*, vias aferentes proprioceptivas e nociceptivas) na sinalização das sensações relativas à ADM_{PSDA} e à $ADM_{MÁX}$. Os resultados do presente estudo mostram que, mesmo após a aplicação dos estímulos de vibração mecânica localizada, estas mesmas sensações foram novamente sinalizadas quando valores similares de torque foram alcançados. Isso por que não houve diferença significativa no $TORQUE_{MÁX}$ e $TORQUE_{PSDA}$. Considerando este argumento, é possível que a alteração associada ao aumento da ADM não esteja relacionada em um primeiro momento com uma alteração do limiar de tolerância ao alongamento. Contudo, os dados do presente estudo mostram que para alcançar a mesma sensação de alongamento (ADM_{PSDA} e $ADM_{MÁX}$) foi necessária uma maior deformação da UMT, uma vez que ambas as variáveis foram sinalizadas em maiores ADM no pós-teste. Assim, se alguma alteração na tolerância ao alongamento tenha ocorrido de fato, a mesma não foi em uma magnitude suficiente para ser registrada.

O último mecanismo relacionado ao ganho agudo da ADM com a aplicação da vibração mecânica é o aumento no fluxo sanguíneo muscular acompanhado de um aumento na temperatura muscular. Rittweger, Mutschelknauss e Felsenberg (2003) relataram um aumento no fluxo sanguíneo após a realização de exercícios de agachamento (duração=6s/ciclo, 3s descida e 3s subida) até a exaustão sobre uma plataforma de vibração (frequência=26Hz, amplitude=1,05mm, pico de aceleração=147m/s²), com

retorno do fluxo à valores similares a condição pré-vibração 15 minutos após a interrupção do exercício. Kerschman-Schindl *et al.* (2001) encontraram aumento na velocidade do fluxo sanguíneo nos músculos quadríceps femoral e gastrocnêmios, assim como, na resistência vascular após 9 minutos de exposição do indivíduo a vibração de corpo todo (Frequência=26Hz, amplitude=3mm, pico de aceleração=78m/s²). Reforçando os dados anteriores, Cochrane *et al.* (2008) verificaram o aumento de 1,5° na temperatura intramuscular do vasto lateral de 6 homens e 2 mulheres após 10min de agachamento (3s de subida e 3s de descida) sobre uma plataforma vibratória (frequência=26Hz, amplitude pico a pico=6mm).

A teoria de que o aumento no fluxo sanguíneo e aumento na temperatura muscular levariam a uma redução da rigidez muscular, facilitando um possível aumento na ADM (KURT, 2015) não foi confirmada no presente estudo, uma vez que nenhuma das configurações dos parâmetros do estímulo de vibração foi capaz de reduzir a rigidez passiva. Contudo, como relatado anteriormente, os dados do presente estudo mostram que uma maior deformação da UMT foi necessária para que a mesma sensação de alongamento (ADM_{PSDA} e ADM_{MAX}) fosse alcançada após a intervenção. Como não é possível garantir que alguma alteração interna (e.g. aumento da temperatura muscular) tenha de fato ocorrido no presente estudo, a hipótese de que, uma modificação nas propriedades viscoelásticas tenha ocorrido e não tenha sido detectada por meio das variáveis investigadas, permanece especulativa. Com isso, a realização de estudos futuros que investiguem a resposta da temperatura muscular submetida às diferentes configurações de estímulo de vibração mecânica irá fornecer subsídios para essa hipótese explicativa.

Após uma sessão de vibração mecânica localizada é esperado um aumento da ADM_{MAX} , resultado esse já demonstrado em estudos prévios envolvendo diferentes configurações de vibração mecânica localizada (ATHA e WHEATLEY, 1976; CRONIN; NASH; WHATMAN, 2007; KINSER *et al.*, 2007; KURT, 2015, SANDS *et al.*, 2008). No entanto, o comportamento do $TORQUE_{MAX}$ após a aplicação de vibração mecânica localizada não havia sido ainda investigado na literatura disponível.

Diferentes estruturas músculo-tendíneas (músculos sinergistas, tendões, aponeuroses) e articulares (cápsulas) contribuem para o $TORQUE_{MÁX}$ durante uma manobra de alongamento (RIEMANN *et al.*, 2001). O torque de resistência *in vivo* gerado pela UMT pode ser resultado dos mecanismos mecânicos e neurais, no entanto, Magnusson *et al.* (1997) verificaram que diferentes valores de $TORQUE_{MÁX}$ poderiam ser alcançados sem atividade EMG significativa durante o alongamento, indicando que o componente mecânico seria um aspecto chave comparado com os mecanismos neurais. Considerando que estruturas músculo-tendíneas e articulares estão relacionadas com a resistência ao alongamento e que essa resistência aumenta com o aumento da ADM, um aumento da $ADM_{MÁX}$ resultaria em um aumento do $TORQUE_{MÁX}$. Em alguns estudos envolvendo exercício de alongamento foi verificado um aumento do $TORQUE_{MÁX}$ associado ao aumento da $ADM_{MÁX}$ (GAJDOSIK, 1991; MAGNUSSON *et al.*, 1995, 1996b; WEIR *et al.*, 2005), entretanto, em outros estudos que envolveram o exercício de alongamento (HALBERTSMA e GÖEKEN, 1994; HALBERTSMA; BOLHUIS; GÖEKEN, 1996), assim como no presente estudo que envolveu a vibração mecânica localizada, o aumento da $ADM_{MÁX}$ não foi acompanhado de alteração nos valores de $TORQUE_{MÁX}$, sugerindo que o aumento da ADM possa ocorrer em consequência da alteração na tolerância do indivíduo ao alongamento.

Diversos estudos envolvendo exercício de alongamento registraram a curva torque passivo – ADM (CABIDO *et al.*, 2014; MAGNUSSON *et al.*, 1995, 1996b; PEIXOTO *et al.*, 2015; REID e MCNAIR, 2004; YLINEN *et al.*, 2009), o que possibilitou a análise de variáveis como $ADM_{MÁX}$ e o $TORQUE_{MÁX}$, entre outras. Embora a $ADM_{MÁX}$ e o $TORQUE_{MÁX}$ possam apresentar uma relação, como verificado por Blazeovich *et al.* (2012) que encontraram uma correlação positiva entre o pico de torque passivo e a $ADM_{MÁX}$ ($r=0,69$, $p<0,001$), a determinação das mesmas parece ser estabelecida por aspectos distintos. Isso porque, considerando essa informação, a porção de associações comuns aos fatores que influenciam as duas variáveis (variância comum; $r^2 \times 100$) foi de apenas 47,6%. Como dados sobre a resposta do torque máximo parecem não estar disponíveis nos estudos sobre a vibração mecânica localizada, resultados de estudos futuros são necessários para confirmar se este resultado é uma

resposta a ser esperada ou não quando a UMT é submetida ao estímulo de vibração mecânica localizada.

2.5.2 ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$

Os resultados do presente estudo mostraram um aumento significativo da ADM_{PSDA} para as condições V1, V2, V3 e V4, sem diferença significativa entre as condições de vibração. Após uma sessão de vibração mecânica localizada na musculatura posterior da coxa, foi observado um ganho médio relativo da ADM_{PSDA} de 4,5%, 5,8%, 8,3% e 5,6% nas condições V1, V2, V3 e V4, respectivamente. Com relação ao $TORQUE_{PSDA}$, não foi observado um aumento em seus valores após a aplicação das condições experimentais. Esse resultado demonstra que todas as condições foram igualmente eficazes para gerar aumento da ADM_{PSDA} , sem alteração nos valores de $TORQUE_{PSDA}$, mostrando que todos voluntários perceberam mais tardiamente a primeira sensação de alongamento após a aplicação da vibração mecânica, porém com um mesmo valor de torque correspondente.

Até a presente data, não há estudos disponíveis que analisaram o efeito da vibração mecânica sobre essas variáveis, não sendo possível a comparação dos resultados do presente estudo. No entanto, ADM_{PSDA} tem sido utilizada nos estudos envolvendo o alongamento da UMT em seres humanos para verificar os efeitos do alongamento muscular sobre a ADM (CABIDO *et al.*, 2014; HALBERTSMA e GÖEKEN, 1994; YLINEN *et al.*, 2009). Halbertsma e Göeken (1994) foram os primeiros a mensurar a denominada “primeira sensação de dor”. Os autores definiram “dor” como sendo a primeira sensação de tensão na musculatura durante o alongamento passivo, ou seja, a primeira sensação de alongamento dada pela tensão na musculatura gerada durante o alongamento passivo. A medida dessa variável foi realizada operacionalmente em função da ADM, sendo que o valor da ADM era registrado no momento em que o indivíduo sinalizava a “primeira sensação de dor”. Outros estudos utilizaram esta variável para descrever a tolerância individual ao alongamento (CABIDO *et al.*, 2014; YLINEN *et al.*, 2009), sendo a variável denominada por Cabido *et al.* (2014) como a “primeira sensação de alongamento” (PSDA). Durante a manobra de alongamento, o indivíduo indica o momento em que percebeu a

primeira sensação de alongamento, permitindo que esse registro seja associado a um determinado ao valor de ADM (ADM_{PSDA}) e de torque ($TORQUE_{PSDA}$). A avaliação das alterações na ADM_{PSDA} tem sido utilizada para auxiliar no entendimento dos mecanismos relacionados à tolerância do indivíduo ao alongamento (CABIDO *et al.*, 2014; YLINEN *et al.*, 2009), uma vez que sua definição operacional envolve a sinalização de uma sensação subjetiva individual relacionada ao alongamento.

Estudos anteriores constataram que um aumento na $ADM_{MÁX}$ foi acompanhado por um correspondente aumento da ADM_{PSDA} após exercícios de alongamento (CABIDO *et al.*, 2014; YLINEN *et al.*, 2009). Os dados do presente estudo corroboram este resultado, uma vez que foi observado um aumento significativo nos valores médios da $ADM_{MÁX}$ e da ADM_{PSDA} em todas as condições. Além disso, os valores percentuais da ADM_{PSDA} correspondente à $ADM_{MÁX}$ no pré-teste nas condições V1, V2, V3 e V4 (72,7%, 72,3%, 71,0% e 72,9%, respectivamente), foram similares aos valores percentuais registrados no pós-teste (73,0%, 73,5%, 72,9% e 74,0%, respectivamente). Isso indica que a magnitude da alteração nestas variáveis também foi similar e consistente, uma vez que, a mesma relação foi verificada em diferentes condições (V1 a V4). Assim, é possível hipotetizar que mecanismos subjacentes semelhantes estejam envolvidos no aumento na $ADM_{MÁX}$ e na ADM_{PSDA} após a aplicação da vibração mecânica.

Considerando que as variáveis ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$ permitem uma análise similar àquela realizada para a $ADM_{MÁX}$ e $TORQUE_{MÁX}$, os três possíveis mecanismos associados com o aumento da ADM após a aplicação da vibração mecânica localizada podem novamente ser considerados, sendo eles o relaxamento muscular induzido pela vibração, a alteração no limiar de dor do indivíduo, com conseqüente aumento na sua tolerância ao alongamento, e o aumento no fluxo sanguíneo muscular acompanhado de um aumento na temperatura muscular (ISSURIN; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1994; VAN DEN TILLAAR, 2006).

Como a ADM_{PSDA} e $ADM_{MÁX}$ apresentam definições operacionalmente baseadas na sensação do indivíduo e, que, o estado de ativação muscular parece não ser um fator limitante para que um aumento da $ADM_{MÁX}$ ocorra (MOORE e HUTTON, 1980; MITCHELL *et al.*, 2009), é pouco provável que

este mecanismo também tenha um impacto na explicação do aumento da ADM relacionada à primeira sensação de alongamento verificada pós-vibração mecânica localizada. No presente estudo, a ADM_{PSDA} foi sinalizada em uma ADM maior no pós-teste, mas o valor de torque no momento desta sinalização não alterou no pós-teste comparado com o pré-teste. Assim, também é possível que aumento agudo da ADM_{PSDA} após a aplicação do estímulo de vibração mecânica localizada não esteja relacionado em um primeiro momento com uma alteração do limiar de tolerância ao alongamento. Desta forma, se alguma alteração na tolerância ao alongamento tenha acontecido de fato, a mesma não foi percebida pelos métodos de mensuração adotados no presente estudo.

Por fim, como relatado anteriormente, os dados do presente estudo mostram que uma maior deformação da UMT foi necessária para que uma mesma sensação de alongamento (ADM_{PSDA} e ADM_{MAX}) fosse alcançada após a intervenção. Se uma alteração de menor magnitude tenha decorrido nas propriedades viscoelásticas devido a alguma modificação interna (e.g. aumento da temperatura muscular) e que esta adaptação tenha relação com uma maior extensibilidade da UMT para um mesmo valor de torque, permanece apenas como uma especulação.

2.5.3 Rigidez passiva

Os resultados do presente estudo indicaram que os valores do ganho médio de rigidez passiva foram similares entre as condições experimentais de vibração (V1, V2, V3 e V4) e a condição SV, indicando que todas as condições foram igualmente ineficazes para provocar um ganho médio negativo, *i.e.* reduzir significativamente a rigidez passiva.

A manutenção da rigidez passiva após a aplicação da vibração mecânica localizada encontrada no presente estudo está de acordo com os resultados da pesquisa de Herda *et al.* (2009). Estes autores avaliaram o efeito agudo da aplicação isolada da vibração localizada no tendão de Aquiles (frequência=70Hz, duração=20min) sobre a rigidez passiva, não sendo encontrada alteração nos valores desta variável após a vibração ($p=0,32$). Um

achado interessante do presente estudo foi que mesmo utilizando um método para calcular a rigidez passiva diferente do utilizado por Herda *et al.* (2009), os achados dos estudos foram semelhantes. Como a rigidez é o resultado da razão entre o delta torque sobre o delta ângulo, essa variável pode ser calculada em diversas porções da curva torque passivo – ADM durante a fase dinâmica do alongamento. As duas porções da curva mais comumente utilizadas são o terço final da curva (MAGNUSSON *et al.*, 1997; MAGNUSSON *et al.*, 1996a) e os 10% finais da curva (MAGNUSSON *et al.*, 2000; REID e MCNAIR, 2004). O terço final da curva é o mais utilizado devido à sua maior linearidade e menor variabilidade da medida (MAGNUSSON *et al.*, 1996b; 1997). No presente estudo, a rigidez passiva foi calculada através da inclinação da curva torque – ADM, onde foi realizado um corte na curva no valor de ADM correspondente a 80% da $ADM_{MÁX}$ no pré-teste. Isso para remover uma possível influência da contração muscular durante o alongamento e determinar o valor de torque passivo (MCNAIR *et al.*, 2001). Essa mesma ADM determinada no pré-teste foi utilizada para o corte na curva torque – ADM do pós-teste. A curva torque passivo – ADM foi então dividida em três partes e a rigidez passiva calculada através da inclinação do terceiro terço desta curva. Já no estudo de Herda *et al.* (2009), a rigidez foi calculada nos últimos 6° de ADM comum à curva torque passivo – ADM pré e pós-teste.

