

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LETÍCIA POPHAL CUTISQUE

EFEITOS DE UM PROGRAMA DE CAMINHADA ASSOCIADO À RESTRIÇÃO DE  
FLUXO SANGUÍNEO SOBRE ASPECTOS MUSCULARES E FUNCIONAIS EM  
INDIVÍDUOS COM ASSIMETRIA DE FORÇA EM  
MEMBROS INFERIORES

CURITIBA

2025

LETÍCIA POPHAL CUTISQUE

FEFEITOS DE UM PROGRAMA DE CAMINHADA ASSOCIADO À RESTRIÇÃO DE  
FLUXO SANGUÍNEO SOBRE ASPECTOS MUSCULARES E FUNCIONAIS EM  
INDIVÍDUOS COM ASSIMETRIA DE FORÇA EM  
MEMBROS INFERIORES

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em  
Educação Física, Setor de Ciências Biológicas,  
Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial  
à obtenção do título de Doutor em Atividade Física e  
Saúde.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Felix Rodacki.

Co-orientadora: Profa. Dra. Natália Boneti Moreira.

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Cutisque, Letícia Pophal.

Efeitos de um programa de caminhada associado à restrição de fluxo sanguíneo sobre aspectos musculares e funcionais em indivíduos com assimetria de força em membros inferiores. – Curitiba, 2025.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas.

Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Felix Rodacki.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Natália Boneti Moreira.

1. Marcha humana. 2. Caminhada – Aspectos fisiológicos. 3. Exercícios físicos 4. Força muscular. 5. Hipertrofia. 6. Joelhos. 7. Tornozelo. 8. Terapia de Restrição de Fluxo Sanguíneo. I. Rodacki, André Luiz Félix, 1965-. II. Moreira, Natália Boneti, 1988-. III. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EDUCAÇÃO FÍSICA -  
40001016047PO

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação EDUCAÇÃO FÍSICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **LETÍCIA POPHAL CUTISQUE**, intitulada: **EFEITOS DE UM PROGRAMA DE CAMINHADA ASSOCIADO À RESTRIÇÃO DE FLUXO SANGUÍNEO SOBRE ASPECTOS MUSCULARES E FUNCIONAIS EM INDIVÍDUOS COM ASSIMETRIA DE FORÇA EM MEMBROS INFERIORES**, sob orientação do Prof. Dr. ANDRE LUIZ FELIX RODACKI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 12 de Dezembro de 2025.

Assinatura Eletrônica  
12/12/2025 18:17:15.0  
ANDRE LUIZ FELIX RODACKI  
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica  
15/12/2025 15:44:50.0  
CLEITON AUGUSTO LIBARDI  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS)

Assinatura Eletrônica  
12/12/2025 17:17:59.0  
VALMOR ALBERTO AUGUSTO TRICOLI  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO)

Assinatura Eletrônica  
14/12/2025 10:02:32.0  
ADRIANO EDUARDO LIMA DA SILVA  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

*Dedico às pessoas mais importantes em minha vida.  
Meu marido Hualen, meus pais Leandro e Verediana e minha irmã Fernanda.  
Obrigada por todo amor, paciência e por sempre acreditarem em mim.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu marido, Hualen, por estar ao meu lado em todos os momentos, apoiando-me com paciência, compreensão e amor. A sua presença constante trouxe calmaria e sensação de renovação nos dias mais difíceis. Com você, cada desafio se tornou uma oportunidade de aprendizado. Aos meus pais, Leandro e Verediana, e à minha irmã, Fernanda, pelo amor incondicional, pela base sólida em que me criaram e por sempre acreditarem no meu potencial. Vocês são meu alicerce e a razão pela qual sigo acreditando que tudo é possível com dedicação e esforço. Nada disso seria possível sem vocês.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. André Luiz Felix Rodacki, pela parceria e orientação desde 2019. Em todos os momentos, senti-me profundamente bem orientada e inspirada a buscar o meu melhor. Sua exigência, comprometimento e confiança me desafiaram a crescer como pesquisadora e como pessoa, guiando-me com sabedoria e rigor científico ao longo de toda esta trajetória.

À minha co-orientadora e amiga, Profa. Dra. Natália Boneti Moreira, pela orientação, apoio e amizade desde a graduação. Você acreditou em mim desde o início, e continua ao meu lado até hoje, com paciência, incentivo e carinho. A sua presença constante e sua confiança no meu trabalho foram fundamentais para que eu chegassem até aqui.

Aos alunos e alunas que participaram deste projeto, contribuindo com dedicação em diversas etapas. A realização deste trabalho seria imensamente mais difícil sem a ajuda e o comprometimento de cada um de vocês. Sou eternamente grata pela colaboração, pela responsabilidade e pelo espírito de equipe demonstrado – quando o trabalho é compartilhado, o processo se torna mais leve e os resultados, mais significativos.

Aos amigos que o caminho acadêmico me presenteou, especialmente aqueles que estiveram comigo desde o mestrado e seguiram ao meu lado durante o doutorado. As adversidades aproximam as pessoas, e foi justamente nos momentos de desafio que os vínculos se tornaram mais fortes e verdadeiros. Obrigada pela amizade, pela parceria e por tornarem esta jornada mais leve, produtiva e especial.

À Universidade Federal do Paraná, ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física e ao Centro de Estudos do Comportamento Motor, pelo apoio institucional e pelas condições que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Código de Financiamento 001), pelo suporte financeiro, sem o qual esta pesquisa não seria possível.

*“Nem todo aprendizado é leve – mas todo aprendizado verdadeiro transforma”.*

## RESUMO

A força muscular e a simetria entre os membros inferiores são determinantes para a função motora, a estabilidade articular e a prevenção de lesões, especialmente em indivíduos após reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA). Protocolos tradicionais de treinamento resistido utilizam altas intensidades para promover hipertrofia e aumentos de força, o que pode ser inviável no contexto da reabilitação devido ao risco de sobrecarga articular. Nesse cenário, a restrição parcial do fluxo sanguíneo (RFS) surge como uma estratégia inovadora, capaz de induzir adaptações musculares por meio de exercícios de baixa intensidade, oferecendo um ambiente seguro e potencialmente mais eficaz para o processo de reabilitação. Esta tese, estruturado em dois estudos experimentais. O primeiro investigou os efeitos de um programa de caminhada associado à RFS sobre força e espessura muscular, parâmetros espaço-temporais da marcha e aspectos perceptuais do joelho em adultos jovens com assimetria de força muscular entre membros. O Estudo Experimental 1 incluiu 32 sujeitos com assimetria de força e sem histórico de lesão (20 homens e 12 mulheres;  $31,1 \pm 9,5$  anos), enquanto o Estudo 2 avaliou 40 participantes com assimetria de força e histórico de reconstrução do LCA (19 homens e 21 mulheres;  $27,1 \pm 7,3$  anos). Em ambos os estudos, foi adotado um design intrassujeito, no qual o segmento mais fraco foi submetido à RFS (SI), enquanto o contralateral serviu como controle (SC). O treinamento foi realizado três vezes por semana durante 12 semanas, com pressão ajustada a 90% da pressão de oclusão vascular e protocolo progressivo de caminhada (12 a 20 minutos;  $1,25 \text{ m.s}^{-1}$  a  $2,00 \text{ m.s}^{-1}$ ). As avaliações incluíram força isométrica de plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo e de extensores e flexores do joelho (Biodex), espessura muscular (ultrassonografia), parâmetros espaço-temporais da marcha (Protokinetics) e aspectos perceptuais do joelho (Lysholm Knee Score [LKS], Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score [KOOS] e Tampa Scale of Kinesiophobia [TSK]). No Estudo Experimental 1, ocorreram aumentos de força nos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, com ganhos maiores no SI (plantiflexores: 30,4%; dorsiflexores: 14,8%) em comparação ao SC (plantiflexores: 18,7%; dorsiflexores: 13,6%). Apenas os incrementos nos plantiflexores do SI e nos dorsiflexores de ambos os segmentos superaram a Mudança Mínima Detectável (MMD), indicando alterações relevantes. A assimetria inicial de 15% nos extensores do joelho foi reduzida para 11% após o treinamento. Houve aumento de força nos extensores (SI: 17,5%; SC: 6,3%) e flexores (SI: 8,7%; SC: 7,4%), embora abaixo da MMD. A largura do passo aumentou em ~1,1 cm em ambas as velocidades de marcha, mas permaneceu abaixo da MMD. No estudo 2, a assimetria inicial de 25% nos plantiflexores foi restaurada após o treinamento, com ganho expressivo no SI (51,6%) em comparação ao SC (11,7%), sendo apenas o SI superior à MMD. Os dorsiflexores permaneceram inalterados. Nos extensores do joelho, a assimetria inicial de 17% foi reduzida para 9% pós-intervenção. Observou-se aumento de força nos extensores (SI: 33,1%; SC: 14,9%) e nos flexores (SI: 25%; SC: 9%), embora abaixo da MMD. Na marcha autoselecionada, o SI apresentou redução do tempo de passo (-3,6%), tempo de apoio (-5,5%; acima da MMD) e apoio simples (-2,5%). No SC, houve aumento do comprimento do passo (5,4%; acima da MMD) e redução do tempo de passo (-3,6%), do tempo de apoio (-5,4%; acima da MMD) e do tempo de apoio simples (-2,5%). Na velocidade rápida, ambos os segmentos reduziram o tempo de passo (-6%; acima da MMD), enquanto o tempo de duplo apoio aumentou discretamente (~5%). Os participantes também apresentaram melhorias perceptuais, incluindo aumento da qualidade de vida (29,1%), redução de sintomas (19%), melhora das atividades de vida diária (5,4%) e incremento no escore total do KOOS (9,6%). O LKS mostrou ganhos em instabilidade (21,1%), apoio (18,1%) e agachamento (15,1%), com aumento da proporção de indivíduos com “boa função do joelho” (35% para 77%) e eliminação de casos classificados como “função ruim do joelho”. Além disso, observou-se redução da cinesiofobia (-7,6%).

Conclui-se que ambos os estudos demonstraram que o programa de caminhada associado à RFS promove ganhos expressivos de força nos plantiflexores do tornozelo e extensores do joelho, redução das assimetrias musculares, melhora do desempenho da marcha e avanços perceptuais significativos, incluindo maior qualidade de vida, redução de sintomas e diminuição da cinesiofobia em indivíduos após reconstrução do LCA. Esses achados indicam que o protocolo é eficaz, seguro e aplicável na prática clínica, tanto para promoção de adaptações musculares em adultos jovens quanto para otimização do processo de reabilitação após lesão musculoesquelética.

Palavras-Chave: Análise da Marcha; Caminhada; Exercício Físico; Força Muscular; Hipertrofia; Joelho; Terapia de Restrição de Fluxo Sanguíneo; Tornozelo.

## ABSTRACT

Muscle strength and interlimb symmetry are key determinants of motor function, joint stability, and injury prevention, particularly in individuals recovering from anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. Traditional resistance training protocols often utilize high training intensities to induce hypertrophy and strength gains; however, such approaches may be unfeasible during rehabilitation due to the risk of joint overload. In this context, blood flow restriction (BFR) emerges as an innovative strategy capable of inducing muscular adaptations through low-intensity exercise, providing a safe and potentially more effective environment for rehabilitation. This project was structured into two experimental studies, aimed at investigating the effects of a walking program combined with BFR on muscle strength and thickness, spatiotemporal gait parameters, and perceptual outcomes of knee function in adults with interlimb strength asymmetry, with and without a history of ACL reconstruction. Experimental Study 1 included 32 young adults (20 men and 12 women;  $31.1 \pm 9.5$  years), whereas Study 2 assessed 40 participants following ACL reconstruction (19 men and 21 women;  $27.1 \pm 7.3$  years). In both studies, an intrasubject design was adopted in which the weaker limb was assigned to the BFR condition (SI), while the contralateral limb served as the control (SC). Training was performed three times per week over 12 weeks using BFR pressure set at 90% of the individual arterial occlusion pressure and a progressive walking protocol (12-20 minutes;  $1.25\text{-}2.00 \text{ m.s}^{-1}$ ). Assessments included isometric strength of ankle plantarflexors and dorsiflexors and knee extensors and flexors (Biodex®), muscle thickness (ultrasound), spatiotemporal gait parameters (Protokinetics®), and perceptual knee outcomes (Lysholm Knee Score [LKS], Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score [KOOS], and Tampa Scale of Kinesiophobia [TSK]). In experimental Study 1, increases in ankle plantarflexor and dorsiflexor strength were observed, with larger gains in the SI (plantarflexors: 30.4%; dorsiflexors: 14.8%) compared to the CS (plantarflexors: 18.7%; dorsiflexors: 13.6%). Only the improvements in SI plantarflexors and in dorsiflexors of both limbs exceeded the Minimal Detectable Change (MDC), indicating meaningful changes beyond measurement error. An initial 15% asymmetry in knee extensor strength decreased to 11% after training. Strength increased in knee extensors (SI: 17.5%; CS: 6.3%) and flexors (SI: 8.7%; CS: 7.4%), although these changes remained below the MDC. Step width increased by ~1.1 cm at both gait speeds but did not surpass the MDC threshold. In Study 2, the initial 25% asymmetry in plantarflexor strength was restored after training, with a substantial improvement in the SI (51.6%) compared to the CS (11.7%); only the SI change exceeded the MDC. Dorsiflexor strength remained unchanged. Knee extensor asymmetry decreased from 17% to 9%. Strength increased in knee extensors (SI: 33.1%; CS: 14.9%) and knee flexors (SI: 25%; CS: 9%), although below the MDC. During self-selected walking, the SI showed reductions in step time (-3.6%), stance time (-5.5%; above MDC), and single support (-2.5%). In the CS, improvements included increased step length (5.4%; above MDC) and reductions in step time (-3.6%), stance time (-5.4%; above MDC), and single support (-2.5%). At fast walking speed, both segments exhibited reductions in step time (-6%; above MDC), while double support time increased slightly (~5%). Participants also demonstrated perceptual improvements, including increased quality of life (29.1%), reduced symptoms (19%), improved activities of daily living (5.4%), and an overall increase in KOOS total score (9.6%). The LKS showed marked gains in instability (21.1%), support (18.1%), and squatting (15.1%), accompanied by an increase in the proportion of individuals classified as having “good knee function” (35% to 77%) and complete elimination of cases categorized as “poor knee function”. Additionally, kinesiophobia was reduced (7.6%). In conclusion, both studies demonstrated that a walking program combined with BFR promotes

expressive gains in ankle plantarflexor and knee extensor strength, reduces muscular asymmetries, improves gait performance, and yields significant perceptual benefits – including better quality of life, fewer symptoms, and reduced kinesiophobia – in individuals after ACL reconstruction. These findings indicate that the protocol is effective, safe, and clinically applicable, supporting its use both for inducing muscular adaptations in young adults and for optimizing the rehabilitation process following musculoskeletal injury.

Key words: Gait Analysis; Walking; Physical Exercise; Muscle Strength; Hypertrophy; Knee; Blood Flow Restriction Training; Ankle.

## **LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1 – Fluxograma relacionado a estrutura e composição da tese.....	24
FIGURA 2 – Fluxograma dos participantes do Estudo 1.....	47
FIGURA 3 – Representação do Tapete Zeno Walkway.....	49
FIGURA 4 – Demonstração do posicionamento utilizado para avaliação da força muscular do tornozelo e do .....	51
FIGURA 5 – Representação da espessura muscular dos músculos do tornozelo (TA = Tibial Anterior, GM = Gastrocnêmio Medial) e joelho (VL = Vasto Lateral, ST = Semitendinoso).52	52
FIGURA 6 – Demonstração de um participante equipado com um manguito inflado (A). Demonstração da remoção do manguito logo após o término de uma sessão de treinamento (fase 1) (B).....	58
FIGURA 7 – Fluxograma dos participantes do Estudo 2.....	88
FIGURA 8 – Escore Total e Subescalas do Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), pré- e pós-intervenção (n = 40). ....	103
FIGURA 9 – Escore Total e Subescalas do Lysholm Knee-scoring Scale (LKS), pré- e pós-intervenção (n = 40).....	105
FIGURA 10 – Escore Total do Tampa Scale for Kinesiophobia (TSK), pré- e pós-intervenção (n = 40). ....	106

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Confiabilidade das medidas de espessura muscular .....	54
TABELA 2 – Progressão do protocolo de treinamento.....	57
TABELA 3 – Características físicas, comportamentais, e histórico de lesões da amostra total (n = 139).....	62
TABELA 4 – Força muscular do tornozelo e joelho, assimetria de força entre membros e parâmetros espaço-temporais da marcha na velocidade auto-selecionada e rápida de caminhada (n = 139). .....	63
TABELA 5 – Características físicas, comportamentais, e assimetria de força muscular entre membros dos participantes (pré- e pós-intervenção) (n = 32).....	64
TABELA 6 – Características musculares (força muscular [PT] e espessura muscular [EM]) dos músculos plantiflexores (gastrocnêmio medial) e dorsiflexores (tibial anterior) do tornozelo, pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 32). .....	67
TABELA 7 – Características musculares (força muscular [PT] e espessura muscular [EM]) dos músculos extensores (vasto lateral) e flexores (semitendinoso) do joelho, pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 32).....	69
TABELA 8 – Parâmetros espaço-temporais da marcha na velocidade auto-selecionada e rápida de caminhada, pré- e pós-intervenção (n = 32). .....	71
TABELA 9 – Características físicas, comportamentais, e assimetria de força muscular entre membros dos participantes (pré- e pós-intervenção) (n = 40).....	93
TABELA 10 – Características musculares (força muscular [PT] e espessura muscular [EM]) dos músculos plantiflexores (gastrocnêmio medial) e dorsiflexores (tibial anterior) do tornozelo, pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 40). 95	95
TABELA 11 – Características musculares (força muscular [PT] e espessura muscular [EM]) dos músculos extensores (vasto lateral) e flexores (semitendinoso) do joelho, pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 40).....	97
TABELA 12 – Parâmetros espaço-temporais da marcha na velocidade auto-selecionada (VASC), pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 40). 100	100
TABELA 13 – Parâmetros espaço-temporais da marcha na velocidade rápida de caminhada (VRC), pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 40)....	101

## LISTA DE ABREVIATURAS

AF	- Atividade Física
ANOVA	- Análise de Variância de Medidas Repetidas
ATP	- Adenosina Trifosfato
AVDS	- Atividades de Vida Diária
bpm	- Batimentos por minuto
CECOM	- Centro de Estudos do Comportamento Motor
CONSORT	- Consolidated Standards of Reporting Trials
CS	- Comportamento Sedentário
cm	- centímetros
CV	- Coeficiente de Variação
CVMI	- Contração Voluntária Máxima Isométrica
DP	- Desvio Padrão
EM	- Espessura Muscular
EP	- Erro Padrão
ES	- Effect Size
ETM	- Erro Típico de Medida
EVA	- Escala Visual Analógica
FC	- Frequência Cardíaca
GH	- Hormônio do Crescimento
GM	- Gastrocnêmio Medial
IC	- Intervalo de Confiança
ICC	- Coeficiente de Correlação Intraclass
IMC	- Índice de Massa Corporal
IPAQ	- International Physical Activity Questionnaire
ISM	- Índice de Simetria de Membros
kg	- quilogramas
KOOS	- Knee Injury Osteoarthritis Outcome Score
KW	- Kaatsu-Walk
LCA	- Ligamento Cruzado Anterior
LKS	- Lysholm Knee-scoring Scale
m/s	- Metros por Segundo
MDCI	- Mínimas Diferenças Clinicamente Importantes

MDC	- Minimal Detectable Change
MMD	- Mudança Mínima Detectável
mmHg	- Milímetros de mercúrio
MLM	- Modelo Linear Misto
N.m	- Newton/metro
PA	- Pressão Arterial
PAS	- Pressão Arterial Sistólica
PAD	- Pressão Arterial Diastólica
PKMAS	- ProtoKinetics Movement Analysis Software
PRFS	- Pressão de Restrição do Fluxo Sanguíneo
PT	- Pico de Torque
RCLA	- Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior
ReBec	- Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos
RFS	- Restrição de Fluxo Sanguíneo
s	- Segundos
SC	- Segmento-controle
SI	- Segmento-intervenção
SPSS	- Software Statistical Package for the Social Sciences
ST	- Semitendinoso
TA	- Tibial Anterior
TCLE	- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TKS	- Tampa Scale of Kinesiophobia
TRFS	- Treinamento Associado à Restrição de Fluxo Sanguíneo
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
US	- Ultrassonografia
VASC	- Velocidade Auto-selecionada de Caminhada
VL	- Vasto Lateral
VRC	- Velocidade Rápida de Caminhada
vs	- <i>Versus</i>
1RM	- Uma Repetição Máxima

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>19</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>19</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>20</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	25
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>28</b>
<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>28</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 ASSIMETRIA INTERMEMBROS .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2 LESÃO NO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR.....</b>	<b>31</b>
<b>2.3 RESTRIÇÃO DE FLUXO SANGUÍNEO.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.1 Fundamentos e aplicações gerais.....</b>	<b>34</b>
2.3.2 Mecanismos fisiológicos.....	35
2.3.3 Caminhada associada à restrição de fluxo sanguíneo .....	37
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>40</b>
<b>ESTUDO EXPERIMENTAL 1 .....</b>	<b>40</b>
<b>3 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1 MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
3.1.2 Características do estudo e cálculo amostral.....	44
3.1.3 Critérios de elegibilidade .....	45
3.1.4 Procedimentos.....	46
3.1.5 Instrumentos de pesquisa .....	48
3.1.6 Procedimentos experimentais .....	54
3.1.7 Análise dos dados .....	60
<b>3.2 RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
<b>3.3 DISCUSSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>80</b>
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>82</b>
<b>ESTUDO EXPERIMENTAL 2 .....</b>	<b>82</b>

<b>4 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>4.1 MÉTODOS.....</b>	<b>86</b>
4.1.2 Características do estudo e cálculo amostral.....	86
4.1.3 Critérios de elegibilidade.....	87
4.1.4 Procedimentos.....	87
4.1.5 Instrumentos de pesquisa .....	88
4.1.6 Procedimentos experimentais .....	90
4.1.7 Análise dos dados .....	90
<b>4.2 RESULTADOS .....</b>	<b>91</b>
<b>4.3 DISCUSSÃO .....</b>	<b>106</b>
<b>4.4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>118</b>
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>120</b>
<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>120</b>
<b>4.1 CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>121</b>
<b>4.2 SÍNTESE DAS HIPÓTESES DOS ESTUDOS.....</b>	<b>123</b>
4.2.1 Estudo 1 .....	123
4.2.2 Estudo 2 .....	124
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO .....</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICE B – RELATÓRIO INDIVIDUAL.....</b>	<b>152</b>
<b>APÊNDICE B – RELATÓRIO INDIVIDUAL - Continuação .....</b>	<b>153</b>
<b>APÊNDICE B – RELATÓRIO INDIVIDUAL - Continuação .....</b>	<b>154</b>
<b>APÊNDICE B – RELATÓRIO INDIVIDUAL - Continuação .....</b>	<b>155</b>
<b>APÊNDICE C – FICHA DE AVALIAÇÃO .....</b>	<b>156</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>157</b>
<b>ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) .....</b>	<b>158</b>
<b>ANEXO 2 - QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA .....</b>	<b>168</b>
<b>ANEXO 3 – ESCALA DE BORG .....</b>	<b>170</b>

<b>ANEXO 4 – ESCALA VISUAL ANALÓGICA.....</b>	<b>171</b>
<b>ANEXO 5 – KNEE INJURY AND OSTEOARTHRITIS OUTCOME SCORE .....</b>	<b>172</b>
<b>ANEXO 6 – LYSHOLM KNEE-SCORING SCALE.....</b>	<b>176</b>
<b>ANEXO 7 – TAMPA SCALE FOR KINESIOPHOBIA .....</b>	<b>177</b>

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUÇÃO GERAL**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A assimetria entre membros (i.e., intermembros), definida como qualquer discrepância mensurável entre um membro e seu contralateral, tem recebido crescente atenção nos últimos anos (BISHOP; TURNER; READ, 2018). A execução eficiente de movimentos bilaterais depende de níveis adequados de simetria entre os hemicorpos, e constitui uma condição fundamental tanto para tarefas motoras simples quanto para ações coordenadas entre segmentos (ATKINS et al., 2016). A assimetria resulta de uma interação dinâmica multifatorial, incluindo redução da atividade física, aumento do comportamento sedentário e exposição assimétrica a demandas mecânicas – como ocorre na dominância lateral ou em esportes caracterizados por ações unilaterais repetitivas (OZEMEK; LAVIE; ROGNMO, 2019; PRATT et al., 2020; PAWLOWSKI et al., 2018; ZUMSTEIN; CENTNER; RITZMANN, 2022). Essas condições podem favorecer o desenvolvimento progressivo de desequilíbrios funcionais (ZUMSTEIN; CENTNER; RITZMANN, 2022).

