Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança

Raphael Pereira Fortes

EFEITOS DE DIFERENTES VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA COM ÊNFASE EXCÊNTRICA NA HIPERTROFIA MUSCULAR EM ADULTOS JOVENS DESTREINADOS

Porto Alegre
2025

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Educação Física, Fisioterapia e dança

EFEITOS DE DIFERENTES VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA COM ÊNFASE EXCÊNTRICA NA HIPERTROFIA MUSCULAR EM ADULTOS JOVENS DESTREINADOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento Humano da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Ronei Silveira Pinto

Porto Alegre
2025

CIP - Catalogação na Publicação

Fortes, Raphael Pereira
EFEITOS DE DIFERENTES VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA COM ÊNFASE EXCÊNTRICA NA HIPERTROFIA MUSCULAR EM ADULTOS JOVENS DESTREINADOS / Raphael Pereira Fortes. -- 2026.
81 f.
Orientador: Ronei Silveira Pinto.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto Alegre, BR-RS, 2026.

1. Treinamento de Força. 2. Resistência Adaptativa. 3. Hipertrofia Muscular. 4. Destreinados. 5. Relação Dose-Reposta. I. Pinto, Ronei Silveira, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar expressando minha mais profunda saudade e gratidão ao meu avô, Vilmar da Luz, a quem dedico de forma muito especial este trabalho. Infelizmente, ele não pôde estar presente fisicamente para ver a conclusão do meu mestrado, mas seus ensinamentos, seu amor e sua memória foram a força que me impulsionou a seguir em frente até aqui.

À minha mãe, Alice Pereira, e às minhas avós, donas Maria Rodriguez e Terezinha Fortes, por serem a minha base. O apoio incondicional, as palavras de incentivo e todo o sacrifício que fizeram pela minha educação são os pilares que tornaram essa conquista possível. Sem vocês, nada disso seria realidade.

À minha namorada, Rafaela Garcia, pelo companheirismo diário. Obrigado por estar sempre ao meu lado, por compreender as minhas ausências e por ser meu porto seguro nos momentos de maior cansaço e dificuldade. Estendo esse carinho aos meus sogros, Henrique Paiva e Daniela Garcia, a quem agradeço imensamente pelo acolhimento em sua família, pelas palavras de apoio e por toda a torcida sincera ao longo dessa etapa.

Aos meus amigos, Israel Trapaga, Carlos Machado, Christian Freitas, Gabriel Lemes e Victor Santos, por tornarem os dias mais leves. Obrigado pelas conversas, pelas risadas e por me lembrarem de que há vida além da pesquisa.

No âmbito acadêmico, expresso minha sincera e imensa gratidão aos Professores Jeam Geremia e Tércio Apolinário. O suporte, a paciência e a inestimável contribuição técnica de vocês foram fundamentais para o desenvolvimento e o amadurecimento deste projeto. Sou imensamente grato pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos.

Aos membros da banca examinadora, Professores Jeam Geremia, Bruno Baroni e Carlos Machado, agradeço pelo tempo dedicado à avaliação desta dissertação e pela paciência frente aos desafios que atravessaram o desenvolvimento deste projeto. Suas valiosas considerações e apontamentos sem dúvida elevaram a qualidade final deste trabalho.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Prof. Ronei Pinto, por tornar possível a realização deste projeto e a conclusão desta dissertação.

RESUMO

A relação dose-resposta entre o volume de séries e a hipertrofia muscular é um aspecto fundamental no treinamento de força (TF) tradicional, mas pouco compreendida no treinamento com ênfase excêntrica (TFEE). Equipamentos de resistência adaptativa (CARE: *connected adaptive resistance exercise*), que permitem maiores sobrecargas excêntricas, emergem como promissores, mas seus efeitos crônicos e a influência do volume são desconhecidos. Além disso, fatores potencialmente limitantes do desempenho em equipamento CARE, como a força de preensão manual (FPM), não foram investigados. O objetivo deste estudo foi investigar a relação dose-resposta do volume de TFEE sobre as adaptações hipertróficas dos flexores de cotovelo (FC), respostas de percepção subjetiva de esforço, dor e a influência da FPM sobre a força máxima dos FC Em um delineamento de medidas repetidas, 12 homens destreinados realizaram TFEE por oito semanas (rosca bíceps em equipamento CARE). Os membros superiores foram randomizados para volume mínimo (uma série) ou maior volume (três séries). A espessura e o volume muscular dos flexores de cotovelo foram avaliados por ultrassonografia (pré, 4 e 8 semanas). Modelos lineares mistos analisaram o efeito do volume (longitudinal, n=12) e a relação da FPM com o desempenho na flexão de cotovelo (transversal, n=26). Ambas as condições aumentaram a espessura e o volume muscular após 4 e 8 semanas ($p < 0,05$). Contudo, não foi observada interação entre tempo e volume ($p = 0,936$), indicando ganhos hipertróficos similares entre uma e três séries, apesar da condição de três séries gerar maior percepção subjetiva de esforço. A análise transversal revelou que a FPM não foi um preditor da força concêntrica máxima de FC ($p = 0,394$), mas demonstrou uma relação positiva e robusta com a força excêntrica máxima de FC ($p < 0,001$, R^2 marginal = 0,276). Conclui-se que o TFEE em equipamento CARE foi eficaz para promover hipertrofia em homens destreinados. No entanto, para esta população, uma única série foi suficiente para maximizar essas adaptações, não havendo benefício adicional em realizar três séries. Adicionalmente, o desempenho excêntrico máximo nesta tecnologia parece ser fortemente modulado pela FPM, sugerindo ser este um fator limitante na prescrição do TFEE.

Palavras-chave: Força excêntrica; Espessura muscular; Volume de treinamento; Força de preensão manual.

ABSTRACT

The dose-response relationship between set volume and muscle hypertrophy is a fundamental aspect of traditional resistance training (RT) but remains poorly understood in eccentric-emphasis training (EET). Connected adaptive resistance exercise (CARE) equipment, which allows for greater eccentric overloads, emerges as promising; however, its chronic effects and the influence of volume are unknown. Furthermore, potentially performance-limiting factors on CARE equipment, such as handgrip strength (HGS), have not been investigated. The aim of this study was to investigate the dose-response relationship of EET volume on hypertrophic adaptations of the elbow flexors (EF), responses of rating of perceived exertion, pain, and the influence of HGS on EF maximal strength. In a repeated-measures design, 12 untrained men performed EET for eight weeks (biceps curl on CARE equipment). Upper limbs were randomized to a minimal volume (one set) or higher volume (three sets) condition. Elbow flexor muscle thickness and volume were assessed via ultrasonography (pre, 4, and 8 weeks). Linear mixed models analyzed the effect of volume (longitudinal, n=12) and the relationship between HGS and elbow flexion performance (cross-sectional, n=26). Both conditions increased muscle thickness and volume after 4 and 8 weeks ($p < 0.05$). However, no time-by-volume interaction was observed ($p = 0.936$), indicating similar hypertrophic gains between one and three sets, despite the three-set condition eliciting a greater rating of perceived exertion. The cross-sectional analysis revealed that HGS was not a predictor of EF maximal concentric strength ($p = 0.394$) but demonstrated a robust, positive relationship with EF maximal eccentric strength ($p < 0.001$, marginal $R^2 = 0.276$). It is concluded that EET on CARE equipment was effective for promoting hypertrophy in untrained men. However, for this population, a single set was sufficient to maximize these adaptations, with no additional benefit from performing three sets. Additionally, maximal eccentric performance on this technology appears to be strongly modulated by HGS, suggesting it is a limiting factor to consider in EET prescription.

Keywords: Eccentric strength; Muscle thickness; Training volume; Handgrip strength.

Lista de Abreviaturas

- TF: Treinamento de força
- TFEE: Treinamento de força com ênfase excêntrica
- CARE: Equipamento de resistência adaptativa (*Connected adaptive resistance exercise*)
- EM: espessura muscular
- VM: Volume muscular
- FPM: Força de preensão manual (kgF)
- FMConc: Força máxima concêntrica (kg
- FMExc: Força máxima excêntrica (kg)
- PSE: Percepção subjetiva de esforço (u.a.)
- PSD: Percepção de dor (mm)
- MPConc: Média do pico de força concêntrica
- MPExc: Média do pico de força excêntrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
2 OBJETIVOS 13
2.1 OBJETIVO GERAL 13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13
3 REVISÃO DA LITERATURA 14
3.1 ESPECIFICIDADES MECÂNICAS E FISIOLÓGICAS DAS AÇÕES MUSCULARES EXCÊNTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O TREINAMENTO DE FORÇA 14
3.2 IMPACTO DAS AÇÕES EXCÊNTRICAS NO TREINAMENTO DE FORÇA E IMPLICAÇÕES PARA A HIPERTROFIA MUSCULAR 15
3.3 EQUIPAMENTOS DE TREINO E SOBRECARGA EXCÊNTRICA: IMPACTOS NO TREINAMENTO DE FORÇA E HIPERTROFIA MUSCULAR 17
3.4 EXERCÍCIOS COM RESISTÊNCIA ADAPTATIVA: IMPACTO DA SOBRECARGA EXCÊNTRICA OTMIZADA E RELAÇÃO DOSE-RESPOSTA NO TREINAMENTO DE FORÇA 19
3.5 A VELOCIDADE DE MOVIMENTO NO TREINAMENTO DE FORÇA: RELAÇÃO FORÇA-VELOCIDADE E ESPECIFICIDADES DOS MODELOS DE RESITÊNCIA 21
3.6 A FORÇA DE PREENSÃO COMO POSSIVEL FATOR DA PERFORMANCE MÁXIMA EM EQUIPAMENTOS CARE 22
4 MATERIAIS E MÉTODOS 25
4.1 PROBLEMAS DE PESQUISA 25
4.2 HIPÓTESE 25
4.3 DESFECHOS DO ESTUDO 25
4.3.1 Desfecho primário 25
4.3.2 Desfechos secundários (exploratórios) 25
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO 26
4.5 POPULAÇÃO 28
4.6 PARTICIPANTES DO ESTUDO 28
4.6.1 Critérios de inclusão e exclusão 28
4.6.2 Processo de seleção dos participantes 29
4.6.3 Cálculo amostral 29
4.7 DEFINIÇÕES OPERACIONAL DAS VARIÁVEIS 30

4.7.1 Variáveis de caracterização da amostra 30
4.7.2 Variáveis independentes 30
4.7.3 Variáveis dependentes 30
4.7.4 Variáveis de controle do treinamento 30
4.8 PROCEDIMENTOS PARA COLETAS DE DADOS 30
4.9 AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS 32
4.9.1 Variáveis antropométricas 32
4.9.2 Espessura muscular 32
4.9.3 Volume muscular 33
4.9.4 Força máxima em equipamento de resistência adaptativa 34
4.9.5 Velocidade de movimento 35
4.9.6 Força de preensão manual 37
4.9.7 Percepção subjetiva do esforço 38
4.9.8 Percepção subjetiva de dor 38
4.10 PROTOCOLO DE TREINAMENTO 39
5 ANÁLISE DOS DADOS 40
6 RESULTADOS 43
6.1 ADAPTAÇÕES AO TFEE COM DIFERENTES VOLUMES 43
6.1.1 Características da amostra 43
6.1.2 Confiabilidade das medidas 44
6.1.3 Efeito de uma e três séries de TFEE sobre a espessura e volume muscular 44
6.1.4 Comportamento da velocidade de movimento no TFEE realizado com diferentes volumes 46
6.1.5 Resposta de esforço percebido ao TFEE com diferentes volumes 47
6.1.6 Resposta de dor percebido ao TFEE com diferentes volumes 48
6.1.7 Desempenho de força ao longo do TFEE com diferentes volumes 50
6.2 RELAÇÃO DA FORÇA DE PREENSÃO MANUAL COM O DESEMPENHO CONCÊNTRICO E EXCÊNTRICO MÁXIMO DOS FLEXORES DO COTOVELO NO EXERCÍCIO ROSCA BÍCEPS EM RESISTÊNCIA ADAPTATIVA 52
6.2.1 Características da amostra 52
6.2.2 Impacto da força de preensão manual sobre o desempenho máximo dos flexores do cotovelo em resistência adaptativa. 52
7 DISCUSSÃO 54
8 CONCLUSÃO 60

REFERÊNCIAS 61
APÊNDICES 66
APÊNDICE A – FOLDER DE DIVULGAÇÃO 66
APÊNDICE B – ANAMNESE 67
APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 70
APÊNDICE D – ANÁLISE DA VELOCIDADE DE MOVIMENTO REGISTRADA POR VÍDEO 74
APÊNDICE E - ESCALA OMNI 80

1 INTRODUÇÃO

O uso do treinamento de força (TF) com ênfase em ações excêntricas (TFEE) tem crescido nos últimos anos, tendo em vista seus importantes benefícios para ganhos de força e hipertrofia muscular (DOUGLAS *et al.*, 2017; HODY *et al.*, 2019). No entanto, o uso de implementos tradicionais para exercícios de força, como pesos livres e máquinas com polias, apresentam limitações para a realização de exercícios com ênfase na fase excêntrica (MEYLAN *et al.*, 2008; TINWALA *et al.*, 2017). Dada a distinção na capacidade de produção de força entre ações concêntricas e excêntricas, exercícios realizados com equipamentos tradicionais acabam por resultar em um trabalho muscular excêntrico submáximo, já que a mesma resistência é utilizada para ambas as fases dos exercícios e a fadiga concêntrica ocorre em maior magnitude, limitando a realização do exercício (NUZZO; NOSAKA, 2022). Desta forma, esforços excêntricos otimizados são obtidos principalmente através de equipamentos isocinéticos ou customizados para realizar apenas a fase excêntrica de movimento (*e.g.*, máquinas com motores hidráulicos ou pneumáticos) (MEYLAN *et al.*, 2008). Contudo, estes equipamentos possuem elevado custo financeiro, restringindo, assim, o TFEE a públicos específicos.

Recentemente, novos equipamentos foram desenvolvidos com o objetivo de permitir a realização de maiores sobrecargas durante a fase excêntrica do movimento (MEYLAN *et al.*, 2008; NUÑEZ; SAÉZ, 2017; PETRÉ; WERNTAL; MATTSSON, 2018). Dentre estes, os equipamentos chamados *flywheels* têm sido bastante utilizados, sendo uma ferramenta mais acessível para a realização do TFEE. Revisões com meta-análise de Nuñez e Sáez (2017) e Petré, Wernstal e Mattsson (2018) reportaram que, além de permitir maiores intensidades em ações excêntricas, este tipo de equipamento é capaz de promover hipertrofia muscular substancial, especialmente nos músculos extensores do joelho. Adicionalmente, Illera-Domínguez e colaboradores (2018) verificaram hipertrofia muscular do músculo quadríceps femoral após apenas 14 dias de treinamento (cinco sessões), demonstrando que este modelo de treinamento é capaz de promover adaptações em curtos períodos.

Estudos prévios sugerem que o TF com maiores sobrecargas excêntricas, utilizando *flywheels*, pode potencializar adaptações hipertróficas em comparação ao treinamento com equipamentos tradicionais (NORBRAND *et al.*, 2008; MAROTO-IZQUIERDO; GARCÍA-LÓPEZ; PAZ, 2017; MAROTO-IZQUIERDO *et al.*, 2020). No entanto, Nuñez e Saéz (2017), em sua revisão com meta-análise, não identificaram associação entre a existência de maior sobrecarga excêntrica e incrementos superiores de massa muscular. Entre as possíveis justificativas, destaca-se o fato de que em exercícios com *flywheels* a sobrecarga ofertada na fase excêntrica depende da capacidade de produção de força na fase concêntrica, fazendo com que o desempenho excêntrico seja limitado pelo trabalho e falha concêntrica (SUCHOMEL *et al.*, 2019).

Visando um aprimoramento do trabalho muscular excêntrico, equipamentos de resistência adaptativa controlados por aplicativos ou CARE (*i.e., connected adaptive resistance exercise*) surgiram como uma ferramenta capaz de superar limitações impostas pelos equipamentos tradicionais. Tais equipamentos são capazes de modular a resistência oferecida no exercício, durante e entre repetições em tempo real e de forma independente para ações concêntricas e excêntricas de acordo com o desempenho do praticante (NUZZO; NOSAKA, 2022). Nuzzo e Nosaka (2022) reportaram a realização de altas intensidades em ações excêntricas, mesmo com a presença de fadiga substancial em ações concêntricas. Ainda, Nuzzo, Pinto e Nosaka (2023a) demonstraram que equipamentos CARE permitem a realização de maior volume de treinamento de TFEE em comparação a exercícios realizados com peso livre, mesmo gerando maior perda de força e fadiga relatada. Assim, este tipo de tecnologia pode, através da maior sobrecarga excêntrica e da realização de maiores volumes, impactar substancialmente a promoção de hipertrofia muscular no TF. Entretanto, a literatura carece de estudos crônicos verificando as adaptações hipertróficas induzidas pelo TFEE baseado em equipamentos CARE.

Adicionalmente, como a resistência é modulada com base no desempenho, a caracterização de métricas de performance, como a velocidade do movimento, torna-se essencial para descrever a natureza do estímulo aplicado.

O volume de treino é uma das variáveis mais importantes de manipulação no TF para a promoção de adaptações positivas (SCHOENFELD *et al.*, 2016). Ao contrário do TF tradicional, existem poucas evidências acerca da relação dose-resposta no TFEE em relação à hipertrofia muscular. Ainda, as evidências disponíveis apresentam resultados conflitantes com relação ao efeito de volumes maiores e menores no TFEE (PRESLAND et al.,2018; ZACHARIA *et al.*, 2019). Desta forma, permanece incerto qual a dose-resposta ótima (*e.g.*, uma ou três séries) para a hipertrofia dos flexores do cotovelo quando se utiliza um estímulo como o TFEE em equipamentos CARE.

Embora se tenha uma promissora perspectiva em termos de hipertrofia muscular, destaca-se que um maior volume de séries promove maior dano muscular e redução do desempenho nas horas seguintes ao exercício (HODY *et al.*, 2019). Assim, o acúmulo de excessivo estresse excêntrico (via volume de treino) pode promover maior dano muscular, e consequentemente prejudicar as adaptações crônicas em resposta ao TFEE com equipamento CARE (NOSAKA *et al.*, 2003). Neste sentido, a depender do volume realizado, seu nível de sobrecarga pode não ser o mais adequado para indivíduos destreinados, uma vez que esta estratégia irá promover um elevado estresse e dano muscular após as sessões de treinamento. Além disso, este impacto negativo pode ser especialmente mediado por um volume de treinamento adicional que não resulta em benefícios crônicos, mas propícia uma ocorrência exagerada de dano muscular após as sessões de treino. Conhecer a dose-resposta do TFEE em indivíduos destreinados pode favorecer a otimização deste modelo de treinamento para a promoção de adaptações, com menor ocorrência de dano muscular após as sessões de treinamento.

Adicionalmente, um fator prático e cinesiológico fundamental no TFEE para membros superiores, como a rosca bíceps, é a capacidade de força de preensão manual (FPM). Embora os equipamentos CARE possam aplicar sobrecargas excêntricas supramáximas (NUZZO; NOSAKA, 2022), a capacidade em tolerar a resistência durante o exercício pode ser afetada pela FPM. Nesse sentido, a FPM pode não ser apenas um componente passivo para segurar a carga, mas um fator ativo que contribui para o desempenho máximo de flexão de cotovelo (CRONIN *et al.*, 2017). Embora a correlação da FPM com a força de membros inferiores seja variável, revisões sistemáticas recentes demonstraram associações moderadas a altas entre a FPM e a força de grupos musculares dos membros superiores (SZAFLIK *et al.*, 2025). Portanto, uma forte contração isométrica da mão e antebraço pode prover estabilidade mecânica para as articulações do punho e cotovelo, cuja otimização biomecânica é dependente da força de pegada (PETROFSKY *et al.*, 1980). Consequentemente, uma FPM insuficiente ou a fadiga da preensão manual (STASZKIEWICZ; RUCHLEWICZ; SZOPA, 2002), podem emergir como fator limitante, impedindo que os flexores do cotovelo expressem sua força máxima. Este efeito pode ser particularmente pronunciado durante a fase excêntrica, que apresenta alta demanda. Nossos dados exploratórios iniciais corroboram essa hipótese, indicando uma relação significativa entre a FPM e a força excêntrica máxima expressa neste equipamento. Contudo, ainda não se sabe como a FPM modula a expressão da força máxima concêntrica (FMConc) e excêntrica (FMExc) no treinamento baseado em CARE.

Diante do exposto, os objetivos do presente estudo são: (1) objetivo primário: comparar os efeitos de oito semanas de TFEE com diferentes volumes (uma série e três séries) no exercício rosca bíceps sobre a espessura muscular (EM) e volume muscular (VM) dos flexores de cotovelo; (2) analisar a relação entre a força de preensão manual máxima e a capacidade de produção de força concêntrica e excêntrica no exercício rosca bíceps em equipamento CARE; (3) descrever a velocidade de movimento durante o exercício rosca bíceps ao longo do TFEE;

(4) verificar o efeitos de diferentes volumes sobre a percepção subjetiva do esforço (PSE) e (5) da dor (PSD) em resposta ao exercício.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar os efeitos de diferentes volumes realizada no TFEE na hipertrofia muscular em adultos jovens destreinados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Em adultos jovens destreinados, comparar os efeitos do TFEE em um equipamento CARE realizado com diferentes volumes de uma e três séries no exercício rosca bíceps sobre a EM e VM bíceps braquial e braquial após quatro e oito semanas de treinamento.
2. Analisar a relação entre a força de preensão manual máxima e a FMConc e FMExc no exercício rosca bíceps em equipamento de resistência adaptativa, em adultos jovens destreinados.
3. Descrever o comportamento da velocidade de movimento (concêntrica e excêntrica) no exercício rosca bíceps ao longo das oito semanas de treinamento de força com resistência adaptativa.
4. Verificar os efeitos de uma e três séries no exercício rosca bíceps realizado com resistência adaptativa sobre a PSE em adultos jovens destreinados.
5. Verificar os efeitos de uma e três séries no exercício rosca bíceps realizado com resistência adaptativa sobre a PSD em adultos jovens destreinados.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ESPECIFICIDADES MECÂNICAS E FISIOLÓGICAS DAS AÇÕES MUSCULARES EXCÊNTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O TREINAMENTO DE FORÇA

A força muscular corresponde à capacidade do aparato musculoesquelético em tensionar-se exercendo força contra uma resistência externa a uma dada velocidade (KNUTTGEN; KRAEMER, 1987). Parâmetros como tipo de ação muscular, comprimento muscular e velocidade de contração são determinantes da força muscular produzida em uma dada condição. Quando um músculo ativa-se diminuindo seu comprimento, produzindo trabalho positivo contra uma resistência denomina-se "contração concêntrica". Por outro lado, quando seu comprimento é aumentado enquanto exerce força, parte da força produzida pela carga externa é absorvida, resultado na produção de trabalho negativo, descrevendo uma "contração excêntrica" (HILL, 1938; ABBOTT; RITCHIE, 1952). Embora não seja algo intuitivo, as ações musculares excêntricas são de suma importância para a funcionalidade humana, operando de maneira a absorver energia para desacelerações em movimentos de descida controlada, auxiliar na manutenção da estabilidade de articulações ou permitir o armazenamento de energia potencial elástica a fim de potencializar ações concêntricas subsequentes (KOMI; BOSCO, 1978). Neste contexto, ações musculares excêntricas possuem características mecânicas e fisiológicas distintas que impactam de forma específica aspectos como a capacidade máxima de produção de força, ativação muscular, custo metabólico e dano tecidual (HILL, 1938; ABBOTT; RITCHIE, 1952; KOMI; BUSKIRK, 1972).