Diferenças na configuração do estímulo e na duração da vibração também podem ser verificadas ao comparar os resultados do presente estudo e do de Herda *et al.* (2009). Enquanto no estudo de Herda *et al.* (2009), a duração total do estímulo de vibração foi de 20min, no presente estudo, todas as condições de vibração tiveram uma duração total de 120s (4 séries de 30s). As configurações dos parâmetros do estímulo de vibração utilizados nos estudos também diferem. No presente estudo foram utilizadas diferentes configurações de vibração (V1: frequência=14Hz, amplitude=3mm; V2: f=14Hz, A=3mm; V3: f=24Hz, A=3mm; V4: f=24Hz, A=6mm), Herda *et al.* relataram apenas o valor de frequência utilizado no estudo (f=70Hz). Baseado nisso, é possível perceber que mesmo os estudos apresentando muitas diferenças em seus métodos, encontraram resultados similares em relação à rigidez. Como essa variável representa uma resposta biomecânica da UMT quando submetida à deformação, um ganho negativo indicaria que alguma alteração

nas propriedades viscoelásticas da UMT teria ocorrido. Como, não foi identificada nenhuma mudança na resposta desta variável, ou pelo menos em um nível que fosse perceptível considerando a forma de mensuração da mesma, é possível concluir que os estímulos de vibração mecânica localizada não provocaram nenhuma alteração na resposta biomecânica da UMT.

Contrariamente aos resultados relatados anteriormente, Lapole e Pérot (2011) verificaram uma alteração na rigidez passiva e ativa após a aplicação de um treinamento de vibração localizada (duração=1h, frequência=50Hz, amplitude=3mm) no tendão de Aquiles. Após 14 dias de aplicação diária da vibração localizada no tendão de Aquiles, foi verificado um aumento de 26,6° (ganho de 8,2%) na ADM de dorsiflexão do tornozelo, associada a uma redução média significativa de 14,1% na rigidez ativa ($p<0,01$) e de 16,8%, 13,3% e 9,7% na rigidez passiva ($p<0,01$) da UMT mensurada na ADM de 10°, 15° e 20° de dorsiflexão do tornozelo, respectivamente. Os autores sugeriram que a redução observada na rigidez passiva ocorreu devido a adaptações nas propriedades viscoelásticas musculares, levando a um aumento da complacência da UMT em um estado relaxado. No entanto, neste estudo foi realizado um treinamento diário de vibração mecânica, diferentemente da aplicação de uma única sessão de vibração mecânica utilizada no presente estudo e no estudo de Herda *et al.* (2009). Considerando o volume total do estímulo de vibração, no presente estudo foram realizados 2min de vibração, no estudo de Herda *et al.* (2009) 20min e no estudo de Lapole e Pérot (2011) 840min. Esta grande diferença no volume do estímulo de vibração entre os estudos pode ser um fator responsável pela diferença encontrada entre os resultados do presente estudo e os de Herda *et al.* (2009) e Lapole e Pérot (2011).

Talvez os mecanismos responsáveis pelos efeitos crônicos da redução da rigidez passiva não sejam os mesmos responsáveis pelos efeitos agudos de manutenção da mesma, sendo necessária a investigação dos efeitos crônicos de diferentes configurações dos parâmetros do estímulo de vibração sobre a rigidez passiva.

2.5.4 Limitações

Devido à padronização do posicionamento da coxa dos indivíduos à 45° de flexão do quadril, não foi possível garantir que o estímulo de vibração tenha sido aplicado no mesmo local para todos os indivíduos. Diferenças anatômicas como, por exemplo, a área de secção transversa da musculatura posterior da coxa e volume da musculatura glútea pode ter influenciado no local de contato do rolo de apoio do equipamento de vibração com a região posterior da coxa. Desta forma, o estímulo de vibração mecânica foi aplicado de maneira localizada na musculatura posterior da coxa, no entanto em possíveis diferentes locais (mais próximos do ventre muscular ou da região músculo-tendão). Porém, mesmo que o local de aplicação do estímulo na região posterior da coxa não tenha sido o mesmo para todos os indivíduos, eles foram submetidos a todas as condições experimentais com uma padronização do posicionamento dos mesmos durante os procedimentos. Assim, o estímulo da vibração mecânica foi aplicado individualmente sempre no mesmo local, e a possível influência do local de aplicação do estímulo sobre os efeitos da vibração mecânica se manteve a mesma para cada indivíduo, independente da configuração do estímulo.

2.6 CONCLUSÃO

Independente da configuração dos parâmetros do estímulo de vibração utilizados (frequência de 14 ou 24Hz, e amplitude de 3 ou 6mm), a aplicação da vibração mecânica localizada na musculatura posterior da coxa por uma duração total de 2min é capaz de promover aumento na $ADM_{MÁX}$ e ADM_{PSDA} de indivíduos jovens, sem alteração no $TORQUE_{MÁX}$, $TORQUE_{PSDA}$ e rigidez passiva. Não foi encontrada diferença significativa entre as configurações utilizadas no estudo para nenhuma das variáveis analisadas.

3 EXPERIMENTO 2

3.1 OBJETIVO

- Comparar o efeito crônico do treinamento da flexibilidade e o treinamento da flexibilidade combinado com diferentes configurações do estímulo de vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa sobre a ADM máxima, torque máximo, primeira sensação de alongamento e rigidez passiva.

3.2 HIPÓTESES

- **Hipótese 1:** Independente da configuração do estímulo de vibração utilizado, a ADM máxima, torque máximo e primeira sensação de alongamento aumentarão de forma significativa após o treinamento dos músculos posteriores da coxa com a técnica de alongamento passiva-estática sobreposta à vibração mecânica localizada.
- **Hipótese 2:** Independente da configuração do estímulo de vibração utilizado, a rigidez passiva reduzirá de forma significativa após o

treinamento dos músculos posteriores da coxa com a técnica de alongamento passiva-estática sobreposta à vibração mecânica localizada.

- **Hipótese 3:** Independente da configuração do estímulo de vibração utilizado, o treinamento dos músculos posteriores da coxa com a técnica de alongamento passiva-estática sobreposta à vibração mecânica localizada causará um aumento significativamente maior na ADM máxima, torque máximo e primeira sensação de alongamento quando comparado com o mesmo treinamento sem vibração.
- **Hipótese 4:** Independente da configuração do estímulo de vibração utilizado, o treinamento dos músculos posteriores da coxa com a técnica de alongamento passiva-estática sobreposta à vibração mecânica localizada causará uma redução significativamente maior na rigidez passiva quando comparado com o mesmo treinamento sem vibração.

3.3 MÉTODO

3.3.1 Cuidados Éticos

Este estudo foi aprovado pelo ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), parecer nº. CAAE 49552415.4.0000.5149 (ANEXO A) e foram respeitadas todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional em Saúde (Resolução 466/12) envolvendo pesquisas com seres humanos. Antes de iniciarem a participação neste projeto, os voluntários receberam todas as informações quanto ao

processo metodológico e objetivos, assinaram o termo de consentimento (ANEXO B) e foram informados de que poderiam abandonar a pesquisa a qualquer momento. Foram tomadas todas as precauções no intuito de preservar a privacidade dos voluntários, estando à saúde e o bem-estar destes sempre acima de qualquer outro interesse.

3.3.2 Cálculo Amostral

O tamanho amostral foi calculado através do programa *GPower* 3.1.9.2 (*Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Alemanha*). Para análise estatística adotada nesse estudo, foi realizado o cálculo amostral do tipo “a priori” para ANOVA para efeito de tamanho de 0,67 (KINSER *et al.*, 2008) e objetivando um poder de 0,90 (PORTNEY e WATKINS, 2009). O resultado dos cálculos realizados apresentou um *n* total de 32. Devido à possibilidade de desistência ou exclusão de alguns voluntários (perda amostral), optou-se por coletar um *n* total de 48, que representaria 12 indivíduos por grupo.

3.3.3 Amostra

A amostra foi constituída por homens com idade entre 18 e 35 anos, distribuídos em quatro grupos (Grupo Alongamento – ALONG; Grupo Controle – CON; Grupo Vibração 1 - GV1 e 2 - GV2;). Os voluntários do grupo ALONG foram submetidos ao treinamento da flexibilidade por quatro semanas em ambos os membros inferiores; os voluntários dos grupos vibração (GV1 e GV2) também foram submetidos em ambos os membros inferiores ao mesmo protocolo de treinamento da flexibilidade combinado com a vibração mecânica localizada com diferentes configurações do estímulo de vibração; e o grupo controle (CON) não foi submetido a nenhum treinamento. A distribuição dos indivíduos nos grupos foi realizada aleatoriamente.

Os critérios de inclusão e exclusão foram os mesmos adotados no experimento 1, descritos no item 2.3.3.

Dos 48 voluntários participantes, todos concluíram o estudo, sendo 12 voluntários do grupo ALONG, 12 do grupo GV1, 12 do grupo GV2 e 12 do grupo CON. Dois dos participantes do grupo controle foram excluídos da

análise estatística por apresentarem padrão *outlier* em diversas variáveis. Dessa forma, os dados referentes às características da amostra estão presentes na TABELA 3.

Tabela 3 – Dados descritivos referentes à idade, massa corporal e estatura da amostra – Experimento 2.

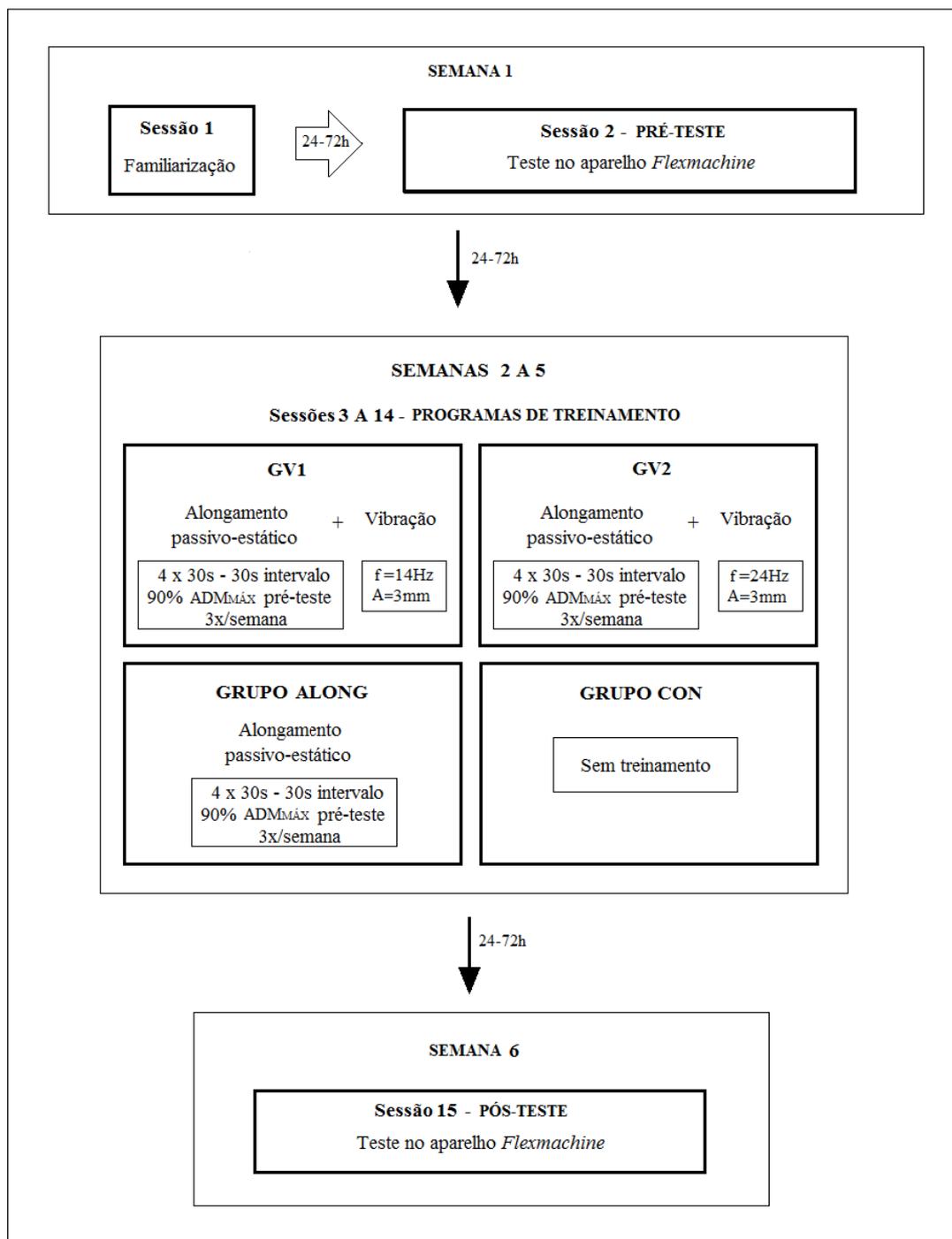
Condição		Idade (anos)	Massa Corporal (Kg)	Estatura (cm)
CON	Média ± Desvio Padrão	26,0 ± 4,4	75,0 ± 14,7	174,6 ± 7,1
	Amplitude	21,0 – 34,0	55,8 – 106,9	167,5 – 187,5
ALONG	Média ± Desvio Padrão	22,6 ± 3,1	73,9 ± 12,3	175,5 ± 5,5
	Amplitude	18,0 – 30,0	47,2 – 91,0	167,0 – 185,0
GV1	Média ± Desvio Padrão	22,0 ± 5,6	74,8 ± 12,1	177,9 ± 7,3
	Amplitude	18,0 – 35,0	57,6 – 95,4	165,0 – 188,5
GV2	Média ± Desvio Padrão	24,3 ± 5,0	70,4 ± 9,6	175,2 ± 6,1
	Amplitude	19,0 – 35,0	51,6 – 86,6	165,0 – 183,5

Grupos: CON (n=10), ALONG (n=12), GV1 (n=12) e GV2 (n=12).

3.3.4 Procedimentos

Durante o estudo, todos os voluntários foram submetidos a uma sessão de familiarização e duas sessões de teste (Pré e Pós-teste) no aparelho *Flexmachine*. Os indivíduos dos grupos GV1 e GV2 realizaram 12 sessões de alongamento da musculatura posterior da coxa com a combinação de vibração mecânica, e o grupo ALONG, realizou o mesmo treinamento sem vibração. Os voluntários do grupo controle (CON) permaneceram pelo mesmo período (quatro semanas) sem a realização de um treinamento específico (FIGURA 9).

Figura 9 – Protocolo de coleta de dados do Experimento 2



Legenda: A = amplitude de vibração , $ADM_{MÁX}$ = amplitude de movimento máxima , ALONG= Grupo Alongamento, CON = Grupo Controle, f = frequência de vibração, GV1 = Grupo Vibração 1, GV2 = Grupo Vibração 2.

Fonte: Elaboração própria.

Na sessão de familiarização foram realizadas medidas antropométricas e a aferição da massa do segmento perna-pé. Em seguida, os voluntários foram posicionados no aparelho *Flexmachine* e todos os ajustes realizados para o posicionamento do mesmo no aparelho foram registrados para serem

utilizados nos testes (procedimentos para mensuração das variáveis estudadas). Os voluntários receberam as instruções de funcionamento do aparelho e foram autorizados a iniciar a familiarização no aparelho *Flexmachine*. A familiarização consistiu da repetição do movimento passivo de extensão máxima do joelho para que os voluntários se acostumassem com os comandos e com o procedimento de avaliação no aparelho. Em seguida, os voluntários foram encaminhados a uma cadeira similar a do aparelho *Flexmachine* na qual o equipamento de vibração mecânica localizada foi acoplado, onde foram registrados todos os seus ajustes individuais. Nos voluntários do grupo ALONG foi aplicada uma série de 30s de alongamento dos músculos posteriores da coxa (intensidade = 90% da ADM máxima de extensão do joelho obtida na familiarização no aparelho *Flexmachine*) em ambos os membros inferiores, e nos indivíduos dos grupos GV1 e GV2 foi aplicado o mesmo alongamento combinado com o estímulo de vibração mecânica selecionado para ele previamente (frequência/amplitude: 3mm/14Hz ou 3mm/24Hz) em ambos os membros inferiores.