Assimetrias manifestam-se tanto em parâmetros estruturais, (ex. volume e espessura muscular), quanto em funcionais (ex. força, potência, equilíbrio dinâmico e parâmetros cinéticos e cinemáticos) (BISHOP; TURNER; READ, 2018). Embora diversos elementos contribuam para seu desenvolvimento, a incapacidade de produzir força máxima de forma equivalente entre os membros, é reconhecida como um dos determinantes mais relevantes na origem das assimetrias (PARKINSON et al., 2021). A relevância clínica desse fenômeno torna-se ainda mais evidente quando se considera que diferenças de força próximas de 10% são consideradas clinicamente significativas, enquanto assimetrias superiores a 15% aumentam substancialmente o risco de lesões e de perda de desempenho funcional (ATKINS et al., 2016; BISHOP; TURNER; READ, 2018; SARABON et al., 2020).

A presença de assimetrias está associada ao aumento do risco de lesões musculoesqueléticas, dentre as quais a do ligamento cruzado anterior (LCA) é uma das mais frequentes (HUGHES et al., 2018; ITHURBURN et al., 2015; JORDAN; AAGAARD; HERZOG, 2015). A capacidade dos músculos que atuam ao redor da articulação do joelho de gerar força é determinante para o controle dinâmico articular. Na presença de déficits de força, esse controle pode ser comprometido, afetando a estabilidade e reduzindo a capacidade de absorção e dissipação de cargas (HUGHES et al., 2018).

Após a ruptura do LCA, a reconstrução cirúrgica é frequentemente necessária para restaurar a estabilidade articular e possibilitar o retorno às atividades (BOBES ÁLVAREZ et

al., 2020). Entretanto, a combinação entre as estratégias de proteção do enxerto, a redução substancial da atividade física decorrente do período de repouso e as inibições neuromusculares resulta no agravamento de déficits estruturais e funcionais no membro operado (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020). Diferenças estruturais relevantes, com reduções de até 15% no volume muscular do quadríceps, são observadas até mesmo antes da cirurgia. No período pós-operatório, essas discrepâncias podem chegar a 20% nos músculos extensores do joelho (HUGHES et al., 2018). Mesmo após seis meses de reabilitação, déficits superiores a 20% ainda são comuns, o que indica limitações persistentes de força e uma restauração incompleta da simetria funcional (HUGHES et al., 2018). Considerando que assimetrias acima de 20% são classificadas como atípicas e incompatíveis com um retorno seguro às atividades (LEWEK et al., 2002; LYNCH et al., 2015; SCHMITT; PATERNO; HEWETT, 2012), torna-se clinicamente relevante a necessidade de reduzir as limitações residuais após a reconstrução do LCA.

Além dos efeitos negativos sobre a articulação, a persistência dessas assimetrias pode desencadear desfechos clínicos adversos a longo prazo. Aproximadamente 40% não retornam ao nível funcional pré-lesão, 55% não retomam esportes competitivos e até 30% sofrem nova lesão em até 24 meses (PATERNO et al., 2014; SALMON et al., 2005; WRIGHT et al., 2007). O retorno à atividade na presença de assimetrias significativas tem sido associado a um risco de nova lesão três vezes maior (HEWETT et al., 2005). Esses achados evidenciam que, embora o procedimento cirúrgico restabeleça a estabilidade ligamentar, a recuperação da simetria estrutural e funcional permanece um desafio central da reabilitação.

Do ponto de vista funcional, a marcha é uma das tarefas mais sensíveis para identificar assimetrias. Em condições normais, caracteriza-se por ações relativamente simétricas, sustentado por coordenação neuromuscular bilateral e distribuição equilibrada das cargas entre os membros (HEREDIA-JIMÉNEZ; ORANTES-GONZÁLEZ; SOTO-HERMOSO, 2016). Quando a simetria é comprometida, especialmente após lesões musculoesqueléticas, o ciclo da marcha sofre alterações que refletem déficits estruturais e funcionais entre os hemicorpos (GUAN et al., 2022). Por exemplo, após a reconstrução do LCA, essas alterações são expressas por redução do impulso no membro operado, indicando menor capacidade de propulsão; redução do momento extensor do joelho, refletindo inibição persistente do quadríceps; aumento da descarga de peso no membro não operado, caracterizando um padrão compensatório assimétrico; tempo de apoio reduzido no membro reconstruído e aumento relativo no contralateral e, alterações no alinhamento frontal, com incremento de valgo dinâmico ou rigidez articular (ARMITANO-LAGO et al., 2025; GUAN et al., 2022; KAUR et al., 2016). As

alterações podem variar conforme a velocidade da marcha, e ajustes espaciais e temporais tendem a se tornar mais evidentes à medida em que a velocidade aumenta. Atividades com maiores demandas físicas e motoras (ex., marcha em velocidade rápida) constituem um desafio maior para o sistema musculoesquelético (MIDDLETON et al., 2016; POPHAL DA SILVA et al., 2021), em que déficits na capacidade de gerar força muscular podem comprometer a dissipação de cargas (CLARK et al., 2013; COHEN; VERGHESE; ZWERLING, 2016). Quando a capacidade de produção de força é reduzida, a sobrecarga aplicada ao enxerto aumenta, o que favorece o estabelecimento de alterações degenerativas, incluindo a osteoartrite pós-traumática (OA). De fato, a OA tem elevada prevalência (até 50%) entre aqueles submetidos à cirurgia de reconstrução do LCA (CARTER et al., 2004; CHMIELEWSKI, 2011; TAJDINI et al., 2021). Compreender como os déficits estruturais e funcionais se manifestam na marcha em diferentes velocidades (auto-selecionada e rápida) mostra-se atrativo para monitorar e orientar intervenções de reabilitação.

Nesse cenário, a reabilitação após a reconstrução cirúrgica do LCA exige estratégias capazes de restaurar a capacidade muscular de gerar força, a fim de reduzir as assimetrias e favorecer o retorno seguro às atividades (PALMIERI-SMITH; LEPLEY, 2015). Embora os métodos tradicionais de treinamento resistido sejam eficazes, as intensidades de treinamento são elevadas (ex., superiores a 70% de 1RM), e podem ser inadequadas ou até contraindicadas nas fases iniciais da recuperação (HUGHES et al., 2018). Esse desafio fomenta o desenvolvimento de alternativas terapêuticas que envolvam baixas cargas mecânicas, especialmente quando aplicadas nos estágios iniciais da reabilitação (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020; HUGHES et al., 2018).

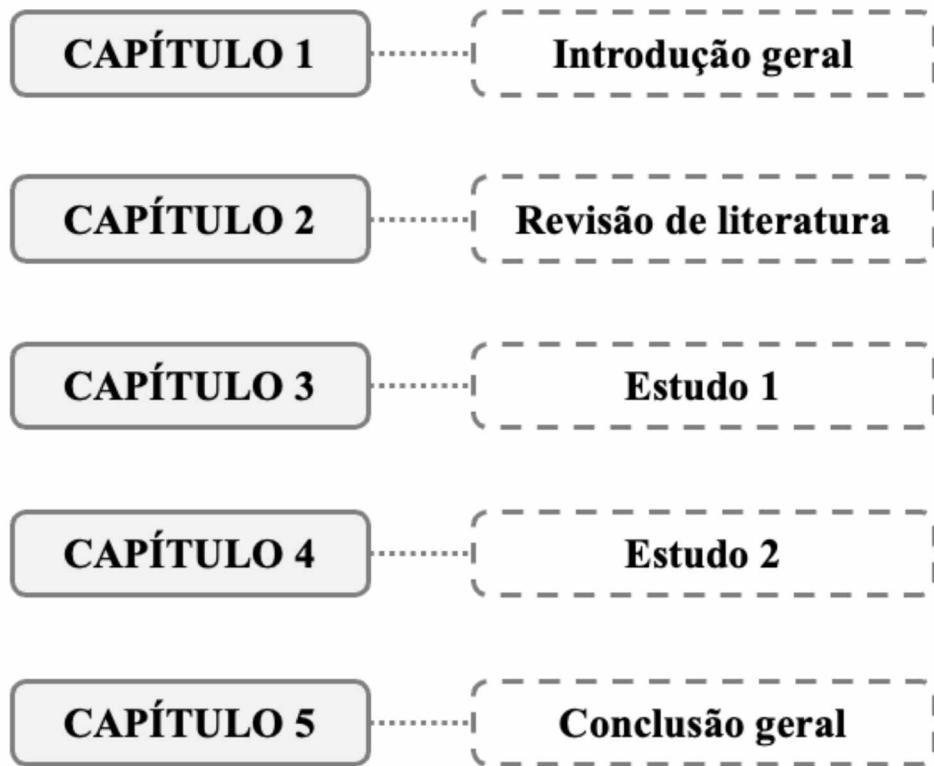
O treinamento resistido de baixa intensidade associado à restrição de fluxo sanguíneo (RFS) tem sido proposto como uma estratégia promissora para a reabilitação pós-cirúrgica (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020; HUGHES et al., 2018). A técnica consiste na aplicação de manguitos ou bandagens elásticas ao redor da coxa, restringindo parcialmente o fluxo sanguíneo durante o exercício. Essa abordagem permite realizar estímulos de baixa intensidade (até 30% de 1RM), capazes de induzir ganhos relevantes de força e hipertrofia. Tais aspectos são especialmente desejáveis quando intensidades elevadas não são bem toleradas (HUGHES et al., 2018; KILGAS et al., 2019). Embora as evidências apontem efeitos positivos do treinamento resistido de baixa intensidade associado à RFS, esses efeitos permanecem pouco explorados no contexto do período de reabilitação após reconstrução cirúrgica do LCA (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020; CHARLES et al., 2020; COLAPIETRO et al., 2022; KOC et al., 2022; LIXANDRÃO et al., 2018).

A caminhada associada à RFS tem se destacado por promover aumentos importantes de massa e da força muscular (ABE, et al., 2009; ABE; KEARNS; SATO, 2006a; CLARKSON; CONWAY; WARMINGTON, 2017; HUGHES et al., 2017; KARGARAN et al., 2021; OZAKI, et al., 2011; OZAKI, et al., 2011; VECHIN et al., 2015). Em idosos, estudos relatam incrementos de até 5,8% na área de secção transversal e de 10,7% na massa muscular do quadríceps após seis semanas de intervenção de caminhada associada à RFS (ABE et al., 2009).

Embora haja evidências do potencial da caminhada associada à RFS para promover hipertrofia e ganhos de força, ainda é desconhecido se essa abordagem é capaz de reduzir assimetrias pré-existentes em adultos jovens, o que constitui uma lacuna relevante no campo da reabilitação. A indução de respostas importantes (incrementos de força, hipertrofia e funcionalidade) em adultos jovens fisicamente ativos pode diferir daquelas reportadas em idosos visto que possuem diferentes capacidades adaptativas. Além disso, em contextos clínicos – após procedimentos de reconstrução cirúrgica do LCA, os efeitos de procedimentos de reabilitação para reduzir assimetrias, baseados em técnicas de exercícios de baixa intensidade combinadas com RFS, ainda não foram examinados. Portanto, o presente estudo visa investigar se assimetrias nos membros inferiores de adultos jovens, com e sem histórico de lesão no LCA, podem ser reduzidas por meio de um programa de caminhada associado à restrição parcial do fluxo sanguíneo.

A tese está organizada em cinco capítulos: (a) Introdução geral (Capítulo 1); (b) Revisão de literatura (Capítulo 2); (c) Estudos experimentais (Capítulos 3 e 4); (d) Conclusões (Capítulo 5); (e) Referências; e (f) Anexos e Apêndices. A estrutura geral está apresentada na Figura 1.

FIGURA 1 – Fluxograma relacionado a estrutura e composição da tese.



Fonte: O autor (2025).

## 1.2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

Os dois estudos experimentais que compõem esta pesquisa têm como propósito central investigar os efeitos de um programa de caminhada associado à restrição parcial do fluxo sanguíneo (RFS) sobre características neuromusculares, funcionais e perceptuais. Tais efeitos foram testados em duas amostras: adultos sem histórico de lesão do LCA, mas com assimetria de força, e adultos submetidos à reconstrução cirúrgica do LCA. Em ambas as amostras, a presença de assimetrias de força intermembros constitui um elemento central. A articulação entre os estudos permite avaliar a aplicabilidade e os efeitos do protocolo tanto em contextos de promoção e manutenção da saúde quanto em cenários de reabilitação, ampliando o entendimento sobre o potencial da caminhada associada à RFS para induzir adaptações neuromusculares e funcionais em diferentes condições clínicas.

O primeiro estudo teve como objetivo principal avaliar os efeitos do protocolo em adultos sem histórico de reconstrução do LCA, estabelecendo uma linha de base essencial para compreender as respostas ao treinamento. Essa abordagem permite analisar os efeitos do treinamento associado à RFS sobre a força, a espessura muscular e parâmetros funcionais da

marcha. Após a análise do primeiro estudo e a confirmação da aplicabilidade do protocolo de caminhada associado à RFS, o segundo estudo experimental foi desenvolvido. O segundo estudo aplicou o mesmo protocolo a participantes com histórico de lesão do LCA e assimetria de força entre os membros inferiores, com o objetivo de investigar as adaptações neuromusculares, funcionais e perceptuais decorrentes da intervenção. Essa amostra é relevante devido às dificuldades frequentemente observadas na recuperação completa da função muscular e na restauração da simetria de força após a cirurgia de reconstrução do LCA. No cenário pós-operatório, o uso de intensidades reduzidas torna-se frequentemente necessário, e a RFS surge como uma alternativa promissora, pois permite a aplicação de estímulos de baixa intensidade (20-30% de 1RM), com o potencial para promover ganhos de força, reduzir assimetrias e melhorar a funcionalidade.

Em conjunto, os dois estudos proporcionam uma visão abrangente dos efeitos da caminhada associada à RFS, desde as respostas musculares até os desfechos funcionais e perceptuais, contribuindo para o aprimoramento de estratégias de prevenção e reabilitação em diferentes contextos clínicos.

### 1.2.1 Objetivo geral

Investigar se as assimetrias de força muscular nos membros inferiores podem ser reduzidas por meio de um programa de caminhada associado à restrição parcial do fluxo sanguíneo (RFS).

### 1.2.2 Objetivos Específicos e Hipóteses

Com base no objetivo geral, foram estabelecidos objetivos específicos, permitindo testar hipóteses sobre as adaptações decorrentes do protocolo de caminhada associado à RFS.

#### *Estudo 1 – Objetivos específicos*

i) Determinar se o programa de caminhada associado à RFS promove aumento da força dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo no membro submetido à oclusão, em comparação ao segmento controle (contralateral), em adultos jovens com assimetria, porém sem histórico de lesão no LCA;

ii) Avaliar se o protocolo reduz a assimetria de força muscular entre os membros inferiores, com ênfase nos extensores do joelho;

- iii) Investigar se o protocolo promove aumento da espessura muscular dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo no membro submetido à oclusão, em comparação ao segmento controle (contralateral);
- iv) Analisar os efeitos do protocolo sobre o desempenho da marcha em diferentes velocidades de caminhada.

#### *Estudo 1 – Hipóteses*

- H<sub>1</sub>) O segmento submetido à oclusão apresentará aumento da força dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, em comparação ao segmento controle (contralateral), após o programa de caminhada associado à RFS, em adultos sem histórico de lesão no LCA;
- H<sub>2</sub>) O protocolo reduzirá a assimetria de força muscular entre os membros inferiores, com ênfase nos extensores do joelho;
- H<sub>3</sub>) O segmento submetido à oclusão apresentará aumento da espessura muscular dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, em comparação ao segmento controle (contralateral), após o protocolo;
- H<sub>4</sub>) O protocolo promoverá melhora no desempenho da marcha, em diferentes velocidades de caminhada.

#### *Estudo 2 – Objetivos específicos*

- i) Determinar se o programa de caminhada associado à RFS promove aumento da força dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo no membro submetido à oclusão, em comparação ao segmento controle (contralateral), em adultos jovens com histórico de lesão no LCA;
- ii) Avaliar se o protocolo reduz a assimetria de força muscular entre os membros inferiores, com ênfase nos extensores do joelho;
- iii) Investigar se o protocolo promove aumento da espessura muscular dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo no membro submetido à oclusão, em comparação ao segmento controle (contralateral);
- iv) Analisar os efeitos do protocolo sobre o desempenho da marcha em diferentes velocidades de caminhada;
- (v) Explorar a relação entre adaptações neuromusculares (força e espessura muscular) e melhorias funcionais observadas na marcha, identificando possíveis mecanismos de transferência entre capacidade muscular e desempenho locomotor;

(vi) Avaliar os efeitos do protocolo sobre aspectos perceptuais da função do joelho, incluindo dor, sintomas, função nas atividades diárias, qualidade de vida e cinesiofobia.

*Estudo 2 – Hipóteses*

H<sub>1</sub>) Antes do treinamento, adultos com histórico de lesão no LCA apresentarão assimetria de força muscular entre os membros inferiores, especialmente na musculatura extensora do joelho;

H<sub>2</sub>) O segmento submetido à oclusão apresentará aumento da força dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, em comparação ao segmento controle (contralateral), após o programa de caminhada associado à RFS, em adultos jovens com histórico de lesão no LCA;

H<sub>3</sub>) O segmento submetido à oclusão apresentará aumento da espessura muscular dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, em comparação ao segmento controle (contralateral), após o protocolo;

H<sub>4</sub>) O protocolo promoverá melhora no desempenho da marcha, em diferentes velocidades de caminhada;

H<sub>5</sub>) O protocolo reduzirá a dor, os sintomas e a cinesiofobia, e promoverá melhora nos escores de função auto-relatada e qualidade de vida.

**CAPÍTULO 2**  
**REVISÃO DE LITERATURA**

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ASSIMETRIA INTERMEMBROS

A assimetria intermembros refere-se às diferenças de desempenho entre os lados direito e esquerdo do corpo, manifestando-se em dimensões estruturais, neuromusculares e funcionais (BETTARIGA et al., 2022; BISHOP et al., 2019). Embora pequenas discrepâncias sejam inerentes ao movimento humano – resultantes de variações biológicas individuais e de padrões habituais de uso preferencial de um dos lados em tarefas motoras voluntárias (D'HONDT et al., 2024; ZUMSTEIN; CENTNER; RITZMANN, 2022) –, desequilíbrios mais acentuados assumem relevância funcional e clínica.

Tais assimetrias podem ser classificadas como primárias, quando derivadas de fatores intrinsecos ou comportamentais, como inatividade física, comportamento sedentário ou dominância lateral (ZUMSTEIN; CENTNER; RITZMANN, 2022), e como secundárias, quando decorrem de condições patológicas ou lesões que comprometem um dos lados do corpo. Diante da diversidade de origens, a compreensão da assimetria requer uma abordagem ampliada. Segundo McClean et al. (2024), sua interpretação deve ser sustentada por um modelo biopsicossocial, no qual fatores mecânicos, percepções subjetivas de função, confiança e prontidão motora interagem de maneira dinâmica (MCLEAN et al., 2024). Essa perspectiva integra alterações neuromusculares e componentes psicomotoras envolvidos no desempenho assimétrico, reforçando a necessidade de avaliações multifatoriais em contextos clínicos e esportivos, nos quais a quantificação das assimetrias torna-se fundamental (MCLEAN et al., 2024).

Embora diversos métodos possam quantificar essas diferenças, a avaliação da força muscular destaca-se pela elevada sensibilidade à detecção de desequilíbrios e pela forte relação com o desempenho físico (BISHOP et al., 2018b). A assimetria de força, definida como a desigualdade na capacidade de produção de torque entre membros ou grupos musculares, tem recebido crescente atenção por estar associada à redução da função física, pior desempenho esportivo e aumento do risco de lesões musculoesqueléticas (BISHOP et al., 2019). A magnitude dessa assimetria, no entanto, depende do contexto, variando conforme o método de avaliação, o cálculo empregado, a tarefa motora e o perfil individual (D'HONDT et al., 2024).

A avaliação da assimetria de força pode ser conduzida por diferentes técnicas; entretanto, a dinamometria isocinética permanece como padrão-ouro, devido ao controle rigoroso das condições de teste e à precisão na quantificação do desempenho máximo (BEATO

et al., 2021a). Entre os cálculos mais utilizados destaca-se o Índice de Simetria de Membros (ISM) (Equação 1):

$$\text{ISM} = \left( \frac{\text{membro mais fraco}}{\text{membro mais forte}} \right) \times 100 \quad (1)$$

O ISM expressa o desempenho relativo do membro mais fraco e é amplamente empregado para caracterizar assimetrias superiores ao limiar clínico de 10-15% (PARKINSON et al., 2021). A confiabilidade da medida depende da consistência das tentativas de avaliação, frequentemente expressa pelo coeficiente de variação (CV). Para que o ISM reflita diferenças reais entre os membros, a variabilidade intra-membro deve ser controlada. Protocolos recomendam a realização de três tentativas por membro, permitindo o cálculo do CV. Caso a variabilidade entre tentativas ultrapasse 10%, a medida pode estar comprometida, sendo necessário revisar os procedimentos de teste para garantir consistência e reproduzibilidade metodológica (BISHOP et al., 2018; PARKINSON et al., 2021).

De modo geral, assimetrias superiores a 10-15% são consideradas clinicamente relevantes, estando associadas a alterações biomecânicas e a padrões motores compensatórios que aumentam a sobrecarga unilateral, predispondo a lesões crônicas (BETTARIGA et al., 2022). Evidências recentes indicam que desequilíbrios acentuados durante ações concêntricas de alta intensidade estão relacionados à pior percepção funcional e maior risco de lesões, especialmente em atletas submetidos a altas demandas neuromusculares (MCCLEAN et al., 2024).

Modalidades com gestos unilaterais predominantes – como voleibol e futebol – tendem a amplificar esses desequilíbrios devido ao uso repetitivo e assimétrico de saltos, aterrissagens, chutes e bloqueios (D'HONDT et al., 2024). Em alguns casos, pequenas assimetrias podem representar adaptações funcionais ao gesto esportivo (BISHOP et al., 2019); mais frequentemente, quando persistem ou se acentuam, alteram a produção e absorção de cargas, elevam a fadiga unilateral e intensificam a sobrecarga compensatória no membro contralateral (GUAN et al., 2022), contribuindo para maior risco de lesões (BISHOP et al., 2019; FORT-VANMEERHAEGHE et al., 2020).

Entre as articulações mais afetadas por esses desequilíbrios, o joelho se destaca devido à sua função crítica na absorção de cargas e no controle do movimento. Assimetrias entre extensores e flexores têm sido consistentemente associadas ao aumento do risco de lesões sem contato, especialmente em esportes que exigem desacelerações rápidas e mudanças de direção

com controle excêntrico acentuado (WANG; QIN; ZHANG, 2025). Cada aumento de 1% na assimetria concêntrica do quadríceps pode elevar em até 1,6 vezes o risco de lesão, e diferenças superiores a 15% estão associadas a maior incidência de lesões musculoesqueléticas (ATKINS et al., 2016; BISHOP et al., 2018a). Assim, a obtenção de níveis mais equilibrados de força constitui um elemento essencial para o desempenho físico e para a prevenção de lesões (ATKINS et al., 2016; BISHOP et al., 2018a).