Pesquisadores têm se dedicado ao estudo do trabalho muscular e as especificidades das ações musculares desde a primeira metade do século XX (HILL, 1938; ABBOTT; RITCHIE, 1952; KOMI; BUSKIRK, 1972). Hill (1938) demonstrou que a força exercida durante o alongamento muscular (*i.e.,* ação excêntrica) é maior do que na isometria e no encurtamento (*i.e.,* ação concêntrica), e essa superioridade é maior quanto mais rápido for o alongamento muscular. Ainda, uma relação positiva foi demonstrada entre velocidade de encurtamento e força máxima durante as ações excêntricas, em que mesmo em velocidades reduzidas, foi observada maior capacidade de produção de força máxima comparado a ações musculares isométricas e concêntricas. Complementarmente, Abbott e Ritchie (1952) observaram que quando comparada às ações isométricas e concêntricas, as excêntricas não só possuem um maior potencial para produção de força, mas também apresentam um menor custo metabólico para realização do mesmo trabalho mecânico. Adicionalmente, Komi e Buskirk (1972) demonstraram que, mesmo realizando maiores níveis de tensão muscular, exercícios com ações puramente excêntricas levam a uma menor atividade elétrica muscular em comparação ao

exercício puramente concêntrico. Assim, além de produzirem maiores níveis de força máxima, ações excêntricas são caracterizadas por uma maior eficiência energética e neuromuscular em comparação aos outros tipos de contração muscular.

Embora pareça apresentar vantagens mecânicas e fisiológicas, ações excêntricas, mesmo em velocidades de alongamentos reduzidas, resultam em maiores níveis de dano muscular quando comparadas às ações isométricas e concêntricas (HILL, 1938; MORGAN, 1990). Postula-se que a magnitude da tensão gerada e o compartilhamento do alongamento entre os sarcômeros em uma fibra são fatores determinantes da extensão do dano muscular (HILL, 1938; MORGAN, 1990; TALBOT; MORGAN, 1998). Nesse sentido, o maior alongamento, além do ponto de sobreposição dos miofilamentos, e a maior tensão resultam em desestruturação dos sarcômeros, onde ações excêntricas em maiores comprimentos musculares geram maiores respostas de dano do que quando realizadas em comprimentos reduzidos (LIEBER; FRIDÉN, 1993; TALBOT; MORGAN, 1998). O alto estresse mecânico associado a esse tipo de ação muscular resulta em alterações estruturais como o rompimento de linha Z e membranas e o extravasamento da matriz extracelular, além de alterações metabólicas como aumento na concentração intracelular de proteínas e metabólitos pró-inflamatórios (FRIDÉN; LIEBER, 2001; 1999).

Neste cenário, dadas as particularidades das propriedades mecânicas e fisiológicas atreladas às ações musculares excêntricas, bem como as decorrentes respostas de dano muscular, cresceu o interesse científico acerca das implicações deste tipo de ação muscular sobre as respostas agudas e adaptações crônicas ao TF.

3.2 IMPACTO DAS AÇÕES EXCÊNTRICAS NO TREINAMENTO DE FORÇA E IMPLICAÇÕES PARA A HIPERTROFIA MUSCULAR

O TF é, notadamente, um método utilizado por diferentes populações por estimular adaptações neurais e morfológicas específicas e importantes no sistema musculoesquelético, como aumento da força máxima, potência e hipertrofia muscular (SCHOENFELD, 2010; FLECK; KRAEMER, 2017). Convencionalmente, o TF é baseado em ações musculares dinâmicas, concêntricas e excêntricas, realizadas contra uma resistência externa ao longo de uma série de repetições em um dado exercício de força. Como exposto anteriormente, ações excêntricas possuem características únicas que, considerando o princípio da especificidade, demandam de forma única os músculos, podendo promover adaptações distintas no TF em comparação às ações concêntricas. Em vista disso, postula-se na literatura que, a partir da realização de maiores forças absolutas e uma maior magnitude de tensão nas fibras musculares,

as ações excêntricas podem favorecer maiores efeitos hipertróficos no TF (ROIG *et al.,* 2009; HODY *et al.,* 2019). Tal hipótese emerge, sobretudo, através de evidências acerca de respostas de síntese proteica e sinalização anabólica intracelular comparando ações excêntricas e concêntricas, além de estudos crônicos comparando os efeitos hipertróficos de programas de TF com diferentes regimes de ações musculares (HATHER *et al.,*1991; MOORE *et al.,*2005; ELIASSON *et al.,* 2006; FRANCHI *et al.,* 2014; ROIG *et al.,* 2009; HODY *et al.,* 2019).

A realização de maiores níveis de força e menor ativação de unidades motoras para mover uma mesma carga em ações excêntricas do que em concêntricas, sugere que durante ações de alongamento ativo há um aumento na tensão gerada por fibra muscular. Embora isso possa representar uma redução da quantidade de fibras recebendo estímulos para adaptações hipertróficas, foi demonstrado que o exercício excêntrico desencadeia uma maior resposta em aspectos envolvidos no processo de hipertrofia muscular (MOORE *et al.,* 2005; ELIASSON *et al.,* 2006; HODY *et al.,* 2019). Previamente, foi demonstrado que genes associados ao crescimento muscular apresentam maior expressão após ações excêntricas comparado a outros modos de contração (BARASH *et al.,* 2004). Ainda, o trabalho excêntrico provoca aumento expressivo na fosforilação de enzimas reguladoras da transcrição de proteínas musculares em comparação ao concêntrico sem aporte nutricional (ELIASSON *et al.,* 2006). Em acordo, foi reportado que mesmo realizando trabalho mecânico equivalente, exercícios excêntricos máximos provocam um aumento mais rápido da síntese de proteína miofibrilar pós exercício em comparação a exercícios puramente concêntricos (MOORE *et al.,* 2005). Isso sugere que a uma taxa de proteólise semelhante, exercícios excêntricos podem promover maior acréscimo de proteínas miofibrilares. Assim, por meio de maior tensão durante o alongamento muscular, ações excêntricas são mais eficazes na estimulação da síntese de proteínas, atividade de enzimas e genes responsáveis pelo crescimento muscular, mesmo sem o efeito de ingestão nutricional.

Além dos estudos agudos, existem evidências que apontam não somente para grandes efeitos hipertróficos estimulados por ações excêntricas, mas também que indicam que resultados ótimos de hipertrófica no TF são determinados pela presença de ações excêntricas (HATHER *et al.,* 1991; ROIG *et al.,* 2009; HODY *et al.,* 2019). Resultados reportados por Hather e colaboradores (1991) dão conta de que o desempenho de ações excêntricas foi crítico para otimização da hipertrofia das fibras musculares. Foi demonstrado que apenas o TF com ações concêntricas e excêntricas mostrou aumentos significativos na área média das fibras tipo I e tipo II, e que este foi o único grupo a manter a resposta hipertrófica na área média das fibras tipo I após um mês de destreinamento comparado ao treinamento puramente concêntrico. Em consonância, muitos estudos dedicaram-se a investigar e comparar a efetividade de ações

concêntricas e excêntricas em promover adaptações hipertróficas no TF (ROIG *et al.,* 2009; SCHOENFELD *et al.*,2017; HODY *et al.,* 2019). Roig e colaboradores (2009) em um uma revisão sistemática com meta-análise, reportaram que o TF excêntrico realizado em altas intensidades é mais eficaz em promover aumentos na área de secção transversal muscular. Posteriormente, em uma revisão com meta-análise, Schoenfeld e colaboradores (2017), com um número maior de estudos e outros parâmetros morfológicos, demonstraram que apesar de não atingir significância estatística, os resultados mostraram que o TF com ações musculares excêntricas resultaram em um tamanho de efeito maior em comparação com as ações concêntricas. Em suma, ainda que não se tenha clareza de uma maior efetividade em relação às ações concêntricas, as evidências sugerem que as ações excêntricas desempenham papel essencial na hipertrofia muscular, podendo ter efeitos similares ou superiores aos outros modos de contração (HODY *et al.*, 2019).

Neste quadro, por conta das características fisiológicas e mecânicas únicas, bem como um substancial potencial hipertrófico, tem crescido o interesse no desenvolvimento de estratégias que possam otimizar o trabalho muscular excêntrico no TF.

3.3 EQUIPAMENTOS DE TREINO E SOBRECARGA EXCÊNTRICA: IMPACTOS NO TREINAMENTO DE FORÇA E HIPERTROFIA MUSCULAR

A demanda muscular nas fases concêntricas e excêntricas nos exercícios de força é um aspecto importante no programa do TF, podendo resultar em efeitos variados em adaptações crônicas como incrementos de força máxima e massa muscular (ROIG *et al.,* 2009; SCHOENFELD *et al.,* 2017; HODY *et al.,* 2019). Exercícios de força são convencionalmente realizados utilizando equipamentos que oferecem resistência baseadas na força peso, como pesos livres e máquinas com placas de peso. Tais equipamentos oferecem resistências projetadas em acordo com a capacidade de produção de força em ações concêntricas durante toda a excursão do movimento (MEYLAN *et al.,* 2008; TINWALA *et al.,* 2017). Dada a distinção na capacidade de produção de força entre ações concêntricas e excêntricas, o TF realizado com equipamentos dependentes da gravidade acabam por resultar em um trabalho muscular excêntrico submáximo, já que a mesma resistência é utilizada para ambas as fases dos exercícios, e a fadiga concêntrica ocorre em maior magnitude limitando realização do exercício (NUZZO; NOSAKA, 2022). Dada a incompatibilidade entre a resistência ofertada e a capacidade de produção de força, exercícios com equipamentos tradicionais podem se tornar não somente pouco efetivos, mas também oferecer risco à segurança. Assim, medidas como a realização de exercícios com intensidades supra máximas (*i.e.*, maiores que o 1RM concêntrico)

com auxílio para a realização ou a não realização da fase concêntrica são comumente utilizadas. Essa dificuldade na realização de maiores sobrecargas excêntricas faz com que esse tipo de demanda seja obtido, sobretudo, através de equipamento sofisticados e de alto custo econômico, como dinamômetros isocinéticos, equipamentos pneumáticos, hidráulicos e customizados (MEYLAN *et al.,* 2008; TINWALA *et al.,* 2017; NUZZO; PINTO; NOSAKA, 2023b). Equipamentos como dinamômetros isocinéticos são comumente utilizados no cenário da pesquisa, pois permitem a realização de ações excêntricas máximas (CADORE *et al.,* 2014; BARONI *et al.,* 2013; GEREMIA *et al.,* 2019). Porém, tal dispositivo possibilita apenas a realização de ações excêntricas isoladas em movimentos monoarticulares. Recentemente, avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de equipamentos mais acessíveis que permitem a realização do TF com maiores sobrecargas excêntricas, em exercícios multiarticulares e consecutivamente às ações concêntricas (MEYLAN *et al.,* 2008; TINWALA *et al.,* 2017; NUZZO; PINTO; NOSAKA, 2023b). Nesse contexto, destacam-se os equipamentos com *flywheels* que aumentam a resistência na fase excêntrica através do armazenamento de energia em um disco inercial (NUÑEZ; SAÉZ, 2017; PETRÉ; WERNSTAL; MATTSSON, 2018). Revisões com meta-análise de Nuñez e Sáez (2017) e Petré, Wernstal e Mattsson (2018) reportaram que, além de permitir maiores intensidades em ações excêntricas, este tipo de equipamento é capaz de promover hipertrofia muscular substancial, especialmente nos músculos extensores do joelho. Adicionalmente, Illera-Domínguez e colaboradores (2018) verificaram hipertrofia muscular do músculo quadríceps femoral após apenas 14 dias de treinamento (cinco sessões), demonstrando que este modelo de treinamento é capaz de promover adaptações em curtos períodos. Neste contexto, estudos têm proposto que o TF com maiores sobrecargas excêntricas (TFEE), utilizando *flywheels*, pode potencializar adaptações hipertróficas (NUÑEZ; SAÉZ, 2017). Norbrand e colaboradores (2008) reportaram maiores aumentos no volume do vasto lateral após TFEE (5,8%) em comparação ao TF realizado em máquina convencional com pesos (1,8%). Posteriormente, Maroto-Izquierdo, García-López e Paz (2017) reportaram incrementos substancialmente maiores na EM do vasto lateral após TFEE em comparação ao TF em máquina com pesos. Ainda, em outro estudo Maroto-Izquierdo e colaboradores (2020) reportaram que os aumentos na espessura do deltoide anterior e médio foram significativamente maiores após o TFEE (20% e 22%, respectivamente) em comparação ao TF com equipamento pneumático (14% e 7%, respectivamente). No entanto, ainda não está claro se a realização de maiores intensidades excêntricas no TF leva a incrementos superiores de massa muscular em relação ao treinamento tradicional (resistência igual concêntrica e excentricamente). Nuñez e Saéz (2017), em sua

revisão com meta-análise, não identificaram associação entre a existência de maior sobrecarga excêntrica e incrementos superiores de massa muscular. Entre as possíveis justificativas, destaca-se o fato de que em exercícios com *flywheels* a sobrecarga ofertada na fase excêntrica depende da capacidade de produção de força na fase concêntrica, fazendo com que o desempenho excêntrico seja limitado pelo trabalho e falha concêntrica (SUCHOMEL *et al.*, 2019). Portanto, ainda são necessários estudos que investiguem os mecanismos subjacentes às adaptações hipertróficas induzidas pelo TFEE.

3.4 EXERCÍCIOS COM RESISTÊNCIA ADAPTATIVA: IMPACTO DA SOBRECARGA EXCÊNTRICA OTMIZADA E RELAÇÃO DOSE-RESPOSTA NO TREINAMENTO DE FORÇA

Frente às principais limitações para o aproveitamento do trabalho muscular excêntrico no TF, emerge um novo modelo de resistência para a realização de exercícios de força, baseado no controle e ajuste automático da sobrecarga através de *softwares* (NUZZO; NOSAKA, 2022). Os equipamentos de resistência adaptativa ou CARE (*Connected Adaptive Resistance Exercise*) representam uma alternativa mais eficiente para o TFEE pois são capazes de modular a resistência oferecida no exercício, durante e entre repetições em tempo real e de forma independente para ações concêntricas e excêntricas (NUZZO; NOSAKA, 2022). Em geral, o modelo de sobrecarga pode ser comparado a um sistema de *dropset* automatizado, onde é possível realizar contrações concêntricas e excêntricas máximas ou quase máximas, pois o dispositivo adequa a resistência em cada fase do exercício de acordo com a capacidade de produção de força do indivíduo (NUZZO; PINTO; NOSAKA, 2023a). Nuzzo e Nosaka (2022) reportaram a realização de altas intensidades em ações excêntricas, mesmo com a presença de fadiga substancial em ações concêntricas. Ainda, Nuzzo, Pinto e Nosaka (2023a) demonstraram que equipamentos CARE permitem a realização de maior volume de treinamento de TFEE em comparação a exercícios com peso livre, mesmo gerando maior perda de força e fadiga relatada. Assim, não somente é possível a realização do treinamento com ênfase na sobrecarga em ações excêntricas, como também é possível realizar maiores volumes de treinamento, mesmo com a fadiga muscular, através do ajuste automático. Portanto, este tipo de tecnologia pode, através da maior sobrecarga excêntrica e da realização de maiores volumes, impactar substancialmente a promoção de hipertrofia muscular no TF. Entretanto, a literatura carece de estudos crônicos verificando as adaptações hipertróficas induzidas pelo TFEE baseado em equipamentos CARE.

Está bem estabelecido que uma das variáveis mais importante relacionadas a ganhos de massa muscular em resposta ao TF é volume, geralmente manipulado através da quantidade de

séries e repetições nos exercícios (SCHOENFELD *et al.*, 2016). Com relação ao TF tradicional, maiores volumes parecem favorecer maiores respostas hipertróficas (SCHOENFELD *et al.*, 2016). Entretanto, existem poucas evidências acerca da relação dose-resposta no TFEE. Em estudo prévio investigando o efeito de três diferentes volumes no exercício de agachamento com maior sobrecarga excêntrica em um equipamento dispositivo hidráulico, Zacharia e colaboradores (2019) observaram maiores aumentos de área de secção transversal do vasto lateral com a realização de maiores volumes de séries. Ainda, Presland e colaboradores (2018) reportaram aumentos semelhantes no comprimento fascicular do bíceps femoral após intervenção com exercício nórdico de flexão de joelho realizando duas, quatro e cinco séries de repetições em mulheres jovens. Destaca-se que estes trabalhos não utilizaram equipamentos específicos para TFEE. Tais equipamentos permitem maiores intensidades excêntricas ao longo de toda a amplitude de movimento de forma independente do desempenho concêntrico, o que pode impactar as adaptações induzidas pelo treinamento.

O conhecimento acerca da relação dose-resposta do TFEE se faz importante, uma vez que este método de treinamento possui um maior potencial para promover respostas de dano muscular induzido pelo exercício (NOSAKA; NEWTON, 2002; HODY *et al.*, 2019). O alto estresse mecânico relacionado à realização de ações excêntricas no TF é um aspecto importante que pode promover respostas exacerbadas de dano muscular e, consequentemente, prejudicar o processo de treinamento e adaptações no TF (NOSAKA; NEWTON, 2002; HODY *et al.*, 2019). Está bem estabelecido que efeitos agudos como como dor muscular de início tardio, redução na amplitude de movimento e perda de força são mais pronunciados após exercícios excêntricos do que em outros modos de contração (NOSAKA; NEWTON, 2002; HODY *et al.*, 2019). Neste quadro, respostas demasiadas de dano muscular associadas a um maior estresse mecânico, podem dificultar a recuperação após sessões de treinamento, e prejudicar a continuidade e obtenção de adaptações no TFEE, especialmente em indivíduos destreinados. Portanto, considerando que a realização de maiores volumes pode desencadear maior dano muscular, é possível que exista um volume de TFEE limítrofe para promover adaptações positivas. Enquanto que um volume maior pode, contrariamente, dificultar as adaptações desejadas com o treinamento. Sob esse panorama, entender a relação dose-resposta do TFEE torna-se particularmente importante com o aumento do uso de equipamentos especializados para ênfase excêntrica, já que esses dispositivos deverão aumentar substancialmente a demanda de produção de força durante esse tipo de contração.

3.5 A VELOCIDADE DE MOVIMENTO NO TREINAMENTO DE FORÇA: RELAÇÃO FORÇA-VELOCIDADE E ESPECIFICIDADES DOS MODELOS DE RESISTÊNCIA

A prescrição do TF tradicionalmente se baseia na manipulação de variáveis agudas, entre as quais o número de repetições e séries (volume). Diretrizes e revisões anteriores frequentemente mencionam a velocidade de movimento apenas de forma superficial, sugerindo cadências "controladas" ou "lentas", sem aprofundar seu papel como variável determinante do estímulo ou da adaptação ao TF (PEREIRA; GOMES, 2003). Sugere-se que isso pode estar relacionado às dificuldades inerentes em medir e controlar precisamente a velocidade durante exercícios isoinerciais (com pesos livres ou máquinas convencionais) e à falta de consenso sobre seus efeitos (PEREIRA; GOMES, 2003).

O comportamento da velocidade de execução no TF isoinercial é destacado por uma relação inversa entre força e velocidade da ação muscular, em que quanto maior a carga externa, menor a velocidade concêntrica máxima que pode ser alcançada. Estudos analisando diferentes exercícios, como o supino, reportaram que intensidades mais altas (>70% 1RM) resultam em velocidades médias consideravelmente mais baixas do que intensidades mais leves (30-60% 1RM) (CRONIN; MCNAIR; MARSHALL, 2002). Embora técnicas que envolvem o ciclo alongamento-encurtamento (CAE) ou ações balísticas possam aumentar a velocidade de pico e média, especialmente com cargas leves a moderadas, as velocidades alcançadas no TF tradicional (tipicamente < 2 m/s) ainda são substancialmente inferiores às observadas em movimentos funcionais, que podem exceder 10 a 13 m/s (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011). Isso levantou questionamentos sobre a validade externa do princípio da "especificidade de velocidade" quando aplicado diretamente do TF isoinercial. Alguns autores sugerem que o estímulo neural associado a intenção de mover uma carga o mais rápido possível pode ser uma estratégia mais relevante para adaptações de alta velocidade do que a velocidade de movimento efetivamente alcançada, dada a limitação imposta pela carga (CRONIN, MCNAIR e MARSHALL, 2003).

Nos últimos anos, as evidências destacam a velocidade de movimento não como um objetivo em si, mas como uma ferramenta objetiva para monitorar a intensidade e a fadiga neuromuscular durante o TF. Existe uma relação intrínseca e estável entre a intensidade relativa (%1RM) e a velocidade média alcançada na primeira repetição de uma série realizada com esforço máximo. Isso permite estimar a intensidade real do exercício (%1RM) com base na velocidade da repetição inicial, superando as flutuações diárias no 1RM real do indivíduo (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011). Talvez ainda mais relevante seja a observação de que a perda de velocidade ao longo de uma série é um indicador

quantificável do nível de esforço empregado e do grau de fadiga neuromuscular acumulada ao longo de um estímulo. Essa perda de velocidade correlaciona-se com marcadores fisiológicos de estresse metabólico e hormonal (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011). Portanto, monitorar a velocidade é uma estratégia relevante no TF que pode auxiliar no seu controle e na análise dos seus resultados.