Para os testes no aparelho *Flexmachine*, os indivíduos foram posicionados no aparelho, sendo repetidas as instruções fornecidas durante a familiarização. Cada voluntário realizou seis tentativas válidas com cada lado para mensuração da ADM máxima de extensão do joelho, PSDA e torque máximo. As três primeiras tentativas foram realizadas para acomodação do tecido e a média das últimas três tentativas utilizada na análise dos dados. Os valores médios obtidos no pré e pós-testes foram utilizados para calcular o ganho médio das variáveis do estudo através da fórmula: Pós - Pré-teste. Resultados positivos indicaram um aumento nos valores da variável após a aplicação da vibração mecânica localizada, e negativos uma redução nos mesmos.

3.3.5 Instrumentação

3.3.5.1 Aparelho *Flexmachine*

O aparelho *Flexmachine* foi utilizado para a mensuração do torque máximo, ADM máxima de extensão passiva do joelho e PSDA de maneira sincronizada. Os procedimentos de posicionamento dos voluntários e utilização do equipamento foram os mesmos utilizados para o experimento 1, descritos no item 2.3.5.1, sendo analisados ambos os membros inferiores dos voluntários.

3.3.5.2 Equipamento de vibração mecânica localizada

O equipamento de vibração mecânica localizada foi utilizado para aplicar o estímulo de vibração mecânica sinusoidal localizada nos músculos posteriores de ambas as coxas durante o exercício de alongamento.

O procedimento de posicionamento dos voluntários foi o mesmo do experimento 1, descrito no item 2.3.5.2. Para a realização dos exercícios de alongamento, o pé do indivíduo foi apoiado em um suporte e preso por alças de velcro a um cabo de aço, permitindo a extensão passiva do joelho. O cabo de aço atravessa uma roldana e sua extensão é controlada por meio de uma catraca fixada à parede (FIGURA 10). A amplitude de movimento de extensão do joelho foi monitorada por um eletrogoniômetro posicionado no eixo de rotação do joelho, com um dos braços alinhado ao trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur e o outro braço alinhado ao maléolo lateral, garantindo assim a intensidade de 90% da $ADM_{MÁX}$ obtida no pré-teste do aparelho *Flexmachine*. O grupo ALONG realizou o exercício de alongamento dos músculos posteriores da coxa em ambos os membros inferiores sem o estímulo de vibração, e os grupos GV1 e GV2 realizaram o mesmo exercício de alongamento com sobreposição da vibração mecânica localizada bilateralmente. A ordem de aplicação do exercício de alongamento e/ou alongamento sobreposto a vibração nos membros inferiores em cada sessão foi aleatória.

FIGURA 10 – Posicionamento do voluntário no equipamento de vibração mecânica localizada durante a execução do exercício de alongamento



Fonte: Arquivo de fotos do BIOLAB.

3.3.5.3 Acelerômetro

Os procedimentos de posicionamento do equipamento e utilização do equipamento foram os mesmos adotados no experimento 1 e descritos no item 2.3.5.3. Os valores médios encontrados para as configurações dos parâmetros do estímulo de vibração utilizadas nos grupos de vibração foram: GV1 (frequência=13,67Hz, amplitude=3mm, aceleração=7,41m/s²) e GV2 (23,44Hz, 3mm, 23,0m/s²).

3.3.5.4 Medidas antropométricas

Os procedimentos de mensuração da massa corporal e estatura foram os mesmos adotados no experimento 1, conforme descritos no item 2.3.5.4.

3.3.6 Protocolo de Teste

3.3.6.1 ADM máxima, Torque máximo e PSDA

O protocolo de teste foi o mesmo adotado no experimento 1, descrito no item 2.3.6.1. Os testes foram realizados em ambos os membros inferiores, sendo mantida a sequência de avaliação pré-teste no pós-teste.

3.3.6.2 Cálculo da Rigidez passiva

O protocolo para o cálculo da rigidez passiva foi o mesmo adotado no experimento 1, descrito no item 2.3.6.2.

3.3.7 Protocolo de treinamento

Exercício de alongamento muscular

O programa de exercício de alongamento foi realizado três vezes por semana, com intervalo mínimo de 24 horas entre as sessões, durante quatro semanas, totalizando 12 sessões de alongamento muscular. A técnica de alongamento utilizada foi a passivo-estática com quatro repetições de 30 segundos de duração, pausa de 30 segundos, totalizando 120s de alongamento por sessão, e duração total de treinamento de 1440s. A contagem dos 30s de alongamento iniciou-se a partir do momento em que a ADM determinada para o indivíduo foi alcançada.

O alongamento muscular com ou sem a sobreposição do estímulo de vibração foi aplicado em ambos os membros inferiores dos indivíduos, sendo realizado na cadeira onde foi acoplado o equipamento de vibração, que possui as mesmas padronizações de posicionamento do voluntário durante os testes realizados no aparelho *Flexmachine*.

Os valores relacionados ao estímulo da carga de treinamento adotados neste estudo foram baseados em estudos prévios. A técnica de alongamento passivo-estática foi escolhida devido a sua simplicidade e maior controle de execução (MALLIAROPOULOS *et al.*, 2004; THACKER *et al.*, 2004; WORRELL; SMITH; WINEGARDNER, 1994).

A ADM foi utilizada como parâmetro de intensidade, sendo determinada na primeira semana uma intensidade de 90% da $ADM_{MÁX}$ obtida no pré-teste da sessão 2. Para a atualização de intensidade (ADM) nas semanas seguintes, foi realizado o teste no aparelho *Flexmachine* a cada semana (WEIR *et al.*, 1997), sendo adotada na 2^a, 3^a e 4^a semana de treinamento a intensidade de 90% da $ADM_{MÁX}$ obtida pré-treino nas sessões 6, 9 e 12, respectivamente. Nas sessões de treino, o voluntário deveria alcançar a intensidade de 90% da $ADM_{MÁX}$ em todas as repetições, sendo que, a partir da segunda repetição, o indivíduo poderia alcançar, se conseguisse, maiores valores de ADM ao longo da repetição.

O período de quatro semanas escolhido para este estudo está baseado em estudos anteriores, em que foi observado um aumento significativo da ADM após 4 semanas de treinamento da flexibilidade (AYALA *et al.*, 2010; YLINEN *et al.*, 2009) e de treinamento da flexibilidade com sobreposição da vibração (SANDS *et al.*, 2006; VAN DEN TILLAAR, 2006). A frequência de 3 vezes por semana pode ser considerada eficaz para essa capacidade, visto que Roberts e Wilson (1999) obtiveram ganhos significativos de ADM com a frequência de 3 vezes por semana.

A duração do estímulo de alongamento proposta baseia-se nos estudos de Bandy e Irion (1994), Bandy *et al.* (1997), Borms *et al.* (1987), que definiram 30s como uma duração suficiente para gerar ganhos significativos na ADM. Com relação ao número de séries, Taylor *et al.* (1990) verificaram que a maior redução do relaxamento sob tensão ocorria nas primeiras 4 séries do que nas tentativas subsequentes (5^a - 10^a), indicando que as maiores adaptações da UMT ocorreram nas 4 séries iniciais. Esses resultados foram também comprovados em humanos por Magnusson *et al.* (1996b), McHugh *et al.* (1992) e Weir *et al.* (2005).

Vibração mecânica localizada

Os parâmetros do estímulo de vibração mecânica localizada (aceleração, frequência e amplitude da vibração) utilizados neste estudo foram determinados de acordo com os resultados do experimento I. Foi encontrado um aumento significativo relativo da $ADM_{MÁX}$ ($V1=4,1\%$, $V2=4,0\%$, $V3=5,5\%$ e

V4=3,9%) e da ADM_{PSDA} (V1=4,5%, V2=5,8%, V3=8,3% e V4=5,6%) sem diferença entre as condições, o que levanta o questionamento se esses efeitos persistem além da exposição aguda. De acordo com resultados do estudo de Eklund e Hagbarth (1966), é possível que, a manipulação da frequência da vibração seja capaz de alterar mais a resposta do RVT do que a manipulação da amplitude da vibração. Assim, foram mantidas as duas frequências para o estudo crônico. Como não foi encontrada nenhuma diferença entre as configurações e alguns voluntários do experimento 1 relataram um desconforto com a frequência de 24Hz e amplitude de 6mm, foi utilizado apenas um valor de amplitude da vibração (3mm).

Dessa forma, as configurações dos parâmetros do estímulo das condições V1 (frequência=14Hz, amplitude=3mm) e V3 (f=24Hz, A=3mm) aplicadas no experimento 1 foram utilizadas no experimento 2 nos grupos em o alongamento muscular foi realizado sobreposto à vibração mecânica localizada. A vibração mecânica localizada foi aplicada durante a execução do exercício de alongamento em ambos os membros inferiores, apenas nos voluntários dos grupos GV1 (f=14Hz, A=3mm) e GV2 (f=24Hz, A=3mm).

3.3.8 Análise estatística

O membro inferior direito dos voluntários foi aleatoriamente selecionado para a análise estatística e apenas os dados relacionados a ele foram utilizados na análise dos dados, garantindo desta forma o tamanho amostral calculado previamente.

A análise descritiva foi realizada para todas as variáveis estudadas, assim como o teste de normalidade (Shapiro-Wilk). A análise de confiabilidade dos procedimentos da coleta foi realizada através do cálculo do coeficiente de correlação intraclassa ($CCI_{3,1}$), do erro padrão da medida (EPM) absoluto e percentual (percentual do EPM em relação à média dos valores pré-teste) e do valor da estatística F na ANOVA (para verificar a presença de erro sistemático) (WEIR, 2005). Para esse procedimento, os valores pré e pós-teste obtidos no grupo Controle (CON) foram utilizados. A classificação adotada para os valores de CCI foram “muito baixo” (0,00 – 0,25), “baixo” (0,26 – 0,49), “moderado”

(0,50 – 0,69), “alto” (0,70 – 0,89) e “muito alto” (0,90 – 1,00) (PORTNEY e WATKINS, 2009; WEIR, 2005).

A análise de variância, com um fator, foi utilizada para determinar se o ganho médio (Pós - Pré-teste) de cada variável ($ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$ e rigidez passiva) diferiu entre os Grupos (ALONG, CON, GV1 e GV2). Uma segunda análise de variância, com um fator, foi utilizada para determinar se a média da diferença entre o pós e o pré-teste diferiu entre os grupos (ALONG, CON, GV1 e GV2). Se o teste F da ANOVA fosse significativo, o teste *post hoc* de Tukey foi utilizado para localizar as diferenças entre os grupos estudados. O poder estatístico (ω) das análises de variância e o *Eta Squared* (η^2) foram calculados para demonstrar a magnitude das diferenças entre os grupos (pequeno $\leq 0,01$, médio $\geq 0,06$, grande $\geq 0,14$) (COHEN, 1988).

O nível de significância adotado foi de $\alpha \leq 0,05$ e os procedimentos estatísticos foram realizados no pacote estatístico SPSS *Statistics* 17.0 (*Statistical Package for Social Science*, SPSS, Inc.).

3.4 RESULTADOS

Os dados apresentaram distribuição normal. Os dados descritivos de todas as variáveis estão apresentados no Apêndice D. O coeficiente de correlação intraclasse ($CCI_{3,1}$) e o erro padrão da medida, absoluto e relativo, para as variáveis $ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} , $TORQUE_{PSDA}$ e Rigidez passiva estão descritos na tabela 04.

Tabela 04

Resultados relativos à análise de confiabilidade da medida das variáveis do Experimento 2 verificadas via CCI e EPM.

Variável	CCI	EPM	EPM%	p (teste F)
$ADM_{MÁX}$	0,96	3,59 (^o)	3,18	0,28
$TORQUE_{MÁX}$	0,96	4,38 (Nm)	7,02	0,14
ADM_{PSDA}	0,97	3,37 (^o)	4,19	0,73
$TORQUE_{PSDA}$	0,95	3,72 (Nm)	11,13	0,43
Rigidez passiva	0,73	0,01 (N.m/ ^o)	13,72	0,32

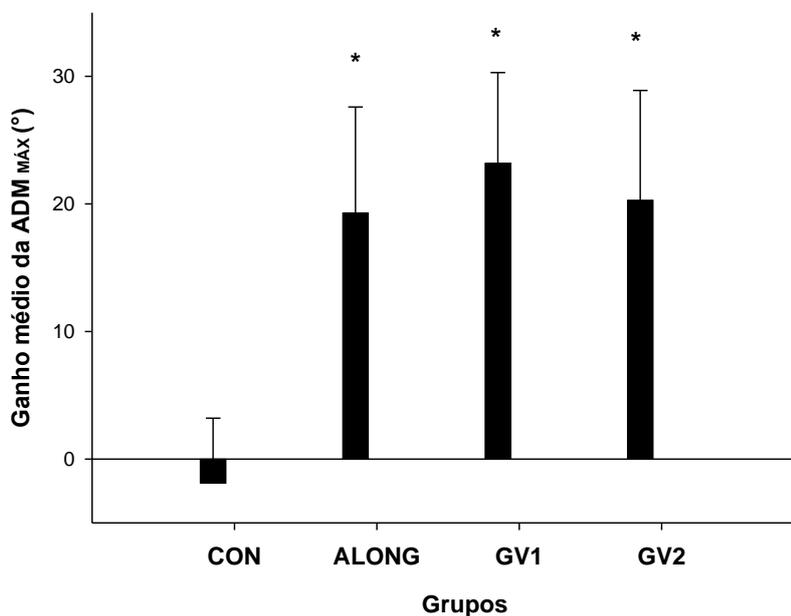
CCI – coeficiente de correlação intraclasse; EPM – erro padrão da medida; EPM% – percentual do EPM em relação à média dos valores pré-teste; $ADM_{MÁX}$ – amplitude de movimento máxima; $TORQUE_{MÁX}$ – torque máximo; ADM_{PSDA} – amplitude de movimento correspondente à primeira percepção subjetiva do desconforto ao alongamento; $TORQUE_{PSDA}$ – torque correspondente à primeira percepção subjetiva do desconforto ao alongamento; n=10.

3.4.1 $ADM_{MÁX}$

Na análise estatística realizada para comparar dos valores de $ADM_{MÁX}$ pré-teste entre os grupos (fator Grupo), a ANOVA, com um fator, não mostrou diferença significativa nos valores de $ADM_{MÁX}$ pré-teste entre os grupos CON ($113,0 \pm 12,5^{\circ}$), ALONG ($105,5 \pm 11,9^{\circ}$), GV1 ($102,5 \pm 12,9^{\circ}$) e GV2 ($104,7 \pm 13,8^{\circ}$) ($F_{(3,42)}=1,348$; $p=0,272$; $\eta^2=0,0013$; $\omega=0,332$).

A ANOVA com um fator, mostrou diferença nos valores do ganho médio de $ADM_{MÁX}$ entre os grupos ($F_{(3,42)}=24,500$; $p<0,01$; $\eta^2=0,2276$; $\omega=1,000$). Na comparação entre os grupos foi identificado que a média da diferença de $ADM_{MÁX}$ do grupo CON ($-1,9 \pm 5,1^{\circ}$) foi significativamente menor que a dos grupos ALONG ($19,3 \pm 8,3^{\circ}$, $p<0,01$), GV1 ($23,2 \pm 7,1^{\circ}$, $p<0,01$) e GV2 ($20,3 \pm 8,6^{\circ}$, $p<0,01$), sem diferença entre os grupos que realizaram treinamentos (Figura 11).

FIGURA 11 – Ganho médio da $ADM_{MÁX}$ dos grupos.



Legenda: $ADM_{MÁX}$ – amplitude de movimento máxima; CON – Grupo Controle; ALONG – Grupo Alongamento; GV1 – Grupo Vibração (frequência = 14Hz, amplitude=3mm) 1; GV2 – Grupo Vibração 2 (24Hz, 3mm).