Entre os grupos musculares mais estudados, quadríceps e isquiotibiais se destacam devido à sua relevância para a estabilidade e o controle dinâmico do quadril e do joelho. O equilíbrio de força entre esses grupos é essencial para a execução eficiente de movimentos que envolvem acelerações e desacelerações rápidas (PARKINSON et al., 2021). Quando esse equilíbrio é rompido, a estabilidade do joelho é comprometida, aumentando substancialmente o risco de lesões, especialmente do ligamento cruzado anterior (LCA) (BEATO et al., 2021b). Atletas com diferenças superiores a 10% apresentam até quatro vezes mais risco de ruptura (PARKINSON et al., 2021), reforçando a necessidade de monitoramento sistemático e intervenções preventivas.

Em síntese, a assimetria inter-membros constitui um fator de risco altamente relevante e potencialmente modificável. A identificação e o manejo adequados são fundamentais tanto em cenários de reabilitação quanto de desempenho esportivo, reduzindo a incidência de lesões e promovendo padrões motores mais adequados (WANG; QIN; ZHANG, 2025). Dada a importância do equilíbrio de força para a estabilidade do joelho, a assimetria inter-membros torna-se particularmente crítica no contexto das lesões do LCA, cuja compreensão e manejo serão abordados no capítulo seguinte.

## 2.2 LESÃO NO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

A lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) é um dos desafios mais complexos da reabilitação musculoesquelética, devido à sua elevada incidência e às repercussões estruturais e neuromusculares que persistem mesmo após o tratamento (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020). O LCA desempenha papel essencial na estabilidade mecânica do joelho, limitando a translação anterior da tíbia, a hiperextensão e movimentos rotacionais extremos (SCHOEPP et al., 2025). Além de estabilizador primário, abriga mecanorreceptores fundamentais para a propriocepção e o controle neuromuscular do membro inferior, contribuindo para respostas reflexas e coordenação motora (VAN MELICK et al., 2016). Trata-se de uma lesão altamente prevalente em jovens fisicamente ativos e atletas, com mais de dois milhões de casos anuais em escala

global (DRIGNY et al., 2022). Em sua maioria, ocorre sem contato direto, durante mudanças bruscas de direção, desacelerações, aterrisagens mal controladas ou torções que produzem forças elevadas de cisalhamento sobre a tíbia (FOLEY et al., 2025), frequentemente associadas a déficits neuromusculares, desequilíbrios de força e padrões biomecânicos ineficientes (FOLEY et al., 2025).

A ruptura do LCA desencadeia alterações neurofisiológicas complexas, incluindo prejuízos proprioceptivos, déficits de controle postural, redução da força muscular e alterações no recrutamento motor (VAN MELICK et al., 2016). Esses fatores aumentam o risco de instabilidade crônica e recidivas, além de contribuírem para degeneração articular precoce, como a osteoartrose pós-traumática (HUGHES et al., 2018; PALMIERI-SMITH; LEPELY, 2015). Consequentemente, a reconstrução do LCA (RLCA) é amplamente recomendada para restaurar estabilidade e possibilitar retorno esportivo e ocupacional (FOLEY et al., 2025). Entretanto, mesmo com avanços cirúrgicos, apenas 55 a 79% dos pacientes retornam ao nível esportivo pré-lesão, e cerca de metade recupera plenamente o desempenho competitivo (FOLEY et al., 2025). Entre os principais desafios da reabilitação destaca-se a inibição muscular do quadríceps, caracterizada pela incapacidade do sistema nervoso em ativar completamente o músculo, resultando em fraqueza persistente (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020). Déficits de 20 a 30% podem perdurar por até seis meses após a cirurgia, e assimetrias superiores a 20% aumentam substantivamente o risco de nova lesão (ITHURBURN et al., 2015). A restauração da força do quadríceps e a obtenção de simetria entre os membros ( $\geq 90\%$ ) são critérios fundamentais para a progressão da reabilitação e o retorno seguro ao esporte, estando associados a menores taxas de recidiva e melhores indicadores funcionais (MONTALVO et al., 2019; SCHOEPP et al., 2025). A relevância desses parâmetros torna-se ainda maior quando se considera que um histórico de ruptura do LCA está associado a um risco 30 a 40 vezes maior de recidiva em comparação àqueles sem lesão prévia (JORDAN; BISHOP, 2023; KOTSIFAKI et al., 2023).

Os déficits neuromusculares decorrentes da lesão do LCA repercutem diretamente na marcha e na mobilidade, refletindo-se em padrões compensatórios e protetores. Após a RLCA, é comum observar redução do impulso no membro operado, menor momento extensor do joelho, aumento do apoio no membro contralateral, diminuição do tempo de apoio no lado operado e alterações de alinhamento articular (ARMITANO-LAGO et al., 2025; GUAN et al., 2022; KAUR et al., 2016). Embora essas adaptações busquem proteger o enxerto e reduzir a sobrecarga articular, podem comprometer a eficiência mecânica, limitar a propulsão e favorecer a degeneração progressiva da articulação. Déficits persistentes na coordenação interarticular e

na geração de força podem ainda restringir velocidade e desempenho funcional, mesmo em fases avançadas de reabilitação (HART et al., 2016).

Além dos aspectos neuromusculares e funcionais, fatores perceptuais desempenham papel central na recuperação. Alterações como insegurança funcional e cinesiofobia – medo de se movimentar devido à percepção de ameaça ou risco de nova lesão –, podem reduzir a confiança para apoiar o membro operado, limitar a execução de atividades diárias e impactar negativamente a adesão ao programa de reabilitação, interferindo no retorno seguro às atividades (JORDAN; BISHOP, 2023; KOTSIFAKI et al., 2023). Dessa forma, a reabilitação do LCA depende da recuperação objetiva de força e simetria, mas também do restabelecimento da confiança funcional e da percepção de segurança (JORDAN; BISHOP, 2023; KOTSIFAKI et al., 2023).

Apesar de protocolos modernos que priorizam amplitude de movimento precoce e treinamento resistido progressivo, assimetrias de força, alterações persistentes na marcha e cinesiofobia ainda são observadas em uma parcela significativa de pacientes. Embora intensidades moderadas a altas (60-80% de 1RM) sejam recomendadas para ganhos expressivos de força – com respostas superiores acima de 80% –, essas cargas são contraindicadas no pós-operatório imediato, devido ao potencial de exacerbar dor, inflamação e sobrecarga articular (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020; SCHOEPP et al., 2025).

Nesse cenário, o treinamento associado à restrição de fluxo sanguíneo (TRFS) surge como alternativa promissora. A técnica consiste em realizar exercícios de baixa intensidade (20-30% de 1RM) sob restrição parcial do fluxo sanguíneo, aplicada por manguito pneumático na coxa (FALLON et al., 2022; FARAS et al., 2019). Ao induzir um ambiente hipóxico local, o TRFS promove recrutamento precoce de fibras de contração rápida, estimula hipertrofia e produz ganhos de força comparáveis aos obtidos com intensidades elevadas, porém com menor estresse articular. Pode ser aplicado de forma ativa ou passiva, em exercícios resistidos ou aeróbicos – incluindo caminhada – e possui segurança e eficácia reconhecidas tanto no pré-operatório quanto ao longo da reabilitação pós-RLCA (SCHOEPP et al., 2025).

Apesar dos avanços nos tratamentos cirúrgicos e de reabilitação, a recuperação plena da função pré-lesão nem sempre é alcançada. Sintomas como dor, instabilidade, limitações funcionais e medo do movimento podem persistir mesmo dois anos após a reconstrução do LCA (INGELSRUD et al., 2015; TE WIERIKE et al., 2013). Esses achados evidenciam lacunas relevantes nos protocolos tradicionais e reforçam a necessidade de estratégias mais eficazes, individualizadas e capazes de acelerar o ganho de força, restaurar simetria e reduzir o risco de recidiva. Nesse cenário, o TRFS se destaca como abordagem inovadora, com potencial para

otimizar a reabilitação ao promover adaptações musculares e neuromusculares significativas, com menor estresse mecânico sobre o joelho. Sua fundamentação fisiológica e suas respostas adaptativas constituem bases essenciais para sustentar sua aplicação clínica, tema discutido no capítulo seguinte.

## 2.3 RESTRIÇÃO DE FLUXO SANGUÍNEO

### 2.3.1 Fundamentos e aplicações gerais

A fraqueza e a atrofia muscular são déficits comuns após lesões musculoesqueléticas e cirurgias, sendo particularmente relevantes após a reconstrução do LCA, na qual a diminuição da força do quadríceps pode persistir por anos, mesmo após programas extensivos de reabilitação (SCHOEPP et al., 2025). Esses déficits comprometem a recuperação funcional, aumentam o risco de recidivas e promovem padrões compensatórios de marcha, prejudicando o desempenho global do membro acometido (LORENZ et al., 2021).

Diante desse cenário, estratégias que favoreçam hipertrofia e ganho de força devem ser implementadas de forma precoce e progressiva (DE RENTY et al., 2023; LORENZ et al., 2021). O desenvolvimento de força e hipertrofia depende da aplicação sistemática de tensão mecânica sobre o músculo, modulada por variáveis como intensidade, volume e frequência (DE RENTY et al., 2023; LORENZ et al., 2021). Em geral, a magnitude das adaptações musculares é proporcional ao estímulo mecânico imposto (ABE; KEARNS; SATO, 2006a). Tradicionalmente, o uso de altas intensidades ( $> 80\%$  de 1RM) é recomendado para maximizar os ganhos (DE RENTY et al., 2023; LORENZ et al., 2021); contudo, essa abordagem pode ser inadequada no pós-operatório imediato, devido à sobrecarga sobre estruturas em cicatrização, como cartilagem, ligamentos e tendões (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020).

O uso de intensidades baixas associadas a repetições até a falha minimiza o estresse sobre os tecidos, porém tende a ser menos eficaz para ganhos expressivos de força (DE RENTY et al., 2023). Assim, torna-se essencial empregar estratégias que favoreçam uma transição segura e eficiente das fases iniciais – caracterizadas por baixa carga e foco na ativação muscular – para fases subsequentes de alta intensidade e sobrecarga progressiva (LORENZ et al., 2021). Profissionais devem explorar abordagens complementares que potencializem a resposta hipertrófica e de força mesmo sob condições de baixa intensidade, especialmente diante da evidência de déficits persistentes de força após a reconstrução do LCA (LORENZ et al., 2021).

Nesse contexto, o treinamento associado à restrição parcial de fluxo sanguíneo (TRFS) surge como uma ferramenta terapêutica promissora. A técnica consiste na aplicação de um manguito compressivo na porção proximal do membro, reduzindo parcialmente o fluxo arterial e o retorno venoso, e pode ser utilizada em exercícios resistidos e aeróbicos (BURTON; MCCORMACK, 2022; ROLNICK et al., 2021). No treinamento resistido, as intensidades são geralmente baixas (20-30% de 1RM; 15-30 repetições), enquanto em protocolos aeróbicos a intensidade costuma ser inferior a 50% do VO<sub>2</sub>max, frequentemente realizada em velocidades de caminhada de 4-6km/h (ROLNICK et al., 2021).

A associação com exercícios funcionais de baixo impacto, como a caminhada, é particularmente interessante em contextos de reabilitação pós-RCLA, pois permite estímulo fisiológico capaz de induzir aumento de força e hipertrofia sem sobrecarga mecânica excessiva sobre os tecidos em cicatrização (BOMMASAMUDRAM et al., 2025). Os exercícios associados ao TRFS – incluindo exercícios aeróbicos – requerem equipamentos mínimos e são geralmente percebidos como menos intensos que o treinamento resistido de alta intensidade, o que os torna acessíveis a iniciantes e a pessoas com diferentes limitações físicas (PATTERSON et al., 2019). Em atletas, essa flexibilidade permite a manutenção ou o aumento da força e a hipertrofia, mesmo durante fases de recuperação aguda, períodos de treinamento de baixa intensidade, ou transições entre temporadas competitivas, bem como em contextos de reabilitação (LOENNEKE et al., 2012).

Desta forma, o TRFS pode desempenhar um papel crucial na reabilitação pós-cirúrgica, maximizando os ganhos neuromusculares e funcionais com mínima sobrecarga tecidual. Além disso, há indícios que os mecanismos adaptativos induzidos pela RFS – como aumento da ativação de fibras tipo II, hipóxia localizada e acúmulo metabólico – possam favorecer desde condições de baixa experiência em treinamento até contextos de alta demanda esportiva, ampliando o potencial clínico e esportivo da técnica (ROLNICK et al., 2021). Assim, o TRFS consolida-se como uma intervenção segura, eficiente e cientificamente embasada para otimizar a força, hipertrofia e recuperação funcional após a reconstrução do LCA. Os mecanismos fisiológicos desencadeados pelo TRFS serão detalhados no próximo subtópico.

### 2.3.2 Mecanismos fisiológicos

O treinamento associado à restrição do fluxo sanguíneo (TRFS) promove adaptações musculares específicas por meio da interação entre tensão mecânica, estresse metabólico localizado e respostas hormonais, mesmo quando realizado com intensidades baixas (LI et al.,

2025; SU et al., 2025). Aplicar um manguito para reduzir parcialmente o aporte sanguíneo, cria-se um ambiente hipóxico intramuscular, com menor disponibilidade de oxigênio (CONSTANTINOU et al., 2022). Essa limitação de oxigênio acelera a fadiga das fibras de contração lenta (tipo I), que dependem mais do metabolismo aeróbico, e favorece o recrutamento precoce e mais intenso de unidades motoras de limiar mais alto, compostas predominantemente por fibras de contração rápida (tipo II), mais adaptadas ao metabolismo anaeróbico. Consequentemente, os músculos passam a depender principalmente da glicólise anaeróbica para produção de adenosina trifosfato (ATP), já que a via oxidativa está limitada (CONSTANTINOU et al., 2022).

O ambiente hipóxico e acidótico também leva ao acúmulo de metabólitos, como lactato e íons de hidrogênio, reduzindo temporariamente a eficiência contrátil das fibras musculares e intensificando a percepção de fadiga durante o exercício (DE RENTY et al., 2023; MILLER, et al., 2021). Inicialmente, essa maior percepção de esforço pode desencorajar os participantes; contudo, com a continuidade do treinamento, ocorre aumento da tolerância, e os níveis de percepção de esforço tendem a se aproximar daqueles observados no treinamento tradicional (MILLER et al., 2021).

O estresse metabólico local exerce papel central nas adaptações musculares. A acidose e o acúmulo de metabólitos atuam como sinais anabólicos, ativando vias de síntese proteica que promovem hipertrofia e aumento de força (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020; DE RENTY et al., 2023). Além disso, a hipóxia e o acúmulo metabólico modulam o recrutamento neuromuscular, melhorando a eficiência do sistema nervoso em ativar fibras tipo II, que possuem maior potencial de força e potência (JI et al., 2025).

Do ponto de vista hormonal, o TRFS estimula a liberação do hormônio do crescimento (GH), que atua como precursor do fator de crescimento semelhante à insulina (IGF-1). Ambos desempenham papel fundamental na síntese proteica, aumento da área de secção transversa muscular e ganho de força (VIEIRA DE MELO et al., 2022). Adicionalmente, o TRFS regula fatores intracelulares que promovem o trofismo muscular, como ativação de células satélites, fatores de transcrição anabólicos, proteínas de choque térmico e inibição da miostatina, contribuindo para hipertrofia mesmo em baixas intensidades (DE RENTY et al., 2023; VIEIRA DE MELO et al., 2022).

O volume e a intensidade do TRFS são determinantes para a magnitude das adaptações. Protocolos com 20-30% de 1RM são suficientes para induzir hipertrofia tanto em músculos próximos quanto distais ao local de aplicação, devido à manutenção prolongada do estado metabólico e maior acúmulo de metabólitos (CONSTANTINOU et al., 2022). Além das

adaptações musculares, a hipóxia local promove angiogênese, estimulando a proliferação de células endoteliais e a liberação de fatores de crescimento endotelial vascular (VEGF), essenciais para a formação de novos vasos sanguíneos, melhora da vascularização periférica e manutenção das adaptações a longo prazo (LI et al., 2023; FERNANDES et al., 2022).

Em termos de respostas agudas, o TRFS durante exercícios aeróbicos de baixa intensidade provoca hipóxia intensa, alterações no equilíbrio ácido-base, acúmulo de lactato e piruvato e estresse oxidativo local, superiores aos observados no mesmo exercício sem RFS e comparáveis aos de alta intensidade (LI et al., 2025; SU et al., 2025). Estes estímulos ativam vias moleculares cruciais, como HIF-1 $\alpha$ -VEF (angiogênese) e AMPK-PGC-1 $\alpha$  (adaptações mitocondriais) (JI et al., 2025). O acúmulo de metabólitos também ativa quimiorreceptores musculares (metaborreflexo), aumentando frequência cardíaca e ventilação durante o exercício (JI et al., 2025). Dessa forma, o TRFS é capaz de induzir adaptações fisiológicas comparáveis as obtidas com o treinamento de alta intensidade, mesmo sob baixa carga e com menor estresse mecânico sobre tecidos vulneráveis. Isso o torna especialmente indicado para casos de reabilitação pós-lesão ou situações de restrição funcional significativa.

### 2.3.3 Caminhada associada à restrição de fluxo sanguíneo

O exercício de alta intensidade é reconhecido por promover adaptações neuromusculares e funcionais significativas, sendo considerado uma estratégia eficiente de treinamento. No entanto, essa modalidade pode gerar respostas negativas, que reduzem a adesão e o engajamento a longo prazo (DE QUEIROZ et al., 2024). A participação contínua no exercício é modulada por fatores cognitivos, como percepção de esforço, e interoceptivos, como sinais de desconforto. Em intensidades elevadas, esses sinais interoceptivos predominam, podendo desencorajar a prática. Diante disso, estratégias capazes de promover adaptações fisiológicas relevantes com menor intensidade e duração tornam-se particularmente valiosas (DE QUEIROZ et al., 2024).

O treinamento associado à restrição do fluxo sanguíneo (TRFS) emerge como alternativa eficiente, capaz de mitigar os efeitos adversos do exercício de alta intensidade e, simultaneamente, promover adaptações musculares e sistêmicas relevantes em diferentes populações, mesmo com sessões curtas (aproximadamente 20 minutos) e baixa intensidade (20-30% de 1RM) (DE QUEIROZ et al., 2024). Durante a prática, manguitos infláveis ou envoltórios são posicionados na porção proximal dos membros, restringindo parcialmente o

fluxo venoso e mantendo graus variados de fluxo arterial, podendo ser aplicáveis em exercícios resistidos e aeróbicos (MOK et al., 2020).

Essa restrição gera hipóxia localizada e acúmulo de metabólitos, desencadeando adaptações musculares e sistêmicas comparáveis às induzidas por exercícios de alta intensidade, mesmo com baixa carga (SHRIVER et al., 2023; WALDEN et al., 2023). Uma das principais vantagens do TRFS é sua aplicabilidade em exercícios de baixa intensidade, especialmente em situações nas quais o treinamento tradicional de alta intensidade não é recomendado (SHRIVER et al., 2023). Apesar das cargas reduzidas (20-30% de 1RM), o TRFS é capaz de promover hipertrofia muscular e aumento de força substanciais, podendo inclusive atingir respostas adaptativas com intensidades tão baixas quanto 10-20% de 1RM, equivalentes às atividades da vida diária, como a caminhada (MOK et al., 2020; ZHANG; WANG; WANG, 2022).

Nesse contexto, a caminhada associada à RFS tem se destacado como uma modalidade inovadora de treinamento (SCOTT et al., 2023). Durante a prática, manguitos são aplicados na porção proximal do membro, restringindo parcialmente o fluxo sanguíneo venoso e mantendo graus variados de perfusão arterial (STRAY-GUNDERSEN; WOOTEN; TANAKA, 2020). Esta abordagem mostrou-se atrativa para adultos saudáveis, atletas e pessoas com lesões musculoesqueléticas, por promover adaptações neuromusculares sem sobrecarga articular significativa (SCOTT et al., 2023; WALDEN et al., 2023). Além disso, exercícios de baixa intensidade resultam em menor percepção de esforço em comparação a treinos de alta intensidade, aumentando a adesão ao programa de exercícios (MOK et al., 2020). Estudos também demonstram que marcadores sanguíneos de dano muscular, como CPK e mioglobina, não se elevam após a prática da caminhada associada à RFS, indicando que adaptações significativas podem ocorrer sem provocar lesão muscular (ABE; KEARNS; SATO, 2006b).

O TRFS aplicado à caminhada integra estímulos metabólicos e neuromusculares em um contexto locomotor natural, favorecendo melhorias em força, volume muscular, simetria de marcha, mobilidade e desempenho funcional, sem impor estresse em estruturas vulneráveis, como enxertos ligamentares (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020; HSIEH et al., 2024). Esse método demonstrou aumentar a força e o volume muscular e melhorar diversos aspectos da função física e cognitiva (ABE; KEARNS; SATO, 2006a; CLARKSON; CONWAY; WARMINGTON, 2017; HUGHES et al., 2018; KARGARAN et al., 2021; OZAKI, H. et al., 2011; VECHIN et al., 2015). Por exemplo, Abe e colaboradores (2009) investigaram os efeitos da caminhada associada à RFS em idosos e observaram que, após seis semanas de treinamento,

houve um aumento de aproximadamente 12% na massa muscular da coxa, acompanhado por incrementos de 6 a 15% na força extensora do joelho (ABE et al., 2009).

Os efeitos benéficos da caminhada associada à RFS estão bem estabelecidos na literatura em diferentes populações (ABE; KEARNS; SATO, 2006; BEEKLEY; SATO; ABE, 2005; CLARKSON; CONWAY; WARMINGTON, 2017; FARAS et al., 2019; KILGAS et al., 2019; OZAKI, H. et al., 2011), no entanto, ainda não está claro se esses resultados podem ser plenamente extrapolados para casos de lesão do ligamento cruzado anterior (LCA), o que evidencia a necessidade de investigações específicas nesse contexto. Apesar do crescente corpo de evidências, a literatura apresenta considerável heterogeneidade em relação aos protocolos de treinamento, incluindo tempo de oclusão, pressão do manguito e duração das sessões, dificultando a padronização e otimização dos métodos para diferentes objetivos (SCOTT et al., 2023). De forma geral, a caminhada associada à RFS constitui uma intervenção segura, eficiente e acessível, capaz de induzir adaptações neuromusculares e funcionais comparáveis às obtidas com exercícios de alta intensidade, porém com menor estresse mecânico e perceptual, tornando-a particularmente relevante para reabilitação e aumento da adesão ao exercício.

**CAPÍTULO 3**  
**ESTUDO EXPERIMENTAL 1**

**TÍTULO:** Efeitos de 12 Semanas de Treinamento de Caminhada Associado à Restrição de Fluxo Sanguíneo nos Aspectos Musculares e Funcionais de Adultos com Assimetria de Força no Membros Inferiores: Ensaio Clínico não Randomizado com Abordagem Intra-Sujeito

**1. Artigo publicado:** Uma parte do Estudo 1 intitulada “*The role of ankle and knee muscle characteristics in spatiotemporal gait parameters at different walking speeds: A cross-sectional study*” foi publicada no Gait & Posture, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.11.015>.

**2. Artigo aceito para publicação:** O artigo “*Effects of Blood Flow Restriction Walking on Distal and Contralateral Lower Limb Muscles: A Non-Randomized Clinical Trial with A Within-Subject Approach*” foi aceito para publicação na Sports Health. DOI: 10.1177/19417381261421485.

**3. Artigo submetido:** “*Attenuating inter-limb strength asymmetry: Effects of Blood Flow Restriction Therapy applied to the weaker lower limb*” (Periódico: Sport Sciences for Health).  
- Atualmente, o manuscrito está na segunda rodada de revisão.