Os equipamentos de CARE podem representar uma mudança fundamental nesse paradigma. Nesses sistemas, a velocidade de movimento deixa de ser apenas uma consequência da carga ou um indicador de fadiga para se tornar um *input* ativo que o dispositivo utiliza para modular a resistência em tempo real (NUZZO; PINTO; NOSAKA, 2023a, 2023b). Conforme descrito por Nuzzo e colaboradores (2023a, 2023b), o algoritmo desses equipamentos monitora a velocidade do usuário (*i.e.*, 50 Hz) e a compara com uma "banda de velocidade" alvo. Durante a fase concêntrica, se a velocidade cai abaixo do limiar, indicando fadiga, a máquina reduz a resistência para permitir que o movimento continue com esforço máximo. Se a velocidade excede o limiar, a resistência aumenta. Na fase excêntrica, o comportamento pode ser inverso para garantir a sobrecarga. Essa adaptação instantânea permite não apenas a aplicação de sobrecarga excêntrica potencializada, mas também a realização de "*drop sets*" automatizados, em que a resistência diminui progressivamente à medida que o indivíduo fatiga, possibilitando a execução contínua de repetições com esforço máximo percebido por um volume maior do que seria possível com uma carga fixa. Ambos os estudos de Nuzzo e colaboradores (2023a; 2023b) demonstraram essa capacidade adaptativa e a consequente indução de fadiga substancial (medida pela redução da carga suportada e pela atividade elétrica muscular) durante exercícios de rosca bíceps com equipamentos CARE. Neste contexto, a velocidade transcende o papel de monitoramento para se tornar um componente ativo do sistema de controle da resistência externa. Portanto, torna-se indispensável descrever o comportamento da velocidade de movimento ao se investigar os efeitos do treinamento com equipamentos CARE.

3.6 A FORÇA DE PREENSÃO COMO POSSIVEL FATOR DA PERFORMANCE MÁXIMA EM EQUIPAMENTOS CARE

A força de preensão manual (FPM) tem sido amplamente utilizada como um marcador epidemiológico de saúde geral e um indicador de mortalidade (CRONIN *et al.*, 2017). No entanto, no campo da cinesiologia e do treinamento desportivo, seu papel parece ser mais complexo e ativo. Pra além de uma medida isolada, pode ser considerada como um reflexo da força muscular sistêmica e um componente importante na eficácia de movimentos complexos (CRONIN *et al.*, 2017)

Alguns estudos anteriores se dedicaram a entender se a FPM pode servir como um indicador da força em outros segmentos corporais. Uma revisão sistemática recente de Szaflik *et al.,* (2025) investigou essa relação e concluiu que, embora a FPM não deva ser usada indiscriminadamente como um indicador de força geral do corpo, ela demonstra associações mais robustas com os membros superiores. Os autores reportaram correlações positivas, de moderadas a altas (r = 0,40 a 0,82), entre a FPM e a força máxima de grupos musculares proximais, incluindo os flexores do cotovelo. Este achado é corroborado por pesquisas em populações atléticas, em que a FPM é consistentemente mais elevada em atletas de elite de esportes de força e combate em comparação com atletas de nível inferior, sugerindo que a FPM é um fator importante da capacidade de produção de força máxima (CRONIN *et al.,* 2017). Desta forma, a FPM parece ser um componente essencial da cadeia cinética, servindo como o ponto de transferência de força do corpo para um objeto ou implemento.

A função da FPM no TF pode estar além da transferência de força, podendo servir como um componente ativo para a estabilidade articular que está sujeita aos seus próprios limites biomecânicos e de fadiga. O estudo de Petrofsky *et al.,* (1980) demonstrou que a força máxima de preensão é otimizada em uma conformação de pegada específica, um ponto onde a relação comprimento-tensão dos músculos do antebraço e a vantagem mecânica articular são maximizadas. Isso implica que as características do implemento de preensão (manopla) ou a forma com que a resistência é aplicada pode influenciar a capacidade de gerar força máxima. Ainda, a FPM é suscetível à fadiga isométrica. Staszkiewicz, Ruchlewicz e Szopa (2002) demonstraram uma relação inversa entre a intensidade da contração (% da força máxima) e o tempo de resistência até a exaustão. Isto é, contrações isométricas de alta intensidade, como as necessárias para segurar uma carga pesada durante a rosca bíceps, só podem ser mantidas por um tempo limitado, dados os níveis de FPM. Este estudo também identificou uma correlação negativa entre a força máxima e a resistência muscular em cargas relativas, indicando que a capacidade de gerar força máxima e a capacidade de resistir à fadiga isométrica não são perfeitamente lineares. Petrofsky *et al.,* (1980) também confirmaram que o tempo até a fadiga de FPM é diretamente dependente da carga relativa.

A necessidade de investigar a FPM torna-se necessário no contexto de equipamentos CARE, uma vez que esta tecnologia opera de forma distinta dos pesos livres. Ela modula a resistência em tempo real com base na performance do usuário, primariamente através da velocidade de movimento aplicando sobrecarga potencializadas e explorando a capacidade máxima para cada repetição (NUZZO; NOSAKA, 2022; NUZZO; PINTO; NOSAKA, 2023a; NUZZO; PINTO; NOSAKA, 2023b). Para aplicar a sobrecarga excêntrica acentuada, o usuário

deve resistir ativamente à tração do cabo, mantendo uma velocidade excêntrica lenta e controlada. Se o usuário cede e o movimento acelera, o algoritmo da máquina interpreta isso como falha ou incapacidade de controle e, por segurança e funcionalidade, reduz a resistência excêntrica. Neste contexto, se a FPM isométrica máxima de um indivíduo for menor que a força excêntrica máxima que seus flexores do cotovelo são capazes de suportar, ele pode não alcançar a sobrecarga excêntrica ideal. Sua FPM falhará primeiro, o movimento acelerará, e a máquina reduzirá a resistência. Ainda, mesmo que a FPM máxima seja suficiente, a fadiga isométrica da preensão pode ser maior que a fadiga dinâmica dos flexores do cotovelo (STASZKIEWICZ; RUCHLEWICZ; SZOPA, 2002). Em séries prolongadas a fadiga da preensão pode se instalar primeiro, levando a um aumento da velocidade excêntrica e à subsequente redução da resistência pela máquina, reduzindo o estímulo ao grupo muscular alvo. Portanto, este estudo justifica a inclusão de um objetivo exploratório para analisar a relação entre a FPM e a produção de força máxima (concêntrica e excêntrica) dos flexores do cotovelo em equipamentos CARE. Compreender se, e em que medida, a FPM atua como um fator limitante é crucial para interpretar corretamente os resultados da intervenção de treinamento (uma série e três séries), para otimizar futuros protocolos de TFEE e para garantir prescrições seguras e eficazes, sugerindo, por exemplo, a necessidade de treinamento específico de FPM ou o uso de implementos para superar possíveis limitações quando necessário.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PROBLEMAS DE PESQUISA

Em adultos jovens destreinados, qual é a diferença nos efeitos de uma série versus três séries de TFEE no exercício rosca bíceps sobre a EM e VM dos músculos bíceps braquial e braquial após quatro e oito semanas de treinamento?

4.2 HIPÓTESE

A condição controle não irá promover alterações significativas na hipertrofia muscular dos flexores do cotovelo. Por outro lado, haverá adaptações positivas realizando uma e três séries no TFEE após quatro e oito semanas de treinamento. Adicionalmente, a realização de maior e menor volume de séries apresentará efeito hipertrófico similar após quatro e oito semanas de TFEE.

4.3 DESFECHOS DO ESTUDO

4.3.1 Desfecho primário

- Efeitos de uma e três séries do TFEE de oito semanas sobre a EM e VM dos flexores do cotovelo em adultos jovens destreinados.

4.3.2 Desfechos secundários (exploratórios)

- Influência da força de preensão manual sobre o desempenho máximo concêntrico e excêntrico dos flexores do cotovelo no exercício rosca bíceps realizado em um equipamento CARE em adultos jovens destreinados.

- Comportamento da velocidade de movimento em ações concêntricas e excêntricas no exercício rosca bíceps durante um programa de TFEE em adultos jovens destreinados.

- Comportamento da PSE do TFEE realizado com diferentes volumes ao longo de oito semanas em adultos jovens destreinados.

- Comportamento da PSD em resposta ao TFEE realizado com diferentes volumes ao longo de oito semanas em adultos jovens destreinados.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo foi delineado como um experimento de medidas repetidas, conduzido como parte de um projeto maior (Parecer: 6.756.938). A investigação centrou-se nos efeitos de uma intervenção TFEE de membros superiores, implementada ao longo de um período de oito semanas.

Os participantes foram submetidos a um protocolo de treinamento que utilizou um equipamento CARE controlado por aplicativo (Vitruvian Trainer+, Vitruvian Investments, Austrália; Figura 1). Este equipamento foi selecionado por sua capacidade de aplicar sobrecargas excêntricas aumentadas e permitir o monitoramento do desempenho em tempo real. Foi empregado um desenho intra-sujeito para os membros superiores, em que os participantes seguiram dois protocolos de treinamento distintos simultaneamente: em um dos braços, os participantes realizaram três séries do exercício de rosca bíceps e no braço contralateral, os participantes realizaram apenas uma série do mesmo exercício.

Previamente ao início do programa de treinamento, os indivíduos passaram por um período controle de duas semanas. Durante esta fase, os participantes foram instruídos a não realizar exercícios físicos de força ou aeróbios estruturados. Após o período controle, os membros superiores dos participantes foram randomizados e alocados em cada condição experimental (uma ou três séries). Esta alocação foi realizada por um pesquisador externo ao estudo para garantir um processo cego. A randomização foi estruturada para assegurar que um número igual de membros, direitos e esquerdos, fosse designado a cada condição de volume de treinamento.

As avaliações e a intervenção ocorreram integralmente no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança (ESEFID) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O cronograma de encontros e coletas de dados foi estruturado da seguinte forma: encontro 1: familiarização com os equipamentos e procedimentos; encontro 2: avaliação de controle (*baseline*); encontro 3: avaliação pré-intervenção (após o período controle de duas semanas); encontro 4: avaliação intermediária (após quatro semanas de treinamento); encontro 5: avaliação pós-intervenção (após oito semanas de treinamento). Durante os encontros, foram mensuradas a EM e VM dos músculos bíceps braquial e braquial. Para a análise cinemática, a velocidade de movimento durante a realização do exercício rosca bíceps foi registrada. Para tal, a velocidade de movimento foi avaliada em dois momentos: inicial e final. O momento inicial foi definido como a média aritmética dos valores de velocidade obtidos nas sessões das semanas 1, 2 e 3. O momento final foi definido como a média dos valores obtidos nas semanas 6, 7 e 8. Em ambos os casos, a

métrica de velocidade para cada sessão foi extraída da média da primeira série de exercício separadamente para a fase concêntrica e excêntrica.

Para garantir a objetividade dos dados coletados e mitigar o potencial viés de aferição, foi implementado um protocolo de cegamento simples. Todas as avaliações (*i.e.*, ultrassonografia, testes de força máxima e dinamometria manual) foram conduzidas por um único pesquisador treinado. Este avaliador permaneceu cegado quanto à alocação da condição experimental de cada participante, isto é, o avaliador não possuía conhecimento sobre qual membro superior havia sido randomizado para o protocolo de menor (uma série) ou maior volume (três séries) de treinamento.

Destaca-se que um total de 26 participantes completou a primeira bateria de avaliações (Dia 2 - avaliação pré-período controle). Os dados basais coletados neste momento (n=26) foram utilizados para conduzir a análise transversal, cujo objetivo foi investigar a relação entre a FPM e a força máxima (concêntrica e excêntrica) dos flexores de cotovelo, mensurada no equipamento de resistência adaptativa. Entretanto, deste grupo, 12 participantes completaram integralmente o protocolo de oito semanas de intervenção, incluindo todas as coletas de acompanhamento (Dias 3, 4 e 5). Consequentemente, todas as análises longitudinais, que avaliaram os efeitos do treinamento sobre as adaptações musculoesqueléticas (*i.e.*, espessura e volume muscular do bíceps braquial), PSE e PSD, bem como as variáveis cinemáticas (*i.e.*, ângulos articulares e velocidade de movimento), foram realizadas com base nesta amostra (n=12).



Figura 1. Equipamento de resistência adaptativa (Connected Adaptive Resistance Exercise - CARE) utilizado no estudo (Vitruvian Trainer+, Vitruvian Investments, Austrália).



Figura 2. Ilustração da alocação dos participantes de acordo com os membros, condições experimentais e desenho experimental do estudo.

4.5 POPULAÇÃO

A população investigada no presente estudo foi de homens adultos jovens, entre 18 e 40 anos, que não haviam participado de nenhum programa de treinamento de força ou aeróbio nos últimos 3 meses, prévios ao início do estudo.

4.6 PARTICIPANTES DO ESTUDO

4.6.1 Critérios de inclusão e exclusão

Critérios de inclusão:

- Homens com idade entre 18 e 40 anos.
- Ausência de diagnóstico de doença cardiovascular, diabetes mellitus tipo 1 ou 2, ou câncer.
- Ausência de exercício físico regular (aeróbio ou força) nos três meses anteriores ao início do estudo.
- Ausência de lesão muscular ou articular que impossibilitasse as avaliações ou exercícios de força no membro superior;
- Ausência de restrição médica que impossibilitasse a prática de exercício físico.

Critérios de exclusão:

- Hospitalização ou evento de saúde que impossibilitasse a continuidade no estudo;
- Ausência de disponibilidade para a condução das avaliações com intervalo inferior a 10 dias entre os encontros;

- Ausência em quatro sessões de treinamento de forma consecutiva;
- Envolvimento em programa de exercício físico regular no período da participação neste estudo.

4.6.2 Processo de seleção dos participantes

A seleção de participantes foi realizada de maneira não probabilística e voluntária. Os participantes foram recrutados por meio de mídias sociais (*e.g*. *Instagram*, Facebook), aplicativos de mensagens (*e.g.*, *Whatsapp*) e convite oral. Um folder foi utilizado para a divulgação da pesquisa (apêndice A).

4.6.3 Cálculo amostral

Para o cálculo amostral do presente estudo, foi utilizado o *software* GPower 3.1.9.7. Apesar do estudo ser projetado para análises utilizando GEE (Equações de Estimativas Generalizadas), o GPower não possui suporte para este tipo de análise. Assim, cálculo foi realizado com base em um teste ANOVA de medidas repetidas. A escolha de basear o cálculo em ANOVA de medidas repetidas justifica-se pela similaridade na estrutura de análise dos dados.

O tamanho de efeito foi baseado nos estudos de Schoenfeld *et al.,* (2019) e Matos *et al.*, (2022), que analisaram os efeitos do TF de alta intensidade sobre a EM dos flexores do cotovelo medida por ultrassom após oito semanas de intervenção. A partir desses estudos, foi calculado o tamanho do efeito (d de Cohen) para a mudança na EM (pré x pós oito semanas) e transformado em eta-quadrado parcial (*i.e.,* f). A partir do grupo "três séries" no estudo de Schoenfeld *et al.,* (2019) e o grupo "treinamento de força" no estudo de Matos *et al.,* (2022), foi obtido um tamanho de efeito f = 0,30. A escolha destes estudos se deu pela variável e grupo muscular avaliados, método de avaliação, bem como pelo período da intervenção, os quais são similares ao do presente estudo. Entretanto, destaca-se que os protocolos de TF nos estudos de referência foram de natureza tradicional, um estímulo distinto que pode induzir adaptações de magnitude ou variabilidade diferentes das do presente estudo. Não foram encontrados estudos que combinassem nosso desenho experimental, tipo de intervenção, duração e avaliação da EM por ultrassom. Ainda, ambos os estudos de referência utilizaram participantes previamente treinados em força, enquanto nossa amostra é composta por indivíduos destreinados. Esperamos que adultos destreinados apresentem uma magnitude de resposta hipertrófica potencialmente diferente (possivelmente maior ganho percentual inicial). Por fim, o tamanho de efeito utilizado representa o efeito principal do tempo nos estudos citados. A hipótese principal deste estudo

reside na interação entre o tempo e volume de treinamento, a qual pode resultar em um efeito menor em comparação ao efeito principal do tempo isolado.

Considerando estas limitações, foi utilizado o tamanho de efeito f de 0,3 com um nível de significância α estabelecido em 5%, com um poder β de 80% para detectar interações entre o número de séries (um e três) e o tempo (controle, antes e após quatro e oito semanas). Com base nesses parâmetros, o tamanho amostral calculado foi de 14 participantes. Devido ao risco de perda amostral, estimado em cerca de 20%, um adicional de 4 participantes foi incluído, resultando em um total de 18 participantes e 36 membros analisados.

4.7 DEFINIÇÕES OPERACIONAL DAS VARIÁVEIS

4.7.1 Variáveis de caracterização da amostra

- Idade (anos);
- Estatura (cm);
- Massa corporal total (kg);
- Índice de massa corporal (kg/m^2).

4.7.2 Variáveis independentes

- TFEE com uma série no exercício rosca bíceps;
- TFEE com três séries no exercício rosca bíceps;
- Condição controle, ausência de exercício físico;

4.7.3 Variáveis dependentes

- Espessura muscular do bíceps braquial e braquial (mm);
- Volume muscular do bíceps braquial e braquial (cm^3)

4.7.4 Variáveis de controle do treinamento

- Desempenho de força produzida no equipamento de resistência adaptativa;
- Percepção subjetiva de esforço;
- Percepção subjetiva de dor;
- Força de preensão manual.

4.8 PROCEDIMENTOS PARA COLETAS DE DADOS

Após a aprovação pelo comitê de ética e pesquisa local, a amostra do presente estudo foi então recrutada. Inicialmente, foi realizado um contato por telefone com possíveis

participantes para a verificação de critérios de inclusão e exclusão. Os indivíduos que permaneceram após este contato inicial foram convidados para comparecer ao LAPEX-ESEFID-UFRGS para maior conhecimento do projeto. A seguir, encontra-se um resumo dos principais dias de avaliações do estudo.

Dia 1 – Apresentação do projeto: Os detalhes do estudo foram apresentados aos participantes. A seguir, os critérios de inclusão e exclusão do estudo foram reforçados aos participantes, e estes tiveram sua massa corporal total e estatura verificadas e responderam a uma anamnese (apêndice B). Quando os critérios de inclusão e de exclusão do estudo foram atendidos, e os participantes apresentaram interesse e concordância com o estudo, o termo de consentimento livre e esclarecido (apêndice C) foi fornecido, sendo assinado pelo participante e pelo pesquisador responsável. Posteriormente, foram apresentados o local e a plataforma de treinamento. O tempo estimado para o encontro foi de até 1 hora e 30 minutos.

Dia 2 - Avaliação pré-período controle: Neste dia, foram coletados os dados basais. Realizou-se a avaliação da EM e VM dos músculos bíceps braquial e braquial. Adicionalmente, foi realizada a avaliação da FPM. O tempo estimado do encontro foi de 2 horas e 30 minutos por indivíduo.

Dia 3 - Avaliação pré-treinamento: Após duas semanas de período controle, foram novamente coletadas as medidas de ultrassonografia (espessura e volume muscular dos flexores do cotovelo) e a FPM. Adicionalmente, foram realizados os testes de força máxima de membros superiores (ações concêntricas e excêntricas na rosca bíceps). Por fim, o participante foi familiarizado com o protocolo da sessão de treinamento. O tempo estimado para o encontro foi de 2 horas e 30 minutos por indivíduo.

Dia 4 - Avaliação pós 4 semanas de treinamento: Após quatro semanas de intervenção (oito sessões de treinamento), e decorrida uma semana da última sessão, foram realizadas novamente as avaliações de ultrassonografia (espessura e volume muscular dos flexores do cotovelo e a FPM. O tempo estimado para o encontro foi de 2 horas e 30 minutos por indivíduo.

Dia 5 - Avaliação pós-intervenção: Após oito semanas de intervenção (16 sessões de treino), e decorrida uma semana da última sessão de treinamento, foi realizada a avaliação final. Esta incluiu as medidas de ultrassonografia (espessura e volume muscular dos flexores do cotovelo), a FPM e o re-teste de força máxima de membros superiores (ações concêntricas e excêntricas). O tempo estimado para o encontro foi de 2 horas e 30 minutos por indivíduo.

Monitoramento durante a Intervenção: Adicionalmente às avaliações nos dias 1-5, ocorreu o monitoramento de variáveis durante as sessões de treinamento. A FPM foi avaliada antes e imediatamente após cada sessão de membros superiores. A velocidade de movimento

na rosca bíceps foi registrada através de gravações de vídeo no plano sagital durante as primeiras sessões das semanas 1, 2, 3, 6, 7 e 8 do programa. Ainda, foi registrada a PSE após cada série de exercício, bem como a PSD antes das sessões, a fim de monitorar as respostas agudas ao programa de treinamento

4.9 AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS

4.9.1 Variáveis antropométricas

A massa corporal total foi verificada em uma balança digital (Urano-PS 180, Brasil), enquanto a estatura em estadiômetro. Para isso, os participantes não portaram acessórios, e permaneceram descalços e com roupas leves (*e.g.,* ausência de casacos). Os valores obtidos foram utilizados para a verificação do índice massa corporal (kg/m²).

4.9.2 Espessura muscular

A avaliação da EM foi realizada por meio de imagens obtidas com aparelho de ultrassonografia (LOGIQ P7, GE Healthcare, Japão). Previamente ao início da aquisição das imagens, os participantes permaneceram em repouso por 5 minutos. Durante a avaliação, os participantes permaneceram deitados com os membros superiores e inferiores estendidos e relaxados. Um transdutor com frequência de amostragem de 8,0 MHz foi posicionado de forma perpendicular sobre o músculo bíceps braquial. Para a aquisição da imagem, foi utilizado um gel à base de água, que promove um contato acústico sem a necessidade de causar pressão sobre a pele. Durante o teste, foi evitado qualquer tipo de pressão adicional do transdutor sobre a pele dos participantes.

O ponto de aquisição das imagens foi definido em 70% do comprimento do braço (distância entre o acrômio da escápula e o epicôndilo lateral do úmero) (YOSHIDA *et al.,* 2024). Três imagens foram obtidas, sendo o valor médio de EM utilizado para as análises. A verificação da EM foi realizada no *software* Image-J (versão 1,37, National Institutes of Health, USA), através da identificação do tecido adiposo subcutâneo e tecido ósseo na imagem da ultrassonografia, sendo a distância entre a aponeurose superficial e o início do tecido ósseo (úmero) definida como a espessura dos músculos bíceps braquial e braquial (Figura 3). A avaliação da EM foi efetuada nos membros direito e esquerdo.