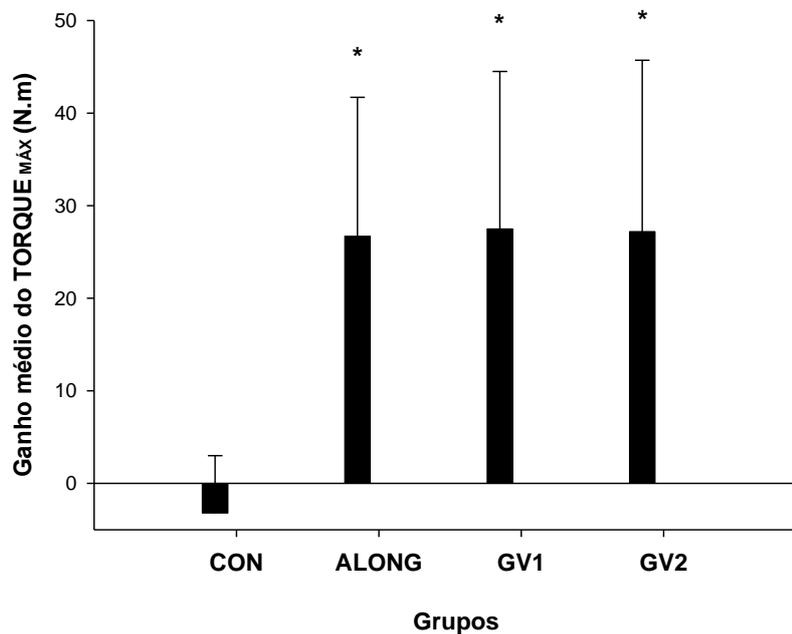
* Diferente do Grupo Controle ($p<0,01$).

2.4.2 TORQUE_{MÁX}

Na análise estatística para o fator Grupo, a ANOVA, não mostrou diferença nos valores de $TORQUE_{MÁX}$ pré-teste entre os grupos CON ($64,4 \pm 13,9\text{Nm}$), ALONG ($65,2 \pm 16,2\text{Nm}$), GV1 ($61,3 \pm 17,2\text{Nm}$) e GV2 ($63,2 \pm 14,0\text{Nm}$) ($F_{(3,42)}=0,143$; $p=0,933$; $\eta^2=0,0005$; $\omega=0,074$).

A ANOVA com um fator, mostrou diferença no ganho médio de $TORQUE_{MÁX}$ entre os grupos ($F_{(3,42)}=10,331$; $p<0,01$; $\eta^2=0,1980$; $\omega=0,997$). Na comparação entre os grupos foi identificado que a média da diferença de $TORQUE_{MÁX}$ do grupo CON ($-3,2 \pm 6,2\text{Nm}$) foi significativamente menor que a dos grupos ALONG ($26,7 \pm 15,0\text{Nm}$; $p<0,01$), GV1 ($27,5 \pm 17,0\text{Nm}$; $p<0,01$) e GV2 ($27,2 \pm 18,5\text{Nm}$; $p<0,01$), sem diferença entre os grupos que realizaram treinamentos (Figura 12).

FIGURA 12 – Ganho médio do $TORQUE_{MÁX}$ dos grupos.



Legenda: $TORQUE_{MÁX}$ – torque máximo; CON – Grupo Controle; ALONG – Grupo Alongamento; GV1 – Grupo Vibração (frequência = 14 Hz, amplitude=3mm) 1; GV2 – Grupo Vibração 2 (24Hz, 3mm).

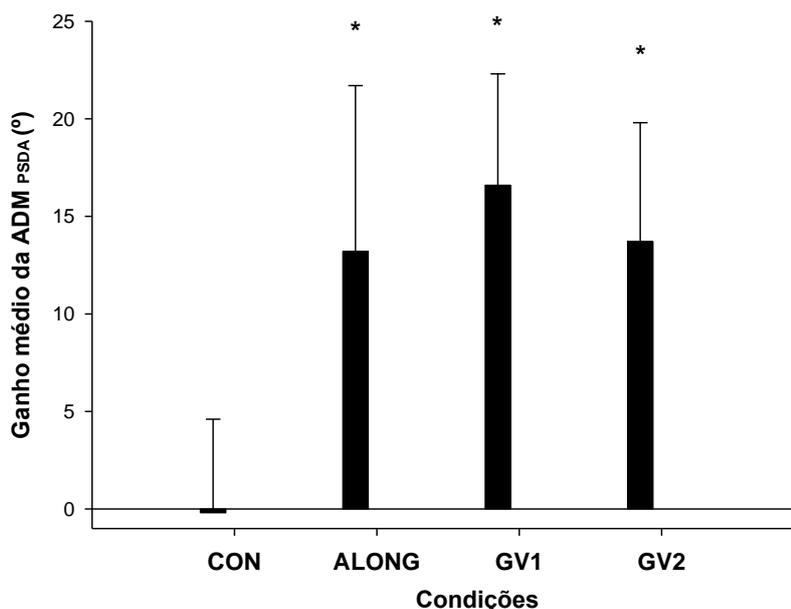
* Diferente do Grupo Controle ($p<0,01$).

2.4.3 ADM_{PSDA}

Na análise estatística para o fator Grupo, a ANOVA, não mostrou diferença nos valores de ADM_{PSDA} pré-teste entre os grupos CON ($80,5 \pm 16,0^\circ$), ALONG ($72,0 \pm 17,0^\circ$), GV1 ($69,8 \pm 16,1^\circ$) e GV2 ($76,2 \pm 9,9^\circ$) ($F_{(3,42)}=1,089$; $p=0,364$; $\eta^2=0,0028$; $\omega=0,273$).

A ANOVA com um fator, mostrou diferença no ganho médio de ADM_{PSDA} entre os grupos ($F_{(3,42)}=13,853$; $p<0,01$; $\eta^2=0,1870$; $\omega=1,000$). Na comparação entre os grupos foi identificado que a média da diferença de ADM_{PSDA} do grupo CON ($-0,2 \pm 4,8^\circ$) foi significativamente menor que a dos grupos ALONG ($13,2 \pm 8,5^\circ$, $p<0,01$), GV1 ($16,6 \pm 5,7^\circ$, $p<0,01$) e GV2 ($13,7 \pm 6,1^\circ$, $p<0,01$), sem diferença entre os grupos que realizaram treinamentos (Figura 13).

FIGURA 13 – Ganho médio da ADM_{PSDA} dos grupos.



Legenda: ADM_{PSDA} – amplitude de movimento correspondente à primeira sensação de alongamento; CON – Grupo Controle; ALONG – Grupo Alongamento; GV1 – Grupo Vibração (frequência=14Hz, amplitude=3mm) 1; GV2 – Grupo Vibração 2 (24Hz, 3mm).

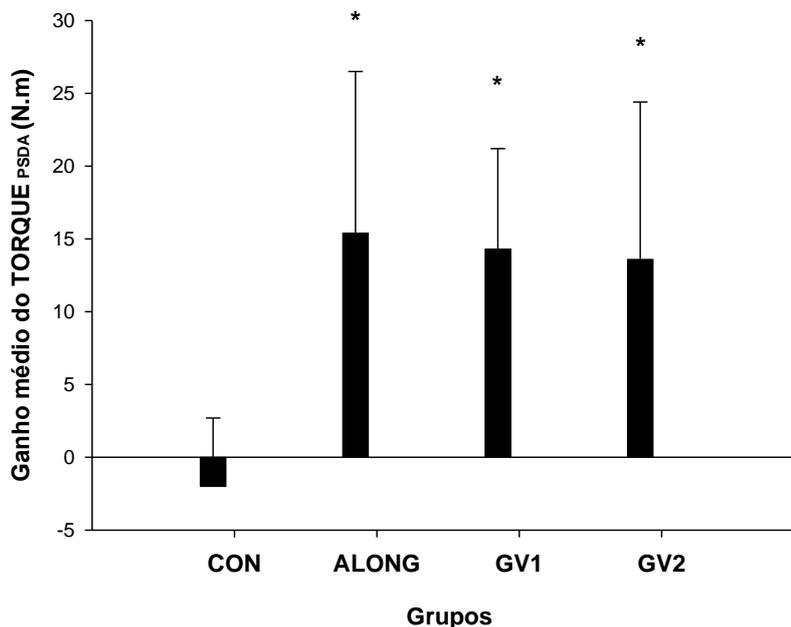
* Diferente do Grupo Controle ($p<0,01$).

2.4.4 TORQUE $_{PSDA}$

Na análise estatística para o fator Grupo, a ANOVA, não mostrou diferença nos valores de $TORQUE_{PSDA}$ pré-teste entre os grupos CON ($33,6 \pm 13,8Nm$), ALONG ($25,7 \pm 11,1Nm$), GV1 ($25,5 \pm 11,3Nm$) e GV2 ($33,4 \pm 11,9Nm$) ($F_{(3,42)}=1,656$; $p=0,191$; $\eta^2=0,0154$; $\omega=0,402$).

A ANOVA com um fator mostrou diferença no ganho médio de $TORQUE_{PSDA}$ entre os grupos ($F_{(3,42)}=8,446$; $p<0,01$; $\eta^2=0,1834$; $\omega=0,99$). Na comparação entre os grupos foi identificado que a média da diferença de $TORQUE_{PSDA}$ do grupo CON ($-2,0 \pm 4,7Nm$) foi significativamente menor que a dos grupos ALONG ($15,4 \pm 11,1Nm$, $p<0,01$), GV1 ($14,3 \pm 6,9Nm$, $p<0,01$) e GV2 ($13,6 \pm 10,8Nm$, $p<0,01$), sem diferença entre os grupos que realizaram treinamentos (Figura 14).

FIGURA 14 – Ganho médio do $TORQUE_{PSDA}$ dos grupos.



Legenda: $TORQUE_{PSDA}$ – torque correspondente à primeira sensação de alongamento; CON – Grupo Controle; ALONG – Grupo Alongamento; GV1 – Grupo Vibração (frequência=14Hz, amplitude=3mm) 1; GV2 – Grupo Vibração 2 (24Hz, 3mm).

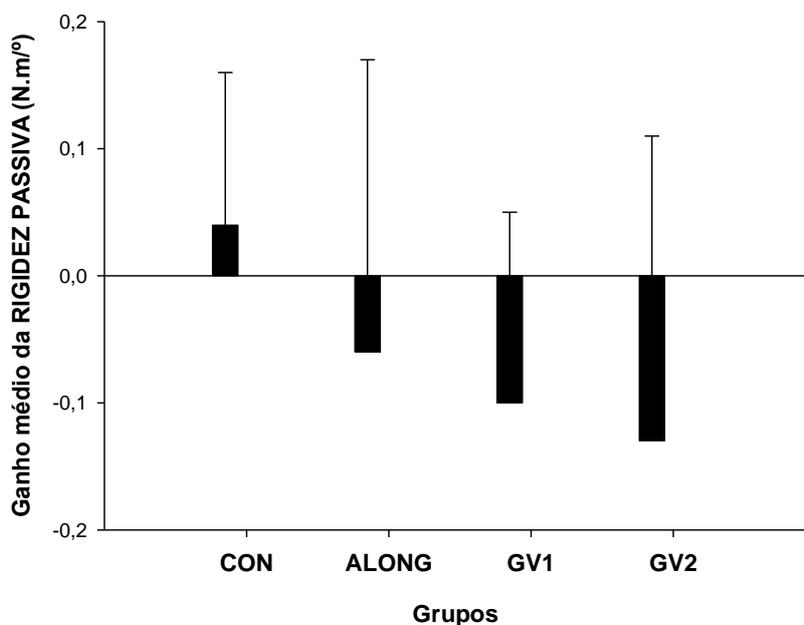
* Diferente do Grupo Controle ($p<0,01$).

2.4.5 RIGIDEZ PASSIVA

Na análise estatística para o fator Grupo, a ANOVA, não mostrou diferença nos valores de rigidez passiva pré-teste entre os grupos CON ($0,61 \pm 0,14 \text{ Nm}^0$), ALONG ($0,71 \pm 0,16 \text{ Nm}^0$), GV1 ($0,71 \pm 0,22 \text{ Nm}^0$) e GV2 ($0,73 \pm 0,23 \text{ Nm}^0$) ($F_{(3,42)}=0,819$; $p=0,490$; $\eta^2=0,0039$; $\omega=0,212$).

A ANOVA com um fator não mostrou diferença no ganho médio da rigidez passiva entre os grupos CON ($0,04 \pm 0,12 \text{ Nm}^0$) e os grupos ALONG ($-0,06 \pm 0,23 \text{ Nm}^0$), GV1 ($-0,10 \pm 0,15 \text{ Nm}^0$) e GV2 ($-0,13 \pm 0,24 \text{ Nm}^0$) ($F_{(3,42)}=1,390$; $p=0,259$; $\eta^2=0,0816$; $\omega=0,342$) (Figura 15).

FIGURA 15 – Ganho médio da rigidez passiva dos grupos.



Legenda: CON – Grupo Controle; ALONG – Grupo Alongamento; GV1 – Grupo Vibração (frequência=14Hz, amplitude=3mm) 1; GV2 – Grupo Vibração 2 (24Hz, 3mm).

3.5 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar o efeito crônico do treinamento da flexibilidade combinado com diferentes configurações do estímulo de vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa sobre a $ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} , $TORQUE_{PSDA}$ e rigidez passiva. As variáveis apresentaram valores de CCI classificados como alto (rigidez passiva) e muito alto ($ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$), demonstrando que os procedimentos de medida realizados neste estudo foram confiáveis. Como não foram encontradas diferenças significativas entre o pré-teste dos grupos em nenhuma das variáveis estudadas, conclui-se que as diferenças nas comparações realizadas, quando verificadas, podem ser atribuídas exclusivamente à intervenção realizada. Sendo assim, após quatro semanas de treinamento com e sem sobreposição de vibração mecânica localizada na musculatura posterior da coxa, foi encontrado um aumento significativo no ganho médio de $ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$ nos grupos ALONG, GV1 e GV2, quando comparados ao grupo CON.

Esses resultados confirmam a primeira hipótese do estudo na qual foi esperado que independente da configuração do estímulo de vibração utilizado, a $ADM_{MÁX}$, $TORQUE_{MÁX}$, ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$ aumentariam de forma significativa após o treinamento dos músculos posteriores da coxa com a técnica de alongamento passiva-estática sobreposta à vibração mecânica localizada. No entanto, as alterações verificadas em todas variáveis foram similares entre os grupos de treinamento, rejeitando a terceira hipótese desse estudo, que foi formulada considerando que o treinamento dos músculos posteriores da coxa com a técnica de alongamento passiva-estática sobreposta à vibração mecânica localizada causaria um aumento significativamente maior nestas variáveis quando comparado com o mesmo treinamento sem vibração, independente da configuração do estímulo de vibração utilizado.

Os resultados de similaridade encontrados na rigidez passiva após as quatro semanas de treinamento rejeitam a segunda e a quarta hipóteses postuladas no presente estudo. De acordo com a segunda hipótese era esperado que, independente da configuração do estímulo de vibração utilizado, a rigidez passiva reduziria de forma significativa após o treinamento dos músculos posteriores da coxa com a técnica de alongamento passiva-estática

sobreposta à vibração mecânica localizada. Na quarta hipótese foi postulado que o treinamento dos músculos posteriores da coxa com a técnica de alongamento passiva-estática sobreposta à vibração mecânica localizada promoveria uma redução significativamente maior na rigidez passiva quando comparado com o mesmo treinamento sem vibração, independente da configuração do estímulo de vibração utilizada.

3.5.1 $ADM_{MÁX}$ e $TORQUE_{MÁX}$

Os resultados do presente estudo mostraram um aumento significativo no ganho da $ADM_{MÁX}$ e do $TORQUE_{MÁX}$ para os grupos de treinamento, sem diferença no ganho destas variáveis entre o treinamento da flexibilidade realizado com ou sem a sobreposição da vibração mecânica localizada na musculatura posterior da coxa.