### 3 INTRODUÇÃO

A assimetria de força muscular entre membros inferiores é comum e clinicamente relevante, sendo observada mesmo na ausência de lesões musculoesqueléticas (D'HONDT et al., 2024). Discrepâncias superiores a 10-15% são particularmente preocupantes, pois representam um limiar associado ao aumento do risco de lesões, incluindo do ligamento cruzado anterior (LCA) (WANG; QIN; ZHANG, 2025). Essas diferenças são multifatoriais e podem surgir por fatores como comportamento sedentário, demandas ocupacionais assimétricas e histórico prévio de lesões, comprometendo a capacidade de produção de força e o controle motor (OZEMEK; LAVIE; ROGNMO, 2019; PRATT et al., 2020; ZUMSTEIN; CENTNER; RITZMANN, 2022). Dada sua relevância clínica, a avaliação dessas assimetrias é essencial para detectar desequilíbrios que podem repercutir negativamente no desempenho funcional (BETTARIGA et al., 2022).

Além do risco para a estabilidade articular, a assimetria de força afeta tarefas motoras complexas. A marcha é considerada como uma atividade altamente sensível a alterações musculoesqueléticas (ex.: capacidade de produzir força) (GUAN et al., 2022). Mesmo diferenças modestas de força entre os membros podem alterar parâmetros espaço-temporais – como o comprimento do passo, o tempo de apoio e a cadência, provocando instabilidade articular e reduzindo a eficiência mecânica (BISHOP; TURNER; READ, 2018; BOBES ÁLVAREZ et al., 2020). Quando presentes, essas discrepâncias tendem a modificar a absorção de impactos, aumentar a instabilidade frontal e comprometer o controle postural dinâmico, gerando padrões assimétricos persistentes, mesmo após a reabilitação (BISHOP; TURNER;

READ, 2018). Os efeitos dessas assimetrias podem variar conforme a velocidade da marcha. Em velocidades auto-selecionadas, estratégias compensatórias moderadas têm sido identificadas (MIDDLETON et al., 2016; SILVA et al., 2021). Em velocidades rápidas, déficits de força podem provocar respostas e ajustes mais evidentes (CLARK et al., 2013; COHEN; VERGHESE; ZWERLING, 2016), amplificando os efeitos da assimetria sobre as ações dos membros inferiores e influenciando um conjunto de medidas (ex.: comprimento do passo, no tempo de apoio e no tempo de balanço) (ARMITANO-LAGO et al., 2025; KAUR et al., 2016; SLATER et al., 2017; STONE et al., 2018).

Intervenções voltadas ao restabelecimento da simetria na capacidade de gerar força entre os hemicorpos são fundamentais. Estratégias que combinam a promoção da atividade física e a redução do comportamento sedentário podem mitigar desequilíbrios e preservar a funcionalidade (KYRITSIS et al., 2016; ROHMAN; STEUBS; TOMPKINS, 2015). Tradicionalmente, essas intervenções baseiam-se em exercícios resistidos com intensidades que variam entre moderadas e altas (60-80% de 1RM) (SCHOEPP et al., 2025). Ganhos mais expressivos sobre a força e a hipertrofia muscular têm sido reportados quando intensidades acima de 80% de 1RM são aplicadas (SCHOEPP et al., 2025). Contudo, intensidades elevadas podem induzir desconfortos, como maior percepção de esforço, dor muscular tardia e sobrecarga articular, reduzindo a adesão e limitando sua aplicação na presença de dor ou de lesões prévias (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020).

Diante de possíveis efeitos adversos associados ao treinamento resistido de alta intensidade, protocolos de baixa intensidade capazes de promover adaptações estruturais e funcionais comparáveis tornam-se uma alternativa promissora (GILES et al., 2017; MOK et al., 2020). Intervenções com estímulos de baixa intensidade podem ampliar a adesão ao treinamento, reduzir o risco de lesões e aumentar a aplicabilidade clínica de intervenções voltadas ao fortalecimento muscular (FALLON et al., 2022; FARAS et al., 2019; MOK et al., 2020). O treinamento associado à restrição de fluxo sanguíneo (TRFS) destaca-se como uma estratégia atrativa devido aos benefícios reportados na força, na hipertrofia e na capacidade funcional (GILES et al., 2017; MOK et al., 2020). O método consiste na aplicação de um manguito ou torniquete pneumático na porção proximal do membro, promovendo restrição parcial do fluxo sanguíneo durante a execução de exercícios resistidos (REINA-RUIZ et al., 2022). A RFS combinada a exercícios de baixa intensidade (20-30% de 1RM) desencadeia respostas fisiológicas e adaptações musculares semelhantes às observadas em protocolos tradicionais de alta intensidade ( $>75 - 80\%$  de 1RM). Tais adaptações têm sido amplamente descritas e incluem hipertrofia, ganho de força e melhora da capacidade aeróbica (FARAS et

al., 2019). Além disso, exercícios de baixa intensidade associados à RFS tendem a gerar menor percepção de esforço e ausência de dor muscular tardia, o que pode contribuir para maior aceitação e continuidade do treinamento (GILES et al., 2017).

A aplicação da restrição parcial do fluxo sanguíneo (RFS) durante a caminhada, conhecida como “*Kaatsu-Walk (KW)*” tem sido investigada, especialmente pelo fato de constituir um estímulo funcional de baixa intensidade. Os estudos que analisaram os efeitos de programas de caminhada associada a RFS têm reportado ganhos de força, incrementos de hipertrofia e melhoria da capacidade funcional (ABE et al., 2010; ABE; KEARNS; SATO, 2006; CLARKSON; CONWAY; WARMINGTON, 2017; HUGHES et al., 2017; KARGARAN et al., 2021; OZAKI, H. et al., 2011; OZAKI, HAYO et al., 2011; VECHIN et al., 2015). Abe e colaboradores (2006) avaliaram os efeitos de três semanas de caminhada associada à RFS, aplicada bilateralmente, em adultos jovens. Incrementos de 5,7-7,6% na área de secção transversal e de 4,1-6,4% no volume muscular foram observados, acompanhados de aumentos de 7,4-8,3% na força dinâmica e de aproximadamente 10% na força isométrica máxima (ABE; KEARNS; SATO, 2006). Em estudo subsequente, Abe et al. (2009) aplicaram novamente, durante seis semanas, um protocolo de caminhada associada à RFS bilateral em idosos. A intervenção induziu aumentos de 12% da massa muscular da coxa e incrementos de 6 a 15% no torque isométrico e isocinético do joelho (ABE et al., 2009). Sakamaki e colaboradores (2011) também investigaram a caminhada associada à RFS bilateral em adultos jovens. Após três semanas de treinamento, observaram hipertrofia nos músculos do segmento em que a oclusão foi aplicada. O volume muscular da coxa aumentou 3,8%, enquanto o volume da perna aumentou em 3,2% (SAKAMAKI; BEMBEN; ABE, 2011). De forma uniforme, esses estudos ocluíram ambos os segmentos inferiores durante a caminhada, o que dificulta a compreensão de possíveis efeitos sobre as assimetrias entre os membros. Apesar dos benefícios observados, permanece incerto se a aplicação unilateral da RFS no membro mais fraco é capaz de reduzir as assimetrias entre os membros. Ademais, os estudos que aplicaram caminhada associada a RFS empregaram uma velocidade constante ao longo do treinamento ( $0,83-1,1\text{ m.s}^{-1}$ ) (ABE et al., 2009; ABE; KEARNS; SATO, 2006a; SAKAMAKI; BEMBEN; ABE, 2011). O uso de pequenos incrementos na velocidade de caminhada pode proporcionar ganhos mais expressivos de força e massa muscular ao impor demandas mecânicas e neuromusculares crescentes ao longo do treinamento. À medida que a velocidade aumenta, há maior exigência de produção de força e potência, especialmente dos músculos responsáveis pela propulsão, o que pode elevar o recrutamento de unidades motoras e o estresse metabólico. Assim, não são conhecidos estudos que tenham utilizado cargas de treinamento progressivas (por meio de

pequenos incrementos de velocidade) no treinamento de caminhada com RFS sobre a assimetria de membros inferiores.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo investigar os efeitos do treinamento de caminhada associado à RFS, aplicado unilateralmente no membro mais fraco, sobre características musculares (força e espessura) e funcionais (parâmetros espaço-temporais da marcha), em adultos jovens sem histórico de lesão musculoesquelética. A hipótese central foi que o protocolo promoveria incrementos de força e espessura muscular mais pronunciados no membro inicialmente mais fraco, levando à redução das assimetrias de força entre membros e, como consequência, a alterações na marcha.

### **3.1 MÉTODOS**

#### **3.1.2 Características do estudo e cálculo amostral**

O presente estudo constituiu um ensaio clínico não-randomizado, com delineamento intra-sujeito. Os voluntários foram recrutados por meio da divulgação do projeto na comunidade universitária, incluindo discentes, docentes e servidores, bem como em diferentes mídias sociais. A coleta de dados ocorreu no Departamento de Educação Física, no Centro de Estudos do Comportamento Motor (CECOM) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba, Paraná.

Os procedimentos do estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFPR (CAAE: 80899524.0.0000.0102; Parecer nº: 6.989.686; Anexo 1) e o ensaio encontra-se registrado no Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos (ReBec) sob o número RBR-97vs4tt. A condução e a divulgação do estudo seguiram as diretrizes do *Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT)* (SCHULZ; ALTMAN; MOHER, 2010).

Os participantes foram avaliados individualmente e aqueles que atenderam aos critérios de elegibilidade foram convidados a integrar o programa de intervenção. O recrutamento e a alocação ocorreram de forma escalonada, ou seja, à medida que os voluntários eram avaliados e confirmavam seu consentimento, eram incluídos no treinamento na semana seguinte. Cada participante completou 12 semanas de intervenção, realizando avaliações pré- e pós-intervenção. A avaliação pós-intervenção foi conduzida entre dois e cinco dias após a conclusão do programa, após um período mínimo de 48 horas. Antes das avaliações, os

participantes foram orientados a se abster de qualquer atividade física. O bem-estar, a segurança e os direitos de todos os participantes foram assegurados durante toda a condução do estudo.

O cálculo amostral foi estimado por meio do Software G\*Power 3.1 (University of Düsseldorf, Düsseldorf, Alemanha). Considerando o delineamento intra-sujeito, foi escolhida uma Análise de Variância para Medidas Repetidas (ANOVA, F-test) com dois fatores: tempo (pré- e pós-intervenção) e segmento (segmento-intervenção [SI] e segmento-controle [SC]). Os parâmetros adotados incluíram: (i) tamanho de efeito (ES) de 0,50 (força muscular) (KONG et al., 2025); (ii) nível de significância de 5%; (iii) poder estatístico de 90%; (iv) um grupo único; (v) duas medidas (pré- e pós-intervenção); (vi) correlação entre medidas repetidas de 0,50; e (vii) correção de não esfericidade igual a 1. Com base nesses critérios, o tamanho amostral estimado foi de 28 participantes.

A restrição de fluxo sanguíneo (RFS) foi aplicada exclusivamente no segmento-intervenção (SI), definido como o membro mais fraco, enquanto o segmento-controle (SC) correspondia ao membro contralateral (lado mais forte). O delineamento intra-sujeito adotado apresenta vantagens metodológicas relevantes. A utilização do membro contralateral como controle reduz potenciais vieses decorrentes de comparações entre grupos independentes, que podem apresentar diferenças nas características basais, estilo de vida ou histórico clínico, comprometendo a validade interna dos achados. Essa abordagem é particularmente pertinente em contextos de reabilitação, nos quais a capacidade de adaptação fisiológica (i.e., margens adaptativas) varia amplamente entre os participantes. Além disso, ao empregar o membro contralateral como referência, garante-se que ambos os segmentos estejam expostos a condições semelhantes de atividade cotidiana – fator difícil de controlar em estudos com grupos paralelos. Embora a ausência de um grupo sem intervenção limite a força causal dos resultados, a estratégia intra-sujeito possibilita maior precisão nas comparações e fortalece a interpretação dos efeitos do treinamento associado à RFS na redução das assimetrias musculares.

### 3.1.3 Critérios de elegibilidade

Os critérios de elegibilidade incluíram participantes com idade entre 18 e 59 anos, de ambos os gêneros, que apresentassem: (i) assimetria de força  $\geq 10\%$  nos músculos extensores do joelho em relação ao membro contralateral (média = 15%); (ii) liberação médica para a realização do protocolo de treinamento; e (iii) capacidade para preencher questionários, compreender orientações e realizar os testes, sem condições impeditivas como déficits vestibulares significativos, limitações de mobilidade ou comprometimento cognitivo. Os

critérios de exclusão foram: (i) lesões musculoesqueléticas em membros inferiores que pudessem comprometer substancialmente o desempenho funcional ou interferir no protocolo (ex.: lesão do ligamento cruzado anterior, ruptura meniscal ou entorse de tornozelo); (ii) impossibilidade de realizar ou concluir todos os procedimentos; e, (iii) pressão arterial sistólica em repouso  $\geq 140$  mmHg ou diastólica  $\geq 90$  mmHg, independentemente do uso de medicação anti-hipertensiva – critério adotado para garantir segurança durante o treinamento, que, embora esteja associado a menor sobrecarga cardiovascular do que o treinamento resistido de alta intensidade, ainda pode provocar elevações agudas da pressão arterial. Os participantes também foram excluídos caso apresentassem mais de um fator de risco para eventos tromboembólicos, incluindo (iv) obesidade ( $IMC \geq 30$  kg/m $^2$ ), (v) doença inflamatória intestinal; (vi) fraturas prévias de quadril, pelve ou fêmur; (vii) cirurgia nos últimos seis meses, especialmente abdominal ou vascular; (viii) presença de varizes; (ix) histórico familiar de trombose venosa profunda ou embolia pulmonar; (x) uso de contraceptivo oral e, (xi) uso diário de tabaco (FALLON et al., 2022). Todos os critérios foram verificados por meio de uma triagem inicial conduzida pelos pesquisadores e por um médico.

### 3.1.4 Procedimentos

Os voluntários interessados em participar do estudo foram devidamente informados sobre os objetivos, métodos e procedimentos adotados e, em seguida, submetidos a uma triagem inicial para verificar a conformidade com os critérios de elegibilidade. Os participantes que atenderam aos requisitos foram convidados a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice A). Todos os avaliadores receberam treinamento prévio, a fim de assegurar a execução padronizada e adequada dos procedimentos.

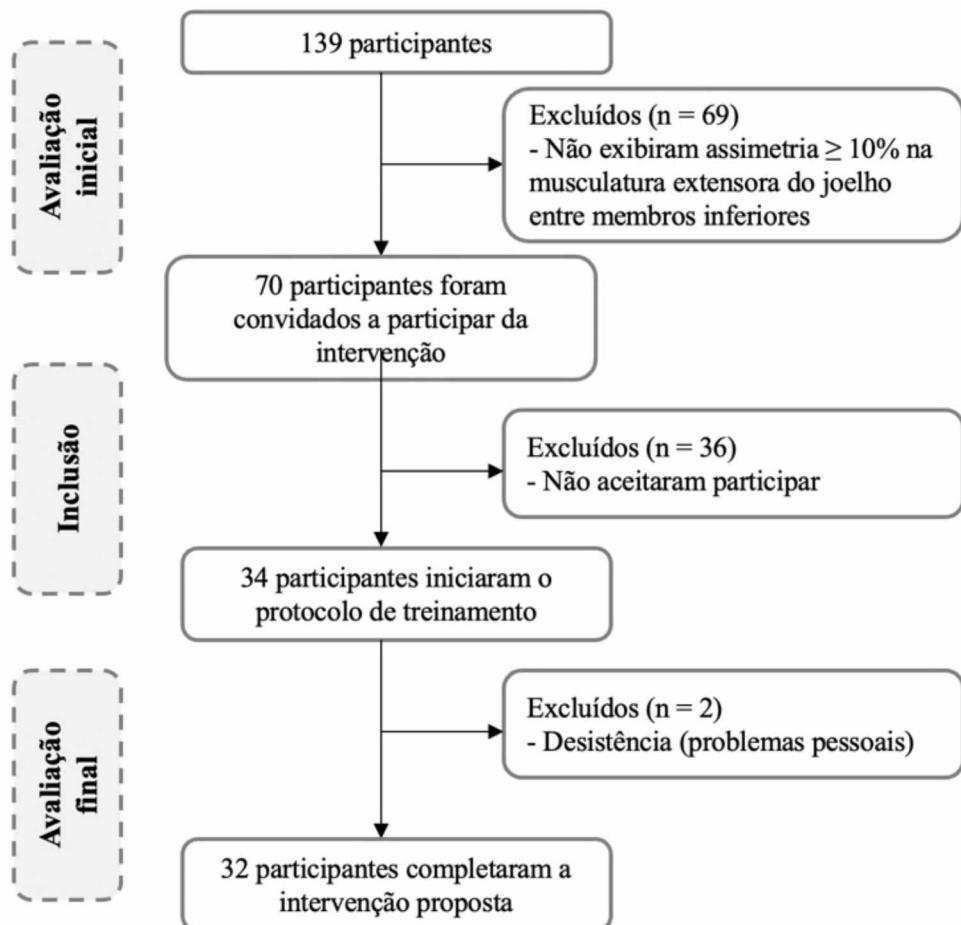
As medidas de desfecho foram coletadas antes (pré-intervenção) e após (pós-intervenção), sendo a segunda avaliação realizada pelo menos 48 horas após a conclusão das 12 semanas do programa de treinamento. As avaliações incluíram a coleta de informações sobre características pessoais, sociodemográficas e condições clínicas, bem como dados antropométricos (massa corporal, estatura e índice de massa corporal [IMC]) e nível de atividade física (AF) e comportamento sedentário (CS), obtidos por meio do *International Physical Activity Questionnaire* (IPAQ). Em seguida, foram analisados os parâmetros espaço-temporais da marcha por meio de um tapete instrumentado (*Zeno Walkway®*). A espessura muscular foi determinada por ultrassonografia (Konica Minolta®, modelo Sonimage HS1),

enquanto a força muscular isométrica foi avaliada por dinamômetro (BiodeX Multi-Joint System®).

Ao término do programa de treinamento, cada participante recebeu um relatório individual com a interpretação dos resultados, incluindo valores de referência, o que permitiu identificar mudanças na força e espessura musculares ao longo das 12 semanas. Para fins ilustrativos, o relatório de um dos participantes foi disponibilizado no Apêndice B.

Inicialmente, 139 adultos (75 homens [54%] e 64 mulheres [46%]) foram avaliados. Destes, 70 (50%) apresentaram assimetria de força  $\geq 10\%$  na musculatura extensora do joelho e atenderam aos critérios de elegibilidade, sendo convidados a participar do programa de treinamento. Destes, 32 aceitaram integrar o protocolo (20 homens [62%] e 12 mulheres [38%]). A distribuição do recrutamento está apresentada na Figura 2.

FIGURA 2 – Fluxograma dos participantes do Estudo 1.



Fonte: O autor (2025).

### 3.1.5 Instrumentos de pesquisa

#### 3.1.5.1 Perfil antropométrico

O perfil antropométrico incluiu as seguintes variáveis: estatura (cm), massa corporal (kg) e Índice de Massa Corporal (IMC; kg·m<sup>-2</sup>). A estatura foi mensurada com um estadiômetro portátil da marca WISO, com precisão de 1 mm. A massa corporal foi aferida por meio de uma balança digital portátil, com precisão de 0,1 kg e capacidade máxima de 150 kg. A partir das medidas de estatura e massa corporal, o IMC foi calculado pela fórmula: IMC = Massa corporal (kg) / Estatura (m)<sup>2</sup> (EKNOYAN, 2008). Durante a avaliação, os participantes permaneceram descalços, em posição ereta, com a cabeça e o tronco alinhados, o olhar direcionado à frente o peso corporal distribuído igualmente entre ambos os pés. Após o posicionamento adequado, o cursor do equipamento foi ajustado a 90° em relação à escala, tocando o ponto mais alto da cabeça (GUEDES; GUEDES, 2006).

#### 3.1.5.2 Nível de atividade física e comportamento sedentário

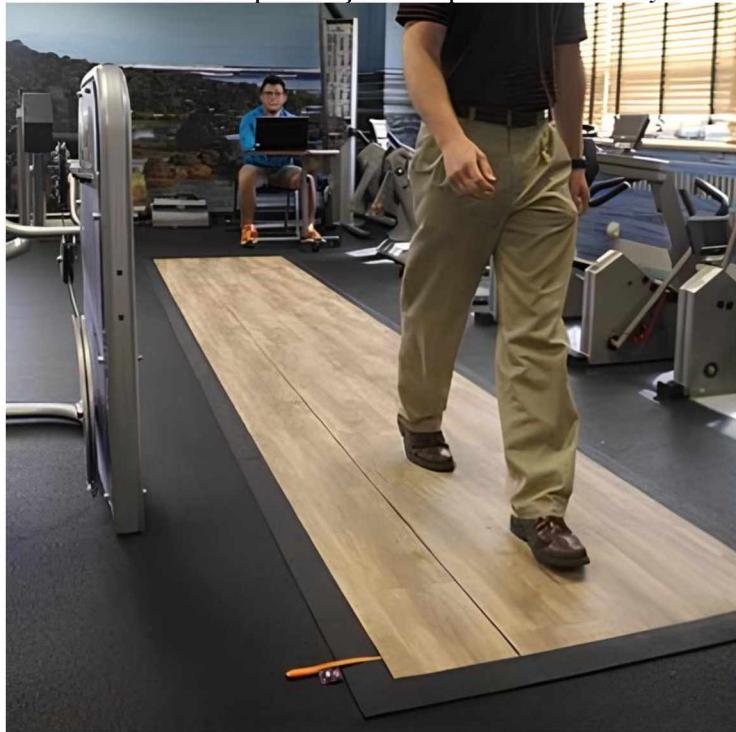
O nível de atividade física foi avaliado por meio do *International Physical Activity Questionnaire* (IPAQ), versão brasileira validada (MATSUDO et al., 2001) (ANEXO 2). O instrumento é composto por sete questões que permitem estimar o tempo semanal dedicado a atividades de diferentes intensidades (leve, moderada e vigorosa) e ao comportamento sedentário (tempo sentado, reclinado e/ou deitado). A soma do tempo total de atividade física (em minutos/semana) foi utilizada para classificar os participantes em três categorias: insuficientemente ativos (< 150 minutos/semana), ativos (150-300 minutos/semana) e muito ativos (> 300 minutos/semana), de acordo com as diretrizes do *American College of Sports Medicine* (CHODZKO-ZAJKO et al., 2009). O comportamento sedentário foi analisado com base em duas questões do IPAQ, que investigaram o tempo médio diário (em horas) dedicado a atividades diárias na posição sentada, reclinada e/ou deitada tanto em dias da semana quanto nos finais de semana (MATSUDO et al., 2001).

#### 3.1.5.3 Análise da marcha

Os parâmetros espaço-temporais da marcha foram analisados por meio de um tapete instrumentado (*Zeno Walkway®*, Protokinetics, Havertown, PA, EUA), operando com uma

frequência de aquisição de dados de 120 Hz. O sistema é composto por 16 níveis de sensores de pressão, distribuídos em uma área útil de 4,5 m de comprimento por 0,6 m de largura, recobertos por uma camada protetora, o que permite a detecção contínua dos contatos dos pés durante a marcha (LYNALL et al., 2017; PROTOKINETICS, 2013) (Figura 3). Os dados foram processados pelo software *ProtoKinetics Movement Analysis Software* (PKMAS).

FIGURA 3 – Representação do Tapete Zeno Walkway.



Fonte: Manual do Zeno Walkway Gait Analysis System.

A avaliação foi realizada em duas condições: velocidade auto-selecionada de caminhada (VASC) e velocidade rápida de caminhada (VRC). Para cada condição, os participantes percorreram o trajeto (ida e volta) cinco vezes, e a média dos valores obtidos foi considerada. Para garantir que apenas a fase de velocidade estável fosse analisada, foram adicionados 2 m antes e após a área de coleta para aceleração e desaceleração (MACFARLANE; LOONEY, 2008; MIDDLETON et al., 2016). Na VASC, os participantes caminharam em ritmo confortável, simulando uma caminhada habitual, sem pressa. Na VRC, foram instruídos a caminhar o mais rápido possível, mantendo a segurança e simulando uma situação de pressa sem correr (MIDDLETON et al., 2016).