Por fim, para garantir que os mesmos pontos fossem avaliados em diferentes momentos do estudo, foi realizada a comparação com imagens anteriores no momento das avaliações, bem como foi utilizado um mapa criado a partir de folhas de plástico sobre a pele dos participantes com marcações que identificam os pontos de análise no período das avaliações iniciais do

estudo (RADAELLI *et al.,* 2018). Um mesmo avaliador realizou todas as avaliações ao longo do estudo.

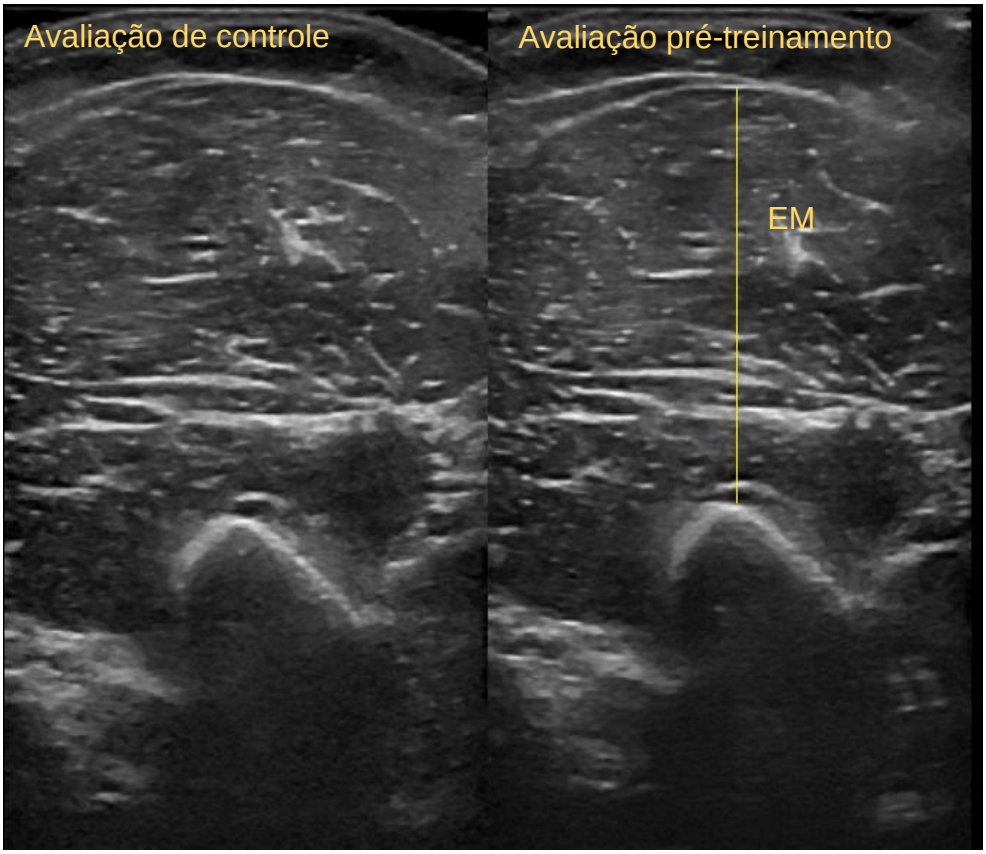


Figura 3. Imagem de ultrassonografia do bíceps braquial e braquial para a medição da espessura muscular (EM; linha vertical amarela).

4.9.3 Volume muscular

Para estimar o volume muscular (VM) dos flexores do cotovelo, foi empregado o método validado por Miyatani *et al.,* (2004), que utiliza uma equação de regressão múltipla baseada em medidas de EM por ultrassonografia e comprimento do membro. Este método permite uma estimativa do VM, tendo demonstrado um alto coeficiente de determinação (r^2 = 0,884) e um baixo erro padrão da estimativa (SEE = 22,1 cm^3) em comparação com o método padrão-ouro de ressonância magnética.

Após a obtenção da EM e do comprimento do braço, estas variáveis foram inseridas na equação de regressão múltipla específica para os flexores do cotovelo, desenvolvida e validada por Miyatani *et al.,* (2004). A equação utilizada foi: VM (cm^3) = (EM x 117,9) + (CB x 12,6) - 494,0.

4.9.4 Força máxima em equipamento de resistência adaptativa

A fim de assegurar a validade ecológica e especificidade, o protocolo de avaliação da força máxima foi conduzido no mesmo equipamento CARE utilizado na intervenção de TFEE. Antes da avaliação, os participantes executaram um protocolo de aquecimento padronizado, estruturado em duas fases. Um aquecimento geral foi realizado, sendo cinco minutos de atividade em cicloergômetro com intensidade leve a moderada e auto selecionada, seguido de um aquecimento específico. O aquecimento específico foi realizado no próprio equipamento e consistiu em duas séries de rosca bíceps com resistência constante. Na primeira série foram realizadas 10 repetições com carga leve (4 kg) e após um intervalo de 1 minuto e 30 segundos foi realizada uma nova série de maior intensidade. A segunda série consistiu na realização de 5 repetições com uma sobrecarga incrementada com base no valor de PSE reportado pelo participante na primeira série (*i.e.*, um aumento de 25% para PSE 8-10; 50% para PSE 5-7; ou 75% para PSE 0-4), visando preparar o sistema neuromuscular para ações máximas.

Após o aquecimento, foi realizada a randomização dos membros (direito e esquerdo) para definir qual iniciaria os testes máximos. O protocolo de teste seguiu uma ordem fixa, iniciando-se sempre pelas ações concêntricas, seguidas das ações excêntricas. Antes de cada bloco de avaliação (*e.g.*, concêntrico-direito), os participantes realizaram duas repetições de pré-teste para familiarização e esclarecimento de dúvidas. Em cada bloco foram realizadas três tentativas máximas para cada condição (concêntrica e excêntrica, em cada braço), separadas por um intervalo de três minutos para garantir a recuperação adequada.

As instruções para cada ação muscular foram distintas, com o objetivo de capturar o pico de força em cada teste. No teste concêntrico o participante iniciava em extensão total do cotovelo e era instruído a realizar a flexão do cotovelo com a maior força e velocidade possível contra a resistência do equipamento. No teste excêntrico o participante iniciava em flexão máxima do cotovelo e era instruído a resistir ativamente à extensão, realizando o movimento de forma lenta e controlada, com o objetivo de aplicar a maior força possível contra os cabos, evitando aceleração demasiada no movimento. Em ambos os testes, foi fornecido *feedback* verbal e os participantes foram instruídos a evitar movimentos acessórios (*e.g.*, balanço do tronco ou elevação dos ombros).

Para a análise, foi utilizada a média dos valores de pico de força obtidos nas tentativas (para cada condição, concêntrica e excêntrica) que apresentaram um coeficiente de variação igual ou inferior a 10%.

4.9.5 Velocidade de movimento

A coleta de dados consistiu na gravação de vídeos digitais dos participantes realizando o exercício de rosca bíceps. Os participantes foram posicionados de forma que o braço em exercício estivesse visível no plano sagital em relação à câmera, permitindo uma análise bidimensional clara da articulação do cotovelo. A câmera de gravação (Sony Handycam HDR-CX190E) com uma taxa de quadro de 60 FPS foi posicionada a três metros dos participantes para a realização de todas as gravações.

Cada participante foi gravado em diferentes momentos da intervenção (sessões iniciais: 1, 3, 5 e sessões finais: 11, 13, 15), realizando séries de 10 repetições por vídeo. Os arquivos de vídeo foram sistematicamente nomeados de acordo com um identificador único do participante, o braço avaliado (direito ou esquerdo) e o momento da avaliação (*e.g.*, 7_D_A1. mp4).

A análise cinemática foi conduzida utilizando um *pipeline* computacional personalizado, desenvolvido em linguagem Python, com o auxílio das bibliotecas OpenCV, MediaPipe, Pandas e Scipy (Apêndice D). O processo foi dividido em duas etapas principais: (A) estimativa dos pontos anatômicos relevantes (punho, cotovelo e ombro) e cálculo cinemático frame a frame, e (B) segmentação dos dados por repetição e faze do movimento e cálculo da velocidade angular.

Primeiramente, todos os vídeos foram processados individualmente para extrair todos os dados cinemáticos. Foi utilizado o modelo de detecção de pose MediaPipe, uma solução de aprendizado de máquina que identifica marcos corporais (*i.e.*, *landmarks*) em tempo real sem a necessidade de marcadores físicos. Para cada frame do vídeo, o modelo forneceu as coordenadas bidimensionais (x, y) de 33 *landmarks* corporais (Figura 4). Para a análise da rosca bíceps, foram extraídas as coordenadas de três *landmarks* do braço: ombro (ponto proximal), cotovelo (vértice) e punho (ponto distal). O ângulo interno do cotovelo (em graus) foi calculado para cada frame, utilizando os três *landmarks* como vértices. A velocidade angular (°/s) foi calculada como a variação do ângulo dividida pela variação do tempo entre os frames. Um filtro digital foi aplicado aos dados de velocidade angular para atenuar ruídos e facilitar as análises posteriores. Todos os dados (ID do participante, braço, momento, tempo em segundos, ângulo do cotovelo, velocidade angular) de todos os vídeos foram sumarizados e salvos em um arquivo Excel.

Após a obtenção dos dados cinemáticos brutos foi feita a análise para identificar as repetições, fases do movimento e velocidade angular média para cada fase. Foi implementado um algoritmo de detecção de momentos de máxima extensão e flexão durante a variação do ângulo do cotovelo em cada série. A detecção foi ajustada pela diferença mínima de variação

do ângulo do cotovelo em graus a ser considerada e o tempo mínimo entre repetições, garantindo que apenas as 10 repetições válidas fossem segmentadas e que ruídos de movimento fossem rejeitados.

Cada ciclo de repetição foi dividido em duas fases, com base na sequência detectada entre maior flexão e maior extensão. A fase concêntrica foi definida como o segmento de movimento entre uma extensão e uma flexão. A fase excêntrica foi definida como o segmento de movimento entre uma flexão e uma extensão. A contagem de repetições foi programada para iniciar em "1", com o número da repetição sendo incrementado após a conclusão de cada fase excêntrica até “10”. Para isolar as fases dinâmicas do movimento e excluir momentos de pausa foi aplicado um limiar de velocidade de 10 °/s. Todos os frames da série foram separados em duas categorias: concêntricos e excêntricos. A fase concêntrica incluiu todos os frames em que a velocidade angular foi negativa e mais rápida que o limiar indicando a ação de flexão do cotovelo. A fase excêntrica incluiu todos os frames em que a velocidade angular foi positiva e mais rápida que o limiar, indicando a ação de extensão do cotovelo. Os dados filtrados foram agrupados por cada série. Em seguida, a velocidade angular média foi calculada para todos os frames concêntricos e excêntricos de cada série e utilizada para as análises.

A partir disso, para cada sessão de avaliação (semanas 1, 2, 3, 6, 7 e 8), foi calculada a velocidade média concêntrica e excêntrica da primeira série de exercício. Em seguida, os dados foram agregados: a velocidade inicial foi definida como a média dos valores das semanas 1, 2 e 3, enquanto a velocidade final foi definida como a média dos valores das semanas 6, 7 e 8.

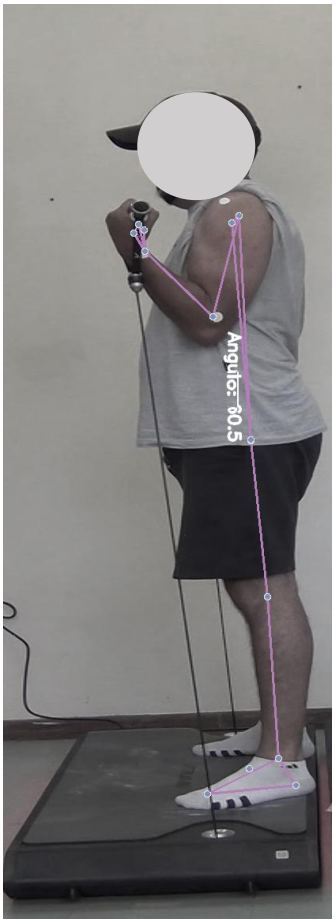


Figura 4. Análise cinemática do exercício rosca bíceps e *landmarks* (ombro, cotovelo e punho) obtidos através do *MediaPipe* para o cálculo dos ângulos do cotovelo e velocidade movimento durante o exercício.

4.9.6 Força de preensão manual

Considerando que o equipamento de TFEE utilizado no estudo aplica resistência por meio de cabos, exigindo preensão contínua durante os movimentos de flexão e extensão do cotovelo, a força de preensão manual (FPM) foi mensurada como uma potencial variável interveniente. A avaliação foi conduzida em conformidade com as diretrizes da *American Society of Hand Therapists* (MACDERMID; SOLOMON; VALDES, 2015).

Para a mensuração, foi empregado um dinamômetro manual hidráulico (Jamar - Lafayette Instrument Co, Lafayette, EUA). O protocolo de avaliação foi realizado com os participantes posicionados sentados, mantendo o ombro aduzido, o cotovelo fletido a 90°, o antebraço apoiado e o punho em posição neutra (Figura 5). A alça do dinamômetro foi ajustada individualmente ao tamanho da mão de cada participante para otimizar a posição de preensão. Os participantes foram instruídos a exercer uma pressão gradual e contínua na alça do equipamento por um período de 5 segundos. Foram realizadas três tentativas para cada mão,

iniciando-se pela mão dominante. O protocolo de descanso consistiu em dez segundos de intervalo entre a avaliação de cada mão e dois minutos de intervalo entre as tentativas. Conforme Al-Qahtani *et al.,* (2023), uma quarta tentativa foi realizada caso fosse observada uma diferença superior a 5% entre as medidas obtidas. Para a análise dos dados, foi utilizada a média dos valores das três tentativas.



Figura 5. Ilustração do teste de força de preensão manual com dinamômetro hidráulico.

4.9.7 Percepção subjetiva do esforço

O monitoramento das respostas individuais às sobrecargas no exercício rosca bíceps com resistência adaptativa foi realizado através da escala de percepção subjetiva do esforço de OMNI (0 "extremamente fácil" a 10 "extremamente difícil") (NACLERIO et al., 2011). Previamente ao início do programa de treinamento os participantes foram instruídos e familiarizados com o uso da escala OMNI. O valor de PSE foi coletado após um minuto da realização de cada série de exercício a partir da solicitação do quão difícil o esforço realizado na série previamente realizada.

4.9.8 Percepção subjetiva de dor

Para o monitoramento da recuperação e do nível de dano muscular, a partir da segunda sessão foi verificada a PSD dos participantes. Para isso, foi utilizada uma escala visual analógica (EVA) de percepção subjetiva dor, de 0 a 100-mm, com uma linha contínua em que

0 mm representa “ausência de dor” e 100 mm representa “dor extrema” (CHEN *et al.,* 2011). Foi solicitado que os participantes marcassem na EVA seu nível de PSD ao realizar movimentos de flexão e extensão amplitude completa e ao realizar uma palpação no ventre do bíceps braquial (CHEN *et al.,* 2011). Todas as medições foram realizadas nos momentos anteriores ao início das sessões de treinamento, a fim de analisar o estado de recuperação dos praticantes em relação ao treinamento anterior.

4.10 PROTOCOLO DE TREINAMENTO

O protocolo de treinamento foi conduzido com frequência de duas sessões semanais (*i.e.*, segundas e sextas-feiras) e consistiu em exercícios para membros superiores

O treinamento seguiu um delineamento experimental de medidas repetidas. Os membros superiores dos participantes foram randomizados para duas doses de volume distintas: uma condição de volume mínimo (uma série) e uma de maior volume (três séries) no exercício rosca bíceps, realizado em amplitude completa.

Este exercício foi executado em um equipamento CARE (*i.e.,* Vitruvian Trainer +) configurado no modo de sobrecarga excêntrica. Este modo possibilita o incremento progressivo da sobrecarga ao fim da fase concêntrica (*i.e.,* cotovelo completamente fletido). Caso o participante não conseguisse sustentar esta carga aumentada durante a fase excêntrica, o equipamento ajustava automaticamente a resistência com base na velocidade de movimento, permitindo que o participante prosseguisse com o exercício. Dessa forma, os participantes realizaram esforços máximos em cada repetição, tendo a sobrecarga concêntrica e excêntrica ajustada pelo equipamento em tempo real, de acordo com o desempenho individual. Previamente às sessões, foi randomizada a ordem de realização do exercício rosca bíceps. Posteriormente, foram realizadas duas séries de aquecimento específico no exercício de rosca bíceps utilizando um modo de resistência constante. Inicialmente, os participantes realizaram uma série de dez repetições com quatro quilos. Após um intervalo de 1 minuto e 30 segundos, foi realizada uma série de cinco repetições com maior intensidade, sendo esta incrementada de acordo com a PSE relatada na primeira série.

O monitoramento das respostas individuais às sobrecargas foi realizado através da escala visual analógica de percepção subjetiva do esforço de OMNI (0 "extremamente fácil" a 10 "extremamente difícil") (NACLERIO *et al.,* 2011). A PSE foi coletada um minuto após a realização de cada série de trabalho. Para o monitoramento da recuperação e do nível de fadiga, também foram verificados os valores de força (em quilos) produzidos em cada sessão.

Tabela 1. Periodização do programa do TFEE para o membro superior (rosca bíceps).

Semana de treinamento	Frequência semanal	Intensidade* (baseado no desempenho e ajuste individuais no equipamento)	Séries	Repetições /série	Intervalo /série	Total de repetições por semana e por sessão	
						Grupo **1 série**	Grupo **3 séries**
1	2	100%	1 ou 3	10	2 minutos	20 (10/10)	60 (30/30)
2	2	100%	1 ou 3	10	2 minutos	20 (10/10)	60 (30/30)
3	2	100%	1 ou 3	10	2 minutos	20 (10/10)	60 (30/30)
4	2	100%	1 ou 3	10	2 minutos	20 (10/10)	60 (30/30)
5	2	100%	1 ou 3	10	2 minutos	20 (10/10)	60 (30/30)
6	2	100%	1 ou 3	10	2 minutos	20 (10/10)	60 (30/30)
7	2	100%	1 ou 3	10	2 minutos	20 (10/10)	60 (30/30)
8	2	100%	1 ou 3	10	2 minutos	20 (10/10)	60 (30/30)

*O participante realizará esforços máximos, tendo a sobrecarga concêntrica e excêntrica ajustada a cada repetição pelo equipamento, de acordo com o seu desempenho no exercício rosca bíceps .



5 ANÁLISE DOS DADOS

Para as análises dos dados, foram construídos modelos mistos (Equações de Estimativa Generalizada para analises com medias repetidas e Regressão Linear Mista para análises transversais), dada a estrutura dependente e repetida dos dados (medições repetidas dentro dos participantes). Em todos os modelos, foram utilizadas as distribuições Gaussiana (distribuição normal dos resíduos) ou Gaussiana inversa (distribuição não normal dos resíduos) com função de ligação *identity*. A estimação dos parâmetros foi realizada pelo método de máxima verossimilhança restrita, e os testes F dos efeitos fixos utilizaram a aproximação de Satterthwaite para os graus de liberdade. O pressuposto de normalidade dos resíduos de todos os modelos foi verificado através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, bem como pela inspeção visual dos gráficos Q-Q. Quando um efeito principal significativo ou uma interação foi detectada nos testes F, comparações *post hoc* foram realizadas utilizando a correção de Bonferroni. A variância explicada pelos efeitos fixos (R^2 marginal) e pelo modelo completo (R^2 condicional) foi calculada, juntamente com o Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC), para quantificar a proporção da variância total explicada pelas diferenças entre os participantes.

Para verificar o efeito de diferentes volumes de TFEE sobre a EM e VM dos flexores de cotovelo, as variáveis dependentes fora a EM e VM. Foram considerados como efeitos fixos os fatores tempo (controle, pré-treinamento, após quatro e oito semanas de TFEE), volume de treinamento (uma série e três séries) e a interação momento e volume de treinamento. Um intercepto aleatório foi incluído como participante para captar as variações explicadas pelas diferenças individuais.

Para avaliar o efeito da FPM sobre a FMConc e FMExcnos dos flexores de cotovelo modelos separados foram usados para os picos de força concêntrico e excêntrico (variáveis dependentes). Os efeitos fixos incluíram FPM (covariável contínua) e membro (fator categórico: braço direito e braço esquerdo), com o participante como efeito aleatório para captar as variações explicadas pelas diferenças individuais.

Para a análise do comportamento da velocidade de movimento entre os momentos inicial e final do TFEE, foram utilizados dois modelos separados: um para a variável dependente velocidade média concêntrica e outro para velocidade média excêntrica. Em ambos os modelos, momento (com dois níveis: inicial e final) e volume de treinamento (uma e três séries) foram tratados como efeitos fixos. A interação entre momento e série também foi incluída para determinar se o efeito do momento de avaliação era dependente da série sendo executada. Para controlar a variabilidade basal entre os indivíduos, o participante (n=7) foi incluído como um efeito aleatório. Para a análise, a velocidade de movimento foi definida em dois momentos: inicial e final. A velocidade inicial foi calculada como a média da velocidade observada nas sessões das semanas 1, 2 e 3. De forma análoga, a velocidade do momento final foi calculada como a média das sessões das semanas 6, 7 e 8. Para cada sessão, o valor de velocidade utilizado foi a média da primeira série de exercício.

Para analisar a PSE ao longo das 16 sessões de treinamento, foram comparados dois tipos de modelos estatísticos. Inicialmente, um modelo linear misto padrão com distribuição Gaussiana foi testado. No entanto, a análise dos pressupostos deste modelo revelou uma violação significativa da normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk, $p < .001$). Consequentemente, para modelar adequadamente a natureza dos dados de PSE (contínuos, positivos e com assimetria), foi utilizado um modelo linear misto generalizado utilizando uma distribuição Gaussiana inversa e uma função de ligação *Identity*. O volume de treinamento (uma série e três séries) e (16 sessões) foram tratados como efeitos fixos categóricos, assim como a sua interação. O participante foi tratado como um efeito aleatório para captar a variabilidade devida às diferenças individuais.

Para monitorar a dor muscular tardia induzida pelo treinamento, modelos separados foram construídos para a análise da PSD em resposta à palpação e ao movimento (variáveis dependentes). Os efeitos fixos incluídos em ambos os modelos foram o volume de treinamento (uma série e três séries), momento (16 níveis, sessão 1 a 16), e a interação entre volume de treinamento e o momento. O participante foi utilizado com um fator para controlar a dependência dos dados.