Após quatro semanas de treinamento, os grupos ALONG, GV1 e GV2 apresentaram um ganho médio relativo da $ADM_{MÁX}$ de 18,3%, 22,6% e 19,4% e do $TORQUE_{MÁX}$ de 41,0%, 44,9% e 43,0%, respectivamente. Esse resultado demonstra que o treinamento da flexibilidade com ou sem a sobreposição da vibração localizada utilizados no presente estudo foram igualmente eficazes para gerar aumento da $ADM_{MÁX}$ e do $TORQUE_{MÁX}$.

Após o treinamento da capacidade flexibilidade é esperado um aumento da $ADM_{MÁX}$, resultado esse já demonstrado em estudos prévios envolvendo o treinamento da flexibilidade com (ISSURIN; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1994) e sem a sobreposição da vibração mecânica localizada (BANDY; IRION; BRIGGLER, 1997; MARSHAL; CASHMAN; CHEEMA, 2011; PEIXOTO *et al.*, 2015; ROBERTS e WILSON, 1999). No entanto, o efeito do treinamento da capacidade flexibilidade com sobreposição de vibração mecânica localizada sobre o $TORQUE_{MÁX}$ não havia sido ainda investigado na literatura disponível.

Em vários estudos prévios sobre os efeitos do treinamento da flexibilidade (MAGNUSSON *et al.*, 1996b; MARSHALL; CASHMAN; CHEEMA, 2011; REID e MCNAIR, 2004; YLINEN *et al.*, 2009) a curva torque passivo – ADM foi registrada, sendo mostrado o seu comportamento exponencial. Estudos que investigaram o efeito crônico do exercício de alongamento na alteração destas variáveis verificaram consistentemente um aumento do

TORQUE_{MÁX} associado ao aumento da ADM_{MÁX} (HALBERTSMA e GÖEKEN, 1994; LAROCHE e CONNOLLY, 2006). Blazeovich *et al.* (2012) encontraram uma correlação positiva entre o pico de torque e a ADM_{MÁX} ($r = 0,69$; $p < 0,001$), reforçando ainda mais esta expectativa. Laroche e Connolly (2006) verificaram um aumento significativo de 9,5% para a ADM_{MÁX} e de 30,1% para o TORQUE_{MÁX} ($p < 0,05$) após quatro semanas de treinamento dos músculos flexores do joelho com a técnica de alongamento passivo-estática, valores estes inferiores aos encontrados no grupo que realizou apenas o treinamento de flexibilidade no presente estudo (ganho médio ADM_{MÁX}=18,3% e TORQUE_{MÁX}=41,0%). Ylinen *et al.* (2009) também avaliaram o ganho da ADM_{MÁX} após 4 semanas de treinamento domiciliar com exercícios de alongamento passivo-estático da musculatura posterior do joelho em 12 homens fisicamente ativos, e encontraram um aumento significativo de 24,5% na ADM_{MÁX} ($p < 0,01$), valor este similar ao encontrado no presente estudo.

A diferença observada no ganho da ADM_{MÁX} e TORQUE_{MÁX} entre os estudos pode ser decorrente de determinadas características metodológicas dos mesmos. No presente estudo, a mensuração da ADM passiva de extensão do joelho e a execução do exercício de alongamento foram realizadas em instrumentos que permitiam um mesmo posicionamento do indivíduo, garantindo uma maior especificidade entre o processo de mensuração e de aplicação do estímulo de alongamento. Dessa forma, foi possível identificar com maior precisão as alterações provocadas pelo alongamento, enquanto nos estudos de Laroche e Connolly (2006) e Ylinen *et al.* (2009) este aspecto não foi considerado. Isso pode ter conduzido para resultados subestimados em relação ao ganho da ADM_{MÁX} e TORQUE_{MÁX} após o treinamento da flexibilidade.

Durante uma manobra de alongamento, diferentes estruturas músculo-tendíneas (músculos sinergistas, tendões, aponeuroses) e articulares (cápsulas) contribuem para o TORQUE_{MÁX} (RIEMANN *et al.*, 2001), embora permaneça um desafio diferenciar o nível de participação de cada uma dessas estruturas. Dessa forma, o torque de resistência *in vivo* gerado pela UMT poderia ser resultado dos mecanismos mecânicos e neurais. No entanto, Magnusson *et al.* (1997) mostraram que diferentes valores de TORQUE_{MÁX} poderiam ser alcançados sem atividade EMG significativa durante o

alongamento, indicando que o componente mecânico seria um aspecto chave comparado com os mecanismos neurais. Considerando que estruturas músculo-tendíneas e articulares estão relacionadas com a resistência ao alongamento e que essa resistência aumenta com o aumento da ADM, um aumento da $ADM_{MÁX}$ poderia resultar, conseqüentemente, em um aumento do $TORQUE_{MÁX}$.

No presente estudo, não foi verificada diferença significativa entre os treinamentos da flexibilidade realizados com e sem a sobreposição da vibração localizada, sendo que a hipótese formulada indicava uma expectativa de superioridade dos grupos de alongamento com sobreposição da vibração localizada em comparação àquele sem vibração. Em alguns estudos foi encontrado um maior ganho na ADM quando o exercício de alongamento foi realizado com a sobreposição da vibração localizada (ISSURIN; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1994) ou da vibração de corpo todo (FELAND *et al.*, 2010; VAN DEN TILLAAR, 2006).

No entanto, apenas Issurin, Lieberman e Tenenbaum (1994) verificaram o efeito da sobreposição da vibração mecânica localizada aos exercícios de alongamento. Os autores verificaram um ganho relativo de 19,0% na $ADM_{MÁX}$ no grupo que realizou três semanas de treinamento dos músculos posteriores da coxa com as técnicas de alongamento passivo-estática e dinâmica e um ganho de 44,0% na $ADM_{MÁX}$ no grupo que realizou o mesmo exercício com sobreposição de vibração localizada na extremidade distal da perna ($f=44\text{Hz}$, $A=3\text{mm}$). Tais achados não corroboram com os resultados do presente estudo de ganho médio similar da $ADM_{MÁX}$ entre o grupo que realizou o treinamento apenas com o alongamento (ganho médio de 18,3% na $ADM_{MÁX}$) e os grupos em que foi aplicado um menor (ganho médio de 22,6% da $ADM_{MÁX}$) e um maior valor de frequência da vibração localizada (ganho médio de 19,4% da $ADM_{MÁX}$). No entanto, os resultados do estudo de Issurin, Lieberman e Tenenbaum (1994) devem ser interpretados com cautela, pois no estudo não foi relatada a confiabilidade dos testes de avaliação da $ADM_{MÁX}$, não sendo possível afirmar se a avaliação da $ADM_{MÁX}$ utilizada no estudo gerou ou não resultados superestimados do ganho da $ADM_{MÁX}$. No presente estudo, o procedimento de medida da $ADM_{MÁX}$ utilizado apresentou uma confiabilidade

muito alta (CCI=0,96, EPM%=3,18%), reforçando a consistência dos resultados encontrados.

Além disto, para verificar se a manipulação em um determinado aspecto de um protocolo de treinamento tem impacto nas respostas do organismo é necessário que todas as características do protocolo de treinamento estejam equiparadas, excetuando o aspecto a ser manipulado. Analisando o estudo de Issurin, Lieberman e Tenenbaum (1994) não foi possível, por exemplo, verificar claramente como a intensidade do alongamento com e sem vibração mecânica localizada foi estabelecida e controlada durante o treinamento. No presente estudo, a intensidade de todos os grupos de treinamento foi determinada semanalmente. Assim, o valor correspondente a 90% da $ADM_{MÁX}$, avaliada a cada semana, era utilizado para indicar a intensidade da sessão de treinamento. A intensidade parece ter uma influência nas respostas quando um protocolo de alongamento é prescrito (FREITAS *et al.*, 2014). Esses autores verificaram que uma maior intensidade do estímulo de alongamento (*i.e.*, ADM alcançada com 100% do torque máximo registrado em um teste; P100%) resultou em aumento significativo da ADM e Torque, enquanto estímulos menores (P75% e P50%) não provocaram alterações. Assim, é plausível considerar que, o não controle da intensidade do alongamento pode influenciar os resultados a serem encontrados. Neste sentido, o controle e a padronização da intensidade do alongamento representa um aspecto metodológico a ser considerado.

Dessa forma, a expectativa de um maior ganho na ADM proporcionado pela associação entre os efeitos do treinamento da flexibilidade e da vibração sobre a ADM decorrentes da literatura (OSAWA e OGUMA, 2013) não se confirmou no presente estudo. A argumentação apresentada por Issurin, Liebermann e Tenenbaum (1994) tinha relação com a possibilidade de realizar o exercício de alongamento com maiores intensidades. Isso, considerando uma possível redução da sensação de dor provocada pela vibração mecânica durante o alongamento (LUNDEBERG; NORDEMAR; OTTOSON, 1984). Assim, o indivíduo poderia alcançar maiores ADMs, uma vez que, o seu limiar de dor/desconforto foi alterado com a vibração mecânica. Considerando este raciocínio, no presente estudo, os voluntários foram informados que, a partir da 2ª repetição do alongamento (com e sem vibração mecânica localizada)

poderiam alcançar uma maior ADM (>90%). Este procedimento permitiria, caso houvesse um efeito de “analgesia” do estímulo de vibração mecânica, o voluntário alcançar maiores intensidades naquela sessão de treinamento. Considerando que isso poderia ser repetir ao longo do período de treinamento, resultaria possivelmente em maiores adaptações. Contudo, caso esta condição “favorável” tenha de fato ocorrido, o impacto não foi grande o suficiente para provocar adaptações distintas entre os grupos experimentais.

Como não foram encontradas diferenças entre os grupos experimentais, as respostas verificadas no presente estudo não foram analisadas considerando uma participação determinante dos mecanismos associados com a vibração mecânica localizada. Segundo Weppeler e Magnusson (2010), o aumento na $ADM_{MÁX}$ verificado após o treinamento da flexibilidade pode ser justificado por meio de alterações biomecânicas ou sensoriais, no entanto, é sugerido em vários estudos que investigaram os efeitos do treinamento da flexibilidade sobre a ADM que o aumento da $ADM_{MÁX}$ observado após 3 a 8 semanas de treinamento ocorre devido às modificações sensoriais. Já o aumento na $ADM_{MÁX}$ associado ao treinamento com a vibração mecânica tem sido relacionado a um relaxamento muscular induzido pela vibração, ao aumento no fluxo sanguíneo muscular acompanhado de um aumento na temperatura muscular; e à alteração no limiar de dor do indivíduo, com consequente aumento na sua tolerância ao alongamento (ISSURIN; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1994; VAN DEN TILLAAR, 2006). Contudo, no presente estudo, a participação desses mecanismos é limitada para explicar as alterações na $ADM_{MÁX}$, assim como, nas demais respostas encontradas, uma vez que não foi observada uma maior efetividade da sobreposição da vibração mecânica localizada ao treinamento da flexibilidade.

As alterações biomecânicas associadas ao aumento da $ADM_{MÁX}$ com o treinamento da flexibilidade são compreendidas como adaptações da UMT que geram uma modificação da curva torque passivo – ADM (GUISSARD e DUCHATEAU, 2004; MAHIEU *et al.*, 2007; MARSHALL; CASHMAN; CHEEMA, 2011). As alterações da curva torque passivo – ADM estão relacionadas com o aumento do número de sarcômeros em série e/ou às adaptações do tecido conectivo. O aumento no número de sarcômeros em série foi verificado em animais por meio do deslocamento da curva torque passivo – ADM para a

direita (WILLIAMS e GOLDSPIK, 1978), no entanto a participação desta adaptação tecidual e sua relevância para o entendimento do aumento da $ADM_{MÁX}$ em humanos ainda necessitam ser mais investigadas, permanecendo ainda no âmbito da especulação. As adaptações do tecido conectivo parecem estar relacionadas à alteração na complacência da UMT. Essa alteração seria indicada pelo aumento da ADM quando um mesmo valor de torque for aplicado, possivelmente devido à redução na rigidez passiva. No entanto, no presente estudo não foi verificada uma redução na rigidez passiva após quatro semanas de alongamento passivo-estático na musculatura posterior da coxa, o que exclui essa teoria como justificativa para o ganho da $ADM_{MÁX}$ e reforça a ideia de que as alterações sensoriais seriam as principais responsáveis pelo ganho na $ADM_{MÁX}$ após o treinamento. As alterações sensoriais estão relacionadas à alteração da tolerância do indivíduo ao estímulo de alongamento. O aumento da $ADM_{MÁX}$ acompanhado do aumento do $TORQUE_{MÁX}$ sem alteração da rigidez passiva indica uma modificação na percepção final de dor do indivíduo, tornando-o mais tolerante ao estímulo de alongamento. Segundo Wepler e Magnusson (2010) não está claro ainda se essa adaptação da percepção é um fenômeno que ocorre em nível periférico ou central. Fatores psicológicos também podem estar envolvidos, pois a percepção dos indivíduos pode ser alterada apenas pelo fato deles acreditarem que o alongamento irá gerar um ganho na ADM, uma vez que a $ADM_{MÁX}$ é determinada pela sensação subjetiva individual.

Embora a expectativa da participação dos mecanismos relacionados ao ganho da $ADM_{MÁX}$ após a vibração mecânica era de potencializar os ganhos da ADM quando a vibração mecânica localizada fosse sobreposta ao treinamento com o alongamento muscular (OSAWA e OGUMA, 2013), no presente estudo, parece que esses mecanismos resultaram em pouca interferência nas adaptações, uma vez que não foi confirmada uma efetividade da sobreposição da vibração mecânica localizada ao treinamento da flexibilidade sobre o ganho da ADM. Como ainda são escassos os dados existentes sobre os efeitos da sobreposição da vibração mecânica localizada ao treinamento da flexibilidade, ainda é precoce apontar conclusões sobre o impacto desta estratégia de treinamento sobre as adaptações da UMT. Dessa forma, mais estudos são necessários, mantendo o rigor no controle das características do protocolo de

alongamento e manipulando apenas as características do estímulo de vibração mecânica localizada para permitir que mais dados sejam disponibilizados para comparações.

3.5.2 ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$

Os resultados do presente estudo mostraram um aumento significativo no ganho da ADM_{PSDA} e do $TORQUE_{PSDA}$ para os grupos de treinamento, sem diferença entre o treinamento da flexibilidade realizado com ou sem a sobreposição da vibração mecânica localizada na musculatura posterior da coxa.

Após quatro semanas de treinamento, os grupos ALONG, GV1 e GV2 apresentaram um ganho médio da ADM_{PSDA} de 18,3%, 23,8% e 18,0%, e do $TORQUE_{PSDA}$ de 59,9%, 56,0% e 40,7%, respectivamente. Esse resultado demonstra que todas as condições foram igualmente eficazes para gerar aumento da ADM_{PSDA} e de $TORQUE_{PSDA}$, mostrando que todos voluntários perceberam mais tardiamente a primeira sensação de alongamento após o treinamento com a vibração mecânica, ou seja, em uma maior ADM e com um valor de torque correspondente também maior.