Foram analisados os seguintes parâmetros espaço-temporais: (i) comprimento do passo (cm): distância entre o contato inicial de um pé e o contato inicial do pé oposto; (ii) largura do passo (cm): distância perpendicular entre a linha que conecta os dois calcanhares

ipsilaterais e o calcanhar contralateral; (iii) tempo do passo (s): duração entre o contato inicial de um pé e o contato inicial do pé oposto; (iv) tempo de apoio (s): tempo total em que o pé permanece em contato com o solo; (v) tempo de balanço (s): tempo em que o pé não está em contato com o solo; (vi) cadência ( $\text{passos} \cdot \text{min}^{-1}$ ): número de passos menos um, dividido pelo tempo de deambulação e convertido em minutos; (vii) velocidade ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ): relação entre a distância percorrida e o tempo total de deambulação (PROTOKINETICS, 2013).

### 3.1.5.4 Força muscular

A força muscular dos membros inferiores foi mensurada por meio do dinamômetro *Biodex Multi-joint System®* (Biodex Medical Systems. Inc. Shirley. NY. USA). Foram avaliados os músculos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, bem como os extensores e flexores do joelho, durante uma contração voluntária máxima isométrica (CVMI). Testes isométricos são amplamente reconhecidos como padrão-ouro para monitorar adaptações decorrentes de programas de treinamento (ARHOS et al., 2021; SMAJLA; ŽITNIK; ŠARABON, 2021).

Para a avaliação do tornozelo, os participantes permaneceram sentados, com o encosto da cadeira inclinado a  $70^\circ$ , a sola do pé apoiada integralmente no suporte do braço de alavanca e o eixo de rotação do dinamômetro alinhado ao maléolo lateral. O joelho foi mantido a aproximadamente  $30^\circ$  de flexão. A pesagem do membro em posição neutra ( $0^\circ$ ) foi realizada para correção gravitacional. Para a avaliação do joelho, os participantes permaneceram sentados com o quadril a  $90^\circ$  e o encosto ajustado para apoiar a fossa poplítea na parte inferior do assento. O eixo do dinamômetro foi alinhado ao epicôndilo lateral do fêmur, e o braço de alavanca foi fixado 2 cm acima dos maléolos. A pesagem do membro relaxado em semi-extensão ( $45^\circ$ ) foi utilizada para correção gravitacional.

Em ambos os testes, os participantes foram estabilizados com dois cintos torácicos, um pélvico e faixas de velcro, aplicadas sobre os metatarsos (tornozelo) e na porção distal da coxa (joelho). Para evitar compensações posturais durante os movimentos e durante o teste, os voluntários foram orientados a segurar os apoios laterais da cadeira (Figura 4).

Após o posicionamento, foi realizado um breve período de familiarização, consistindo em quatro repetições de CVMI dos músculos-alvo (tornozelo em  $0^\circ$  e joelho em  $60^\circ$ ), com intervalo de 60 s entre tentativas. Após um minuto de pausa, foram realizadas três repetições de CVMI, com duração de 5 s cada e intervalo de 120 s entre tentativas (ERELINE; GAPEYEVA; PÄÄSUKE, 2011). Durante todas as repetições, os participantes receberam

feedback visual das curvas de torque e incentivo verbal padronizado, a fim de otimizar o desempenho (DOTAN et al., 2013). Para garantir maior confiabilidade das medidas, foi analisada a variação entre as três tentativas válidas, sendo considerado aceitável um coeficiente de variação inferior a 10%. O pico de torque (PT; N.m), foi definido como o maior valor obtido entre as três repetições e normalizado pela massa corporal total (N.m/kg) (AAGAARD et al., 2002). A assimetria de força muscular entre membros (ISM) foi calculada a partir do PT da musculatura extensora do joelho (BEATO et al., 2021).

$$ISM = \left( \frac{\text{membro mais fraco}}{\text{membro mais forte}} \right) \times 100 \quad (1)$$

FIGURA 4 – Demonstração do posicionamento utilizado para avaliação da força muscular do tornozelo e do joelho, respectivamente.



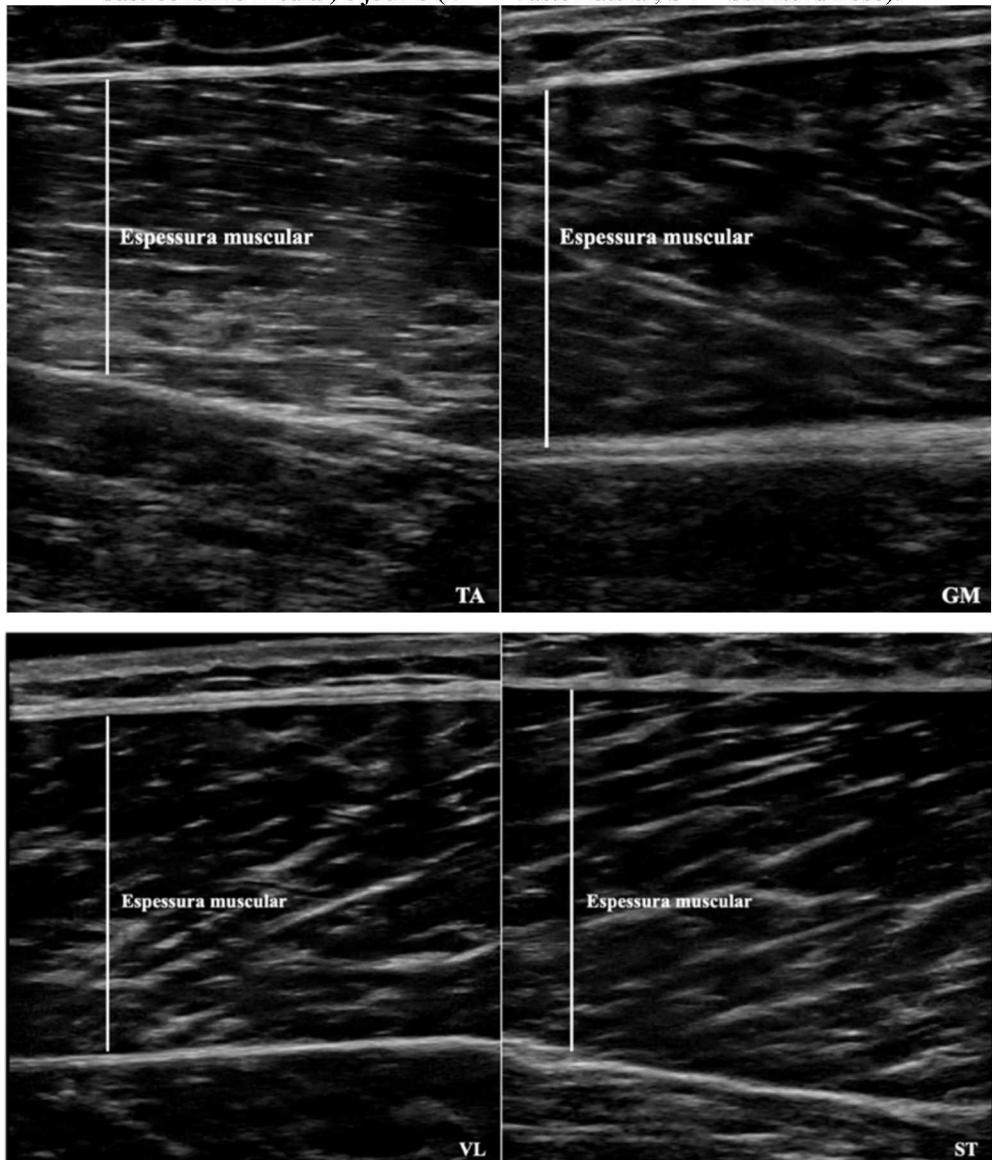
Fonte: O autor (2025).

### 3.1.5.5 Espessura muscular

Os efeitos hipertróficos do treinamento foram determinados a partir de medidas da espessura muscular (EM), quantificadas por procedimentos que envolvem técnicas de ultrassonografia (US) (Konica Minolta®, modelo Sonimage HS1, versão 1.10). O equipamento opera em modo B, portátil, equipado com transdutor de 5x2 cm e frequência de 11 MHz. A US

é reconhecida como uma ferramenta válida e confiável para avaliação da EM, sendo considerada um correlato do volume muscular e da área de secção transversal quando comparada à ressonância magnética em adultos (ROCK et al., 2021). A EM foi definida como a distância entre as aponeuroses superficiais e profundas (GANDOLFI et al., 2018; KARAGIANNIDIS, 2017). Foram avaliados quatro músculos: tibial anterior (TA) e gastrocnêmio medial (GM), na região do tornozelo, e vasto lateral (VL) e semitendinoso (ST), na região do joelho (Figura 5).

FIGURA 5 – Representação da espessura muscular dos músculos do tornozelo (TA = Tibial Anterior, GM = Gastrocnêmio Medial) e joelho (VL = Vasto Lateral, ST = Semitendinoso).



Fonte: O autor (2025).

Os participantes foram instruídos a evitar exercícios para membros inferiores nas 48 h anteriores à aquisição das imagens e permaneceram em decúbito dorsal, com o corpo relaxado e joelhos estendidos, por 15 minutos, para permitir o equilíbrio dos fluidos corporais (BERG; TEDNER; TESCH, 1993; TICINESI et al., 2018). O procedimento foi conduzido por um avaliador treinado, utilizando um gel hidrossolúvel para garantir contato acústico adequado, sem compressão da pele. O transdutor foi posicionado paralelo ao eixo longitudinal do músculo e perpendicular à superfície cutânea. A profundidade da varredura foi fixada em 5 cm, sendo ajustada apenas em casos de maior espessura do tecido adiposo subcutâneo.

As medidas foram realizadas no tibial anterior (TA), gastrocnêmio medial (GM), vasto lateral (VL) e semitendinoso (ST). Para a medição do TA, os participantes foram posicionados em decúbito dorsal, com o joelho em 0° (neutro) e o quadril em 0° de abdução e rotação. O TA foi identificado a 20% da distância entre a cabeça da fibula e o maléolo medial (FRAIZ et al., 2020). Para a medição do GM, os participantes foram posicionados em decúbito ventral, com os joelhos estendidos e os pés para fora da maca. O tornozelo foi mantido em 115°. O GM foi identificado a 30% da distância entre a fossa poplítea e o maléolo medial (MCCREESH; EGAN, 2011). Para a medição do VL, os participantes foram posicionados em decúbito dorsal, com o joelho em 0° (neutro) e o quadril em 0° de abdução e de rotação (ROCK et al., 2021). O VL foi identificado a 50% da distância entre o trocânter maior do fêmur e a borda lateral da patela (GANDOLFI et al., 2018; KARAGIANNIDIS, 2017). Para a medição do ST, os participantes foram posicionados em decúbito ventral, com a coxa e a perna rotacionadas medialmente. O joelho foi flexionado em aproximadamente 45°, com o auxílio de um goniômetro para garantir a precisão da medida. O ST foi identificado a 50% da distância entre a tuberosidade isquiática e o epicôndilo medial da tíbia (GANDOLFI et al., 2018; KARAGIANNIDIS, 2017).

Durante todas as avaliações, os participantes foram orientados a relaxar completamente a musculatura. Os pontos de referência foram marcados com caneta permanente e reforçados semanalmente para garantir consistência entre as avaliações pré- e pós-intervenção. Para evitar interferências do edema induzido pelo exercício, as imagens foram coletadas entre 48 e 72 h antes da primeira e após a última sessão de treinamento (BRIGATTO et al., 2022), conforme evidências de que os aumentos transitórios na EM retornam à linha de base nesse intervalo (OGASAWARA et al., 2012). Aplicou-se pressão mínima no transdutor para evitar a deformação dos tecidos subjacentes e a distorção das imagens. Para cada músculo, foram capturadas três imagens, posteriormente analisadas no software *ImageJ®* (National

Institutes of Health, Bethesda, EUA), considerando a média de três pontos distintos por imagem.

A confiabilidade intra-avaliador foi verificada em estudo piloto com cinco participantes, que realizaram duas visitas com intervalo de 48 h. Em cada visita, foram obtidas três imagens por músculo (totalizando 48 imagens por participante). O coeficiente de variação (CV) foi calculado individualmente para cada participante, dividindo-se o desvio padrão de cada par de medidas pela respectiva média ( $[CV = (\text{desvio padrão}/\text{média}) * 100]$ ). O CV médio foi obtido pela média dos CV individuais de todos os participantes. Para verificar a presença de erro, o coeficiente de correlação intraclass (ICC) foi calculado entre as médias das medidas e as diferenças entre os pares. O erro típico de medida (ETM) foi obtido pela fórmula proposta por Hopkins e colaboradores (2000):  $ETM = \text{desvio padrão}/\sqrt{2}$ . Os valores de CV, ICC e ETM encontram-se descritos na Tabela 5.

TABELA 1 – Confiabilidade das medidas de espessura muscular.

<b>Espessura muscular (EM)</b>	<b>CV (%)</b>	<b>ICC (%)</b>	<b>ETM (cm)</b>
<i>Tornozelo</i>			
Tibial anterior (cm)	5,94	0,94	0,08
Gastrocnêmio medial (cm)	4,97	0,93	0,07
<i>Joelho</i>			
Vasto lateral (cm)	6,89	0,96	0,09
Semitendinoso (cm)	5,02	0,95	0,08

Legenda: EM = Espessura muscular; CV = Coeficiente de variação (%); ICC = Coeficiente de Correlação Intraclass (Pearson); ETM = Erro Típico de Medida (cm).

### 3.1.6 Procedimentos experimentais

#### 3.1.6.1 Determinação da pressão de restrição do fluxo sanguíneo

A determinação da pressão de restrição do fluxo sanguíneo (PRFS, mmHg) é uma etapa fundamental para garantir a segurança e a eficácia do treinamento associado à RFS. A literatura recomenda que a PRFS seja avaliada individualmente e aplicada entre 40% e 90% da pressão necessária para provocar a oclusão arterial parcial, a fim de promover adaptações musculares sem riscos desnecessários (BURTON; MCCORMACK, 2022; CERQUEIRA et al., 2021).

No presente estudo, a PRFS foi estabelecida por meio de um esfigmomanômetro manual (Premium®, modelo BR 20D; 35 x 51 cm) associado a um aparelho Doppler vascular

(Martec®, modelo DV600). Durante a avaliação, os avaliados permaneceram em decúbito dorsal, com o manguito posicionado na região proximal do membro mais fraco (segmento-intervenção [SI]), próximo à prega glútea. O manguito foi inflado gradualmente, a uma taxa de 2 mmHg por segundo, até o desaparecimento do pulso auscultatório da artéria tibial anterior (LAURENTINO et al., 2008). A menor pressão em que esse pulso deixou de ser detectado foi registrada como referência para os ajustes durante o treinamento (FALLON et al., 2022; FARAS et al., 2019).

Para as sessões experimentais, a PRFS aplicada correspondeu a 90% da pressão de oclusão individual, visando maximizar o recrutamento de fibras musculares de contração rápida e, consequentemente, as adaptações neuromusculares (FATELA et al., 2016; HUGHES et al., 2017; LIXANDRÃO et al., 2015). Apesar de evidências indicarem que, em treinos resistidos realizados a 20-40% de 1RM, pressões menores podem ser suficientes para promover adaptações, exercícios de baixa intensidade (ex.: caminhada), demandam pressões mais elevadas para alcançar efeitos comparáveis (BURTON; MCCORMACK, 2022; CERQUEIRA et al., 2021). Além disso, estudos mostram que, quando aplicada a mesma pressão em manguitos de diferentes larguras, a proporção de fluxo sanguíneo ocluído é semelhante, resultando em ganhos equivalentes de força e espessura muscular. No entanto, manguitos mais largos permitem atingir a mesma oclusão com menor pressão do que os estreitos, sendo considerados mais confortáveis e seguros para os participantes (BURTON; MCCORMACK, 2022; LORENZ et al., 2021).

Todos os procedimentos foram padronizados, assegurando o posicionamento adequado do manguito na região proximal do membro, evitando compressão excessiva de estruturas neurovasculares superficiais e permitindo a execução adequada das excursões articulares durante a caminhada. O monitoramento contínuo do pulso e da pressão durante as sessões permitiu ajustes imediatos, garantindo que a PRFS permanecesse próxima a 90% da pressão de oclusão individual ao longo de toda a intervenção. Essa abordagem metodológica assegura que os efeitos observados sejam atribuíveis à aplicação controlada da RFS, preservando a integridade e segurança dos participantes.

### 3.1.6.2 Sessão de familiarização e condução do treinamento

Antes do início do treinamento, foi realizada uma sessão de familiarização com os participantes, contemplando: (i) avaliação clínica para liberação médica, (ii) instruções detalhadas sobre o posicionamento do manguito e a aplicação da PRFS, e (iii) esclarecimento

de dúvidas em relação ao protocolo (BURTON; MCCORMACK, 2022; CERQUEIRA et al., 2021).

O programa consistiu em caminhadas associadas à RFS, realizadas três vezes por semana, durante 12 semanas (36 sessões). Das três sessões semanais, uma ocorreu presencialmente no Centro de Estudos do Comportamento Motor do Departamento de Educação Física da UFPR (terças-feiras), enquanto as demais foram realizadas em ambiente domiciliar, sem supervisão direta (quintas-feiras e sábados). Nas sessões presenciais, o pesquisador principal, acompanhado por dois pesquisadores auxiliares, supervisionou a execução de todo o protocolo. Os participantes foram organizados em subgrupos, possibilitando monitoramento individualizado, orientação contínua quanto ao posicionamento correto do manguito, aplicação adequada da PRFS individual e padronização da cadência da caminhada, controlados por meio de um aplicativo de metrônomo (Cifra Club®). Nas sessões domiciliares, os participantes foram instruídos a reproduzir os mesmos procedimentos das sessões presenciais, utilizando áreas planas e seguras, como calçadas, pátios ou corredores. A PRFS individual foi mantida e a cadência foi controlada pelo mesmo aplicativo de metrônomo, garantindo consistência com as sessões presenciais.

Para efeitos de monitoramento, foram registrados a pressão arterial (PA), a frequência cardíaca (FC), a percepção de esforço (Escala de Borg) (Anexo 3) e o desconforto (Escala Visual Analógica – EVA) (Anexo 4). Esses dados foram coletados antes e após as sessões presenciais e, no ambiente domiciliar, registrados pelos próprios participantes em diários físicos ou digitais.

O risco de lesão ou ocorrência de eventos adversos (como dor ou desconforto durante o exercício, dor muscular tardia ou estresse cardiovascular) associado ao protocolo de treinamento associado à RFS é considerado comparável ao de programas tradicionais de exercício, desde que respeitadas as especificações de segurança, progressão adequada da intensidade e seleção criteriosa do manguito, conforme recomenda a literatura (LORENZ et al., 2021).

### 3.1.6.3 Estrutura do protocolo de treinamento

O protocolo de caminhada associado à RFS foi estruturado em seis fases progressivas, permitindo aumento gradual do tempo de caminhada, da cadência e da distância percorrida, promovendo adaptações neuromusculares sem exceder os limites de oclusão segura (BURTON; MCCORMACK, 2022). Adicionalmente, a progressão respeitou o limite de 20 minutos de

oclusão contínua, em conformidade com recomendações de segurança (LORENZ et al., 2021). Embora a aplicação de RFS possa gerar desconforto inicial, houve uma adaptação perceptual ao longo das semanas, resultando em menor percepção de esforço e desconforto, permitindo progressão na intensidade do treinamento (BURTON; MCCORMACK, 2022; LORENZ et al., 2021). A progressão do protocolo de treinamento está descrita na Tabela 2.

TABELA 2 – Progressão do protocolo de treinamento.

<b>Fases</b>	<b>Semanas</b>	<b>Tempo</b>	<b>Cadência</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Distância</b>	<b>Duração</b>
	Semana 1					
1	Semana 2	12 min	110 passos.min <sup>-1</sup>	1,25 m.s <sup>-1</sup>	900m	2 semanas
2	Semana 3	14 min	110 passos.min <sup>-1</sup>	1,30 m.s <sup>-1</sup>	1100 m	1 semana
3	Semana 4	16 min	110 passos.min <sup>-1</sup>	1,36 m.s <sup>-1</sup>	1300 m	1 semana
4	Semana 5	18 min	115 passos.min <sup>-1</sup>	1,47 m.s <sup>-1</sup>	1600 m	1 semana
	Semana 6					
5	Semana 7	20 min	115 passos.min <sup>-1</sup>	1,91 m.s <sup>-1</sup>	2300 m	3 semanas
	Semana 8					
	Semana 9					
6	Semana 10	20 min	120 passos.min <sup>-1</sup>	2,00 m.s <sup>-1</sup>	2400 m	4 semanas
	Semana 11					
	Semana 12					

**Nota:** A progressão do treinamento foi baseada em aumentos graduais no tempo de caminhada, na cadência e na velocidade, permitindo que os participantes se adaptassem progressivamente tanto às demandas físicas quanto à sensação da RFS. Na fase inicial (semanas 1-2), adotou-se uma velocidade de caminhada conservadora (1,25 m.s<sup>-1</sup>) e uma cadência relativamente baixa (110 passos.min<sup>-1</sup>), a fim de favorecer a familiarização com o estímulo da RFS e minimizar o desconforto. A partir da 3<sup>a</sup> semana, o tempo e a velocidade da caminhada foram progressivamente aumentados a cada semana, enquanto a cadência se manteve estável, permitindo aos participantes tolerar gradualmente maiores durações e intensidades. Na 5<sup>a</sup> semana, a cadência foi elevada para 115 passos.min<sup>-1</sup>, sendo mantida durante a fase 5. Por fim, nas últimas quatro semanas (Fase 6), implementaram-se a maior cadência (120 passos.min<sup>-1</sup>) e a maior velocidade de caminhada (2,00 m.s<sup>-1</sup>) por 20 minutos, maximizando o efeito do treinamento. Importante destacar que, em 7 das 12 semanas, os participantes caminharam por 20 minutos, em consonância com os princípios da RFS, que enfatizam o estresse metabólico sob baixas cargas. Dessa forma, a progressão foi planejada de modo a respeitar os limiares de segurança e tolerância, ao mesmo tempo em que aumentava gradualmente o volume de treino e a demanda metabólica, otimizando as adaptações e mantendo conforto e aderência. Por fim, o aumento progressivo da carga de treinamento (incrementos graduais no tempo de caminhada, na cadência e na velocidade) foi implementado intencionalmente, uma vez que a maioria dos protocolos utiliza cargas fixas ao longo de todo o período de intervenção.

O delineamento intra-sujeito adotado considerou o membro mais fraco como segmento-intervenção (SI), submetido à RFS, e o membro contralateral como segmento-controle (SC). Essa abordagem reduz a variabilidade entre participantes, controla a influência das atividades diárias, aumenta o poder estatístico do estudo e potencializa a sensibilidade da análise em designs longitudinais (MONTOYA, 2023). Embora os efeitos sistêmicos da RFS sejam reconhecidos, o foco principal deste estudo foi avaliar o impacto local do treinamento no segmento-intervenção.

Antes de cada sessão, os participantes permaneceram por cinco minutos em repouso, período em que foram monitorados quanto à PA e à FC. O manguito foi posicionado na região proximal do SI, o que corresponde a aproximadamente 25% da distância entre o trocânter maior e o côndilo femoral lateral, garantindo oclusão no ventre muscular sem limitar a amplitude articular (LORENZ et al., 2021) (Figura 6).