Para analisar a progressão da força máxima ao longo das oito semanas de intervenção e caracterizar o desempenho no TFEE, os dados de pico de força (concêntrico e excêntrico) de ambas as sessões de treinamento semanais foram agregados em uma média semanal (semana 1 a 8). Modelos separados foram construídos para analisar o pico de força concêntrica (MPConc) e o pico de força excêntrica (MPExc) como variáveis dependentes. Os efeitos fixos incluídos em ambos os modelos foram as semanas de treinamento (semana 1 a 8), volume de treinamento (uma e três séries) e a interação entre esses dois fatores. Para controlar a dependência dos dados intra-sujeito e a variabilidade interindividual, o participante foi utilizado como efeito aleatório.

A confiabilidade das medidas repetidas de desfecho foi avaliada utilizando os dados coletados nos momentos controle e pré-treinamento. Para tal, foram calculados o ICC e o erro típico das medidas, definido como o desvio padrão da diferença entre as duas medições dividido pela raiz quadrada de dois. Com base no erro típico, a responsividade individual ao programa de treinamento foi determinada, sendo considerados "responsivos" os participantes que demonstraram um incremento (do momento pré-treinamento para após oito semanas) que fosse, no mínimo, duas vezes superior ao erro típico observado no período controle (GEREMIA *et al.*, 2019).

Todas as análises foram conduzidas utilizando o *software* JAMOVI (versão 2.7.11.00, pacote GAMLj3), adotando um nível de significância (α) de $p \leq 0,05$. Os resultados são apresentados através de média, desvio-padrão, coeficientes estimados e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.

6 RESULTADOS

6.1 ADAPTAÇÕES AO TFEE COM DIFERENTES VOLUMES

6.1.1 Características da amostra

O fluxograma acerca do recrutamento dos participantes do presente estudo está apresentado na Figura 6. A amostra foi composta por 12 homens jovens saudáveis e destreinados em força ou aeróbio, os quais completaram o estudo. As características gerais dos participantes são apresentadas na Tabela 2. Destaca-se que quatro participantes que iniciaram sua participação no presente estudo tiveram sua participação interrompida devido ao impacto das enchentes que afetaram o Rio Grande do Sul no primeiro semestre de 2024.

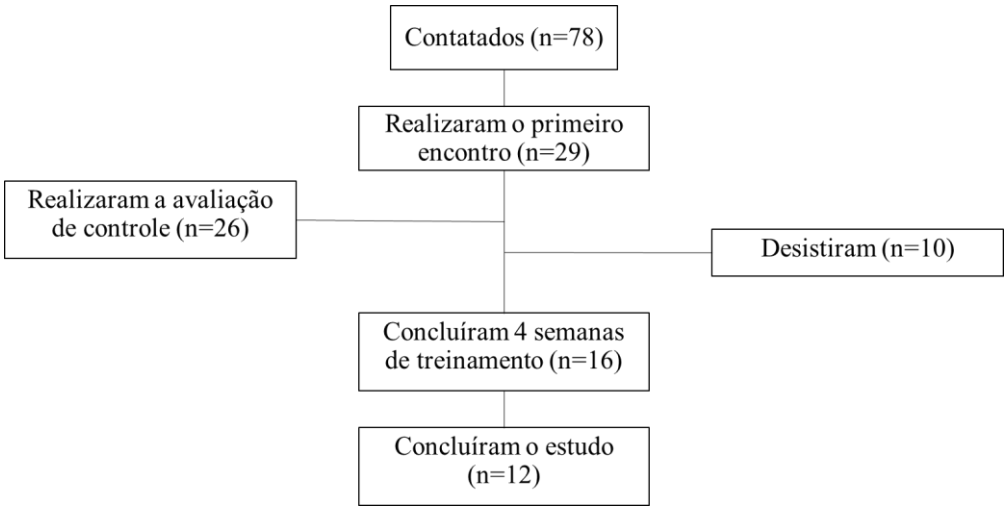


Figura 6. Fluxograma de recrutamento do estudo.

Tabela 2. Características gerais da amostra (n=12).

Variável	Média e desvio padrão
Idade (anos)	28,91 ± 5,9
Estatura (m)	1,78 ± 0,06
Massa corporal (kg)	81,40 ± 7,33
Índice de massa corporal (kg/m²)	25,71 ± 3,30
Força de preensão manual membro direito (kgF)	38,83 ± 6,78
Força de preensão manual membro esquerdo (kgF)	36,76 ± 7,03
Força concêntrica máxima, membro direito (kg)	19,08 ± 6,19
Força concêntrica máxima, membro esquerdo (kg)	18,99 ± 4,50
Força excêntrica máxima, membro direito (kg)	26,78 ± 4,83
Força excêntrica máxima, membro esquerdo (kg)	26,12 ± 5,31

6.1.2 Confiabilidade das medidas

As medidas de EM apresentaram alta confiabilidade (Uma série: ICC = 0,99, p = 0,000; Três séries: ICC = 0,99, p = 0,00) e um erro típico de 0,73 mm para os membros que realizaram menor volume e 0,37 mm para os membros que realizaram maior volume. Para as medidas de VM também foi observada alta confiabilidade nas medidas (Uma série: ICC = 0,98, p = 0,000; Três séries: ICC = 0,99, p = 0,00) e um erro típico de 8,5 cm³ para os membros que realizaram menor volume e 4,4 cm³ para os membros que realizaram maior volume.

6.1.3 Efeito de uma e três séries de TFEE sobre a espessura e volume muscular

A análise da EM não revelou interação significativa entre os fatores tempo e volume de treinamento ($F_{(3, 77)} = 0,139$; $p = 0,936$). Da mesma forma, para o VM estimado também não foi verificada interação significativa entre tempo e volume de treinamento ($F_{(3, 77)} = 0,133$; $p = 0,940$). No entanto, foi observado um efeito principal do tempo, tanto para a EM ($F_{(3, 77)} = 17,172$; $p < ,001$) quanto para o VM ($F_{(3, 77)} = 16,437$; $p < ,001$).

Os testes *post hoc* confirmaram que, embora não houvesse mudanças durante o período controle (controle vs. pré-treinamento; EM: p = 0,818; VM; p = 0,822), ambas as condições de treinamento induziram aumentos significativos do pré-treinamento para pós quatro semanas (EM: p = 0,002; VM: p = 0,003) e do pré-treinamento para pós oito semanas (ambos p < ,001). Porém, não foram encontrados efeitos significativos entre os momentos pós quatro e pós oito semanas de treinamento para ambas as variáveis (EM: p = 0,135, VM: p = 0,153).

Não foi encontrado um efeito principal do volume de treinamento estatisticamente significativo, embora uma tendência tenha sido observada (EM: p = 0,091; VM: p = 0,055). Os ICCs dos modelos mostraram-se elevados (EM: ICC = 0,78; VM: ICC = 0,81), indicando que a maior parte da variabilidade nos desfechos de hipertrofia foi devida a diferenças individuais entre os participantes. Os resultados de EM e VM dos flexores do cotovelo são apresentados na Tabela 3 e Figura 7.

Tabela 3. Adaptações na espessura e volume muscular dos flexores do cotovelo ao TFEE com diferentes volumes de séries nos diferentes momentos do estudo (n=12).

	Condição (volume)	Controle	Pré-treinamento	Pós 4 semanas (Δ%)	Pós 8 semanas (Δ%)
Espessura muscular (mm)	1 série	35,23 ± 3,01	35,26 ± 3,51	36,78 ± 3,69* (4,31)	37,72 ± 3,79* (6,98)
	3 séries	35,75 ± 2,76	35,51 ± 2,92	37,38 ± 3,40* (5,27)	38,55 ± 3,52* (8,56)
Volume muscular (cm³)	1 série	339,87 ± 40,35	340,19 ± 42,04	358,07 ± 45,85* (5,26)	369,22 ± 50,06* (8,53)
	3 séries	346,96 ± 37,50	344,17 ± 38,12	366,29 ± 45,31* (6,43)	379,99 ± 46,84* (10,41)

***** = diferença significativa em relação ao momento pré-treinamento (p ≤ 0,05); Δ% = diferença percentual em relação ao pré-treinamento

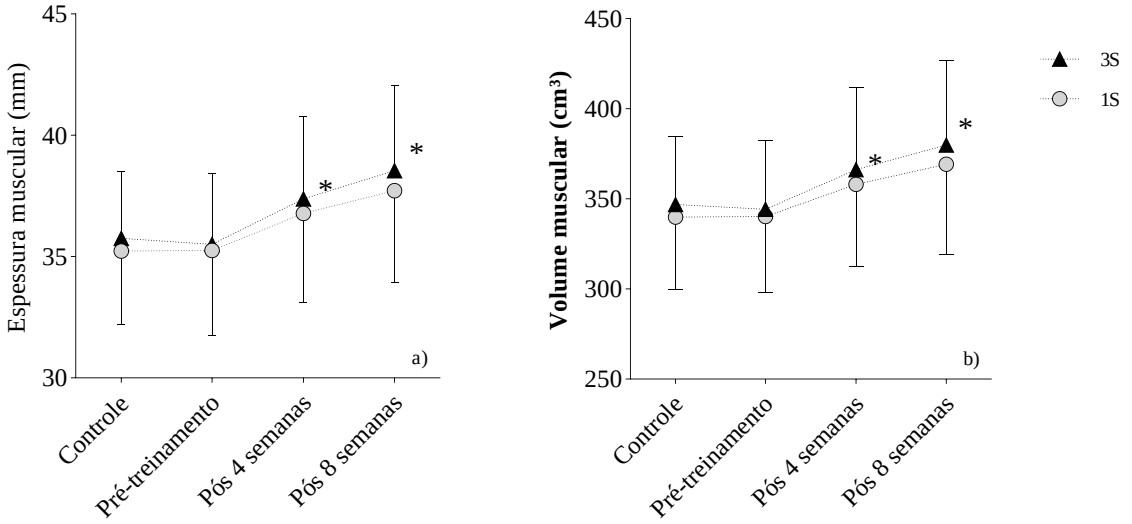


Figura 7. Comportamento da espessura (a) e volume (b) muscular dos flexores do cotovelo ao longo das oito semanas de TFEE de uma (1S) e três séries (3S). * indica diferença significativa em relação ao momento Pré-treinamento (p ≤ 0,05).

Com relação à responsividade individual (Tabela 4), observou-se uma alta proporção de responsivos em ambas as condições. No grupo que treinou com três séries, 100% dos participantes foram responsivos tanto para a EM (mudança > 1,14 mm) quanto para o VM

(mudança > 13,50 cm³). Para a condição de uma série, a proporção de responsivos foi de 83,3% (10 de 12), tanto para a EM quanto para o VM.

Tabela 4. Responsividade individual para espessura e volume muscular dos flexores do cotovelo ao TFEE com diferentes volumes (n=12).

	Erro típico (Limiar)	**Condição (volume)**	**Responsivos (%)**	**Não responsivos (%)**
Espessura muscular (mm)	0,57 (1,14)	1 série	10 (83,3)	2 (16,7)
		3 séries	12 (100)	0 (0)
Volume muscular (cm³)	6,75 (13,50)	1 série	10 (83,3)	2 (16,7)
		3 séries	12 (100)	0 (0)

Limiar = aumento maior que duas vezes o erro típico

6.1.4 Comportamento da velocidade de movimento no TFEE realizado com diferentes volumes

A análise da velocidade média concêntrica identificou uma relação negativa e estatisticamente significativa com o momento de avaliação (estimativa = - 4,665, IC 95%: -7,853 a -1,477; p = 0,007). O modelo de efeitos fixos explicou 10,3% da variabilidade da velocidade média concêntrica (R^2 marginal = 0,103).

Em contraste, a análise da velocidade média excêntrica revelou que o momento não exerceu influência estatisticamente significativa sobre o desempenho (estimativa = -2,772, IC 95%: -6,469 a 0,926; p = 0,137). Para este modelo, os efeitos fixos explicaram apenas 3,6% da variabilidade (R^2 marginal = 0,036), indicando que não foram preditores relevantes para a velocidade excêntrica.

Em ambos os modelos, não foram detectadas diferenças relevantes entre as doses de volume de TFEE (p > 0,598) nem efeitos de interação momento e volume de treinamento (p > 0,738). Adicionalmente, os valores de ICC (concêntrica: 0,670; excêntrica: 0,662) demonstraram que a maior parte da variabilidade na velocidade de movimento (67% e 66%, respectivamente) foi devida a características individuais dos participantes. A comparação da velocidade média concêntrica e excêntrica entre os momentos inicial e final está representada na Tabela 5.

Tabela 5. Velocidade angular média concêntrica e excêntrica das séries no exercício rosca bíceps nas primeiras e últimas sessões do TFEE (n=7).

	Condição (volume)	Início	Final (Δ%)
Velocidade angular concêntrica (°/s)	1 série	39,47 ± 6,64	35,33 ± 7,01* (-10,49)
	3 séries	40,49 ± 6,43	35,31 ± 8,11* (-12,79)
Velocidade angular excêntrica (°/s)	1 série	36,81 ± 8,21	33,10 ± 9,07 (-10,08)
	3 séries	34,92 ± 5,0	33,09 ± 9,40 (-5,24)

* = diferença significativa em relação ao momento inicial ($p \leq 0,05$)

6.1.5 Resposta de esforço percebido ao TFEE com diferentes volumes

A análise da PSE não revelou interação entre volume de séries e momento (p = 0,965). No entanto, foi observado um efeito principal de volume de treinamento (p< 0,001). O teste *post hoc* demonstrou que, em média, a condição de maior volume de treinamento foi percebida como significativamente mais extenuante do que a condição de série única (diferença média = 0,732, p < 0,001). Em média as respostas de esforço percebido para a condição de série única e três séries foi de 8,1 u.a. e 8,8 u.a., respectivamente. O modelo de efeitos fixos explicou 51,7% da variância na PSE (R^2 marginal = 0.517). O ICC demonstrou que 83% da variabilidade na PSE foi devida a diferenças individuais entre os participantes. O comportamento da PSE ao longo das 16 sessões de treinamento entre as condições de uma e três séries é demonstrada na Figura 8.

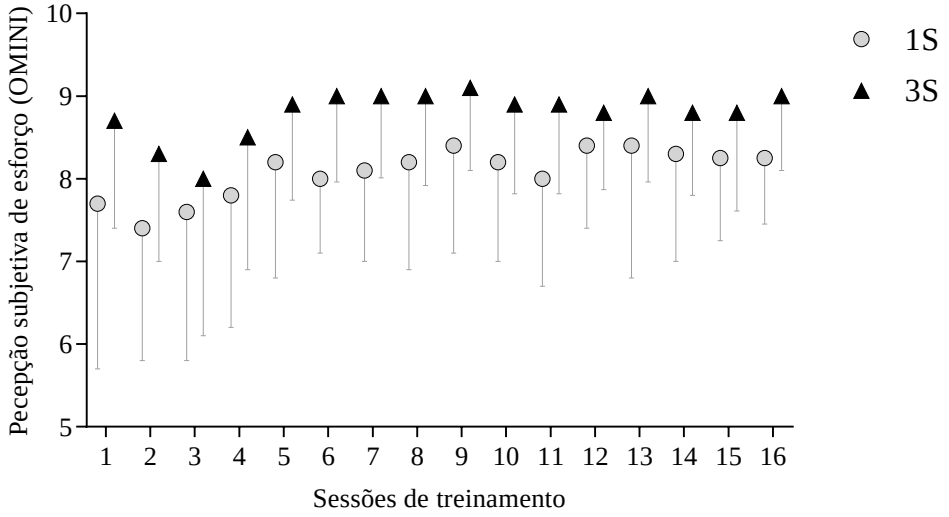


Figura 8. Comportamento da percepção subjetiva de esforço quantificada através da escala de OMNI (0 a 10) em resposta ao TFEE com uma (1S) e três (3S) séries no exercício rosca bíceps ao longo de 16 sessões de treinamento.

6.1.6 Resposta de dor percebida ao TFEE com diferentes volumes

A análise da PSD (Figura 9) não revelou interação volume de treinamento e momento significativa, tanto para a dor por palpação ($F_{(15, 186)}$ = 0,467; p = 0,954) quanto para a dor ao movimento ($F_{(15, 186)}$ = 0,473; p = 0,952). Adicionalmente, não foi encontrado um efeito principal do volume de treinamento (palpação: p = 0,625; movimento: p = 0,644). Em contrapartida, foi observado um efeito principal do momento para ambas as variáveis (palpação: $F_{(15, 186)}$ = 2,883, p < 0,001; movimento: $F_{(15, 186)}$ = 2,220, p = 0,007).

Testes *post hoc* demonstram que este efeito foi inteiramente devido a um aumento PSD no início da segunda sessão de treinamento (*i.e.*, pós-primeira sessão de treinamento), que foi significativamente maior que a primeira sessão (linha de base; palpação: p < 0,001; movimento: p = 0,002). A PSD na sessão dois também foi significativamente maior que na maioria das sessões subsequentes (*e.g.*, 2, 4, 9; ambos p < 0,01). Após este pico inicial, os níveis de PSD retornaram aos valores de base e permaneceram baixos, não diferindo da primeira sessão pelo restante do estudo (sessão 3 a 16; p = 1,000 para todas as comparações).

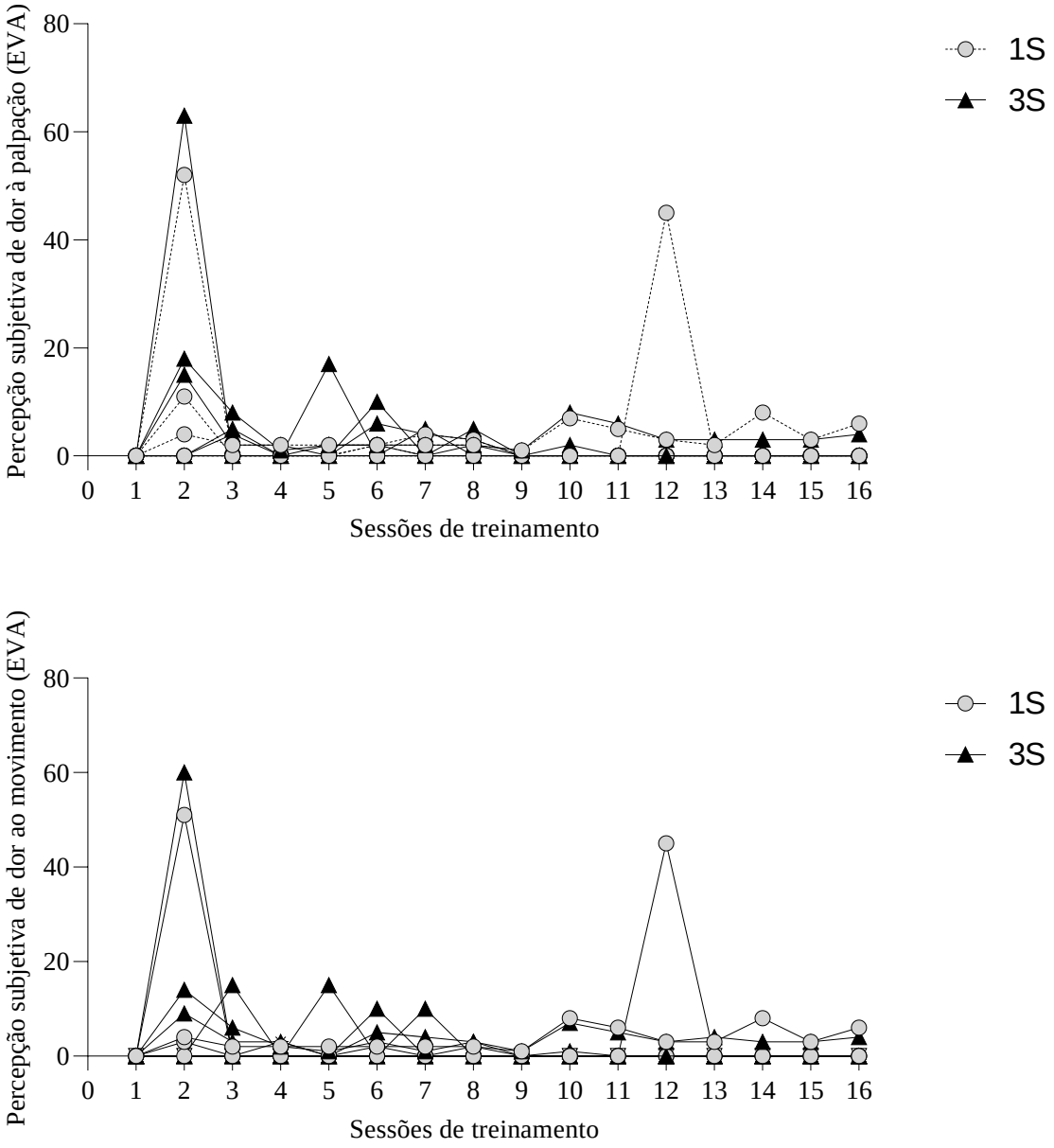


Figura 9. Comportamento da percepção subjetiva de dor à palpação ao movimento quantificada através da escala visual analógica (EVA) (0 a 100) em resposta ao TFEE com uma (1S) e três (3S) séries no exercício rosca bíceps ao longo de 16 sessões de treinamento.

6.1.7 Desempenho de força ao longo do TFEE com diferentes volumes

A análise da progressão da força (Tabela 6, Figura 10) revelou que a taxa de mudança na força ao longo das oito semanas de treinamento não diferiu estatisticamente entre as condições de uma série e três séries, tanto para a MPConc ($F_{(7, 165)} = 1,689$; $p = 0,115$) quanto para a MPExc ($F_{(7, 165)} = 0,746$; $p = 0,634$). No entanto, foi observado um aumento do desempenho em ambas as condições a partir da quarta semana de treinamento (MPConc: $F_{(7, 165)} = 4,760$, $p < 0,001$; MPExc: $F_{(7, 165)} = 4,771$, $p < 0,001$). Adicionalmente, foi encontrado um efeito do volume de treinamento (MPConc: $F_{(1, 165)} = 106,859$, $p < 0,001$; MPExc: $F_{(1, 165)} = 108,332$, $p < 0,001$), em que a condição de uma série manteve valores médios de pico força semanais consistentemente superiores aos da condição de três séries (MPConc: diferença = 2,881, $p < ,001$; MPExc: diferença = 3,254, $p < 0,001$), refletindo uma diferença de base que se manteve paralela ao longo da intervenção.