O efeito do treinamento da flexibilidade com sobreposição da vibração mecânica sobre as variáveis ADM_{PSDA} e de $TORQUE_{PSDA}$ não havia sido investigado ainda, no entanto, o efeito crônico dos exercícios de alongamento sobre tais variáveis já foi avaliado em estudos prévios (CABIDO *et al.*, 2014; HALBERTSMA e GÖEKEN, 1994; YLINEN *et al.*, 2009; PEIXOTO *et al.*, 2015). Nos estudos de Halbertsma e Göeken (1994) e Ylinen *et al.* (2009) foi verificado um aumento significativo da ADM_{PSDA} de 35,3% e 36,6%, respectivamente, após 4 semanas de exercícios de alongamento passivo-estático na musculatura posterior da coxa. No estudo de Halbertsma e Göeken (1994), os valores encontrados para $TORQUE_{PSDA}$ não foram relatados, enquanto no estudo de Ylinen *et al.* (2009) essa variável não foi mensurada. Os resultados do presente estudo corroboram com esses estudos, uma vez que foi encontrado um ganho na ADM_{PSDA} em todos os grupos experimentais (ganho médio entre 18,0 e 23,8%). Os maiores valores percentuais de ganho da ADM_{PSDA} verificados nos estudos de Halbertsma e Göeken (1994) e Ylinen *et*

al. (2009) podem ser explicados pela duração total de alongamento utilizada nos treinamentos. A duração total do alongamento realizado nos estudos de Halbertsma e Göeken (1994) e Ylinen *et al.* (2009) foi de 33600s e 3780s, respectivamente, enquanto no presente estudo foi de apenas 1400s. Uma maior duração total do estímulo pode permitir adaptações de maior magnitude nos mecanismos associados com a alteração da ADM_{PSDA} , uma vez que o tecido encontra-se por mais tempo sob o efeito do estímulo de alongamento.

No presente estudo os grupos de treinamento não apresentaram diferença significativa entre eles para as variáveis ADM_{PSDA} e $TORQUE_{PSDA}$, esse resultado rejeita a hipótese formulada, de que haveria um maior aumento destas variáveis nos grupos de alongamento com sobreposição da vibração localizada. Já foi verificado que a aplicação da vibração localizada por 25 a 45min é capaz de promover analgesia em indivíduos sintomáticos (LUNDEBERG; LIEBERMANN; TENENBAUM, 1984). No estudo de Issurin, Liebermann e Tenenbaum (1994), os indivíduos submetidos ao treinamento da flexibilidade com sobreposição da vibração localizada reportaram uma redução da dor 10 à 15s após o início do estímulo de vibração, sendo verificado maior ganho na $ADM_{MÁX}$ neste grupo em comparação com aquele que realizou o treinamento apenas com exercícios de alongamento. Baseado nesses resultados e na expectativa de que o aumento da tolerância do indivíduo ao alongamento após o treinamento de flexibilidade seria potencializado pelo efeito da alteração do limiar de dor após a vibração mecânica, foi formulada a hipótese acima. No entanto, se o estímulo de vibração realmente alterou o limiar de dor do indivíduo, esta alteração não foi grande o suficiente para gerar alterações no ganho de ADM pós-treinamento, uma vez que os treinamentos flexibilidade com e sem vibração localizada obtiveram resultados similares.

A explicação para o ganho da ADM_{PSDA} e do $TORQUE_{PSDA}$ encontrado pode seguir o mesmo raciocínio adotado para as alterações na $ADM_{MÁX}$ e $TORQUE_{MÁX}$. Considerando a definição operacional de que a ADM_{PSDA} representa o início individual da sensação de alongamento na musculatura e a $ADM_{MÁX}$ representa a tolerância máxima individual ao alongamento, essas duas variáveis representam diferentes pontos de um *continuum* da tolerância de um indivíduo durante o alongamento muscular, sendo a ADM_{PSDA} uma medida inicial e a $ADM_{MÁX}$ a medida final da tolerância individual. A

fundamentação para esta perspectiva de um *continuum* da tolerância individual encontra-se na relação verificada entre estas variáveis. Não somente no presente estudo, mas também em estudos anteriores (HALBERTSMA e GÖEKEN, 1994; YLINEN *et al.*, 2009) foi verificado o aumento na $ADM_{MÁX}$ associado a um aumento na ADM_{PSDA} . Outro fator que reforça tal perspectiva é a manutenção da relação proporcional dos valores pré-teste destas variáveis. No pré-teste, os indivíduos dos grupos ALONG, GV1 e GV2 perceberam a ADM_{PSDA} em uma ADM relativa de 80,8%, 68,0% e 72,8% da $ADM_{MÁX}$, respectivamente. Após o treinamento, esta proporção se manteve em valores muito próximos (ALONG=73,3%, GV1=68,8%, e GV2=72,0%)

A análise do torque passivo também pode ser realizada pensando na perspectiva do *continuum* da tolerância individual. Como os valores de $TORQUE_{PSDA}$ e $TORQUE_{MÁX}$ são obtidos em determinadas ADM (ADM_{PSDA} e $ADM_{MÁX}$, respectivamente), o $TORQUE_{PSDA}$ representa o menor valor de resistência da UMT ao alongamento suficiente para estimular a percepção subjetiva de alongamento do indivíduo, já o $TORQUE_{MÁX}$ representa o maior valor de resistência tolerada pelo indivíduo. O fato de essas duas variáveis terem aumentado após as quatro semanas de treinamento permite argumentar na direção que uma alteração na tolerância ao alongamento ocorreu independente do treinamento realizado.

Desta forma, foi necessária uma maior aplicação de carga mecânica para que uma mesma sensação fosse reportada pelo indivíduo.

3.5.3 Rigidez passiva

Os resultados do presente estudo mostram a manutenção da rigidez passiva após o período de treinamento, sem diferença entre os grupos, indicando que todos os grupos foram igualmente ineficazes para reduzir significativamente a rigidez passiva, *i.e.*, para apresentar um ganho médio negativo.

Os achados dos estudos sobre os efeitos crônicos do estímulo de alongamento (treinamento da flexibilidade) sobre a rigidez passiva são contraditórios. Toft *et al.* (1989) e Kubo, Kaneisha e Fukunaga (2002) encontraram uma redução significativa na rigidez após três semanas de

treinamento da flexibilidade. Enquanto Magnusson *et al.* (1996b) e Reid e McNair (2004) não encontraram diferença significativa em seus estudos para a variável rigidez passiva, resultados estes que corroboram com os do presente estudo.

A manutenção da rigidez passiva nos grupos que realizaram o exercício de alongamento com sobreposição da vibração (GV1 e GV2) após o treinamento não está de acordo com os resultados do único estudo, que investigou o efeito crônico da vibração localizada sobre esta variável. Após duas semanas de treinamento de vibração localizada no tendão de Aquiles (frequência=50Hz, amplitude=3mm), Lapole e Pérot (2011) verificaram um aumento de 8,2% na $ADM_{MÁX}$ de dorsiflexão do tornozelo ($p < 0,01$), associado a uma redução significativa de 14,1% na rigidez ativa e de 9,7 a 16,8% na rigidez passiva.

Os autores sugeriram que a redução observada na rigidez passiva ocorreu devido a adaptações nas propriedades viscoelásticas musculares, levando a um aumento da complacência da UMT em um estado relaxado e a uma maior $ADM_{MÁX}$.

No entanto, os achados deste estudo relacionados à rigidez passiva devem ser avaliados com cautela, uma vez que os próprios autores citam como uma limitação do estudo a forma como a variável foi calculada. Não há um consenso no que se refere à porção da curva torque passivo – ADM utilizada para calcular a rigidez, sendo as duas porções da curva mais comumente utilizadas o terço final (MAGNUSSON *et al.*, 1996b, 1997) e nos 10% finais da curva (REID e MCNAIR, 2004). Para que os valores de rigidez possam ser comparados após o treinamento da flexibilidade, as curvas torque passivo – ADM são muitas vezes seccionadas com os mesmos valores de ADM antes da intervenção, para garantir a padronização das mesmas. Esse procedimento foi utilizado no presente estudo. No estudo de Lapole e Pérot (2011), a rigidez passiva foi calculada utilizando uma faixa de variação da ADM de dorsiflexão pré-determinada (15 a 25°). Segundo relato dos autores, nem todos os indivíduos alcançaram a ADM de 25° de dorsiflexão do tornozelo, tornando este método inapropriado para o cálculo e avaliação das alterações da rigidez passiva. Na tentativa de corrigir essa limitação, os autores também calcularam a rigidez passiva por meio da tangente da curva torque passivo – ADM em

ADM pré-determinadas (10, 15 e 20°). Os dois métodos utilizados no estudo de Lapole e Pérot (2011) são diferentes do utilizado no presente estudo, o que dificulta a comparação dos resultados.

Outro fator divergente entre os estudos é a duração total do estímulo de vibração. Lapole e Pérot (2011) utilizaram uma duração total do estímulo da vibração de 50400s, valor este muito superior aos 1400s utilizados no presente estudo. Dessa forma, é possível que a duração total que o tecido permanece sob a influência do estímulo de vibração possa ser um fator que influencie os efeitos da vibração sobre a rigidez passiva. Assim, estudos futuros devem considerar esse parâmetro ao verificar o efeito crônico da vibração mecânica sobre esta variável. Um terceiro ponto de divergência entre o estudo de Lapole e Pérot (2011) e o presente estudo a ser considerado, é que no primeiro a vibração localizada foi utilizada de forma isolada no treinamento, diferentemente do presente estudo em que o treinamento da flexibilidade foi sobreposto com o da vibração mecânica localizada. Talvez os efeitos crônicos da vibração sobre a rigidez passiva sejam diferentes em situações em que o estímulo de vibração é associado a outros treinamentos, como ao da flexibilidade. No entanto esta é apenas uma hipótese e necessita de mais investigações.

A rigidez passiva é uma variável de caráter biomecânico, que indicaria que a UMT estaria menos resistente a deformação, o que resultaria em uma maior variação da ADM para um mesmo torque aplicado. Neste sentido sua alteração poderia indicar alguma alteração estrutural da UMT, como, por exemplo, um aumento no número de sarcômeros em série (GOLDSPINK *et al.*, 1974) ou alterações no tecido conectivo (NAKAMURA *et al.*, 2012). Se os mecanismos envolvidos com a vibração mecânica localizada tivessem uma participação “realmente” efetiva, poderiam resultar em treinamentos mais intensos, provocar maiores adaptações estruturais e, com isso, talvez conduzir para uma maior redução da rigidez passiva nos grupos que utilizaram vibração sobreposta. Mas, como isso não foi verificado, é possível concluir que a participação destes mecanismos não foi suficiente para potencializar as adaptações, além daquelas que o próprio alongamento já é capaz de provocar.

3.5.4 Limitações

Devido à padronização do posicionamento da coxa dos indivíduos à 45° de flexão do quadril, não foi possível garantir que o estímulo de vibração tenha sido aplicado no mesmo local em todos os indivíduos. Diferenças anatômicas como, por exemplo, a área de secção transversa da musculatura posterior da coxa e volume da musculatura glútea pode ter influenciado no local de contato do rolo de apoio do equipamento de vibração com a região posterior da coxa. Desta forma, o estímulo de vibração mecânica foi aplicado de maneira localizada na musculatura posterior da coxa, no entanto em possíveis diferentes locais (mais próximos do ventre muscular ou da região músculo-tendão).

3.6 CONCLUSÃO

Independente da configuração dos parâmetros do estímulo de vibração utilizados (amplitude de 3mm e frequências de 14 ou 24Hz), o treinamento da musculatura posterior da coxa por quatro semanas utilizando a técnica de alongamento passiva-estática sobreposta à vibração mecânica localizada não foi capaz de promover maiores aumentos na $ADM_{MÁX}$, ADM_{PSDA} , $TORQUE_{MÁX}$, $TORQUE_{PSDA}$ de indivíduos jovens, quando comparado ao mesmo treinamento realizado com o exercício de alongamento sem vibração.

Além disso, os valores de rigidez passiva permaneceram os mesmos após quatro semanas, independente do tipo de treinamento realizado.

REFERÊNCIAS

- ATHA, J.; WHEATLEY, D. W. Joint mobility changes due to low frequency vibration and stretching exercise. **Br. J. Sports Med.**, v.10, p.26-34, 1976.
- ARMSTRONG, W. J.; NESTLE, H. N.; GRINNELL, D. C.; COLE, L. D.; GILDER, E. L. V.; WARREN, G. S.; CAPIZZI, E. A. The acute effect of whole-body vibration on the Hoffmann reflex. **J. Strength Cond. Res.**, v.22, n.2, p.471-476, 2008.
- AYALA, F.; ANDUJAR, P. S. Effect of 3 different active stretch durations on hip flexion range of motion. **J. Strength Cond. Res.**, v.24, n.2, p.430-6, 2010.
- BAKHTIARY, A. H. FATEMI, E.; KHALILI, M. A.; GHORBANI, R. Localized application of vibration improves passive knee extension in women with apparent reduced hamstring extensibility: a randomized trial. **J. Physiother.**, v.57, p.165-171, 2011.
- BANDY, W. D.; IRION, J. M. The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstrings muscles. **Phys. Ther.**, v.74, n.9, p.845-850, 1994.
- BANDY, W. D.; IRION, J. M.; BRIGGLER, M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. **Phys. Ther.**, v.77, n.10, p.1090-1096, 1997.
- BLACKBURN, J. T.; RIEMANN, B. L.; PADUA, D. A.; GUSKIEWICZ, K. M. Sex comparison of extensibility, passive, and active stiffness of the knee flexors. **Clinic. Biomech.**, v.19, p.36-43, 2004.
- BLACKBURN, J. T.; PADUA, D. A.; GUSKIEWICZ, K. M. Muscle stiffness and spinal stretch reflex sensitivity in the triceps surae. **J. Athlet. Train.**, v.43, n.1, p.29-36, 2008.
- BLAZEVICH, A. J.; CANNAVAN, D.; WAUGH, C. M.; FATH, F.; MILER, S. C.; KAY, A. D. Neuromuscular factors influencing the maximum stretch limit of the human plantar flexors. **J. Appl. Physiol.**, v.113, n.9, p.1446-55, 2012.
- BORMS, J.; ROY, P. V.; SANTENS, J. P.; HAENTJENS, A. Optimal duration of static stretching exercises for improvement of coxo-femoral flexibility. **J. Sports Sci.**, v.5, n.1, p.39-47, 1987.
- CABIDO, C. E. T.; BERGAMINI, J. C.; ANDRADE, A. G. P.; LIMA, F. V.; MANZEL, H. J.; CHAGAS, M. H. Acute effect of constant torque and angle stretching on range of motion, muscle passive properties, and stretch discomfort perception. **J. Strength Cond. Research**, v.28, n.4, p.1050-1057, 2014.
- CHAFFIN, D. B.; ANDERSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Biomecânica Ocupacional**. Belo Horizonte: Ergo, 2001.579p.

CHAGAS, M. H.; MAGALHÃES, F.A .; PEIXOTO, G.H .C.; PEREIRA, B. M.; ANDRADE, A. G. P.; MENZEL; H. J. K. Exploratory factor analysis for differentiating sensory and mechanical variables related to muscle-tendon unit elongation. **Braz. J. Phys. Ther.**, v.20, n.3, p.240-247 2016.

COCHRANE, D. J; STANNARD, S. R. Acute whole body vibration training increases vertical jump and flexibility performance in elite female held hockey players. **Br. J. Sports Med.**, v.39, p.860-865, 2005.

COCHRANE, D.J.; STANNARD, S. R.; SARGEANT, A. J.; RITTWEGGER, J. The rate of muscle temperature increase during acute whole-body vibration exercise. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v.103, p.441-448, 2008.

COCHRANE, D. J. Vibration exercises: the potential benefits. **Int. j. Sports Med.**, v.32, p.75-99, 2011.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences.** 2 ed. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1988.

CRONIN, J. B.; NASH, M.; WHATMAN, C. The effect of four different vibratory stimuli on dynamic range of motion of the hamstrings. **Phys. Ther. Sport**, v.8, p.30-36, 2007.