Durante o treinamento, o manguito foi inflado até 90% da PRFS, previamente determinada. Considerando que a PRFS pode variar devido ao movimento articular e à contração muscular, os participantes foram orientados a monitorar continuamente a pressão e ajustá-la sempre que necessário, garantindo a manutenção adequada ao longo de toda a sessão (LORENZ et al., 2021). A caminhada foi realizada com o manguito inflado durante todo o período da sessão, sem intervalos, maximizando o estresse metabólico e as adaptações musculares. Ao término, o manguito era desinflado gradualmente, e os participantes realizavam 5 minutos de caminhada livre para promover o retorno venoso (BURTON; MCCORMACK, 2022).

FIGURA 6 – Demonstração de um participante equipado com um manguito inflado (A). Demonstração da remoção do manguito logo após o término de uma sessão de treinamento (fase 1) (B).



Fonte: O autor (2025).

### 3.1.6.4 Adesão, monitoramento e suporte

A adesão ao protocolo foi monitorada por meio de diários semanais, nos quais os participantes registraram a realização das sessões, a pressão arterial (PA), a frequência cardíaca (FC), a percepção de esforço (BORG), o desconforto (EVA) e eventuais intercorrências relacionadas ao treinamento. Esses diários puderam ser preenchidos em formato físico, entregues durante as sessões presenciais, ou em formato digital, e completados imediatamente após as sessões domiciliares. Em casos de informações ausentes, a equipe de pesquisa entrou em contato com o participante na mesma semana, garantindo a obtenção completa dos dados e preservando a qualidade do monitoramento. Para estimular o engajamento ao longo das 12 semanas de intervenção, foi criado um grupo de comunicação em um aplicativo de mensagens, que permitiu contato direto com a equipe, o envio de lembretes das sessões domiciliares e suporte contínuo. O envio de fotos ou vídeos das atividades, embora opcional, foi incentivado como estratégia adicional de motivação e reforço do acompanhamento coletivo.

Durante as sessões supervisionadas, a execução dos movimentos foi regularmente monitorada, assegurando a padronização do protocolo e a segurança dos participantes. Todos foram orientados a cumprir, no mínimo, 75% das sessões propostas ( $\geq 27$  sessões). O uso sistemático dos diários de treinamento, aliado ao contato ativo da equipe para complementar os registros faltantes, garantiu um acompanhamento adequado da adesão às atividades de treinamento.

### 3.1.6.5 Percepção de esforço e dor

A percepção de esforço foi monitorada por meio da Escala de Borg, que varia entre 6 e 20 pontos, em que 6 corresponde a “nenhum esforço” e 20 representa “máximo esforço e incapacidade de prosseguir” (BORG, 1998). Essa escala é amplamente utilizada em protocolos de exercício físico, incluindo intervenções associadas à RFS, por fornecer uma estimativa confiável da intensidade percebida. A dor foi avaliada pela Escala Visual Analógica (EVA), composta por uma linha de 10 pontos, na qual 0 representa ausência de dor, 5 dor moderada e 10 a pior dor imaginável (BREIVIK et al., 2008). A EVA é reconhecida como uma medida válida e sensível para rastrear sintomas dolorosos, especialmente no contexto da dor aguda associada à RFS (BROWN et al., 2018; SHARMA et al., 2014) (ANEXOS 3 e 4). Esses instrumentos foram aplicados em todas as sessões, permitindo acompanhar não apenas as

respostas fisiológicas ao treinamento, mas também a adaptação perceptual ao longo das semanas, aspecto relevante para a compreensão da tolerância e da segurança do protocolo.

### 3.1.7 Análise dos dados

A caracterização dos participantes foi realizada por meio de estatística descritiva (média, desvio padrão, mediana, amplitude e porcentagem). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, e a homogeneidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene. Para comparar características pessoais, a assimetria de força muscular intermembros na musculatura ao redor do tornozelo e do joelho, bem como os parâmetros espaço-temporais da marcha em cada condição de velocidade (VASC e VRC), foi aplicado o teste t para medidas dependentes, considerando os momentos pré- e pós-intervenção. As mudanças nas características musculares (força e espessura) foram avaliadas por meio do Modelo Linear Misto (MLM), considerando os efeitos principais do tempo (pré- e pós-intervenção), segmento (SI e SC) e sua interação (tempo × segmento). Quando identificadas diferenças, foram realizadas comparações *post hoc* com ajuste de Bonferroni, a fim de localizar diferenças intra- (pré × pós) e intermembros (SI × SC). A magnitude das alterações musculares entre os momentos de avaliação foi expressa em variação percentual ( $\Delta \%$ ), enquanto os parâmetros espaço-temporais da marcha foram analisados em unidades absolutas (segundos para variáveis temporais e centímetros para variáveis espaciais), preservando a interpretação direta das diferenças. Para determinar a relevância real das alterações observadas em medidas objetivas, foi calculada a Mudança Mínima Detectável (MMD) ao nível de confiança de 95% (MMD<sub>95</sub>). A MMD foi expressa em percentual (%) para força e espessura muscular; e na unidade original para os parâmetros espaço-temporais da marcha (segundos e centímetros). A estimativa da MMD baseou-se no Erro Padrão de Medida (EPM) e nos coeficientes de correlação intraclasse (ICC) disponíveis na literatura para a força muscular e para os parâmetros espaço-temporais da marcha (DE ARAUJO RIBEIRO ALVARES et al., 2015; LEPORACE et al., 2016). Para a espessura muscular, os ICCs foram obtidos a partir das análises de confiabilidade conduzidas neste estudo. A MMD foi calculada utilizando a fórmula:  $MMD = 1,96 \times \sqrt{2} \times EPM$ . O EPM foi estimado a partir dos desvios-padrão iniciais (DP) e dos ICCs, segundo a equação:  $EPM = DP \times \sqrt{1 - ICC}$ . Os valores da MMD foram comparados às mudanças observadas ( $\Delta$ ) do pré para o pós em cada segmento, permitindo verificar se as alterações excediam o limiar do erro de medida. Adicionalmente, foram calculados os tamanhos

de efeito de Cohen's  $d$  para amostras pareadas, a fim de quantificar a magnitude das mudanças pré- e pós-intervenção para cada segmento e variável, utilizando o desvio-padrão das diferenças entre os escores. A interpretação dos valores de  $d$  seguiu os limiares convencionais:  $d < 0,2$  foi considerado efeito trivial;  $0,2 \leq d < 0,5$ , pequeno;  $0,5 \leq d < 0,8$ , moderado; e  $d \geq 0,8$ , grande (COHEN, 1988). Não foram identificados dados ausentes em nenhuma das análises. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, versão 25), e o nível de significância foi estabelecido em  $p < 0,05$ .

### **3.2 RESULTADOS**

#### *Características da amostra total*

A amostra inicial do estudo foi composta por 139 participantes, com idade entre 18 e 58 anos ( $29,0 \pm 9,5$  anos), sendo 75 homens (54%) e 64 mulheres (46%). As características antropométricas incluíram massa corporal ( $74,2 \pm 15,1$  kg), estatura ( $1,70 \pm 0,10$  m) e índice de massa corporal ( $25,3 \pm 4,5$  kg.m $^{-2}$ ). A média semanal de atividade física foi de  $439,2 \pm 286,0$  minutos, com aproximadamente 85% ( $n = 119$ ) sendo classificados como ativos ou muito ativos ( $\geq 300$  minutos/semana) e 15% ( $n = 20$ ) com níveis insuficientes de atividade física ( $< 150$  minutos/semana). Em relação ao comportamento sedentário (CS), 53,2% ( $n = 74$ ) apresentaram baixo nível e 46,8% ( $n = 65$ ) alto nível. A maioria não relatou histórico de lesões musculoesqueléticas ( $n = 108$ ; 77,7%) nos últimos 12 meses. As características físicas, comportamentais e histórico de lesões da amostra podem ser encontradas na Tabela 3.

TABELA 3 – Características físicas, comportamentais, e histórico de lesões da amostra total (n = 139).

<b>Características</b>	<b>Média ± DP</b>
Idade (anos)	29,0 ± 9,5
Massa corporal (kg)	74,2 ± 15,1
Estatura (m)	1,70 ± 0,10
Índice de Massa Corporal ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )	25,3 ± 4,5
Nível de Atividade Física ( $\text{min} \cdot \text{semana}^{-1}$ )	439,2 ± 286,0
Comportamento Sedentário ( $\text{horas} \cdot \text{dia}^{-1}$ )	6,5 ± 2,6
<b>Nível de Atividade Física</b>	<b>n (%)</b>
Insuficientemente ativo	20 (14,4)
Ativo	33 (23,7)
Muito ativo	86 (61,9)
<b>Comportamento Sedentário</b>	<b>n (%)</b>
Baixo nível de CS	74 (53,2)
Alto nível de CS	65 (46,8)
<b>Histórico de lesão musculoesquelética</b>	<b>n (%)</b>
Não	108 (77,7)
Sim	31 (22,3)

Legenda: DP = Desvio Padrão; kg = Quilograma; m = metros; min = minutos; CS = Comportamento Sedentário.

A Tabela 4 apresenta dados de força muscular, expressos pelo pico de torque (PT), dos músculos do tornozelo (plantiflexores e dorsiflexores) e do joelho (extensores e flexores), bem como as assimetrias de força entre os membros. Além disso, são descritos os parâmetros espaço-temporais da marcha nas velocidades auto-selecionada e rápida.

TABELA 4 – Força muscular do tornozelo e joelho, assimetria de força entre membros e parâmetros espaço-temporais da marcha na velocidade auto-selecionada e rápida de caminhada (n = 139).

<b>Força muscular (PT)</b>	<b>Média ± DP</b>
Plantiflexor (GM) (N.m)	94,31 ± 33,93
Dorsiflexor (TA) (N.m)	34,33 ± 10,43
Extensor (VL) (N.m)	194,67 ± 66,74
Flexor (ST) (N.m)	9,25 ± 34,20
<b>Assimetria de força muscular</b>	
<i>Tornozelo</i>	
Plantiflexores (%)	12,78 ± 9,79
Dorsiflexores (%)	11,44 ± 9,39
<i>Joelho</i>	
Extensores (%)	11,38 ± 9,07
Flexores (%)	9,24 ± 7,33
<b>Parâmetros da marcha</b>	
<i>Velocidade auto-selecionada</i>	
Comprimento do passo (cm)	66,04 ± 6,15
Largura do passo (cm)	8,04 ± 2,29
Tempo do passo (s)	0,54 ± 0,04
Tempo de apoio (s)	0,68 ± 0,06
Tempo de balanço (s)	0,39 ± 0,02
Cadêncnia (passos.min <sup>-1</sup> )	111,93 ± 8,58
Velocidade da marcha (m.s <sup>-1</sup> )	1,23 ± 0,16
<i>Velocidade rápida</i>	
Comprimento do passo (cm)	80,16 ± 7,58
Largura do passo (cm)	8,45 ± 2,45
Tempo do passo (s)	0,44 ± 0,04
Tempo de apoio (s)	0,53 ± 0,05
Tempo de balanço (s)	0,34 ± 0,03
Cadêncnia (passos.min <sup>-1</sup> )	137,58 ± 11,65
Velocidade da marcha (m.s <sup>-1</sup> )	1,83 ± 0,20

Legenda: DP = Desvio Padrão; PT = Pico de Torque (N.m); N.m = Newton.metro; cm = centímetros; s = segundos; m.s<sup>-1</sup> = metros por segundo; passos.min<sup>-1</sup> = passos por minuto; GM = Gastrocnêmio Medial; TA = Tibial Anterior; VL = Vasto Lateral; ST = Semitendinoso.

#### *Características dos participantes do treinamento*

Trinta e dois participantes completaram o programa de treinamento e foram avaliados antes e após a intervenção (20 homens e 12 mulheres;  $31,1 \pm 9,5$  anos;  $1,70 \pm 0,08$  m). Não foram observadas diferenças entre os momentos (pré vs. pós-) na massa corporal, no índice de massa corporal (IMC), na pressão arterial diastólica (PAD), na frequência cardíaca (FC) e no nível de atividade física ou comportamento sedentário ( $p > 0,05$ ). Entretanto, houve uma discreta redução na pressão arterial sistólica (PAS) após o treinamento ( $\Delta = -4,0\%$ ;  $p = 0,04$ ; ES = 0,38) (Tabela 5).

TABELA 5 – Características físicas, comportamentais, e assimetria de força muscular entre membros dos participantes (pré- e pós-intervenção) (n = 32).

<b>Características</b>	<b>Pré-intervenção</b>	<b>IC 95%</b>		<b>Pós-intervenção</b>	<b>IC 95%</b>		<b>p valor</b>	<b>ES</b>	<b>Δ %</b>
	<b>Média ± DP</b>	<b>Inf.</b>	<b>Sup.</b>	<b>Média ± DP</b>	<b>Inf.</b>	<b>Sup.</b>			
Massa corporal (kg)	74,4 ± 14,5	69,2	79,6	75,0 ± 13,6	70,1	79,9	0,15	0,03	0,81
IMC (kg.m <sup>-2</sup> )	25,2 ± 4,0	23,7	26,7	25,7 ± 3,9	24,3	27,1	0,11	0,05	1,98
PAS (mmHg)	120,4 ± 13,1	115,7	125,2	115,6 ± 15,4	110,0	121,1	0,04	0,38	-3,99
PAD (mmHg)	81,2 ± 3,9	76,6	86,8	79,3 ± 5,4	76,3	81,2	0,12	0,20	-2,34
FC (bpm)	75,6 ± 14,0	70,5	80,6	72,9 ± 15,4	70,5	80,6	0,41	0,15	-3,57
Nível de Atividade Física (min.sem <sup>-1</sup> )	372,3 ± 229,1	289,8	454,9	385,5 ± 265,1	289,9	481,0	0,66	0,08	3,55
Comportamento Sedentário (min.sem <sup>-1</sup> )	48,2 ± 18,7	41,5	55,0	50,0 ± 20,9	42,5	57,6	0,56	0,10	3,73
<b>Assimetria de força muscular</b>									
<b>Tornozelo</b>									
Plantiflexores (%)	15,0 ± 9,7	11,5	18,5	12,2 ± 11,8	7,9	16,4	0,03	0,20	-18,67
Dorsiflexores (%)	10,9 ± 9,7	7,4	14,4	10,5 ± 8,7	7,4	13,6	0,07	0,10	-3,67
<b>Joelho</b>									
Extensores (%)	14,8 ± 11,2	10,8	18,8	11,3 ± 11,4	7,2	15,4	0,03	0,40	-23,65
Flexores (%)	10,4 ± 8,5	7,3	13,4	10,5 ± 9,4	7,1	13,9	0,93	0,02	0,96

Legenda: DP = Desvio Padrão; ES = Effect size; Δ % = Delta percentual; IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%; kg = Quilograma; min.sem<sup>-1</sup> = minutos por semana; mmHg = Milímetros de mercúrio; bpm = Batimentos por minuto; IMC = Índice de Massa Corporal; PAS = Pressão Arterial Sistólica; PAD = Pressão Arterial Diastólica; FC = Frequência Cardíaca. p < 0,05.

### *Características das sessões de treinamento*

As sessões de treinamento foram conduzidas com uma pressão média de  $124,3 \pm 12,9$  mmHg, correspondente a 90% da pressão de restrição do fluxo sanguíneo individual (PRFS, mmHg). Durante o protocolo, a percepção de esforço variou entre “muito leve” e “leve” ( $10,0 \pm 2,0$  a.u.) e desconforto foi classificado como “leve a moderado” ( $4,5 \pm 1,9$  a.u.). As sessões presenciais mostraram-se importantes para que os pesquisadores pudessem fornecer orientação adequada e monitorar os sinais vitais dos participantes. A adesão às 12 sessões presenciais foi de 91,7%, com pelo menos 11 sessões concluídas por participante. Nas 24 sessões domiciliares, a adesão foi de 87,0%, o que corresponde a um mínimo de 21 sessões completas, resultando em uma adesão média de ~90%. O número total de sessões concluídas pelos participantes variou entre 28 e 36.

### *Características musculares (força e espessura) dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo*

No momento pré-intervenção, não foram identificadas diferenças entre o segmento-controle (SC) e o segmento-intervenção (SI) na força dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo ( $p > 0,05$ ), indicando ausência de assimetrias musculares entre os membros. Essa condição foi mantida após as 12 semanas de treinamento, visto que também não foram observadas diferenças entre os segmentos após a intervenção ( $p > 0,05$ ).

Após o treinamento, o SI apresentou aumento na força dos plantiflexores, evidenciado por um ganho de 30,4% ( $p < 0,001$ ; ES = 0,84). O SC também obteve ganhos de força, embora de menor magnitude, com um incremento de 18,7% ( $p < 0,001$ ; ES = 0,52). Em ambos os segmentos, o pico de força aumentou de 85,63 N.m para 111,66 N.m (SI) e de 93,10 N.m para 110,47 N.m (SC).

O SI e o SC apresentaram aumentos semelhantes na força dos dorsiflexores em resposta ao treinamento. O SI aumentou 14,8% ( $p < 0,001$ ; ES = 0,42; 34,51 N.m para 39,60 N.m), enquanto o SC aumentou 13,6% ( $p < 0,001$ ; ES = 0,39; 35,50 N.m para 40,33 N.m) após o treinamento. Os efeitos observados em ambas as musculaturas (plantiflexores e dorsiflexores) ocorreram dentro de cada segmento, com aumentos tanto no SI quanto no SC após o treinamento (pré- vs. pós-). Entretanto, não foram observadas diferenças no ganho de força entre os segmentos, indicando que o aumento foi semelhante para SI e SC ( $p > 0,05$ ).

Para determinar se as alterações observadas excederam o limiar dos erros de medida, as Mudanças Mínimas Detectáveis (MMD) foram calculadas apenas para as variáveis que diferiram em resposta à intervenção (pré- vs. pós-). Para os plantiflexores, os valores de MMD foram de 31,70% no SC e 28,54% no SI. Para os dorsiflexores, a MMD foi de 4,75% no SC e

4,69% no SI. Os ganhos observados nos plantiflexores do SI (30,4%) superaram a MMD, o que indica mudanças relevantes. Os ganhos de força dos dorsiflexores superaram a MMD em ambos os segmentos (SI = 14,8%; SC = 13,6%).

Adicionalmente, a espessura muscular dos plantiflexores e dos dorsiflexores permaneceu inalterada após o período de treinamento, em ambos os segmentos ( $p > 0,05$ ). As comparações entre o tempo (pré- e pós-intervenção) e condições experimentais (SC e SI) estão reportadas na Tabela 6.

TABELA 6 – Características musculares (força muscular [PT] e espessura muscular [EM]) dos músculos plantiflexores (gastrocnêmio medial) e dorsiflexores (tibial anterior) do tornozelo, pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 32).

Características	Pré-intervenção Média ± DP	SEGMENTO-CONTROLE (SC)						ES	Δ %		
		EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%				
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.			
<b>Força muscular (PT)</b>											
Plantiflexor do tornozelo (GM) (N.m)	93,10 ± 33,01	5,92	81,50	104,71	110,47 ± 33,87	5,81	99,08	121,87	0,52	18,66 <sup>a</sup>	
Dorsiflexor do tornozelo (TA) (N.m)	35,50 ± 12,13	2,15	31,27	39,68	40,33 ± 12,47	2,18	36,06	44,61	0,39	13,61 <sup>a</sup>	
<b>Espessura muscular (EM)</b>											
Plantiflexor do tornozelo (GM) (cm)	1,99 ± 0,35	0,07	1,86	2,12	2,02 ± 0,35	0,06	1,90	2,14	0,09	1,51	
Dorsiflexor do tornozelo (TA) (cm)	2,12 ± 0,58	0,10	1,93	2,31	2,35 ± 0,33	0,06	2,23	2,47	0,49	10,85	
<b>SEGMENTO-INTERVENÇÃO (SI)</b>											
Características	Pré-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		ES	Δ %	
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.			
			<b>Força muscular (PT)</b>								
Plantiflexor do tornozelo (GM) (N.m)	85,63 ± 29,72	5,25	75,35	95,92	111,66 ± 32,12	5,78	100,33	122,98	0,84	30,40 <sup>a</sup>	
Dorsiflexor do tornozelo (TA) (N.m)	34,51 ± 11,97	2,13	30,33	38,69	39,60 ± 12,48	2,21	35,27	43,94	0,42	14,77 <sup>a</sup>	
<b>Espessura muscular (EM)</b>											
Plantiflexor do tornozelo (GM) (cm)	1,93 ± 0,39	0,07	1,79	2,06	2,04 ± 0,35	0,06	1,93	2,16	0,30	5,70	
Dorsiflexor do tornozelo (TA) (cm)	2,06 ± 0,55	0,10	1,86	2,25	2,33 ± 0,32	0,06	2,22	2,45	0,60	13,11	

Legenda: SC = Segmento-Controle; SI = Segmento-Intervenção; PT = Pico de Torque; EM = Espessura Muscular; GM = Gastrocnêmio Medial; TA = Tibial Anterior; N.m = Newton.metro; cm = centímetros; DP = Desvio Padrão; EP = Erro Padrão; IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%; ES = Effect Size; Δ % = Delta percentual;  
<sup>a</sup> = diferença nas comparações dentro do mesmo segmento (pré- e pós-intervenção); p < 0,05.

### *Características musculares (força e espessura) dos extensores e flexores do joelho*

Antes da intervenção (pré), foi identificada diferença na força dos extensores do joelho entre o segmento-intervenção (SI) e o segmento-controle (SC) ( $p < 0,001$ ). O SI (PT = 173,47 N.m) apresentou menor capacidade de produzir força em comparação ao SC (PT = 203,72 N.m). Tal discrepância reflete uma assimetria inicial de cerca de 15%. Após 12 semanas de treinamento, a assimetria foi reduzida para aproximadamente 11% ( $p = 0,03$ ; ES = 0,40;  $\Delta = -23,65$ ). Não foram observadas diferenças na força dos flexores do joelho entre o SI e o SC nos momentos avaliados (pré- e pós-), o que indica ausência de assimetria ( $p > 0,05$ ).

Após a intervenção, a força dos extensores do joelho aumentou em ambos os segmentos, com ganhos de 17,5% no SI ( $p < 0,001$ ; ES = 0,48; 173,47 N.m para 203,81 N.m) e de 6,3 no SC ( $p < 0,001$ ; ES = 0,19; 203,72 N.m para 216,46 N.m). A magnitude do aumento foi maior no SI ( $p < 0,001$ ) do que no SC, indicando que a aplicação da RFS produziu adaptações mais pronunciadas no segmento com menor força inicial. Entretanto, os aumentos observados não excederam os limiares da MMD para os extensores do joelho em ambos os segmentos (SC = 58,45%; SI = 54,21%), o que requer cautela na interpretação dessas variações de força.

Os flexores do joelho de ambos os segmentos apresentaram aumento de força após o treinamento, porém os ganhos foram comparáveis entre os segmentos. O SI registrou incrementos de 8,7% ( $p < 0,001$ ; ES = 0,26; 91,43 N.m para 99,40 N.m), enquanto o SC apresentou aumentos de 7,4% ( $p < 0,001$ ; ES = 0,22; 95,20 N.m para 102,23 N.m). Os efeitos observados foram restritos às comparações intrasegmento (pré- e pós-), uma vez que não foram identificadas diferenças entre os segmentos (SI vs. SC) nos momentos avaliados ( $p > 0,05$ ). Contudo, as variações encontradas permaneceram inferiores ao MMD (SC = 28,19%; SI = 27,29%).

A espessura muscular dos extensores e flexores do joelho permaneceu inalterada após a intervenção em ambos os segmentos ( $p > 0,05$ ). As comparações entre os momentos (pré e pós-intervenção) e a condição experimental (SC e SI) estão apresentadas na Tabela 7.

TABELA 7 – Características musculares (força muscular [PT] e espessura muscular [EM]) dos músculos extensores (vasto lateral) e flexores (semitendinoso) do joelho, pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 32).