Tabela 6. Valores do pico de força concêntrica e excêntrica **(m**édia ± DP) ao longo de oito semanas de TFEE realizado com diferentes volumes

Variável	Grupo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Pico Concêntrico (kg)	1 série	18,89 (±2,93)	19,16 (±2,72)	19,25 (±2,68)	20,50 (±2,88)* #	21,46 (±3,28)* #	21,12 (±4,92)*	19,35 (±3,24)	20,15 (±3,70)* #
	3 séries	15,54 (±2,59)	15,51 (±2,93)	17,46 (±2,86)	18,02 (±2,52)* #	17,03 (±3,16)* #	17,47 (±3,15)*	17,69 (±3,56)	18,10 (±3,05)* #
Pico Excêntrico (kg)	1 série	22,15 (±2,86)	22,25 (±3,47)	23,04 (±3,00)	24,11 (±3,53)*#	24,65 (±2,93)*#	24,02 (±4,82)*	23,23 (±3,80)*	23,70 (±4,00)*#
	3 séries	18,36 (±2,66)	18,51 (±1,74)	19,84 (±1,99)	20,63 (±2,16)*#	20,54 (±3,53)*#	20,51 (±3,27)*	21,21 (±2,72)*	21,53 (±3,13)*#

* = significativamente diferente da semana 1 ($p \leq 0,05$); # = significativamente diferente da semana 2 ($p \leq 0,05$)

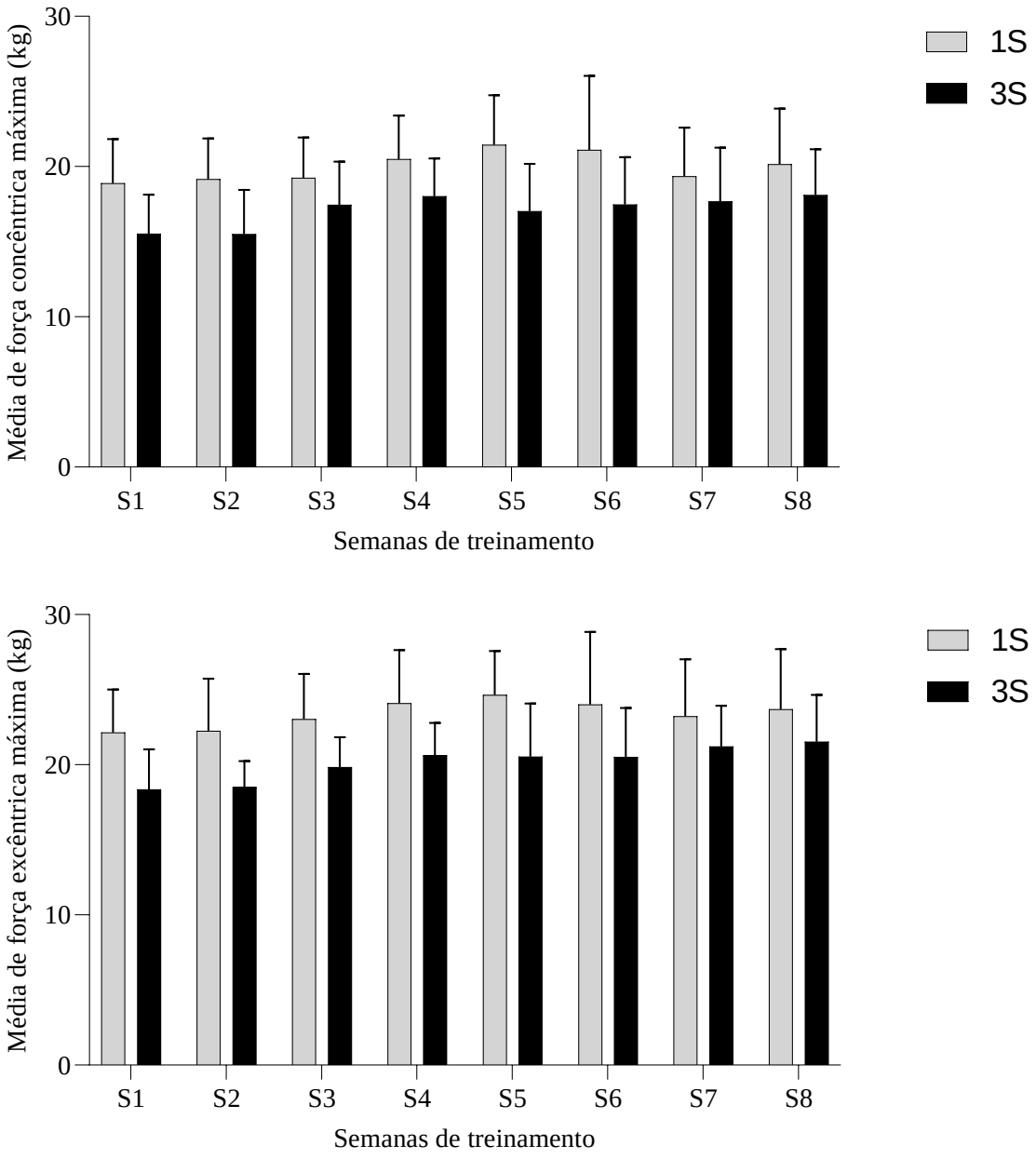


Figura 10. Comportamento da média de pico de força concêntrico e excêntrico ao longo das oito semanas de TFEE realizado com uma (1S) e três séries (3S).

6.2 RELAÇÃO DA FORÇA DE PREENSÃO MANUAL COM O DESEMPENHO CONCÊNTRICO E EXCÊNTRICO MÁXIMO DOS FLEXORES DO COTOVELO NO EXERCÍCIO ROSCA BÍCEPS EM RESISTÊNCIA ADAPTATIVA

6.2.1 Características da amostra

A análise da relação da FMP com o desempenho dos flexores do cotovelo no exercício rosca bíceps contou um total de 26 participantes, os quais completaram pelo menos a primeira bateria de avaliações (Dia 2 - avaliação pré-período controle). As características gerais dos participantes são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Características gerais da amostra (n=26).

Variável	**Média e desvio padrão**
Idade (anos)	28,15 ± 6,75
Estatura (m)	1,76 ± 0,06
Massa corporal (kg)	79,16 ± 14,42
Índice de massa corporal (kg/m²)	25,35 ± 4,06
Força de preensão manual, membro direito (kgF)	38,16 ± 7,54
Força de preensão manual, membro esquerdo (kgF)	37,00 ± 8,56
Força concêntrica máxima, membro direito (kg)	18,41 ± 4,76
Força concêntrica máxima, membro esquerdo (kg)	18,32 ± 4,21
Força excêntrica máxima, membro direito (kg)	26,30 ± 5,18
Força excêntrica máxima, membro esquerdo (kg)	26,15 ± 5,46

6.2.2 Impacto da força de preensão manual sobre o desempenho máximo dos flexores do cotovelo em resistência adaptativa.

A análise da força concêntrica máxima (FMConc) revelou que a FPM não exerceu influência significativa sobre o desempenho (estimativa = 0,077, IC 95%: -0,103 a 0,256; p = 0,394). O modelo de efeitos fixos (preensão manual e membro) explicou apenas 1,8% da variabilidade na FMConc (R^2 marginal = 0,018).

Em contraste, a análise da força excêntrica máxima (FMExc) identificou uma relação positiva e significativa com a FPM (estimativa = 0,340, IC 95%: 0,156 a 0,524; p < 0,001). O modelo de efeitos fixos explicou 27,6% da variabilidade na FMExc (R^2 marginal = 0,276). Em ambos os modelos, não foram detectadas assimetrias relevantes entre os membros (p > 0,72).

Adicionalmente, os valores de ICC (0,84 para FMConc e 0,69 para FMExc) indicam que a maior parte da variabilidade na produção de força foi devida às características individuais dos participantes. A relação entre a FPM e a FMConc e FMExc na Figura 11.

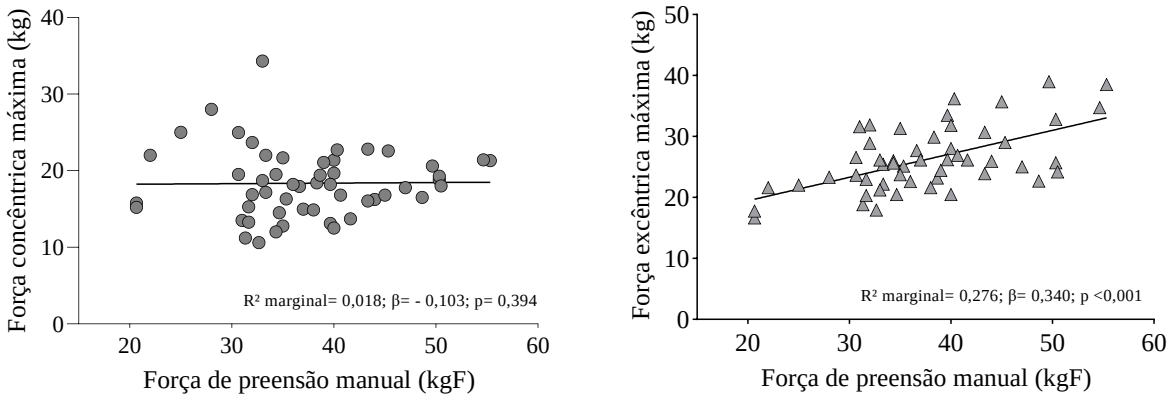


Figura 11. Relação entre a força de preensão manual e a força máxima concêntrica e excêntrica dos flexores do cotovelo (n=26).

7 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi investigar os efeitos de diferentes volumes (uma vs. três séries) de TFEE sobre as adaptações de hipertrofia dos flexores do cotovelo. Adicionalmente, os desfechos secundários foram caracterizar o desempenho de força, velocidade, PSE e PSD ao longo da intervenção, bem como explorar a relação transversal entre a FPM e a força máxima dos flexores do cotovelo em equipamento CARE. Os principais achados foram: a) aumentos significativos na espessura muscular (EM) e volume muscular (VM) dos flexores do cotovelo ocorreram em ambas as condições (uma e três séries), sem diferenças estatísticas significativas entre os volumes; b) apesar das adaptações crônicas similares, a condição de três séries provocou uma PSE significativamente maior ($p < 0,001$), embora ambas as condições tenham apresentado respostas idênticas de PSD; c) a FPM foi um preditor positivo e significativo da FMExc, mas não teve relação com a FMConc; e d) a velocidade de movimento concêntrica diminuiu significativamente ao longo do treinamento, enquanto a velocidade excêntrica embora tenha apresentado uma tendencia a diminuição, não apresentou significância.

O volume de séries no TF é umas das variáveis mais importantes a serem manipuladas, sobretudo em termos de respostas hipertróficas (SCHOENFELD *et al.*, 2016). O controle adequado do volume de treinamento é um aspecto essencial da prática dos treinadores e que podem impactar as respostas agudas e crônicas ao TF. Neste contexto, a relação entre a quantidade de exposição ao exercício e o seu efeito sobre a hipertrofia, embora muito explorada no TF tradicional, ainda é pouco investigada no TFEE. O principal achado deste estudo com relação ao efeito hipertrófico muscular foi que, embora ambos os protocolos de treinamento (uma série vs. três séries) tenham induzido aumentos significativos na EM e VM em quatro e oito semanas, não foram observadas diferenças significativas entre as duas condições.

Este resultado encontra respaldo na literatura prévia, especialmente em relação a músculos dos membros superiores em indivíduos destreinados. Similarmente, Bottaro e colaboradores (2011) investigaram os efeitos de uma versus três séries de treino tradicional nos flexores do cotovelo e extensores do joelho e reportaram que, para os flexores do cotovelo, ambos os grupos apresentaram ganhos de EM semelhantes (7,2% para uma série; 5,9% para três séries), sem diferenças entre eles. Nossos dados corroboram essa observação, sugerindo que, para este grupo muscular, o estímulo hipertrófico pode ser maximizado com um volume de série única. Esta conclusão é corroborada pela revisão sistemática de Teixeira e colaboradores (2017), que concluiu que volumes altos (*i.e.*, maiores que três séries) não

promovem efeitos superiores a volumes menores (*i.e.,* menores que três séries) para a indução de hipertrofia em músculos dos membros superiores de indivíduos destreinados.

A ausência de uma resposta dose-dependente ao volume em nosso estudo pode ser explicada pela magnitude do estímulo de TFEE. As ações excêntricas no TF são reconhecidas por induzir adaptações únicas e de grande magnitude ao sistema musculoesquelético, sobretudo pela capacidade de realizar maiores sobrecargas (DOUGLAS *et al.,* 2017). Uma recente meta-análise de Silva e colaboradores (2025), demonstrou que o treino puramente excêntrico é superior ao treino puramente concêntrico para hipertrofia especificamente em membros superiores e em intervenções de curta duração (*i.e.,* menores que oito semanas), um cenário similar ao do presente estudo. O grande efeito do estímulo excêntrico foi previamente demonstrado por Sato e colaboradores (2022), que ao compararem TF puramente excêntrico, puramente concêntrico e concêntrico-excêntrico, reportaram que o TF puramente excêntrico (com metade do volume de contrações) promoveu hipertrofia (9,7%) forma similar ao concêntrico-excêntrico (10,6%), enquanto o treino puramente concêntrico (2,5%) não promoveu ganhos significativos. Os autores sugeriram que a contração concêntrica contribuiu pouco para a adaptação hipertrófica (SATO *et al.,* 2022). Dada a aparente eficiência de ações excêntricas no TF, é plausível que o limiar para indução de incremento na hipertrofia dos flexores do cotovelo em destreinados seja atingido com uma única série de TFEE.

A presença de um “teto” ou limiar de resposta hipertrófica é suportada por estudos que analisam a relação dose-resposta em diferentes populações. Em indivíduos treinados, que possuem um limiar de resposta mais alto, um platô semelhante é observado em volumes de treino mais elevados. Baz-Valle e colaboradores (2022) reportam que volumes moderados (*i.e.,* 12-20 séries semanais) e altos (*i.e.,* maiores que 20 séries semanais) produziram hipertrofia similar no bíceps braquial. Adicionalmente, Camargo e colaboradores (2023) demonstraram que um aumento moderado no volume (*i.e.,* 0 a 50%) e um aumento grande (*i.e.,* maiores que 50%) possuem uma correlação semelhantes com incrementos na EM do bíceps braquial em treinados. Nosso presente estudo, em destreinados utilizando um estímulo de TFEE, os achados sugerem que esse "teto" de resposta pode ser atingido em um volume mais baixo agudamente, em que a realização de uma série parece ser o suficiente para promover adaptações hipertróficas.

A literatura também indica que a hipertrofia induzida pelo treino excêntrico parece ser menos sensível a diferentes modulações de intensidade. Krentz e colaboradores (2017) não encontraram diferenças na hipertrofia dos flexores do cotovelo ao comparar TF excêntrico submáximo (*i.e.,* 80% 1RM) com o supramáximo (*i.e.,* 110% 1RM). Similarmente, Maroto-Izquierdo e colaboradores (2023) não reportaram diferenças na massa magra entre sobrecarga

excêntrica de 90% e 120% 1RM. Nesse sentido, os achados observados indicam que assim como para à intensidade (KRENTZ *et al.,* 2017; MAROTO-IZQUIERDO *et al.,* 2023), a hipertrofia também parece ser menos sensível ao volume de séries, uma vez que o limiar mínimo de estímulo tenha sido fornecido nas primeiras semanas de treinamento (*i.e.,* 4 semanas).

Destaca-se que o equipamento CARE utilizado em nosso estudo (*i.e.,* Vitruvian Trainer+) possui características similares ao *flywheel*, especialmente com relação à possibilidade de realizar maiores intensidades durante as fases excêntricas do exercícios de força. Embora meta-análises confirmem a eficácia do método *flywheel* para a indução de hipertrofia muscular, com tamanhos de efeito entre 0,59 e 0,75 (PETRÉ *et al.,* 2018; NÚÑEZ; SÁEZ, 2017), Núñez e Sáez (2017) ressaltam que a presença de sobrecarga excêntrica, por si só, não parece garantir ganhos adicionais de massa muscular. A ausência de correlação entre maiores sobrecargas excêntricas e maiores efeitos hipertróficos sugere que a robusta resposta observada neste estudo pode estar mais relacionada à natureza da resistência oferecida ao longo da amplitude de movimento do que exclusivamente à magnitude da sobrecarga excêntrica.

Além da hipertrofia, a análise da dose-resposta no TFEE deve considerar o impacto sobre o dano muscular e o esforço percebido. O exercício excêntrico é reconhecido por induzir marcadores elevados de dano muscular (NOSAKA *et al.,* 2003), resposta esta que é exacerbada quando o exercício é realizado em grandes comprimentos musculares, conforme o protocolo deste estudo (NOSAKA; SAKAMOTO, 2001; FOCHI *et al.,* 2016). Isso é corroborado pelos nossos achados, em que ambas as condições (uma e três séries) apresentaram um pico significativo de PSD (tanto à palpação quanto ao movimento, $p<0,002$) na segunda sessão, indicando o dano inicial provocado pela primeira sessão de treinamento. Contudo, o dano muscular não é um pré-requisito indispensável para a hipertrofia (NOSAKA *et al.,* 2003) e, importantemente, os resultados mostraram que não houve interação entre a condição de volume de treinamento e os momentos de avaliação ($p>0,95$) ou efeito principal do volume de treinamento ($p>0,62$) para a PSD. Ambos os grupos se adaptaram rapidamente após a primeira sessão (*i.e.,* efeito de carga repetia), e a condição de três séries não induziu maior PSD cronicamente.

Apesar das respostas de PSD similares, o esforço percebido foi diferente. Nossos resultados da PSE demonstraram um efeito do volume de treinamento altamente significativo ($p<0,001$), com o protocolo de três séries sendo percebido como mais extenuante (média PSE = 8,8 u.a.) do que o de uma série (média PSE = 8,1 u.a.). Esta diferença de esforço, contudo, não se traduziu em um benefício adaptativo superior. Os dados de desempenho semanal de

força (Tabela 6, Figura 10) corroboram isso. Embora ambos os grupos tenham melhorado significativamente ao longo do tempo ($p<0,001$), a taxa de ganho de força foi similar ($p>0,115$). Ou seja, o esforço adicional e a fadiga aguda gerados pelas duas séries adicionais não incrementaram os ganhos de força nem aumentaram o ganho final de hipertrofia. Dada a natureza do equipamento CARE (com *drop-sets* automáticos) e o esforço máximo contínuo, é plausível que uma única série já estabeleça um estímulo de fadiga e esforço substancial, especialmente em destreinados (NUZZO; PINTO; NOSAKA, 2023b), atingindo o limiar adaptativo.

Embora os efeitos hipertróficos tenham sido semelhantes, foi observada uma diferença clara na responsividade (100% de respondedores na condição três séries e 83,3% na condição uma série). Isso sugere que, embora uma série de TFEE em um dispositivo CARE seja um estímulo potente e suficiente para destreinados, o volume adicional de três séries pode ser uma estratégia mais eficaz para mitigar a variabilidade interindividual e induzir uma resposta adaptativa consistente. Entretanto, destaca-se o alto nível de PSE e PSD em resposta ao treinamento com três séries, o qual não promoveu efeitos adicionais na hipertrofia quando comparado à condição de série única. Em suma, o TFEE em resistência adaptativa apresentou-se como um estímulo hipertrófico eficaz. Contudo, para indivíduos destreinados, uma única série neste modelo de treinamento parece otimizar a relação custo-benefício, promovendo hipertrofia substancial sem efeitos adicionais de fadiga e dor percebida em comparação a volumes mais elevados.

O presente estudo também investigou a relação entre a FPM e a FMConc e FMExc no exercício rosca bíceps em equipamento de resistência adaptativa. Os resultados demonstraram que a FPM não exerceu influência significativa sobre a FMConc ($p = 0,394$), mas apresentou uma relação positiva e significativa com a FMExc ($p < 0,001$), explicando 27,6% da variabilidade nesta variável. As estimativas demonstraram que para cada unidade de aumento na força de preensão (*i.e.,* 1 kgF) houve um aumento de 0,340 kg de FMExc.

A ausência de relação entre a FPM e a FMConc (R^2 marginal = 0,018) sugere que o desempenho máximo durante a fase de encurtamento (*i.e.*, concêntrica) da rosca bíceps é primariamente limitado por fatores intrínsecos aos próprios músculos flexores do cotovelo. Esta fase é caracteristicamente limitada por um "ponto de falha" mecânico e é altamente suscetível à fadiga neuromuscular. Estudos recentes utilizando o mesmo equipamento CARE demonstraram um padrão de perda de força mais acentuado para ações concêntricas em comparação com as excêntricas (NUZZO; PINTO; NOSAKA 2023a; NUZZO; PINTO; NOSAKA, 2023b). Isso indica que a força concêntrica máxima pode ser influenciada em maior

grau por aspectos como a fadiga neuromuscular e a mecânica interna, que parecem ser independentes da capacidade de estabilização da preensão manual. Assim, os achados do presente estudo complementam se relacionam as evidências previas, indicando que um fator de estabilização da cadeia cinética, como a força de preensão manual, não é um fator limitante para a força concêntrica, na qual a limitação parece residir no próprio grupo muscular agonista e não no ponto de contato e aplicação da força externa.

Em contrapartida, a relação encontrada entre a FPM e a FMExc (R^2 marginal = 0,276) indica que, neste contexto, a FPM é um indicador da capacidade de estabilização neuromuscular do punho e do antebraço (CRONIN *et al.*, 2017). Nesse sentido, a ação excêntrica, isto é, a desaceleração e alongamento ativo contra uma resistência externa, depende, entre outros aspectos, da estabilização da cadeia cinética. Em ações excêntricas acentuadas para o membro superior, as implicações são de que uma FPM elevada permite uma ação estabilizadora mais eficaz do ponto de aplicação da força externa (*i.e.*, punho), promovendo maior rigidez na região distal do seguimento. Isso sugere que a FPM pode servir como um minimizador da perda de aplicação da força dos flexores do cotovelo na ação de frenagem em alta intensidade. Assim, com relação ao uso de equipamento CARE em indivíduos destreinados, se a FPM de um indivíduo for menor que a sobrecarga excêntrica máxima que seus flexores do cotovelo podem suportar, ele pode não alcançar a sobrecarga ideal, sua preensão manual falhará, o movimento será acelerado e a máquina reduzirá consequentemente a resistência. Isso pode fazer com que a capacidade de aproveitamento das ações excêntrica neste modelo de treinamento seja limitada, bem como levar a prejuízos na promoção de adaptações crônicas ao TFEE. Portanto, o monitoramento da FPM é crucial para maiores sobrecargas excêntricas em equipamentos de resistência adaptativa, podendo otimizar protocolos de treinamento e garantir prescrições seguras e eficazes em indivíduos destreinados.