CRONIN, J. B.; NASH, M.; WHATMAN, C. The acute effect of hamstring stretching and vibration on dynamic knee joint range of motion and jump performance. **Physical Ther. Sports**, v.9, p.89-96, 2008.

CROSS, K. M.; WORRELL, T. W. Effects of a static stretching program on the incidence of lower extremity musculotendinous strains. **J. Athl. Train.**, v.34, n.1, p.11-14, 1999.

DECOSTER, L.C.; CLELAND, J.; ALTIERI, C.; RUSSELL, P. The effects of hamstring stretching on range of motion: a systematic literature review. **J. Orthop. Sports Phys. Ther.**, v.35, n.6, p.377-387, 2005.

DE GAIL, P.; LANCE, J. W.; NEILSON, P. D. Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. **J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.**, v.29, n.1, p.1-11, 1966.

DEN HARTOG, D. **Vibrações nos sistemas mecânicos.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1972. 366p.

EKLUND, G.; HAGBARTH, K. E. Normal variability of tonic reflexes in man. **Exp. Neurol.**, v.16, p.80-92, 1966.

FAGNANI, F.; GIOMBINI, A.; DI CESARE, A.; PIGOZZI, F.; DI SALVO V. The effect of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. **Am. J. Phys. Med. Rehab.**, v.85, n.12, p.956-962, 2006.

FELAND, J. B.; HAWKS, M.; HOPKINS, J. T.; HUNTER, I.; JOHNSON, A. W.; EGGETT, D. L. Whole body vibration as an adjunct to static stretching. **Clin. Sciences**, v.31, p.584-589, 2010.

FREITAS, S. R.; VILARINHO, D.; VAZ, J. R.; BRUNO, P. M.; COSTA, P. B.; MIL-HOMENS, P. Responses to static stretching are dependent on stretch intensity and duration. **Clin. Physiol. Funct. Imaging**, v.35, n.6, p.411-492, 2014.

GAJDOSIK, R. L. Effect of static stretching on the maximal length and resistance to passive stretch of short hamstring muscles. **J. Orthop. Sports Phys. Ther.**, v.14, n.6, p.250-255, 1991.

GAJDOSIK, R. L.; ALLRED, J. D.; GABBERT, H. L.; SONSTENG, B. A. A stretching program increases the dynamic passive length and passive resistive properties of the calf muscle-tendon unit of unconditioned younger women. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v.99, n.4, p.449-454, 2007.

GEORGE, D.; VASILIS, K.; VASILIS, M.; GIORGOS, P. Acute effect of whole-body vibration combined with stretching on bridge performance in artistic gymnasts. **Biol. Exerc.**, vol.8, n.2, p.5-15, 2012.

GOLDSPINK, G.; TABARY, C.; TABARY, J. C.; TARDIEU, C.; TARDIEU, G. Effect of denervation on the adaptation of sarcomere number and muscle extensibility to the functional length of the muscle. **J. Physiol.**, v.236, n.3, p.733-742, 1974.

GUISSARD, N.; DUCHATEAU, J. Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. **Muscle Nerve**, v.29, n.2, p.248-55, 2004.

HALBERTSMA, J. P.; GÖEKEN, L. N. H. Stretching exercises: effect on passive extensibility and stiffness in short hamstring of healthy subjects. **Arch. Phys. Med. Rehabil.**, v.75, n.9, p.976-981, 1994.

HALBERTSMA, J. P.; VAN BOLHUIS, A. I.; GÖEKEN, L. N. Sport stretching: effect on passive muscle stiffness of short hamstrings. **Arch. Physical Med. Rehabil.**, v.77, n.7, p.688-92, 1996.

HERDA, T. J.; RYAN, E. D.; SMITH, A. E.; WALTER, A. A. ; BEMBEN, M. G.; STOUT, J.R.; CRAMER, J. T. Acute effects of passive stretching vs vibration on the neuromuscular function of the plantar flexors. **Scand. J. Med. Sci. Sports**, v.19, p.703-713, 2009.

ISSURIN, V. B. Vibrations and their applications in sport – a review. **J. Sports Med. Phys. Fitness**, v. 45, n.3, p.324-336, 2005.

ISSURIN, V. B.; LIEBERMANN, D. G.; TENENBAUM, G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. **J. Sports Scienc.**, v.12, p.561-566, 1994.

KERSCHAN-SCHINDL, K.; GRAMPP, S.; HENK, C.; RESCH, H.; PREISINGER, E.; FIALKA-MOSER, V.; IMHOF, H. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. **Clin. Physiol.**, v.21, n.3, p.377-382, 2001.

KINSER, A. M.; RAMSEY, M. W.; O'BRYANT, H. S.; AYRES, C. A.; SANDS, W. A.; STONE, M. H. Vibration and stretching effects on flexibility and explosive strength in young gymnasts. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.40, n.1, p.133-140, 2008.

KUBO, K.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. **J. Appl. Physiol.**, v.92, n.2, p.595-601, 2002.

KURT, C. Alternative to traditional stretching methods for flexibility enhancement in well-trained combat athletes: local vibration versus whole-body vibration. **Biol. Sport**, v.32, p.225-233, 2015.

LAPOLE, T.; PÉROT, C. Effects of repeated Achilles tendon vibration on triceps surae stiffness and reflex excitability. **J. Electrom. Kines.**, v.21, p.87-94, 2011.

LAROCHE, D. P.; CONNOLLY, D. A. Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise. **Am. J. Sports Med.**, v.34, n.6, p.1000-1007, 2006.

LUNDEBERG, T.; NORDEMAR, R.; OTTOSON, D. Pain alleviation by vibratory stimulation. **Pain**, v.20, p.25-44, 1984.

LUO, J.; MCNAMARA, B.; MORAN, K. The use of vibration training to enhance muscle strength and power. **Sports Med.**, v.35, n.1, p.23-31, 2005.

MAGNUSSON, S. P. SIMONSEN, E. B.; AAGARD, P. MORITZ, U.; KJAER, M. Contraction specific changes in passive torque in human skeletal muscle. **Acta Physiol. Scand.**, v.155, n.4, p.377-386, 1995.

MAGNUSSON, S. P.; SIMONSEN, E. B.; AAGAARD, P.; DYHRE-POULSEN, P.; MCHUGH, M. P.; KJAER, M. Mechanical and physiological responses to stretching with and without preisometric contraction in human skeletal muscle. **Arch. Phys. Med. Rehabil.**, v.77, n.4, p.373-378, 1996a.

MAGNUSSON, S. P.; SIMONSEN, E. B.; AAGARD, P.; SORENSEN, H.; KJAER, M. A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. **J. Physiol.**, v.497, n.1, p.291-298, 1996b.

MAGNUSSON, S. P.; SIMONSEN, E. B.; AAGARD, P.; BOESEN, J., JOHANNSEN, F.; KJAER, M. Determinants of musculoskeletal flexibility: viscoelastic properties, cross-sectional area, EMG and stretch tolerance. **Scand. J. Med. Sci. Sports**, v.7, n.4, p.195-202, 1997.

MAGNUSSON, S. P.; AAGARD, P.; NIELSON, J. J. Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.32, n.6, p.1160-1164, 2000.

MAGNUSSON, S. P.; RENSTRÖM, P. The role of stretching exercises in sports. **Eur. J. Sport Sci.**, v.6, n.2, p.87-91, 2006.

MAHIEU, N. N.; MCNAIR, P.; MUYNCK, M.; STEVENS, V.; BLANCLAERT, I.; SMITS, N.; WITVROUW, E. Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.39, n.3, p.494-501, 2007.

MALLIAROPOULOS, N.; PAPALEXANDRIS, S.; PAPALADA, A.; PAPACOSTAS, E. The role of stretching in rehabilitation of hamstring injuries: 80 athletes follow-up. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.36, n.5, p.756-759, 2004.

MARSHAL, P. W. M.; CASHMAN, A.; CHEEMA, B. S. A randomized controlled trial for the effect of passive stretching on measures of hamstring extensibility, passive stiffness, strength, and stretch tolerance. **J. Science Med. Sport**, v.14, p.535-540, 2011.

MCNAIR, P. J.; DOMBROSKI, E. W.; HEWSON, D. J.; STANLEY, S. N. Stretching at the ankle joint: viscoelastic responses to holds and continuous passive motion. **Med. Sic. Sports Exerc.**, v.33, n.3, p.354-358, 2001.

MCHUGH, M. P.; MAGNUSSON, S. P.; GLEIM, G. W. NICHOLAS, J. A. Viscoelastic stress relaxation in human skeletal muscle. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.24, n.12, p.1375-1382, 1992.

MESTER, J.; KLEINÖDER, H.; YUE, Z. Vibration training: benefits and risks. **J. Biomech.**, v.39, p.1056-1065, 2006.

MITCHELL, U. H.; MYRER, W.; HOPKINS, J. T.; HUNTER, I.; FELAND, J. B.; HILTON, S. C. Neurophysiological reflex mechanism's lack of contribution to the success of PNF stretches. **J. Sport Rehab.**, n.18, p.343-357, 2009.

MOORE, M. A.; HUTTON, R. S. Electromyographic investigation of muscle stretching techniques. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.12, n.5, p.322-329, 1980.

MUTUNGI, G.; RANATUNGA, K. W. Temperature-dependent changes in the viscoelasticity of intact resting mammalian (rat) fast- and slow-twitch muscle fibres. **J. Physiol.**, v.508, n.1, p.253-265, 1998.

NAKAMURA, M.; IKEZOE, T.; TAKENO, Y.; ICHIHASHI, N. Effects of a 4-week static stretch training program on passive stiffness of human gastrocnemius muscle-tendon unit in vivo. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v.112, n.7, p.2749-2755, 2012.

OSAWA, Y.; OGUMA, Y. Effects of vibration on flexibility: a meta-analysis. **J. Musculoskelet. Neuronal. Interact**, v.13, n.4, p.442-453, 2013.

PEIXOTO, G. H. C.; ANDRADE, A. G.; MENZEL, H. J. K.; ARAUJO, S. R. S.; PERTENCE, A. E. M.; CHAGAS, M. H. Viscoelastic stress relaxation in the hamstrings before and after a 10-week stretching program. **Muscle Nerve**, v.51, p.761-764, 2015.

PORTNEY, L. G.; WATKINS, M. P. **Foundations of clinical research: applications to practice**. 3rd. ed. Boston: Prentice Hall, 2009. 467p.

REID, D. A.; MCNAIR, P. J. Passive force, angle and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.36, n.11, p.1944-1948, 2004.

RIEMANN, B. L.; DEMONT, R. G.; RYU, K.; LEPHART, S. M. The effects of sex, joint angle, and the gastrocnemius muscle on passive ankle joint complex stiffness. **J. Athletic Training**, v.36, n.4, p.369-375, 2001.

RITTWEGER, J.; MUTSCHELKNAUSS, M.; FELSEMBERG, D. Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. **Clin. Physiol. Func. Im.**, v.23, p.81-86, 2003.

RITTWEGER, J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v.108, p.877-904, 2010.

ROBERTS, J. M.; WILSON, K. Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity. **Eur. J. Sports Med.**, v.33, n.4, p.259-263, 1999.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 3 ed. Belo Horizonte: FEFMVZ, 2007. 264p.

SANDS, W. A.; MCNEAL, J. R.; STONE, M. H.; HAFF, G. G.; KINSER, A. N. Effect of vibration on forward split flexibility and pain perception in young male gymnasts. **Int. J. Sports Phys. Perfom.**, v.3, p.469-481, 2008.

SHIER, I. Does Stretching Improve Performance? A Systematic and Critical Review of the Literature. **Clin. J. Sport Med.**, v.14, n.5, p.267-273, 2004.

TAYLOR, D. C.; DALTON, J. D.; SEABER, A. V.; GARRETT, W. E. Viscoelastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching. **Am. J. Sports Med.**, v.18, n.3, p.300-309, 1990.

THACKER, S. B.; GILCHRIST, J.; STROUP, D. F.; KIMSEY, C. D. The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.36, n.3, p.371-378, 2004.

TOFT, E.; ESPERSEN, G. T.; KÄLUND, S.; SINKJAER, T.; HORNEMANN, B. C. Passive tension of the ankle before and after stretching. **Am. J. Sports Med.**, v.17, n.4, p.489-94, 1989.

VAN DEN TILLAAR, R. Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings? **J. Strength Cond. Research**, v.20, n.1, p.192-196, 2006.

WAKELING, J. M.; NIGG, B. M.; ROZITIS, A. I. Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibrations. **J. Appl. Physiol.**, v.93, n.3, p.1093-1103, 2002.

WARREN, C. G.; LEHMANN, J.F.; KOBLANSKI, J. N. Heat and stretch procedures: an evaluation using rat tail tendon. **Arch. Phys. Med. Rehabil.**, v.57, n.3, p.122-126, 1976.

WEIR, J. P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **J. Strength. Cond. Res.**, v.19, n.1, p.231-240, 2005.

WEIR, J. P.; HOUSH, D. J.; HOUSH, T. J.; WEIR, L. L. The effect of unilateral concentric weight training and detraining on joint angle specificity, cross-training, and the bilateral deficit. **J. Orthop. Sports Phys. Ther.**, vol.25, p.264-270, 1997.

WEIR, D. E.; TINGLEY, J.; ELDER, G. C. Acute passive stretching alters the mechanical properties of human plantar flexors and the optimal angle for maximal voluntary contraction. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v.93, n.5-6, p.614-623, 2005.

WEPPLER, C. H.; MAGNUSSON, S. P. Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensations? **Phys. Ther.**, v.90, n.3, p.438-449, 2010.

WILLIAMS, P. E.; GOLDSPINK, G. Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle. **J. Anat.**, v.127, n.Pt3, p.459-68, 1978.

WITVROUW, E.; MAHIEU, N.; DANNEELS, L.; MCNAIR, P. Stretching and injury prevention: an obscure relationship. **Sports Med.**, v.34, n.7, p.443-449, 2004.

WORRELL, T. W.; SMITH, T. L.; WINEGARDNER, J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. **J. Orthop. Sports Phys. Ther.**, v.20, n.3, p.154-159, 1994.

YLINEN, J.; KANKAINEN, T.; KAUTIAINEN, H.; REZASOLTANI, A.; KUUKKANEN, T.; HÄKKINEN, A. Effect of stretching on hamstring muscle compliance. **J. Rehabil. Med.**, v.41, n.1, p.80-84, 2009.

APÊNDICES

Apêndice A – Termo de consentimento livre e esclarecido

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Venho por meio deste convidá-lo (a) a participar da pesquisa intitulada "Efeito da vibração mecânica localizada na resposta biomecânica e sensorial durante o alongamento muscular" que será realizada no Laboratório de Biomecânica da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – UFMG sob responsabilidade dos pesquisadores Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas (orientador) e Beatriz Magalhães Pereira (Doutoranda).

A pesquisa investigará o efeito de 4 semanas de treinamento com a técnica de alongamento passiva-estática e sua combinação com a vibração mecânica localizada na musculatura posterior da coxa. Para isso, os voluntários deverão comparecer ao Laboratório de Biomecânica em 15 diferentes dias. O primeiro dia é destinado à familiarização dos voluntários com os procedimentos de testes e treinamentos a serem aplicados ao longo da pesquisa, e tem duração de 30 a 45min. No segundo (Pré-teste) e no último dia (Pós-teste) será realizada a mensuração da flexibilidade pelo aparelho *Flexmachine* em ambas as coxas, sendo registrada a amplitude máxima de extensão do joelho, torque máximo, e percepção subjetiva do desconforto ao alongamento, tendo uma duração de 30 a 45 min cada dia. Do 3º ao 14º dia os voluntários realizarão os protocolos de treinamento, tendo uma duração de aproximadamente 15min por dia de treino.