Características	Pré-intervenção Média ± DP	SEGMENTO-CONTROLE (SC)						ES	Δ %		
		EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%				
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.			
<b>Força muscular (PT)</b>											
Extensor de joelho (VL) (N.m)	203,72 ± 66,68	11,73	180,73	226,71	216,46 ± 69,12	12,25	192,45	240,47	0,19	6,25 <sup>a,b,†</sup>	
Flexor de joelho (ST) (N.m)	95,20 ± 32,16	5,65	84,12	106,28	102,23 ± 33,07	5,74	90,99	113,47	0,22	7,39 <sup>a</sup>	
<b>Espessura muscular (EM)</b>											
Extensor de joelho (VL) (cm)	2,36 ± 0,44	0,08	2,21	2,52	2,45 ± 0,43	0,08	2,30	2,60	0,21	3,81	
Flexor de joelho (ST) (cm)	2,25 ± 0,55	0,10	2,06	2,45	2,33 ± 0,50	0,09	2,15	2,50	0,15	3,56	
<b>SEGMENTO-INTERVENÇÃO (SI)</b>											
Características	Pré-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		ES	Δ %	
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.			
			<b>Força muscular (PT)</b>								
Extensor de joelho (VL) (N.m)	173,47 ± 61,85	11,11	151,70	195,24	203,81 ± 65,46	11,43	181,42	226,21	0,48	17,50 <sup>a,b,†</sup>	
Flexor de joelho (ST) (N.m)	91,43 ± 31,13	5,61	80,44	102,41	99,40 ± 31,24	5,57	88,48	110,31	0,26	8,72 <sup>a</sup>	
<b>Espessura muscular (EM)</b>											
Extensor de joelho (VL) (cm)	2,35 ± 0,43	0,08	2,20	2,50	2,43 ± 0,44	0,08	2,28	2,58	0,18	3,40	
Flexor de joelho (ST) (cm)	2,16 ± 0,58	0,10	1,96	2,35	2,24 ± 0,57	0,10	2,05	2,43	0,14	3,70	

Legenda: SC = Segmento-Controle; SI = Segmento-Intervenção; PT = Pico de Torque; EM = Espessura Muscular; VL = Vasto lateral; ST = Semitendinoso; N.m = N.m = Newton.metro; cm = centímetros; DP = Desvio Padrão; EP = Erro Padrão; IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%; ES = Effect Size; Δ % = Delta percentual; <sup>a</sup> = diferença nas comparações dentro do mesmo segmento (pré- e pós-intervenção); <sup>b</sup> = diferença nas comparações entre segmentos (SI e SC); <sup>†</sup> = interação significativa entre segmento x tempo; p < 0,05.

### *Parâmetros espaço-temporais da marcha*

Após o treinamento, foram observados aumentos na largura do passo em ambas as velocidades de caminhada. Na velocidade auto-selecionada, a largura do passo aumentou de 7,87 cm para 9,03 cm ( $p < 0,01$ ; ES = 0,49;  $\Delta = 1,16$  cm). Na marcha em velocidade rápida, o incremento foi de 8,32 cm para 9,41 cm ( $p = 0,01$ ; ES = 0,44;  $\Delta = 1,09$  cm). Ao comparar essas alterações com a MMD, constatou-se que os ganhos observados não excederam os limiares associados a erros de medida (VASC = 1,88 cm; VRC = 2,05 cm). Embora significativas, a magnitude dessas medidas não alcançou relevância, ou seja, ficaram abaixo do MMD. Não foram observadas diferenças nos demais parâmetros espaço-temporais da marcha, independentemente da velocidade de caminhada ( $p > 0,05$ ) (Tabela 8).

TABELA 8 – Parâmetros espaço-temporais da marcha na velocidade auto-selecionada e rápida de caminhada, pré- e pós-intervenção (n = 32).

Parâmetros da marcha	Pré-intervenção		IC 95%		Pós-intervenção		IC 95%		p valor	ES	$\Delta$
	Média ± DP	Inf.	Sup.	Média ± DP	Inf.	Sup.					
<i>Velocidade auto-selecionada</i>											
Comprimento do passo (cm)	65,26 ± 5,51	63,27	67,24	65,64 ± 4,38	64,06	67,22	0,69	0,08	0,38		
Largura do passo (cm)	7,87 ± 2,14	7,10	8,64	9,03 ± 2,56	8,11	9,95	< 0,01	0,49	1,16		
Tempo do passo (s)	0,54 ± 0,04	0,52	0,55	0,54 ± 0,03	0,53	0,55	0,88	0,00	0,00		
Tempo de apoio (s)	0,69 ± 0,06	0,66	0,71	0,68 ± 0,06	0,65	0,70	0,44	0,15	-0,01		
Tempo de balanço (s)	0,39 ± 0,03	0,38	0,40	0,39 ± 0,03	0,38	0,40	0,66	0,00	0,00		
Cadência (passos.min <sup>-1</sup> )	110,82 ± 10,16	107,16	114,48	112,97 ± 10,22	109,28	116,65	0,41	0,21	2,15		
Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	1,21 ± 14,33	1,16	1,26	1,24 ± 15,91	1,19	1,30	0,32	0,02	0,03		
<i>Velocidade rápida</i>											
Comprimento do passo (cm)	80,27 ± 6,56	77,90	82,63	79,36 ± 7,36	76,71	82,02	0,42	0,13	-0,91		
Largura do passo (cm)	8,32 ± 2,34	7,47	9,16	9,41 ± 2,60	8,45	10,34	0,01	0,44	1,09		
Tempo do passo (s)	0,44 ± 0,04	0,42	0,45	0,44 ± 0,04	0,42	0,45	0,88	0,00	0,00		
Tempo de apoio (s)	0,53 ± 0,05	0,51	0,55	0,53 ± 0,05	0,51	0,54	0,65	0,00	0,00		
Tempo de balanço (s)	0,34 ± 0,03	0,33	0,35	0,35 ± 0,03	0,34	0,36	0,30	0,33	0,01		
Cadência (passos.min <sup>-1</sup> )	138,52 ± 12,28	134,09	142,94	138,44 ± 11,20	134,40	142,48	0,97	0,01	-0,08		
Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	1,84 ± 6,80	1,78	1,90	1,82 ± 19,37	1,75	1,90	0,58	0,01	-0,02		

Legenda: cm = centímetros; s = segundos; passos.min<sup>-1</sup> = passos por minuto; m.s<sup>-1</sup> = metros por segundo; DP = Desvio padrão; IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%; ES = Effect Size;  $\Delta$  = delta (representado em centímetros para variáveis espaciais e em segundos para variáveis temporais e). p < 0,05.

### 3.3 DISCUSSÃO

O estudo teve como objetivo investigar os efeitos de um programa de caminhada associado à restrição parcial do fluxo sanguíneo (RFS) em adultos jovens com assimetria de força entre membros  $\geq 10\%$ . A RFS foi aplicada unilateralmente no membro identificado como mais fraco antes da intervenção, a fim de verificar mudanças nas características musculares (força e espessura) e funcionais (parâmetros espaço-temporais da marcha em diferentes velocidades). Os principais achados indicam que o protocolo promoveu aumento na força dos plantiflexores (SC: 18,6%; SI: 30,4%) e dorsiflexores do tornozelo (SC: 13,6%; SI: 14,7%), e dos extensores (SC: 6,3%; SI: 17,5%) e flexores do joelho (SC: 7,4%; SI: 8,7%). Embora tenham sido identificados ganhos de força, apenas a força dos plantiflexores do SI e dos dorsiflexores de ambos os segmentos ultrapassou os limiares da Mudança Mínima Detectável (MMD). Esses achados, indicam que essas alterações excedem o erro de medida e, portanto, podem ser consideradas como relevantes. Do ponto de vista funcional, houve aumento da largura do passo nas velocidades auto-selecionada e rápida, enquanto os demais parâmetros espaço-temporais permaneceram inalterados. Ainda que a largura do passo tenha alcançado significância estatística, as alterações ficaram abaixo da MMD. Portanto, não é possível afirmar que tal modificação represente uma variação importante. Assim, a discussão dos resultados será conduzida com base na magnitude relativa das alterações, considerando que algumas variáveis não ultrapassaram os limiares de MMD. Essa abordagem é comparável à adotada por estudos anteriores, apesar de se absterem de reportar os limiares da MMD (ABE et al., 2009; ABE; KEARNS; SATO, 2006; PEREIRA NETO et al., 2018; SAKAMAKI; BEMBEN; ABE, 2011).

Trata-se do primeiro estudo a implementar um protocolo de caminhada associado à RFS, aplicado unilateralmente no membro mais fraco (SI), utilizando o membro contralateral mais forte como controle (SC). O delineamento intra-sujeito representa uma estratégia metodológica atrativa, uma vez que reduz a variabilidade interindividual e minimiza potenciais fatores de confusão, como diferenças nos níveis de atividade física – aumentando a sensibilidade e o poder estatístico do estudo (MONTOYA, 2023). Além disso, o modelo híbrido de intervenção, combinando sessões presenciais e domiciliares, mostrou-se eficaz em promover adaptações musculares substanciais e discretas alterações funcionais, além de favorecer a adesão ao protocolo. A taxa de adesão (~90%) foi semelhante às reportadas em treinamentos exclusivamente presenciais (FERRAZ et al., 2018; PETTERSSON; OLSSON; WAHLUND, 2005), o que sugere que estratégias híbridas podem representar alternativas promissoras para a implementação de programas de treinamento.

Um dos aspectos mais inovadores deste protocolo foi demonstrar que a RFS aplicada durante caminhada de baixa intensidade promoveu ganhos de força nos músculos localizados próximos à região ocluída (extensores e flexores do joelho) – tradicionalmente beneficiados pelo treinamento resistido associado à RFS –, bem como em músculos de segmentos adjacentes ao ponto de oclusão (plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo). As respostas dos protocolos de oclusão sobre os músculos mais distais têm sido menos documentadas. Esses achados reforçam o potencial da caminhada associada à RFS como alternativa aos protocolos convencionais de alta intensidade, especialmente para aqueles engajados em processos de reabilitação que podem ter dificuldades em tolerar treinamentos de intensidade mais elevada.

#### *Força muscular dos extensores e flexores do joelho*

O segmento-intervenção (SI) apresentou maiores ganhos de força nos extensores do joelho em comparação ao segmento-controle (SC) (17,5% vs. 6,4%), embora tais alterações não tenham superado os limiares da Mudança Mínima Detectável (MMD). Dessa forma, os resultados devem ser interpretados com cautela, considerando a magnitude relativa das mudanças como critério principal de análise.

Os resultados reforçam estudos prévios que relataram ganhos de força muscular decorrentes de programas de treinamento de baixa intensidade associados à RFS (FARAS et al., 2019; GILES et al., 2017; MOK et al., 2020). Os ganhos observados no SI foram maiores do que os relatados por Abe e colaboradores (2006), que documentaram um incremento de aproximadamente 10% após um protocolo de curta duração (3 semanas; 2x/dia; 6 dias/semana), com caminhada em esteira a 50 m/min, 5 séries de 2 minutos e 1 minuto de descanso entre séries (ABE; KEARNS; SATO, 2006a). Similarmente, Pereira Neto et al. (2019) observaram aumentos de 21,6% na força dos extensores do joelho após 12 semanas de treinamento em mulheres com osteoporose, com sessões de caminhada em esteira (15 min, 2x/semana, intensidade de 65% da frequência cardíaca máxima) (PEREIRA NETO et al., 2018). Nos protocolos de intervenção desses estudos, a velocidade de caminhada foi mantida constante ao longo do treinamento.

As discrepâncias nos ganhos de força entre estudos podem ser atribuídas a múltiplos fatores. Participantes com baixos níveis de atividade física (<150 min/semana), menor experiência em treinamento ou déficits iniciais mais acentuados apresentam maior margem de adaptabilidade. Logo, tais condições revelam maior potencial adaptativo para responder aos estímulos de treinamento e apresentar ganhos mais expressivos. Por outro lado, participantes fisicamente ativos (>300 min/semana) e treinados, ainda que apresentem assimetrias de força,

possuem menor margem de adaptação e podem responder de forma mais modesta aos mesmos estímulos (BULL et al., 2020; HORTOBÁGYI et al., 2003). Esse aspecto pode explicar parcialmente os resultados observados nos extensores do joelho do SI, que apresentavam um déficit inicial mais pronunciado. Além disso, o caráter progressivo da intervenção também pode ter desempenhado um papel importante. Diferentemente de estudos anteriores que adotaram protocolos de caminhada com intensidades fixas (i.e., velocidade constante ao longo de todo o programa) (ABE; KEARNS; SATO, 2006; PEREIRA NETO et al., 2018), o ajuste incremental da velocidade de caminhada pode ter demandado maior ativação muscular e recrutamento de unidades motoras e, consequentemente, favorecido respostas de força mais expressivas (CHUNG; WANG, 2010; SIMONSEN, 2014).

Ganhos de força também foram observados nos flexores do joelho em resposta à intervenção (SC: 7,4%; SI: 8,7%). No entanto, esses incrementos também permaneceram abaixo dos limiares da MMD, o que indica que a magnitude das alterações pode não refletir mudanças relevantes. Ainda assim, esperava-se que o SI apresentasse adaptações mais acentuadas, por ter sido diretamente exposto à RFS. Algumas hipóteses podem explicar esse achado. As discrepâncias iniciais de força foram identificadas apenas na musculatura extensora do joelho, enquanto a força dos flexores era semelhante entre os membros inferiores, reduzindo a margem de adaptação (AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE, 2009). Além disso, a caminhada impõe demandas distintas aos músculos flexores e extensores. Os extensores do joelho desempenham papel central na marcha, especialmente na propulsão do corpo à frente (CHUNG; WANG, 2010; SIMONSEN, 2014), e apresentam fibras curtas combinadas com uma maior área de secção transversal, o que favorece incrementos de força e hipertrofia (EVANGELIDIS et al., 2016). Durante a caminhada, os extensores também exibem níveis de ativação aproximadamente duas vezes superiores aos dos flexores (20-30% vs. 10-15% da CVMI) (SIMONSEN, 2014). A menor ativação dos flexores sugere que a intensidade do estímulo imposto pode ter permanecido abaixo de um limiar mínimo necessário para induzir adaptações expressivas. Assim, é plausível que os ganhos moderados observados nessa musculatura reflitam sua menor exigência funcional durante a caminhada.

#### *Força muscular dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo*

O protocolo de caminhada associado à RFS também promoveu ganhos na força na musculatura do tornozelo – localizada distalmente ao ponto de aplicação do manguito. O SI apresentou aumento de 30,4% nos plantiflexores, enquanto o SC registrou incremento de 18,6%. Os dorsiflexores também demonstraram melhorias em ambos os segmentos, com

aumentos de 14,7% no SI e 13,6% no SC. Ao comparar esses resultados com os limiares da MMD, observa-se que os ganhos superaram o erro de medida nos plantiflexores do SI (MMD: 28,5%) e nos dorsiflexores de ambos os segmentos (MMD: 4,7% no SI e 4,8% no SC). Logo, essas alterações representam mudanças importantes, não atribuíveis ao acaso, a erros de medida ou à variabilidade interindividual. Dessa forma, as adaptações observadas na musculatura do tornozelo constituem evidências consistentes dos efeitos positivos do protocolo.

Os ganhos expressivos nos plantiflexores do SI podem ser explicados pelo efeito combinado da RFS e da maior ativação funcional durante a caminhada. O gastrocnêmio medial (GM) desempenha papel central na propulsão do corpo, gerando grande quantidade de força para impulsionar o tronco à frente a cada passo. Em contraste, o tibial anterior (TA) atua principalmente na dorsiflexão do tornozelo durante a fase de balanço, o que demanda menor recrutamento quando a marcha é realizada em terreno plano (AKALAN et al., 2018; LIN et al., 2021). A aplicação da oclusão no SI pode ter potencializado o estresse metabólico e o recrutamento de unidades motoras, aumentando a intensidade do estímulo aplicado nos plantiflexores e contribuindo para os ganhos superiores observados. Além disso, a natureza do protocolo de treinamento tende a favorecer adaptações nessa musculatura, uma vez que a velocidade de caminhada foi progressivamente aumentada ao longo de todo o período de intervenção. Incrementos progressivos na velocidade da marcha podem ter demandado maior ativação dos plantiflexores do tornozelo, especialmente do GM (LUNG et al., 2021).

Por fim, características intrínsecas do GM podem ter contribuído para sua maior adaptabilidade. O GM é predominantemente composto por fibras do tipo II, capazes de gerar força rapidamente, e apresenta alta ativação durante a marcha em terreno plano ( $> 83\%$ ), em comparação a outros músculos do membro inferior (ALEXANDER; SCHWAMEDER, 2016). Dessa forma, a função dos plantiflexores durante a caminhada, as características anatômicas da musculatura e a natureza incremental do estímulo imposto ao longo do protocolo podem explicar tais ganhos de força muscular.

### *Segmento-controle vs. segmento-intervenção*

O presente protocolo de intervenção promoveu ganhos de força no membro mais fraco (segmento-intervenção). Contudo, o segmento-controle também apresentou aumentos de força muscular. Os incrementos progressivos na carga de treinamento – incluindo ajustes na cadência, na velocidade e na duração das sessões – podem ter favorecido as melhorias no segmento-controle. Adicionalmente, uma possível explicação para esse ganho é a educação cruzada, na qual adaptações neurais decorrentes do treinamento em um hemicorpo promovem mudanças no

membro contralateral, mesmo na ausência de aplicação direta de estímulos (HARPUT et al., 2019). Além disso, adaptações sistêmicas induzidas pelo estresse metabólico do treinamento, como alterações hormonais e adrenérgicas, podem ter contribuído para os incrementos observados em ambos os membros (DE RENTY et al., 2023; MILLER et al., 2021). Esses mecanismos combinados indicam que tanto efeitos neurais contralaterais quanto adaptações metabólicas sistemáticas, aliados à progressão do estímulo, desempenham papel relevante nos ganhos de força unilateral e bilateral.

### *Assimetria de força*

No presente estudo, os participantes foram selecionados com base em um critério de inclusão que exigia assimetria intermembros  $\geq 10\%$  na musculatura extensora do joelho. Como esperado, esse grupo muscular apresentou discrepâncias iniciais entre os membros, as quais foram parcialmente reduzidas após o protocolo, passando de aproximadamente 15% para 11% ao final da intervenção. Considerando que cada aumento de 1% na assimetria de torque está associado a um incremento significativo do risco de lesões musculoesqueléticas (WANG; QIN; ZHANG, 2025), essa redução representa uma melhora funcional relevante, mesmo que os valores finais permaneçam ligeiramente acima do valor de referência tolerável ( $\sim 10\%$ ) (BETTARIGA et al., 2022; BISHOP; TURNER; READ, 2018). Ressalta-se que o presente estudo não se propôs a investigar os fatores responsáveis pelas assimetrias observadas, e que os participantes eram fisicamente ativos e sem histórico de lesões musculoesqueléticas, sugerindo que os déficits iniciais de força eram relativamente modestos. Em contextos clínicos, nos quais assimetrias tendem a ser mais pronunciadas, intervenções semelhantes poderiam resultar em reduções ainda mais expressivas (BISHOP et al., 2019; FORT-VANMEERHAEGHE et al., 2020).

Embora o protocolo tenha promovido aumentos de força em todos os grupos musculares avaliados (plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, extensores e flexores do joelho), a análise baseada nos limiares da MMD revelou que apenas os ganhos nos plantiflexores do segmento submetido à RFS e nos dorsiflexores de ambos os segmentos ultrapassaram esse limiar, indicando mudanças relevantes. Dessa forma, embora não tenham sido identificadas assimetrias iniciais nos músculos do tornozelo, os resultados sugerem que o protocolo de caminhada associado à RFS pode ser particularmente eficaz para prevenir ou minimizar possíveis discrepâncias de força nesse segmento, ao promover adaptações significativas e acima do erro de medida.

Por outro lado, os ganhos na musculatura ao redor do joelho, embora significativos, permaneceram abaixo do limiar da MMD, indicando que a intensidade do estímulo gerado pela caminhada isoladamente pode não ser suficiente para induzir adaptações musculares mais expressivas nesse grupo muscular. Esses achados reforçam a importância da especificidade do estímulo em protocolos de baixa intensidade; enquanto a caminhada associada à RFS se mostrou bastante eficaz para ativar a musculatura do tornozelo e promover melhorias consistentes, a musculatura do joelho pode demandar estímulos adicionais, como exercícios de extensão e flexão com carga externa, para que as adaptações ultrapassem o limiar de detecção mínima. Dessa forma, em contextos nos quais cargas elevadas são contraindicadas ou pouco recomendadas, especialmente nas fases iniciais de reabilitação, o protocolo de caminhada associado à RFS se apresenta como uma intervenção segura, eficaz e de grande aplicabilidade clínica, capaz de promover ganhos de força relevantes na musculatura do tornozelo e auxiliar na manutenção do equilíbrio intermembros. As baixas respostas inflamatórias em resposta ao treinamento de baixa intensidade associado à RFS encorajam a combinação de protocolos que envolvam caminhadas e exercícios localizados com oclusão como forma de potencializar as respostas dos músculos que atuam ao redor do joelho. Dessa forma, em contextos em que altas cargas são contraindicadas ou não recomendadas em fases iniciais de reabilitação, o protocolo de caminhada associada à RFS se apresenta como uma intervenção segura, eficaz e de aplicabilidade clínica, capaz de contribuir para a redução de assimetrias, especialmente na musculatura do tornozelo.

### *Espessura muscular*

Apesar dos ganhos de força observados nos músculos do joelho e do tornozelo, o protocolo de treinamento não resultou em alterações na espessura muscular. Esse achado reforça a natureza complexa e não linear da relação entre a produção de força e a hipertrofia (HAUN et al., 2019; JORGENSEN; PHILLIPS; HORNBERGER, 2020). Considerando que os participantes apresentavam elevado nível de atividade física ( $\geq 300\text{min/semana}$ ), é plausível que a capacidade adaptativa estrutural estivesse relativamente reduzida, uma vez que sujeitos fisicamente ativos ou envolvidos em treinamento sistematizado tendem a apresentar menor responsividade hipertrófica diante de novos estímulos (FONSECA et al., 2023). Nesse cenário, os incrementos de força observados podem ter decorrido de adaptações predominantemente neurais. Essas adaptações compreendem maior eficiência no recrutamento de unidades motoras, aprimoramento da coordenação intra- e intermuscular e aumento da sincronização neural, que são mecanismos estabelecidos como determinantes de ganhos de força e ausência de hipertrofia

(AAGAARD et al., 2002; ALIX-FAGES et al., 2022). Adicionalmente, evidências sugerem que mudanças morfológicas podem ocorrer em níveis microscópicos, sem necessariamente serem detectadas por medidas tradicionais de hipertrofia, como a espessura muscular avaliada por ultrassonografia (HAUN et al., 2019). Assim, a ausência de alterações mensuráveis pode refletir tanto a limitada sensibilidade do método quanto a magnitude relativamente baixa do estímulo mecânico imposto pela caminhada associada à RFS, especialmente em participantes fisicamente ativos, cuja responsividade hipertrófica tende a ser menor (HAUN et al., 2019; JORGENSON; PHILLIPS; HORNBERGER, 2020). Por fim, aumentos de força podem ocorrer independentemente de mudanças estruturais detectáveis, particularmente em indivíduos treinados ou expostos a estímulos que priorizam estresse metabólico em detrimento de sobrecarga mecânica elevada (HAUN et al., 2019; JORGENSON; PHILLIPS; HORNBERGER, 2020). Esses achados reforçam a distinção entre adaptações neurais e morfológicas e destacam o papel do nível de treinamento e da natureza do estímulos aplicado na determinação das respostas adaptativas em protocolos que empregam RFS.

#### *Parâmetros espaço-temporais da marcha*

Acreditava-se que o treinamento pudesse promover melhorias funcionais mais amplas nos parâmetros espaço-temporais da marcha, uma vez que intervenções associadas à RFS têm sido relacionadas a adaptações neuromusculares relevantes. No entanto, os resultados indicaram mudanças discretas. A única alteração identificada foi um aumento da largura do passo nas velocidades auto-selecionada e rápida. Embora modesto, esse incremento pode refletir uma adaptação sutil no controle médio-lateral da marcha, uma vez que a ampliação da base de apoio tem sido associada a maior estabilidade dinâmica, especialmente em situações que demandam ajustes posturais rápidos. Ainda assim, ao considerar os limiares da MMD, observa-se que os aumentos na largura do passo não ultrapassaram os valores estabelecidos (VASC: 1,88 cm; VRC: 2,05 cm), o que exige uma interpretação cautelosa desses achados.