Com relação à velocidade de movimento, as análises demonstraram haver uma queda nas ações concêntricas e uma tendência a redução para ações excêntricas. Destaca-se que a interpretação da queda na velocidade concêntrica exige cautela e deve ser alinhada à especificidade da resistência utilizada no TFEE. Em equipamentos isoinerciais convencionais, a redução na velocidade pode ser um indicador do acúmulo de fadiga e perda de força (GONZÁLEZ-BADILLO; MARQUES; SÁNCHEZ-MEDINA, 2011). Entretanto, no contexto do TF com resistência adaptativa este tipo de adaptação pode ser uma resposta positiva ao modelo de treinamento. É consenso que a realização de maiores forças está atrelada à realização de ações musculares mais lentas no TF (CRONIN *et al.*, 2003). Nesse sentido, à medida que ocorreram incrementos na força, o equipamento de resistência adaptativa, cujo algoritmo é

projetado para manter um alto nível de esforço, aumentou a resistência absoluta (kg) ofertada durante a fase concêntrica para corresponder a essa nova capacidade de força. Portanto, a redução observada na velocidade concêntrica (de 40 °/s para 35 °/s) é a consequência esperada dos participantes estarem movendo uma carga concêntrica absoluta maior no final do estudo.

Para a força excêntrica máxima, os achados também sugerem que as adaptações na força contribuíram para a manutenção da velocidade de movimento. Destaca-se que o TFEE utilizado no presente estudo envolve sobrecargas excêntricas substancialmente maiores em comparação ao TF tradicional (NUZZO; PINTO; NOSAKA, 2023b). A realização de maiores sobrecargas poderia implicar em uma maior aceleração durante a fase excêntrica, o que não foi observado. Assim, a manutenção da velocidade excêntrica, diante dos aumentos na resistência excêntrica absoluta (para manter a sobrecarga relativa), sugere uma adaptação neuromuscular específica na capacidade sustentar o desempenho contra altas cargas excêntricas.

O presente estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Primariamente, a principal limitação da análise longitudinal reside no tamanho amostral (n=12). Este número de participantes confere um poder estatístico reduzido para detectar diferenças de pequena magnitude. Isso eleva o risco de um erro estatístico do tipo II. Essa possibilidade é reforçada pela tendência estatística observada para o volume muscular ($p = 0,055$), que sugere que um benefício, embora potencialmente pequeno, a favor do maior volume poderia emergir em uma amostra com maior poder para testar a interação entre o tempo e volume de treinamento. Do ponto de vista do delineamento, embora o *design* intra-sujeito seja benéfico para controlar variáveis sistêmicas (*e.g.*, hábitos nutricionais), ele não pode excluir totalmente a possibilidade de um efeito cruzado (*i.e., cross-education)*. Embora este efeito seja primariamente neural, adaptações neuromusculares desencadeadas pelo protocolo de maior volume (três séries) poderiam beneficiar também o membro de menor volume em adaptações crônicas que influenciam a hipertrofia. Adicionalmente, a generalização dos achados é restrita. A amostra foi composta especificamente por homens jovens e destreinados, uma população caracterizada por um grande potencial adaptativo. Consequentemente, a suficiência de uma única série para maximizar os ganhos iniciais, observada neste estudo, não pode ser extrapolada para populações com experiência em treinamento, que presumivelmente necessitariam de um volume superior para desenvolver adaptações crônicas. Por fim, a duração de oito semanas da intervenção, embora suficiente para induzir adaptações hipertróficas significativas, permite apenas a observação de respostas iniciais. Não é possível determinar se a trajetória adaptativa da condição de série única atingiria um platô precocemente em comparação ao volume maior, caso o período de seguimento fosse estendido.

8 CONCLUSÃO

O propósito deste estudo foi investigar a relação dose-resposta do volume (uma vs. três séries) de TFEE), realizado em equipamento CARE, sobre as adaptações musculoesqueléticas dos flexores do cotovelo em homens destreinados. Adicionalmente, foram investigados objetivos exploratórios como a influência da FPM na FMConc e FMExc. Os principais achados foram: a) o TFEE em equipamento CARE foi um estímulo eficaz, promovendo aumentos significativos na EM e VM dos flexores do cotovelo após oito semanas ($p < 0,001$); b) contudo, a hipertrofia foi similar entre as condições de uma e três séries; c) esta equivalência nas adaptações ocorreu apesar de a condição de três séries ter eliciado uma PSE consistentemente superior ($p < 0,001$); e d) a FPM demonstrou ser um preditor significativo da FMExc ($p < 0,001$; R^2 marginal = 0,276), mas não da FMConc ($p = 0,394$). Em conclusão, para homens jovens destreinados, uma única série de TFEE realizada em equipamento CARE parece ser um estímulo suficiente para promover adaptações iniciais de hipertrofia dos flexores do cotovelo. Além disso, o desempenho excêntrico máximo nesta tecnologia parece ser significativamente influenciado pela FPM, sugerindo que esta pode ser um fator limitante a considerar na prescrição de TFEE em equipamentos CARE.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, B. C.; BIGLAND, Brenda; RITCHIE, J. M. The physiological cost of negative work. **The Journal of physiology**, v. 117, n. 3, p. 380, 1952.

AL-QAHTANI, M. H. *et al.,* Correlation Between Hand Grip Strength and Glycemic Control Among Saudi Children with Chronic Type 1 Diabetes Mellitus (T1DM). **The Review of Diabetic Studies**, v. 19, n. 2, 2023.

BARASH, Ilona A. *et al.,* Rapid muscle-specific gene expression changes after a single bout of eccentric contractions in the mouse. **American Journal of Physiology-Cell Physiology**, v. 286, n. 2, p. C355-C364, 2004.

BARONI, Bruno Manfredini *et al.,* Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: rectus femoris vs. vastus lateralis. **Muscle & nerve**, v. 48, n. 4, p. 498-506, 2013.

BAZ-VALLE, Eneko *et al.,* A systematic review of the effects of different resistance training volumes on muscle hypertrophy. **Journal of human kinetics**, v. 81, p. 199, 2022.

BOTTARO, M. *et al.,* Resistance training for strength and muscle thickness: Effect of number of sets and muscle group trained. **Science & Sports**, v. 26, n. 5, p. 259-264, 2011.

CADORE, E. L. *et al.,* Muscle conduction velocity, strength, neural activity, and morphological changes after eccentric and concentric training. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 24, n. 5, p. e343-e352, 2014.

CHEN, C. H. *et al.,* Effects of flexibility training on eccentric exercise-induced muscle damage. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 43, n. 3, p. 491–500, 2011.

CRONIN, John B.; MCNAIR, Peter J.; MARSHALL, Robert N. Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 17, n. 1, p. 148-155, 2003.

CRONIN, J. B.; MCNAIR, P. J.; MARSHALL, R. N. Is velocity-specific strength training important in improving functional performance?. **Journal of sports medicine and physical fitness**, v. 42, n. 3, p. 267-273, 2002.

CRONIN, John *et al.,* A brief review of handgrip strength and sport performance. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 31, n. 11, p. 3187-3217, 2017.

DA SILVA, Leonardo Santos Lopes *et al.,* Comparison Between Eccentric vs. Concentric Muscle Actions On Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-analysis. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 39, n. 1, p. 115-134, 2025.

DE CAMARGO, Júlio Benvenutti Bueno *et al.,* Muscle Hypertrophy Responses to Changes in Training Volume: A Retrospective Analysis**. International Journal of Sports Medicine**, v. 44, n. 08, p. 599-604, 2023.

DOUGLAS, J. *et al.,* Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. **Sports Medicine**, v. 47, n. 5, p. 917–941, 2017.

ELIASSON, Jorgen *et al.,* Maximal lengthening contractions increase p70 S6 kinase phosphorylation in human skeletal muscle in the absence of nutritional supply. **American journal of physiology-Endocrinology and metabolism**, v. 291, n. 6, p. E1197-E1205, 2006.

FRANCHI, Martino V. *et al.*, Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. **Acta physiologica**, v. 210, n. 3, p. 642-654, 2014.

FLECK, Steven J.; KRAEMER, William J. Fundamentos do treinamento de força muscular. **Artmed Editora**, 2017.

FOCHI, A. G. *et al.*, Greater eccentric exercise-induced muscle damage by large versus small range of motion with the same end-point. **Biology of Sport**, v. 33, n. 3, p. 285–289, 2016.

FRIDÉN, Jan; LIEBER, Richard L. Segmental muscle fiber lesions after repetitive eccentric contractions. **Cell and tissue research**, v. 293, p. 165-171, 1998.

FRIDÉN, J.; LIEBER, Richard L. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 171, n. 3, p. 321-326, 2001.

GEREMIA, J. M. *et al.*, Triceps Surae Muscle Architecture Adaptations to Eccentric Training. **Frontiers in Physiology**, v. 10, 2019.

GONZÁLEZ-BADILLO, Juan J.; MARQUES, Mário C.; SÁNCHEZ-MEDINA, Luis. The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. **Journal of human kinetics**, v. 29, p. 15, 2011.

HATHER, B. M. *et al.*, Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 143, n. 2, p. 177-185, 1991.

HILL, Archibald Vivian. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences**, v. 126, n. 843, p. 136-195, 1938.

HODY, S. *et al.*, Eccentric muscle contractions: Risks and benefits. **Frontiers in Physiology**, v. 10, n. MAY, p. 1–18, 2019.

ILLERA-DOMÍNGUEZ, V. *et al.*, Early functional and morphological muscle adaptations during short-term inertial-squat training. **Frontiers in Physiology**, v. 9, n. SEP, p. 1–12, 2018.

KNUTTGEN, Howard G.; KRAEMER, William J. Terminology and measurement. **Journal of applied sport science research**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 1987.

KOMI, Paavo V.; BUSKIRK, E. R. Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. **Ergonomics**, v. 15, n. 4, p. 417-434, 1972.

KOMI, Paavo V.; BOSCO, Carmelo. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. **Medicine and science in sports**, v. 10, n. 4, p. 261-265, 1978.

KRENTZ, J. R.; CHILIBECK, P. D.; FARTHING, J. P. The effects of supramaximal versus submaximal intensity eccentric training when performed until volitional fatigue. **European Journal of Applied Physiology**, v. 117, n. 10, p. 2099–2108, 2017.

LIEBER, Richard L.; FRIDÉN, Jan. Muscle damage is not a function of muscle force but active muscle strain. **Journal of Applied Physiology**, v. 74, n. 2, p. 520-526, 1993.

MACDERMID, Joy; SOLOMON, Gary; VALDES, Kristin (Ed.). **Clinical assessment recommendations**. American Society of Hand Therapists, 2015.

MAROTO-IZQUIERDO, S.; GARCÍA-LÓPEZ, D.; DE PAZ, J. A. Functional and Muscle-Size Effects of Flywheel Resistance Training with Eccentric-Overload in Professional Handball Players. **Journal of Human Kinetics**, v. 60, n. 1, p. 133–143, 28 dez. 2017.

MAROTO-IZQUIERDO, S. *et al.*, Comparison of Flywheel and Pneumatic Training on Hypertrophy, Strength, and Power in Professional Handball Players. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 93, n. 1, p. 1–15, 2020.

MAROTO-IZQUIERDO, Sergio *et al.*, Effects of submaximal and supramaximal accentuated eccentric loading on mass and function. **Frontiers in physiology**, v. 14, p. 1176835, 2023.

MATOS, Filipe *et al.*, Changes in muscle thickness after 8 weeks of strength training, electromyostimulation, and both combined in healthy young adults. **International journal of environmental research and public health**, v. 19, n. 6, p. 3184, 2022.

MEYLAN, C.; CRONIN, J.; NOSAKA, K. Isoinertial assessment of eccentric muscular strength. **Strength and Conditioning Journal**, v. 30, n. 2, p. 56–64, 2008.

MIYATANI, Masae *et al.*, The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. **European journal of applied physiology**, v. 91, n. 2, p. 264-272, 2004.

MOORE, D. R. *et al.*, Myofibrillar and collagen protein synthesis in human skeletal muscle in young men after maximal shortening and lengthening contractions. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 288, p. 1153–1159, 2005.

MORGAN, D. L. New insights into the behavior of muscle during active lengthening. **Biophysical journal**, v. 57, n. 2, p. 209-221, 1990.

NACLERIO, Fernando *et al.*, Control of resistance training intensity by the OMNI perceived exertion scale. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 7, p. 1879-1888, 2011.

NORBRAND, L. *et al.*, Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. **European Journal of Applied Physiology**, v. 102, n. 3, p. 271–281, fev. 2008.

NOSAKA, K.; NEWTON, M. Eccentric Exercise-Induced Muscle Damage. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, n. 26, p. 63–69, 2002.

NOSAKA, Kazunori *et al.*, Muscle Damage in Resistance Training: Is Muscle Damage Necessary for Strength Gain and Muscle Hypertrophy?. **International Journal of Sport and Health Science**, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2003.

NOSAKA, Kazunori; SAKAMOTO, K. E. I. Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 33, n. 1, p. 22-29, 2001.

NUÑEZ SANCHEZ, F. J.; DE VILLARREAL, E. S. Does flywheel paradigm training improve muscle volume and force? A meta-analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 11, p. 3177–3186, 2017.

NUZZO, J. L.; NOSAKA, K. Comment on: “Stepwise load reduction training: a new training concept for skeletal muscle and energy systems. **Sports Medicine**, ahead of print, 2022.

NUZZO, James L.; PINTO, Matheus D.; NOSAKA, Kazunori. Muscle strength and activity in men and women performing maximal effort biceps curl exercise on a new machine that automates eccentric

overload and drop setting. **European Journal of Applied Physiology**, v. 123, n. 6, p. 1381-1396, 2023a.

NUZZO, James L.; PINTO, Matheus D.; NOSAKA, Kazunori. Connective adaptive resistance exercise (CARE) machines for accentuated eccentric and eccentric-only exercise: introduction to an emerging concept. **Sports Medicine**, v. 53, n. 7, p. 1287-1300, 2023b.

PEREIRA, Marta IR; GOMES, Paulo SC. Movement velocity in resistance training. **Sports medicine**, v. 33, n. 6, p. 427-438, 2003.

PETRÉ, H.; WERNSTÅL, F.; MATTSSON, C. M. Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: a Meta-analysis. **Sports Medicine - Open**, v. 4, n. 1, 2018.

PETROFSKY, JERROLD SCOTT *et al.*, The effect of handgrip span on isometric exercise performance. **Ergonomics**, v. 23, n. 12, p. 1129-1135, 1980.

PRESLAND, J. D. *et al.*, The effect of Nordic hamstring exercise training volume on biceps femoris long head architectural adaptation. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 28, n. 7, p. 1775–1783, 2018.

RADAELLI, R. *et al.*, Higher muscle power training volume is not determinant for the magnitude of neuromuscular improvements in elderly women. **Experimental gerontology**, v. 110, p. 15–22, set. 2018.

ROIG, Marc *et al.*, The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. **British journal of sports medicine**, v. 43, n. 8, p. 556-568, 2009.

SATO, Shigeru *et al.*, Comparison between concentric-only, eccentric-only, and concentric–eccentric resistance training of the elbow flexors for their effects on muscle strength and hypertrophy. **European journal of applied physiology**, v. 122, n. 12, p. 2607-2614, 2022.

SCHOENFELD, Brad J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 24, n. 10, p. 2857-2872, 2010.

SCHOENFELD, B. J.; OGBORN, D.; KRIEGER, J. W. Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Sports Sciences**, v. 35, n. 11, p. 1073–1082, 2016.

SCHOENFELD, Brad J. *et al.*, Hypertrophic effects of concentric vs. eccentric muscle actions: a systematic review and meta-analysis. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 31, n. 9, p. 2599-2608, 2017.

SCHOENFELD, Brad J. *et al.*, Resistance training volume enhances muscle hypertrophy but not strength in trained men. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 51, n. 1, p. 94, 2018.

STASZKIEWICZ, Robert; RUCHLEWICZ, TADEUSZ; SZOPA, J. Handgrip strength and selected endurance variables. **Journal of human kinetics**, v. 7, p. 29-42, 2002.

SZAFLIK, Piotr *et al.*, Handgrip strength as an indicator of overall strength and functional Performance—Systematic review. **Applied Sciences**, v. 15, n. 4, p. 1847, 2025.

SUCHOMEL, Timothy J. *et al.*, Implementing eccentric resistance training—Part 1: A brief review of existing methods. **Journal of Functional Morphology and Kinesiology**, v. 4, n. 2, p. 38, 2019.

TALBOT, J. A.; MORGAN, David L. The effects of stretch parameters on eccentricexercise-induced damage to toad skeletal muscle. **Journal of Muscle Research & Cell Motility**, v. 19, n. 3, p. 237-245, 1998.

LA SCALA TEIXEIRA, Caue V. *et al.*, Effect of resistance training set volume on upper body muscle hypertrophy: are more sets really better than less?. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 38, n. 5, p. 727-732, 2018.

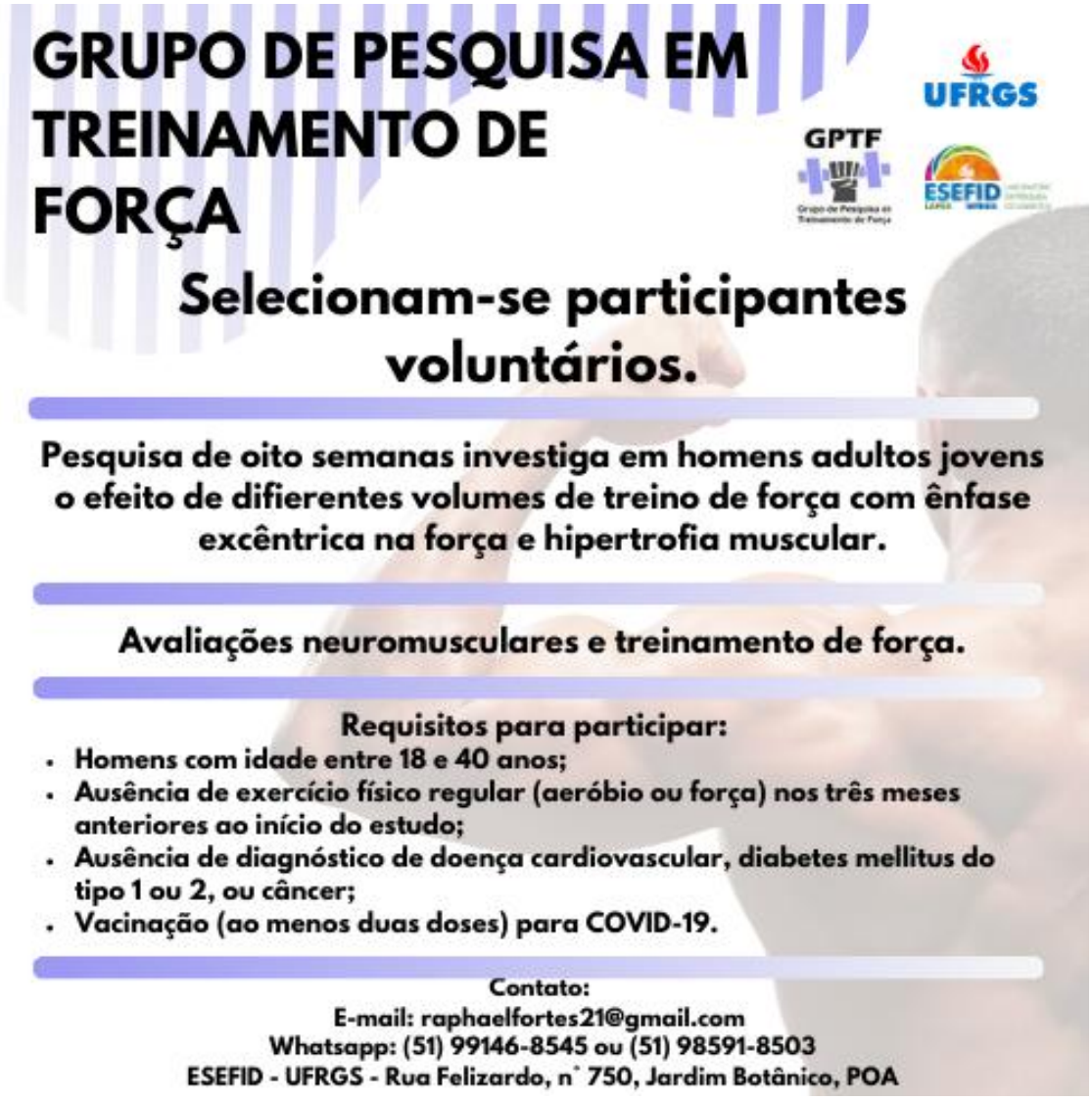
TINWALA, F. *et al.*, Eccentric strength training: A review of the available technology. **Strength and Conditioning Journal**, v. 39, n. 1, p. 32–47, 2017.

ZACHARIA, E. *et al.*, Changes in Muscle Power and Muscle Morphology. **Sports**, v. 7, n. 7, p. 9–13, 2019.