Por se tratar de um treinamento com técnicas de alongamentos utilizadas na prática esportiva e de reabilitação existe risco associado a este estudo que podem incluir lesões musculoesqueléticas e traumatismo. Caso seja verificada existência de assimetria no desempenho dos membros após o período de treinamento, os pesquisadores se propõem a realizar um novo treinamento com exercícios de alongamento para que tal assimetria seja normalizada.

Será garantido o anonimato dos voluntários e os dados obtidos serão utilizados exclusivamente para fins de pesquisa pelo Laboratório de Biomecânica. Os pesquisadores se põem a disposição para responder qualquer dúvida que possa surgir. Os voluntários receberão uma via deste termo assinada pelo pesquisador responsável e podem consultar o COEP (Comitê de Ética em Pesquisa) para qualquer esclarecimento da conduta ética da pesquisa.

O voluntário poderá se recusar a participar desse estudo ou abandoná-lo a qualquer momento, sem precisar justificar-se e sem qualquer constrangimento ou transtorno. Não está prevista qualquer forma de remuneração.

Os pesquisadores podem decidir sobre a exclusão de qualquer voluntário do estudo por razões científicas, sobre as quais os mesmos serão devidamente informados.

Portanto, eu, _____, voluntariamente concordo em participar desta pesquisa, realizada no Laboratório de Biomecânica da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – UFMG – que investigará a influência da associação da vibração mecânica localizada nos músculos posteriores da coxa sobre o treinamento da capacidade flexibilidade.

Belo Horizonte, ____ de _____ de 2015.

Assinatura do voluntário: _____

Declaro que expliquei os objetivos desse estudo, dentro dos limites dos meus conhecimentos científicos.

Assinatura do pesquisador responsável: _____

Prof. Dr. Mauro Heleno Chagas

Sub-coordenador do Laboratório de Biomecânica/ CENESP-UFMG

Tel.: 3409-2360/ 99622-1114 (Contatos: Beatriz Magalhães Pereira)

COEP - Comitê de Ética em Pesquisa

Av. Antônio Carlos, 6627 Unidade Administrativa II - 2º andar - Sala 2005 Tel.: 3409-4592

Campus Pampulha Belo Horizonte, MG – Brasil 31270-901

Apêndice B – Delineamento em Quadrado Latino

Em um estudo em que mais de duas condições experimentais (tratamentos) são utilizadas, o número de sequências de aplicação das condições deve ser considerado. As combinações de sequência representam os blocos aos quais os indivíduos podem ser alocados aleatoriamente, o que garante não haver tendência nas sequências de tratamento (PORTNEY e WATKINS, 2009).

No Experimento 1 do presente estudo, há cinco condições experimentais (SV, V1, V2, V3 e V4) que geram 120 possíveis combinações de sequência. No entanto, o tamanho da amostra para este estudo é de apenas 10 indivíduos, o que inviabiliza a utilização de todas as possíveis combinações. Sendo assim, foi necessária uma forma de alocação aleatória dos indivíduos para selecionar as combinações através de um quadrado latino, que é uma matriz composta por um número igual de linhas e colunas que designa permutações aleatórias das sequências de combinações. Para o presente estudo foi utilizada uma matriz 5x5, na qual as linhas representam os indivíduos e as colunas as sessões de coleta (sessão 2, 3, 4, 5 e 6). O quadrado foi configurado aleatoriamente com letras designadas para cada célula e que representam as condições experimentais (A – SV, B – V1, C – V2, D – V3 e E – V4), dessa forma, nenhuma condição de tratamento aparece em uma linha ou coluna mais de uma vez. Apenas 5 possíveis sequências foram selecionadas aleatoriamente e incluídas na matriz (TABELA 5).

Tabela 5 – Delineamento em Quadrado Latino 1

Indivíduo	Sessão de coleta				
	2	3	4	5	6
1	A	E	B	D	C
2	D	B	A	C	E
3	C	A	E	B	D
4	E	C	D	A	B
5	B	D	C	E	A

A – Condição Sem Vibração, B – Condição Vibração 1, C – Condição Vibração 2, D – Condição Vibração 3, E – Condição Vibração 4.

Nos ensaios em quadrados latinos geralmente o número de condições experimentais é igual ao número de indivíduos da amostra, mas é possível estabelecer variações sobre esta estrutura básica quando trabalhamos com uma amostra maior (SAMPAIO, 2007). Neste caso, é possível optar pela duplicação do quadrado latino até garantir uma sequência aleatória para cada indivíduo (TABELA 6).

Tabela 6 – Delineamento em Quadrado Latino 2

Indivíduo	Sessão de coleta				
	2	3	4	5	6
6	B	C	E	D	A
7	D	E	B	A	C
8	A	B	D	C	E
9	C	D	A	E	B
10	E	A	C	B	D

A – Condição Sem Vibração, B – Condição Vibração 1, C – Condição Vibração 2, D – Condição Vibração 3, E – Condição Vibração 4.

No presente estudo, o tamanho da amostra calculada para o Experimento 1 foi de 10 indivíduos, então a escolha da combinação da sequência de aplicação das condições experimentais foi realizada de acordo com a ordem de avaliação dos indivíduos na familiarização. Dessa forma, os primeiros cinco indivíduos avaliados realizaram, em ordem crescente, as sequências descritas nas linhas da tabela 5 e os cinco restantes as sequências apresentadas na tabela 6. Ou seja, o primeiro indivíduo analisado realizou a sequência A-E-B-D-C, representada na tabela 5, enquanto o sexto realizou a sequência B-C-E-D-A, que faz parte da tabela 6.

Apêndice C – Dados descritivos das variáveis do Experimento 1

Condição		SV		V1		V2		V3		V4	
Variável	Teste	Média (± DP)	Amplitude								
ADM _{MÁX} (°)	PRE	117,5	92,0 -	108,9	87,5 -	114,8	90,7 -	111,9	86,7 -	113,6	84,7 -
		± 15,4	137,1	± 14,5	131,9	± 16,0	138,7	± 14,6	137,1	± 15,1	128,0
	POS	118,8	90,7 -	113,4	91,6 -	119,4	96,3 -	118,1	92,9 -	118,0	93,2 -
		± 16,1	135,7	± 14,4	133,8	± 16,1	142,0	± 15,1	141,6	± 14,4	133,5
	ΔDIF	1,2 ±	-3,6 -	4,4 ±	1,9 -	4,5 ±	0,5 -	6,2 ±	2,4 -	4,3 ±	2,0 -
		3,6	7,4	3,4	11,9	2,3	8,0	3,4	13,8	1,9	8,5
TORQUE _{MÁX} (°)	PRE	59,5 ±	42,0 -	55,6 ±	40,3 -	57,0 ±	42,7 -	59,4 ±	45,3 -	59,1 ±	38,3 -
		10,4	70,3	10,0	68,9	9,8	73,7	8,4	68,3	11,1	72,7
	POS	60,6 ±	40,0 -	58,7 ±	41,7 -	58,8 ±	43,3 -	62,3 ±	47,0 -	60,7 ±	43,3 -
		11,3	75,7	10,7	72,3	10,3	72,7	8,7	72,0	10,3	74,3
	ΔDIF	1,1 ±	-2,0 -	3,1 ±	-1,6 -	1,8 ±	-2,4 -	2,9 ±	1,0 -	1,6 ±	-2,0 -
		2,4	5,4	2,3	6,7	2,4	4,3	1,3	4,7	2,4	5,0
ADM _{PSDA} (°)	PRE	86,8 ±	50,3 -	79,2 ±	46,8 -	83,0 ±	45,1 -	79,4 ±	52,3 -	82,8 ±	45,5 -
		21,2	120,1	21,4	118,1	21,1	108,4	17,6	105,0	21,1	110,9
	POS	86,3 ±	47,1 -	82,8 ±	51,7 -	87,7 ±	47,4 -	86,1 ±	51,5 -	87,4 ±	47,5 -
		21,2	119,5	21,1	116,6	21,7	115,4	19,1	116,3	21,5	111,0
	ΔDIF	-0,6 ±	-7,0 -	3,6 ±	-1,9 -	4,8 ±	0,5 -	6,6 ±	-0,8 -	4,6 ±	0,1 -
		4,0	5,6	3,7	10,3	3,1	9,9	3,8	11,3	2,4	7,3
TORQUE _{PSDA} (°)	PRE	32,4 ±	14,3 -	30,3 ±	11,0 -	30,5 ±	12,3 -	31,3 ±	14,0 -	31,2 ±	13,6 -
		12,6	53,3	14,9	55,3	11,5	45,6	12,4	51,3	12,8	48,0
	POS	32,5 ±	16,3 -	32,2 ±	13,0 -	31,0 ±	12,3 -	32,9 ±	13,7 -	32,8 ±	13,7 -
		12,5	51,7	14,7	56,0	12,0	49,3	13,0	53,7	12,3	52,0
	ΔDIF	0,1 ±	-3,0 -	1,9 ±	-1,3 -	0,4 ±	-2,0 -	1,6 ±	-0,3 -	1,6 ±	-5,4 -
		2,3	4,7	1,9	5,0	2,2	4,0	1,1	3,3	4,0	7,4
Rigidez passiva (N.m°)	PRE	0,56 ±	0,37 -	0,57 ±	0,40 -	0,57 ±	0,36 -	0,53 ±	0,38 -	0,54 ±	0,40 -
		0,13	0,78	0,09	0,69	0,13	0,76	0,08	0,64	0,10	0,70
	POS	0,55 ±	0,40 -	0,55 ±	0,31 -	0,54 ±	0,28 -	0,49 ±	0,39 -	0,55 ±	0,40 -
		0,10	0,69	0,13	0,75	0,13	0,75	0,07	0,58	0,09	0,73
	ΔDIF	-0,01	-0,09 -	0,01 ±	-0,15 -	-0,02	-0,08 -	-0,01	-0,04 -	0,01 ±	-0,06 -
		± 0,05	0,05	0,08	0,14	± 0,04	0,06	± 0,02	0,03	0,06	0,10

DP - desvio padrão; ΔDIF – média da diferença (Pós - Pré-teste); ADM_{MÁX} – amplitude de movimento máxima; ADM_{PSDA} – ADM correspondente à primeira percepção subjetiva do desconforto ao alongamento; SV – Grupo Sem Vibração (n = 10); TORQUE_{MÁX} – Torque correspondente à amplitude de movimento máxima; TORQUE_{PSDA} – Torque correspondente à primeira percepção subjetiva do desconforto ao alongamento; V1 – Grupo Vibração 1 (n = 10); V2 – Grupo Vibração 2 (n = 10); V3 – Grupo Vibração 3 (n = 10); V4 – Grupo Vibração 4 (n = 10). Amplitude refere-se aos valores mínimos e máximos das variáveis.

Apêndice D – Dados descritivos das variáveis do Experimento 2

Grupo		CON		ALONG		GV1		GV2	
Variável	Teste	Média (± DP)	Amplitude	Média (± DP)	Amplitude	Média (± DP)	Amplitude	Média (± DP)	Amplitude
ADM _{MÁX} (°)	PRE	113,0 ± 12,5	90,2 - 133,5	105,5 ± 11,9	81,9 - 131,5	102,5 ± 12,9	80,5 - 123,5	104,7 ± 13,8	84,0 - 123,0
	POS	111,2 ± 12,8	89,6 - 134,6	124,8 ± 11,9	109,1 - 143,9	125,7 ± 13,0	104,0 - 145,8	124,9 ± 13,0	106,9 - 144,6
	ΔDIF	-1,9 ± 5,1	-12,0 - 4,9	19,3 ± 8,3	8,5 - 32,9	23,2 ± 7,1	12,0 - 37,0	20,3 ± 8,6	8,4 - 40,1
TORQUE _{MÁX} (°)	PRE	64,4 ± 13,9	50,7 - 96,7	65,2 ± 16,2	39,3 - 92,7	61,3 ± 17,2	41,0 - 96,3	63,2 ± 14,0	44,7 - 91,7
	POS	61,2 ± 17,1	41,7 - 103,0	92,0 ± 18,2	64,7 - 118,3	88,8 ± 24,1	49,0 - 123,3	90,4 ± 19,5	54,7 - 127,0
	ΔDIF	-3,2 ± 6,2	-12,3 - 6,3	26,7 ± 15,0	1,3 - 58,0	27,5 ± 17,0	3,0 - 54,3	27,2 ± 18,5	1,7 - 50,3
ADM _{PSDA} (°)	PRE	80,5 ± 16,0	51,0 - 97,8	85,2 ± 19,0	54,2 - 114,2	69,8 ± 16,1	51,8 - 99,2	76,2 ± 9,9	60,3 - 89,7
	POS	80,4 ± 13,4	56,1 - 94,8	92,4 ± 18,8	85,6 - 20,1	86,5 ± 17,2	68,1 - 126,6	89,9 ± 10,6	67,4 - 105,7
	ΔDIF	-0,2 ± 4,8	-12,0 - 5,1	13,2 ± 8,5	1,0 - 32,6	16,6 ± 5,7	8,7 - 26,0	13,7 ± 6,1	3,4 - 24,8
TORQUE _{PSDA} (°)	PRE	33,6 ± 13,8	15,7 - 54,7	25,7 ± 11,1	10,3 - 43,7	25,5 ± 11,3	9,9 - 45,0	33,4 ± 11,9	18,7 - 60,7
	POS	31,5 ± 11,1	14,7 - 51,3	41,0 ± 19,0	18,7 - 81,3	38,8 ± 13,9	20,7 - 56,0	47,0 ± 15,0	30,0 - 75,3
	ΔDIF	-2,0 ± 4,7	-8,7 - 5,6	15,4 ± 11,1	3,0 - 37,6	14,3 ± 6,9	5,4 - 28,0	13,6 ± 10,8	-3,0 - 30,6
Rigidez passiva (N.m ²)	PRE	0,61 ± 0,14	0,37 - 0,85	0,71 ± 0,16	0,49 - 0,97	0,71 ± 0,22	0,47 - 1,27	0,73 ± 0,23	0,39 - 1,16
	POS	0,65 ± 0,12	0,50 - 0,92	0,65 ± 0,15	0,44 - 0,86	0,61 ± 0,17	0,27 - 0,91	0,60 ± 0,17	0,37 - 0,92
	ΔDIF	0,04 ± 0,12	-0,12 - 0,23	-0,06 ± 0,23	-0,53 - 0,21	-0,10 ± 0,15	-0,36 - 0,24	-0,13 ± 0,24	-0,55 - 0,20

DP - desvio padrão; ΔDIF – média da diferença (Pós - Pré-teste); ADM_{MÁX} – amplitude de movimento máxima; ADM_{PSDA} – ADM correspondente à primeira percepção subjetiva do desconforto ao alongamento; ALONG – Grupo Alongamento (n = 24); CON – Grupo Controle (n = 24); GV1 – Grupo Vibração 1 (n = 24); GV2 – Grupo Vibração 2 (n = 24); TORQUE_{MÁX} – Torque correspondente à amplitude de movimento máxima; TORQUE_{PSDA} – Torque correspondente à primeira percepção subjetiva do desconforto ao alongamento. Amplitude refere-se aos valores mínimos e máximos das variáveis.

ANEXO**ANEXO A – COEP/UFMG n°. 49552415.4.0000.5149**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS

**COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: EFEITO DA VIBRAÇÃO MECÂNICA LOCALIZADA NA RESPOSTA BIOMECÂNICA E SENSORIAL DURANTE O ALONGAMENTO MUSCULAR

Pesquisador: Mauro Heleno Chagas

Versão: 2

CAAE: 49552415.4.0000.5149

Instituição Proponente: PRO REITORIA DE PESQUISA

DADOS DO COMPROVANTE

Número do Comprovante: 097409/2015

Patrocinador Principal: CONS NAC DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLÓGICO
FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad Sl 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br