YOSHIDA, Riku *et al.*, Weekly minimum frequency of one maximal eccentric contraction to increase muscle strength of the elbow flexors. **European Journal of Applied Physiology**, v. 124, n. 1, p. 329-339, 2024.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FOLDER DE DIVULGAÇÃO



APÊNDICE B – ANAMNESE

1. Informações do Participante **Data da Avaliação: _____**

Número do participante:_____

Data de Nascimento:_____ Idade:_____ Sexo: ( ) M ( ) F

Profissão:_____

Massa Corporal (kg):_____ Estatura (cm): _____

IMC (peso/altura²): _____

Pressão Arterial Sistólica: Pressão Arterial Diastólica: Frequência Cardíaca:

2. Avaliação Clínica – Diagnóstico

( ) Doença Cardiovascular:_____

( ) Hipertensão Arterial - Tempo:_____

( ) Dislipidemia Colesterol total:____ HDL:___ LDL:___ Triglicerídeos:___

( ) Estresse ( ); Depressão: ( ) Tempo_____

( ) Fuma ou deixou de fumar ( ) – Tempo: _____

( ) Dificuldades para dormir - Média de horas:

( ) Dores de Cabeça:____ ( ) Doença Pulmonar:____ ( ) Varizes:___

( ) Outra:_____

Observações:_____

_____

_____

Medicação:_____

_____

_____

_____

Tempo sem alteração: _____ Qual? _____

( ) Histórico de hospitalização:

Motivo:_____

( ) Necessidade cirúrgica: _____

( ) Últimos 12 meses Motivo:_____

Observações:_____

Fatores Hereditários:

( ) Doença Cardiovascular: ( ) Parente (s) c/ menos de 60 nº: __

( ) Hipertensão Arterial: ( ) Parente (s) c/ menos de 60 nº: _____

( ) Obesidade: ( ) Parente (s) c/ menos de 60 nº: _____

( ) Diabetes – I ( ), II ( ): ( ) Parente (s) c/ menos de 60 nº: _____

( ) Colesterol Elevado: ( ) Parente (s) c/ menos de 60 nº: _____

( ) Câncer: _____ ( ) Parente (s) c/ menos de 60 nº: _____

3. Nível de Atividade Física:

( ) Não realiza; ( ) Já realizou? Qual? Quanto tempo:_____

( ) Realizo Qual?_____ Quanto tempo:_____

( ) Menos que 60 min ( ) 60 a 90 min por semana; ( ) 90 a 150 (1h30) min por semana

( ) 150 a 240 (2h) min por semana ( ) Mais que 240 min por semana

( ) De leve a moderada ( ) Sempre moderada ( ) Moderada a intensa

Tipos de atividade:_____

Observações:_____

( ) Pratica atividade física recreativa (ex.: caminhadas, corridas e jogos): ( ) Sim ( ) Não

Se sim, quais as atividades_____ Quantas vezes por semana? __

Qual a duração? _____

Exercícios Físicos:

Quando foi a última vez que realizou exercícios físicos regularmente? _____

Há algum tipo de exercício físico que não gosta de realizar? Qual? _____

Há algum tipo de exercício físico que gosta de realizar? Qual? _____

4. Alimentação:

Café da manhã: ( ) sempre ( ) às vezes ( ) nunca

Nº de Refeições regulares ao dia: ( )

Consumo de álcool: ( ) 1-2x/ sem; ( ) 3-4x/ sem; ( ) 4-7x/sem; ( ) 1x/15 dias; ( ) 1x/30 dias; ( ) nunca.

( ) Realiza acompanhamento alimentar com nutricionista: Quanto tempo?_____

Observações:_____

5. Sistemas Muscular e Esquelético:

Dores na coluna: ( ) cervical ( ) lombar ( ) torácica ( ) Hérnia de disco ( )

( ) Dor muscular ou articular:_____

( ) Histórico de lesão musculoesquelética:_____

( ) Últimos 12 meses Motivo:_____

Observações:_____

6. Questionário Geral

1) Alguma vez um médico lhe disse que você possui um problema do coração e recomendou que só fizesse atividade física sob supervisão médica? ( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei

2) Algum médico já diagnosticou que você possui pressão arterial alta e/ou recomendou o uso de medicamento para a sua pressão arterial? ( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei

3) Você tem conseguido manter os seus níveis de pressão arterial controlados? ( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei

4) Você tem consciência, através da sua própria experiência ou aconselhamento médico, de alguma outra razão física que impeça sua prática de atividade física sem supervisão médica? ( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei

5) Você apresenta frequentemente visão embaçada, cegueira noturna, visão dupla, perda de visão periférica, sensação de pressão nos olhos? ( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei

6) Algum médico chegou a comentar com você se a sua função renal é alterada ou apresenta aumento de excreção de proteína na urina? ( ) Sim ( ) Não

7) Você apresenta frequentemente palpitações em repouso, incapacidade ao exercício físico, arritmias cardíacas, hipotensão postural (tontura ao mudar-se de posição ou ao levantar-se)? ( ) Sim ( ) Não

8) Você sente desconforto nas pernas quando caminha? ( ) Sim ( ) Não

9) Se sim na pergunta anterior, essa dor continua quando você para de caminhar? Esta dor aparece quando você está parado em pé ou sentado? ( ) Sim ( ) Não ( ) Em pé ( ) Sentado

10) Quantos anos completos de escolaridade você possui? ( ) Abaixo de 2 ( ) Entre 3 e 4 ( ) Entre 5 e 7 ( ) Acima de 8 ( ) Ensino superior incompleto ( ) Ensino superior completo

Assinatura:_____

_____

Telefone de contato do participante:_____

Telefone para contato em caso de emergência (familiar ou amigo):_____

APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar de um projeto de pesquisa intitulado "EFEITO DE DIFERENTES VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA COM ÊNFASE EXCÊNTRICA NA FORÇA MÁXIMA E HIPERTROFIA MUSCULAR EM ADULTOS JOVENS DESTREINADOS", orientado pelo professor Dr. Ronei Silveira Pinto. O presente estudo tem como objetivo investigar e comparar o efeito de diferentes doses de volume (um e três séries por exercício) de treinamento de força excêntrico utilizando o exercício rosca bíceps, na força máxima e hipertrofia muscular em adultos jovens destreinados. A pesquisa envolve a realização de um protocolo de treinamento de força com ênfase excêntrica com duração de oito semanas e frequência de treinos bissemanal. Ocorrerão avaliações para a coleta de dados em cinco ocasiões: 1) pré-controle (dois dias); 2) pré-intervenção (um dia) 3) após quatro semanas de intervenção (um dia) e 4) após oito semanas de intervenção (um dia). É importante referir que a decisão de realização do seu protocolo de treinamento não será feita pelos pesquisadores ou por você, a qual será definida de forma aleatória/randomizada por uma pessoa não envolvida no estudo. Assim, você terá cada membro superior randomizado e alocado em uma das seguintes intervenções: treinamento com uma ou três séries de exercícios de flexão de cotovelo. A seguir, encontram-se os critérios de inclusão e de exclusão dos participantes do presente estudo.

Critérios de inclusão:

- Homens com idade entre 18 e 40 anos.
- Ausência de exercício físico regular (aeróbio ou força) nos três meses anteriores ao início do estudo.
- Ausência de diagnóstico de doença cardiovascular, diabetes mellitus do tipo 1 ou 2, ou câncer.

Critérios de exclusão:

- Lesão muscular ou osteoarticular que impossibilite as avaliações ou realização dos exercícios de força.
- Restrição médica que impossibilite a prática de exercício físico.

Critérios de exclusão dos participantes ao longo do estudo:

- Hospitalização ou evento de saúde que impossibilite a continuidade no estudo.
- Diagnóstico de COVID-19.
- Ausência de disponibilidade para a condução das avaliações com intervalo inferior a 10 dias entre os encontros.
- Ausência em três sessões de treinamento de forma consecutiva.
- Envolvimento em exercícios físicos regulares de membros superiores.

O projeto será realizado na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ESEFID/UFRGS) (051-3308-5804/3308-5885), que se localiza na Rua Felizardo, 750, no bairro Jardim Botânico de Porto Alegre. As avaliações serão realizadas no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da ESEFID/UFRGS. Os encontros para avaliações ocorrerão nos turnos manhã (07h-12h) ou tarde (13h-18h), de acordo com a disponibilidade dos participantes. As sessões de treinamento ocorrerão nos mesmos horários e turnos e serão ministradas por professores de educação física e por pesquisadores capacitados e familiarizados com as avaliações do presente estudo.

Os dias de avaliações terão intervalo de, no mínimo, 48 horas entre cada. Cada visita durará aproximadamente 2 horas e 30 minutos. Nessas visitas você será submetido aos seguintes procedimentos:

1) Preenchimento do questionário de anamnese inicial;

2) Mensuração da massa corporal total, estatura e do índice de massa corporal;

3) Avaliação da EM por ultrassonografia. Para essa avaliação você ficará deitado em uma maca, e um avaliador fará a avaliação dos seus músculos da frente do braço (músculo bíceps braquial) e por um aparelho de ultrassom. Para isso você terá que estar vestindo uma roupa que possibilite o contato superficial da sonda do ultrassom com a superfície do braço. Nessa avaliação será aplicado um gel na superfície da sua pele, por uma necessidade da avaliação.

4) Teste de preensão manual em dinamômetro manual hidráulico. Para esta avaliação você será posicionado sentado em uma cadeira, mantendo o antebraço apoiado. Você deverá fazer o máximo de força para pressionar a alça do equipamento. A partir disso, será verificado a máxima força de preensão manual que você consegue produzir.

5) Sessões de treinamento de força com ênfase em ações excêntricas com o exercício flexão de cotovelo duas vezes por semana.

Todos os procedimentos descritos acima serão acompanhados e realizados por pessoas capacitadas e toda explicação necessária será fornecida durante os testes, além de quaisquer dúvidas. Para a realização das avaliações você será instruído a não consumir produtos com cafeína, álcool e realizar exercício físico moderado a intenso nas 24 horas anteriores, visto que tais comportamentos podem impactar o seu desempenho nas avaliações. Por fim, durante o período de sua participação no presente estudo, você será instruído a não participar de programas de exercícios físicos, treinamentos ou pesquisas que possam interferir nos resultados ou procedimentos previstos no presente estudo. Esperamos que esteja em concordância com as recomendações do presente estudo.

Existem **riscos** mínimos relacionados à execução do projeto, como a possibilidade de ocorrerem alguns eventos adversos ao longo do estudo, tais como desconforto, cansaço, dores musculares e articulares, bem como lesão muscular e articular, uma vez que você irá fazer esforço físico. Os eventos adversos são considerados como qualquer ocorrência médica inconveniente sofrida por um participante da pesquisa que necessariamente apresenta relação causal com a intervenção em investigação. Caso algum dos seguintes eventos adversos seja observado, o participante deverá interromper a realização do exercício físico neste dia:

( ) Relato de dores na região da cabeça, nuca e/ou pescoço e/ou peito durante o exercício ou após a sua realização/término;

( ) Sensação de “estouro” na região da cabeça, nuca e/ou pescoço e/ou peito durante o exercício ou após a sua realização/término;

( ) Ocorrência de tontura e/ou desmaio/perda de consciência durante o exercício ou após a sua realização/término;

( ) Ocorrência de enjoo/náusea e/ou vômito durante o exercício ou após a sua realização/término;

( ) Lesão musculoesquelética durante a realização de avaliações e/ou sessões de treinamento;

( ) Solicitação do participante.

Ainda assim, como supracitado, todos os esforços serão realizados no sentido de diminuir esses riscos através da avaliação de informações preliminares sobre a sua saúde e aptidão. Você será instruído a realizar os exercícios e testes de forma adequada e segura, e, se necessário, o médico do LAPEX-ESEFID-UFRGS será chamado. Por fim, as avaliações e testes citados são amplamente empregados em pesquisas científicas e já foram realizados diversas

vezes por nossa equipe. Em adição, as sessões de treino e de avaliações só serão realizadas se os participantes não estiverem em condição de jejum. Qualquer dano decorrente da participação no estudo é de responsabilidade dos pesquisadores envolvidos. Cabe ressaltar que durante as coletas de dados estará presente no LAPEX-ESEFID um médico responsável e uma linha telefônica para a necessidade de contato. Adicionalmente, caso necessário, o contato de emergência disponibilizado pelo participante será contatado. Os pesquisadores responsáveis por este projeto são o Professor Ronei Silveira Pinto, seu orientando de Mestrado Raphael Pereira Fortes. Outros alunos de graduação e pós-graduação orientados pelo Professor Ronei poderão participar da realização deste projeto, sendo todos capacitados na área.

Os dados coletados neste estudo estarão em sigilo e de posse dos responsáveis pelo estudo por no mínimo 5 anos, sendo que serão utilizados somente para questões vinculadas à pesquisa e à área acadêmica, e só serão disponibilizados sob o seu consentimento, ao assinar o presente termo. Os participantes serão identificados por códigos, sendo eles somente manipulados pelos responsáveis da pesquisa. A participação neste projeto será voluntária, sendo que em qualquer momento deste projeto você poderá interrompê-la. Não está previsto nenhum tipo de pagamento pela sua participação no projeto. Não haverá custos para você por conta das avaliações realizadas. Caso haja necessidade, o transporte público para a sua participação no estudo será custeado pelos pesquisadores responsáveis pelo projeto.

Este projeto também implica em **benefícios** para o participante, tais como conhecer seu perfil físico/ de saúde, exames de avaliação de parâmetros neuromusculares e composição corporal, todos acompanhados por profissionais capacitados. Além disso, você irá contribuir com um projeto de pesquisa/estudo científico que visa conhecer mais sobre os efeitos do treinamento de força com ênfase excêntrica e suas adaptações em adultos jovens destreinados.

O pesquisador responsável poderá ser contatado pelos telefones (51) 3308-5894 ou (51) 99923-0663, assim como seus orientandos pelos fones (51) 98598-4502 e (51) 99680-2560 para qualquer dúvida ou problema a respeito da sua participação nessa pesquisa. Também, se você sentir qualquer violação dos seus direitos, poderá contatar o Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS, pelo telefone (51) 3308-3738 ou por e-mail etica@propesq.ufrgs.br. Qualquer evento adverso grave será informado ao Comitê de Ética em menos de 48h seguintes a ocorrência. Durante o andamento desse estudo você poderá se recusar a prosseguir a qualquer momento e poderá pedir desligamento da pesquisa. Destaca-se que os procedimentos do presente estudo foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS. O CEP e um órgão colegiado, de caráter consultivo, deliberativo e educativo, cuja finalidade e avaliar, emitir parecer e acompanhar os projetos de pesquisa envolvendo seres humanos, em seus aspectos éticos e metodológicos, realizados no âmbito da instituição.

Uma via deste documento ficará com você e a outra via ficará guardada com os pesquisadores desse projeto. Ambas as vias vão estar assinadas por você e pelo pesquisador responsável.

Tendo conhecimento das informações relativas à minha participação no referido projeto de pesquisa “EFEITO DE DIFERENTES VOLUMES DE TREINAMENTO DE FORÇA COM ÊNFASE EXCÊNTRICA NA FORÇA MÁXIMA E HIPERTROFIA MUSCULAR EM ADULTOS JOVENS DESTREINADOS”,
eu_____
_____
declaro minha concordância com os procedimentos do estudo e com a participação no estudo.

Porto Alegre _____ de _____ de _____

Assinatura do participante:
_____
_____

Nome do pesquisador:
_____

Assinatura do pesquisador:
_____

APÊNDICE D – ANÁLISE DA VELOCIDADE DE MOVIMENTO REGISTRADA POR VÍDEO

1. Processamento dos vídeos

```
import cv2
import mediapipe as mp
import numpy as np
import pandas as pd
import os
import glob
import sys
from scipy.signal import savgol_filter

mp_pose = mp.solutions.pose

def calculate_angle(a, b, c):
    a = np.array(a)
    b = np.array(b)
    c = np.array(c)

    radians = np.arctan2(c[1] - b[1], c[0] - b[0]) - np.arctan2(a[1] - b[1], a[0] - b[0])
    angle = np.abs(np.degrees(radians))

    if angle > 180.0:
        angle = 360 - angle
    return angle

def process_video(video_path, min_conf=0.6):

    print(f"Processando: {os.path.basename(video_path)}...")

    try:
        filename = os.path.basename(video_path)
        parts = filename.split('.')[0].split('_')
        participant_id = parts[0]
        arm_side = parts[1].upper()
        moment = parts[2].upper()
    except IndexError:
        print(f" AVISO: O arquivo {filename} não segue o padrão de nomeação 'ID_BRACO_MOMENTO.ext' e será ignorado.")
        return None
```

```
            if arm_side == 'D':
                ombro_lm = mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER
                cotovelo_lm = mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_ELBOW
                punho_lm = mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_WRIST
            elif arm_side == 'E':
                ombro_lm = mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER
                cotovelo_lm = mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW
                punho_lm = mp_pose.PoseLandmark.LEFT_WRIST
            else:
                print(f"  AVISO: Lado do braço '{arm_side}' não reconhecido em {filename}. O vídeo será ignorado.")
                return None

            cap = cv2.VideoCapture(video_path)
            if not cap.isOpened():
                print(f"  ERRO: Não foi possível abrir o vídeo {video_path}.")
                return None

            fps = cap.get(cv2.CAP_PROP_FPS)
            if fps == 0:
                print(f"  AVISO: FPS do vídeo {filename} é zero. Assumindo 30 FPS.")
                fps = 30

            dt = 1 / fps

            timestamps = []
            angles = []

            with mp_pose.Pose(min_detection_confidence=min_conf, min_tracking_confidence=min_conf) as pose:
                frame_count = 0
                while cap.isOpened():
                    success, image = cap.read()
                    if not success:
                        break

                    image_rgb = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
                    results = pose.process(image_rgb)
```

```
        if results.pose_landmarks:
            try:
                landmarks = results.pose_landmarks.landmark
                ombro = [landmarks[ombro_lm.value].x, landmarks[ombro_lm.value].y]
                cotovelo = [landmarks[cotovelo_lm.value].x, landmarks[cotovelo_lm.value].y]
                punho = [landmarks[punho_lm.value].x, landmarks[punho_lm.value].y]

                angle = calculate_angle(ombro, cotovelo, punho)

                angles.append(angle)
                timestamps.append(frame_count * dt)
            except Exception as e:
                pass

        frame_count += 1

cap.release()

if not angles:
    print(f"  AVISO: Nenhum dado de pose foi extraído de {filename}.")
    return None

df = pd.DataFrame({
    'tempo_s': timestamps,
    'angulo_cotovelo_graus': angles
})

if len(df) <= 1:
    print(f"  AVISO: Dados insuficientes em {filename} para calcular velocidade.")
    return None

raw_velocity = np.diff(df['angulo_cotovelo_graus']) / np.diff(df['tempo_s'])

window_frames = int(fps / 2)
if window_frames % 2 == 0:
    window_frames += 1
if window_frames < 5:
    window_frames = 5

polyorder = 3
```

```
    if len(raw_velocity) > window_frames:
        smooth_velocity = savgol_filter(raw_velocity, window_frames, polyorder)
        df['vel_angular_graus_s'] = np.insert(smooth_velocity, 0, np.nan)
    else:
        df['vel_angular_graus_s'] = np.insert(raw_velocity, 0, np.nan)

    df['participante_id'] = participant_id
    df['braco'] = arm_side
    df['momento'] = moment

    if moment in ['A1', 'A2', 'A3']:
        df['fase_treino'] = 'Inicial'
    elif moment in ['A4', 'A5', 'A6']:
        df['fase_treino'] = 'Final'
    else:
        df['fase_treino'] = 'N/A'

    return df

def main():
    VIDEO_DIRECTORY = 'XXX’
    OUTPUT_CSV = 'resultados_cinematicos_completos.csv'

    video_extensions = ['*.mp4', '*.mov', '*.avi']
    video_files = []
    for ext in video_extensions:
        video_files.extend(glob.glob(os.path.join(VIDEO_DIRECTORY, ext)))

    all_results = []

    print(f"Iniciando análise. {len(video_files)} vídeos encontrados em '{VIDEO_DIRECTORY}'")

    for video_path in sorted(video_files):
        result_df = process_video(video_path)
        if result_df is not None:
            all_results.append(result_df)

    if all_results:
        master_df = pd.concat(all_results, ignore_index=True)
```

```
        cols = ['participante_id', 'braco', 'fase_treino', 'momento',
                'tempo_s', 'angulo_cotovelo_graus', 'vel_angular_graus_s']
        cols_existentes = [col for col in cols if col in master_df.columns]
        master_df = master_df[cols_existentes]

        master_df.to_csv(OUTPUT_CSV, index=False, decimal='.', sep=',')

        print(f"\ Análise concluída com sucesso!")
        print(f"Resultados de {len(all_results)} vídeos salvos em: {OUTPUT_CSV}")
    else:
        print("\nNenhum vídeo foi processado com sucesso.")

if __name__ == "__main__":
 main()
```

2. Análise da velocidade média concêntrica e excêntrica por série através dos dados cinemáticos

```
import pandas as pd
import numpy as np
import sys

ARQUIVO_ENTRADA = 'resultados_cinematicos_completos.csv'
ARQUIVO_SAIDA = 'resultados_velocidade_media_por_serie.csv'
VELOCIDADE_THRESHOLD = 10.0

print(f"Iniciando análise de médias do arquivo: {ARQUIVO_ENTRADA}")

try:
    df = pd.read_csv(ARQUIVO_ENTRADA, sep=',', decimal='.')
    if df.shape[1] == 1:
        print("CSV lido com uma coluna, tentando formato 'Brasileiro' (sep=';')...")
        df = pd.read_csv(ARQUIVO_ENTRADA, sep=';', decimal=',')
except FileNotFoundError:
    print(f"Erro fatal: Arquivo não encontrado em '{ARQUIVO_ENTRADA}'")
    sys.exit()
except Exception as e:
    print(f"Erro fatal: Não foi possível carregar o arquivo CSV: {e}")
    sys.exit()
```

```
        if df.shape[1] <= 1:
            print("Erro fatal: O CSV foi carregado, mas parece ter apenas uma coluna.")
            sys.exit()

        print("Arquivo CSV carregado com sucesso.")

        df_conc = df[df['vel_angular_graus_s'] < -VELOCIDADE_THRESHOLD].copy()
        df_exc = df[df['vel_angular_graus_s'] > VELOCIDADE_THRESHOLD].copy()

        print(f"Usando um limiar de {VELOCIDADE_THRESHOLD} °/s para filtrar pausas.")

        grupo_serie = ['participante_id', 'braco', 'fase_treino', 'momento']

        df_conc['vel_conc_magnitude'] = df_conc['vel_angular_graus_s'].abs()
        media_conc = df_conc.groupby(grupo_serie)['vel_conc_magnitude'].mean()

        media_conc = media_conc.reset_index().rename(
            columns={'vel_conc_magnitude': 'vel_media_conc_gs'}
        )

        media_exc = df_exc.groupby(grupo_serie)['vel_angular_graus_s'].mean()

        media_exc = media_exc.reset_index().rename(
            columns={'vel_angular_graus_s': 'vel_media_exc_gs'}
        )

        print("Médias por série calculadas.")

        df_resultados_finais = pd.merge(media_conc, media_exc, on=grupo_serie, how='outer')

        try:
            df_resultados_finais.to_csv(ARQUIVO_SAIDA, index=False, sep=';', decimal=',')
            print(f"\n Análise de médias concluída!")
            print(f"Resultados salvos em: {XXX }")
        except Exception as e:
print(f"\nErro ao salvar o arquivo de saída: {e}")
```

APÊNDICE E - Escala OMNI

ESCALA OMNI DE PERCEPÇÃO SUBJETIVA DO ESFORÇO

Figura - Escala Omni-res