A ausência de mudanças mais pronunciadas pode ser explicada pela natureza multifatorial da marcha, que é influenciada pela idade (ROWE; BEAUCHAMP; ASTEPHEN WILSON, 2021), condições clínicas (PATEL et al., 2022), aspectos psicossociais (DELBAERE et al., 2004) e características musculoesqueléticas, como a força dos membros inferiores, que são determinantes para a estabilidade da marcha (GHAZWAN et al., 2022; HAK et al., 2013). Portanto, o aumento isolado da largura do passo merece atenção, sobretudo considerando-se que a amostra era composta por adultos jovens, fisicamente ativos e sem histórico de lesões musculoesqueléticas, contexto no qual se espera que os parâmetros da marcha permaneçam

relativamente estáveis. Alterações mais expressivas na largura do passo são comumente observadas em idosos ou em pessoas com comprometimentos funcionais relevantes, nos quais esse padrão surge como estratégia compensatória para aumentar a estabilidade e reduzir o risco de quedas (PARK; BAE, 2025). Assim, embora os incrementos observados não tenham excedido a MMD e devam ser interpretados com cautela, é possível que o protocolo tenha favorecido respostas adaptativas discretas relacionadas ao controle médio-lateral da marcha. Investigações adicionais são necessárias para testar essa hipótese.

#### *Integração dos achados e implicações práticas*

Este estudo oferece contribuições relevantes ao campo do treinamento físico e da reabilitação ao aplicar um protocolo de caminhada associado à RFS, direcionado especificamente ao segmento mais fraco, tendo o segmento contralateral como controle. O delineamento experimental permitiu isolar os efeitos da intervenção, reduzindo a variabilidade interindividual e aumentando a sensibilidade na detecção das adaptações neuromusculares. Um aspecto de destaque foi a implementação de um modelo híbrido de treinamento, combinando sessões supervisionadas e domiciliares, que se mostrou viável e capaz de gerar ganhos de força mesmo em condições de menor supervisão. Além disso, a progressão gradual do protocolo mostrou-se importante para elevar a intensidade do treinamento sem induzir respostas adversas. De forma geral, os achados reforçam o potencial da caminhada associada à RFS como uma alternativa segura, acessível e aplicável para reduzir assimetrias de força muscular, especialmente na musculatura ao redor do tornozelo. Considerando que a intervenção reduziu assimetrias de força a níveis aceitáveis, torna-se pertinente expandir a investigação para cenários em que os déficits musculares são mais pronunciados. Assim, o estudo subsequente foi delineado para examinar a aplicabilidade desse protocolo em adultos jovens que apresentam assimetrias de força mais acentuadas e maior comprometimento funcional (ex., fases intermediárias e tardia de reabilitação pós-reconstrução de LCA).

#### *Limitações*

Este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. Primeiramente, os efeitos do treinamento podem ser mais evidentes em participantes com assimetrias mais pronunciadas, devido à maior margem adaptativa. Além disso, embora a hipertrofia muscular seja frequentemente avaliada por meio da espessura muscular, essa medida pode não ser o indicador mais sensível para detectar alterações estruturais em protocolos de baixa intensidade. Mudanças morfológicas discretas podem não ter sido totalmente captadas, o que limita a interpretação dos efeitos estruturais da intervenção. As assimetrias residuais de força

permaneceram acima dos valores considerados clinicamente relevantes (~10%) mesmo após o período de treinamento. Esse achado sugere que, apesar das melhorias observadas, a duração da intervenção pode ter sido insuficiente para promover a restauração completa dos desequilíbrios musculares, indicando que protocolos mais prolongados poderiam potencializar a redução dessas diferenças. Adicionalmente, embora tenham sido identificados ganhos de força nos extensores e flexores do joelho, essas melhorias não ultrapassaram os limiares da MMD. Isso indica que parte das mudanças observadas pode refletir erros de medida, variabilidade dos participantes, em vez de representar adaptações importantes. Assim, os resultados devem ser interpretados com cautela, reforçando a necessidade de estudos futuros para confirmar esses achados. Ainda assim, considerando a segurança, a viabilidade e os benefícios funcionais observados, a caminhada associada à RFS configura-se como uma alternativa de baixo custo, fácil aplicação e potencial clínico relevante para auxiliar na reabilitação de assimetrias musculares.

### **3.4 CONCLUSÃO**

Este é o primeiro estudo a aplicar a RFS durante um protocolo de caminhada especificamente direcionado ao segmento com déficit de força (SI), utilizando o membro contralateral como controle (SC). Esse delineamento intra-sujeito permitiu isolar o efeito da intervenção, reduzindo a variabilidade interindividual e fortalecendo a interpretação dos resultados. Entre as adaptações observadas, os ganhos de força nos plantiflexores do SI e nos dorsiflexores de ambos os segmentos (SI e SC) ultrapassaram os limiares da MMD, demonstrando a efetividade do protocolo sobre a musculatura do tornozelo como principal efeito da intervenção. Alterações na força dos extensores e flexores do joelho, bem como a maior largura do passo, permaneceram abaixo dos limiares da MMD. Por outro lado, essas variações podem representar respostas relevantes, especialmente quando comparadas àquelas empregadas em protocolos de treinamento comparáveis que combinaram a caminhada com RFS. Portanto, essas tendências adaptativas merecem atenção em contextos clínicos e esportivos. O formato híbrido – combinando sessões supervisionadas e domiciliares – mostrou-se viável e favoreceu a continuidade do treinamento. A natureza acessível aliada à baixa intensidade e à progressão gradual da intensidade demonstrou que essa abordagem pode ser especialmente tolerável, segura e acessível para diferentes perfis – pessoas com lesões musculoesqueléticas, sem experiência prévia em treinamento ou em processo de reabilitação, que tendem a apresentar maiores assimetrias de força. Além do contexto clínico, o treinamento

de caminhada associado à RFS também pode demonstrar utilidade no ambiente esportivo e no desempenho físico em geral, beneficiando aqueles que buscam ganhos neuromusculares adicionais, bem como aqueles que almejam melhorar sua capacidade funcional e qualidade de vida por meio de métodos de treinamento inovadores e adaptáveis. Por fim, o protocolo de treinamento apresenta-se como uma solução prática e promissora para atenuar desequilíbrios musculares.

**CAPÍTULO 4**  
**ESTUDO EXPERIMENTAL 2**

**TÍTULO:** Efeitos de 12 semanas de Treinamento de Caminhada associado à Restrição de Fluxo Sanguíneo nos Aspectos Musculares, Funcionais e Perceptuais de Adultos com Lesão no Ligamento Cruzado Anterior: Ensaio Clínico Não Randomizado com Abordagem Intra-Sujeito

**1. Artigo publicado:** Uma parte do Estudo 2 intitulada “*Walking with Blood Flow Restriction on Lower Limb Muscles Post-ACL Reconstruction: A Within-Subject Trial*” foi publicada na PLOS One, 2025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0333200>.

**2. Artigo submetido:** “*Blood Flow Restriction Walking Therapy for Gait Rehabilitation following Anterior Cruciate Ligament (ACL) Reconstruction: A Within-Subject Trial*” (Periódico: Gait & Posture; IF: 2.4).

**3. Artigo submetido:** “*Effects of Blood Flow Restriction Walking on Knee Perceptual Outcomes After ACL Reconstruction: A Within-Subject Study*” (Periódico: Journal of Bodywork & Movement Therapies; IF: 1.4).

#### 4 INTRODUÇÃO

O ligamento cruzado anterior (LCA) é fundamental para a estabilidade do joelho, restringindo o deslocamento anterior da tibia e controlando as forças rotacionais da articulação (SCHOEPP et al., 2025). Contudo, trata-se de um dos ligamentos mais suscetíveis a lesões, com incidência anual estimada entre 30 e 78 casos por 100.000 pessoas (LARWA et al., 2021), especialmente em atletas engajados em esportes que exigem desacelerações rápidas, mudanças de direção e aterrissagens unilaterais (MONTALVO et al., 2019). No cenário global, mais de 2 milhões de lesões do LCA ocorrem anualmente, e a reconstrução cirúrgica é frequentemente indicada para jovens fisicamente ativos (DRIGNY et al., 2022).

Estima-se que aproximadamente 76,6% dessas lesões necessitem de intervenção cirúrgica, embora essa prevalência varie conforme o gênero, a modalidade esportiva e as estratégias de prevenção (HUGHES et al., 2018). Apesar do sucesso cirúrgico, o período pós-operatório impõe desafios complexos, que podem comprometer a recuperação (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020). A inibição neuromuscular, a atrofia muscular, a presença de dor e edema, além da restrição da amplitude de movimento, constituem os principais obstáculos (LARWA et al., 2021). Em conjunto, esses fatores contribuem para déficits de força, alterações nos padrões de movimento e atraso no retorno às atividades físicas regulares (MONTALVO et al., 2019). Cerca de 35% dos atletas não retornam ao nível pré-lesão em até dois anos após a cirurgia, e metade aponta a lesão como principal motivo da redução da prática esportiva (ARDERN et al., 2014; WEBSTER; FELLER, 2019). Essas limitações aumentam o risco de desenvolvimento precoce de osteoartrite e de outras disfunções articulares, impactando

significativamente a função do membro inferior e a qualidade de vida (JORDAN; BISHOP, 2023; KOTSIFAKI et al., 2023; ROHMAN; STEUBS; TOMPKINS, 2015).

Assimetrias de força entre os membros inferiores podem estar presentes antes da ocorrência da lesão do LCA, sendo reconhecidas como fatores de risco predisponentes ao trauma. Após a lesão, essas diferenças geralmente se agravam devido a múltiplos fatores: necessidade de restringir as atividades, inibição neuromuscular – um mecanismo protetor que limita o estresse sobre a articulação (FOLEY et al., 2025; RIDHA et al., 2025; SCHOEPP et al., 2025). O monitoramento das assimetrias de força é um parâmetro crítico para a tomada de decisão clínica quanto à restituição funcional, assegurando um retorno seguro às atividades diárias e esportivas (FOLEY et al., 2025; RIDHA et al., 2025; SCHOEPP et al., 2025). Índices de assimetria superiores a 10% em testes funcionais têm sido associados a maior risco de recidiva (SCINICARELLI et al., 2021).

Além da discrepância na capacidade de produzir força entre membros, déficits neuromusculares e proprioceptivos geram padrões compensatórios e impactam o desempenho de marcha (HART et al., 2016). Reduções do tempo de apoio e do impulso no membro operado, aumento do tempo de duplo apoio, diminuição da cadência e do comprimento do passo e maior variabilidade da marcha têm sido reportados em períodos pós-operatórios (PALMIERI-SMITH; LEPLEY, 2015; PATERNO et al., 2007; ZENI; HIGGINSON, 2009). No entanto, mesmo após a alta clínica, essas assimetrias podem persistir, prolongando o tempo de reabilitação, comprometendo a mobilidade funcional e aumentando o risco de sobrecarga articular e, consequentemente, de recidiva (COLAPIETRO et al., 2022; HART et al., 2016; MOIROUX-SAHRAOUI et al., 2025). A restauração dos parâmetros espaço-temporais da marcha constitui um marcador sensível e objetivo da recuperação funcional, refletindo a reintegração coordenada do sistema neuromuscular e sensorial. A análise de parâmetros funcionais permite quantificar o progresso clínico e a eficácia de intervenções voltadas à reabilitação e pode ser útil como parâmetro para o retorno às atividades diárias e esportivas (HART et al., 2016; PALMIERI-SMITH; LEPLEY, 2015; PATERNO et al., 2007).

Evidências indicam que fatores perceptuais e psicossociais desempenham um papel determinante nos desfechos pós-reconstrução do LCA. Pacientes com menor sintomatologia subjetiva e maior percepção de função articular apresentam maior probabilidade de retornar ao nível pré-lesão na atividade esportiva (HÖGBERG et al., 2025). Dentre aqueles que retornam ao esporte, há relatos de maior autoeficácia relacionada ao joelho, emoções mais positivas, maior confiança e percepção de controle do risco, em comparação com aqueles que não retornam (HÖGBERG et al., 2025). Pacientes que atingem suas metas de reabilitação –

frequentemente associadas ao retorno ao nível pré-lesão – relatam melhor função percebida, maior confiança e motivação, além de maior disposição emocional. Tais aspectos favorecem a adesão, a continuidade do tratamento e o sucesso funcional (HÖGBERG et al., 2025).

Apesar dos avanços contínuos das estratégias e protocolos empregados no processo de reabilitação, os desfechos funcionais ainda permanecem abaixo do ideal (LI et al., 2023). A grande variabilidade entre os protocolos acentua a heterogeneidade dos resultados clínicos, tornando o processo de recuperação imprevisível (DEPHILLIPO et al., 2018). Independentemente da abordagem adotada, um dos principais objetivos da reabilitação é a restauração da função e da força dos principais músculos envolvidos no controle da articulação do joelho, especialmente do quadríceps e dos isquiotibiais (LARWA et al., 2021). Uma das formas mais usuais para induzir respostas hipertróficas e ganhos de força é o treinamento resistido, que envolve estímulos com intensidades moderadas a altas (entre 60% e 80% de 1RM). Todavia, intensidades elevadas, especialmente nas fases iniciais da reabilitação, nem sempre são bem toleradas devido à dor, à inflamação, ao edema e à sensação de instabilidade articular (CENTNER et al., 2019; ERICKSON et al., 2019). Dificuldades em tolerar tais estímulos podem persistir ao longo de outras fases da reabilitação (FOLEY et al., 2025; HÖGBERG et al., 2025; RIDHA et al., 2025).

Nesse contexto, o treinamento resistido de baixa intensidade, associado à restrição de fluxo sanguíneo (RFS), surge como uma alternativa atrativa (HUGHES et al., 2018). A técnica consiste na realização de exercícios de baixa intensidade (< 30% de 1RM), enquanto o fluxo sanguíneo é restrinido, total ou parcialmente, por meio de um manguito pneumático posicionado proximalmente na coxa. Os efeitos benéficos estão associados a mecanismos neuromusculares e metabólicos (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020; LI et al., 2023), decorrentes de um ambiente hipóxico induzido pela oclusão vascular, que favorece o recrutamento de fibras de contração rápida (LOENNEKE et al., 2012; YASUDA et al., 2010). A RFS também reduz o risco de sobrecarga articular, diminui a dor e melhora a função e a qualidade de vida, o que é desejável nos períodos inicial e intermediário do processo de reabilitação (LI et al., 2023).

Mais recentemente, a aplicação da RFS em atividades funcionais dinâmicas, como a caminhada, tem despertado interesse. A integração de estímulos metabólicos e neuromusculares em um contexto locomotor permite melhorar a mobilidade e o desempenho funcional, sem que se imponha estresse mecânico excessivo ao enxerto (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020; HSIEH et al., 2024). Além dos benefícios fisiológicos, a intervenção promove benefícios perceptuais, incluindo redução da dor, aumento da funcionalidade e melhor qualidade de vida, comparáveis ou superiores aos observados em treinamentos com estímulos de alta intensidade (TENNENT

et al., 2017). O efeito hipoalgésico associado à pressão do manguito, aliado ao acúmulo transitório de metabólitos, eleva o limiar de dor e reduz a percepção de esforço, permitindo adaptações musculares aceleradas (HUGHES; PATTERSON, 2020; KARANASIOS et al., 2023).

Protocolos que combinam RFS e caminhada têm demonstrado ganhos expressivos de força, hipertrofia muscular e função em pessoas saudáveis, sem histórico de reconstrução do LCA (ABE; KEARNS; SATO, 2006; CLARKSON; CONWAY; WARMINGTON, 2017; OGAWA et al., 2012; OZAKI et al., 2011; PEREIRA NETO et al., 2018; SAKAMAKI; BEMBEN; ABE, 2011). No capítulo anterior, demonstrou-se que o treinamento de caminhada associado à restrição parcial de fluxo sanguíneo é capaz de reduzir assimetrias de força nos membros inferiores de adultos jovens sem histórico de lesões ou procedimentos cirúrgico de reconstrução de LCA. As mudanças foram mais pronunciadas na musculatura que atua ao redor do tornozelo e, em menor magnitude, na musculatura do joelho. Entretanto, os ganhos observados nos extensores e flexores do joelho permaneceram abaixo do limiar da MMD. Por outro lado, participantes com déficits mais acentuados – como aqueles submetidos à reconstrução do LCA – podem apresentar respostas mais expressivas ao treinamento de caminhada associado à RFS. Além disso, as evidências sobre os efeitos dessa intervenção no período intermediário e tardio ( $> 6$  meses) de reabilitação após a reconstrução do LCA ainda são limitadas, especialmente quanto à força, hipertrofia, marcha e percepção funcional. Diante dessas lacunas, o presente estudo visou avaliar os efeitos de 12 semanas de caminhada associada à RFS em participantes submetidos à reconstrução do LCA. A análise buscou contemplar três domínios de análise: (i) modificações na força e hipertrofia – avaliadas por medidas de força e espessura dos músculos do joelho e tornozelo; (ii) funcionalidade – analisada por parâmetros espaço-temporais da marcha em diferentes velocidades de caminhada; e (iii) desfechos perceptivos decorrentes da intervenção – refletidos pela percepção de função, sintomas, medo do movimento e qualidade de vida. Espera-se que os achados forneçam subsídios para estratégias de reabilitação seguras, eficazes e aplicáveis.

## 4.1 MÉTODOS

### 4.1.2 Características do estudo e cálculo amostral

O presente estudo constituiu um ensaio clínico não-randomizado com delineamento intra-sujeito, envolvendo adultos jovens submetidos à reconstrução do ligamento cruzado

anterior (LCA) entre 6 e 24 meses antes da inclusão no estudo. As demais informações relacionadas às características do estudo e ao cálculo amostral estão disponíveis no item 3.1.2 (Características do estudo e cálculo amostral).

#### 4.1.3 Critérios de elegibilidade

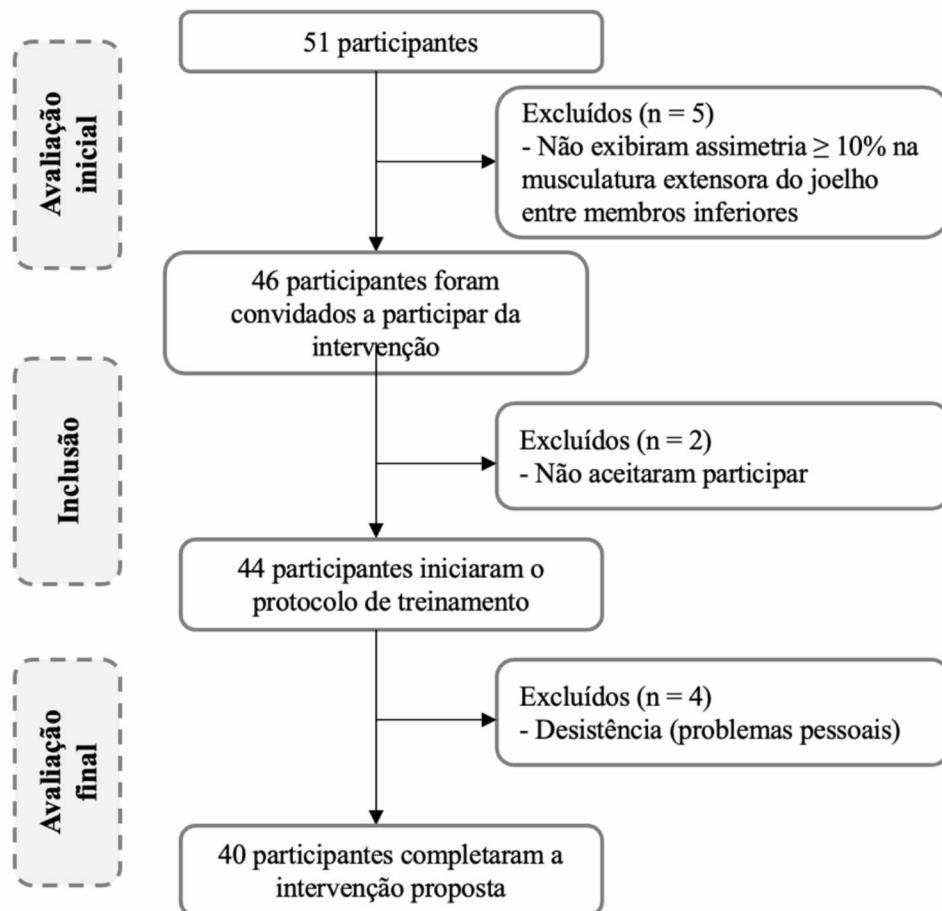
Os critérios de elegibilidade incluíram participantes com idade entre 18 e 59 anos, de ambos os gêneros, que apresentassem: (i) histórico de reconstrução unilateral do LCA, estando na fase intermediária (6-9 meses) ou tardia ( $\geq 9$  até 24 meses) da reabilitação; (ii) fraqueza muscular clinicamente relevante, definida como déficit de força  $\geq 10\%$  nos músculos extensores do joelho em relação ao membro contralateral (média = 17%), garantindo uma amostra funcionalmente homogênea independentemente do tempo de pós-operatório; (iii) liberação médica para a realização do protocolo de treinamento; e (iv) ausência de histórico de cirurgia prévia em ambos os joelhos (reconstruído e contralateral). Os demais critérios de elegibilidade, relacionados à diretrizes de segurança para aplicação da RFS, podem ser encontrados no capítulo 3 (Critérios de elegibilidade – item 3.1.3). Todos os critérios foram verificados por meio de uma triagem inicial, que contou com o auxílio de um ortopedista.

#### 4.1.4 Procedimentos

As informações sobre os procedimentos experimentais do presente estudo estão descritas no item 3.1.4 (Procedimentos). Os aspectos perceptuais do joelho foram avaliados por meio do Knee Injury Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), da Lysholm Knee-scoring Scale (LKS) e da Tampa Scale for Kinesiophobia (TSK).

Inicialmente, 51 adultos com histórico de lesão do LCA foram avaliados. Destes, 46 (90,2%) apresentaram assimetria de força  $\geq 10\%$  na musculatura extensora do joelho e atenderam aos critérios de elegibilidade, sendo convidados a participar do programa de treinamento. Entretanto, 44 participantes aceitaram prosseguir, e outros 4 abandonaram o estudo durante o período de treinamento por motivos pessoais ou não relacionados ao estudo. Desta forma, 40 participantes (21 mulheres [52%]; 19 homens [48%]) concluíram integralmente todos os procedimentos. A distribuição do recrutamento é apresentada na Figura 7.

FIGURA 7 – Fluxograma dos participantes do Estudo 2.



Fonte: O autor (2025).

#### 4.1.5 Instrumentos de pesquisa

As informações sobre os instrumentos encontram-se no capítulo 3, composto pelo perfil antropométrico (item 3.1.5.1), nível de atividade física e comportamento sedentário (item 3.1.5.2), análise da marcha (3.1.5.3), avaliação da força (3.1.5.4) e espessura muscular (3.1.5.5).

##### 4.1.5.1 Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score

O “Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score” (KOOS), desenvolvido por (Roos et al. (1998) e adaptado e validado para a versão português (Gonçalves et al., 2009)é um instrumento amplamente utilizado para avaliar a percepção do paciente em relação a sintomas e limitações funcionais decorrentes de lesões do joelho e seus efeitos na qualidade de vida (ANEXO 5) (ROOS et al., 1998). O KOOS foi concebido para investigar desfechos em jovens

com lesões traumáticas – como ruptura do LCA e lesões meniscais. O questionário compreende cinco subescalas: (i) dor, que avalia a frequência e a gravidade da dor durante diferentes atividades funcionais; (ii) sintomas, incluindo rigidez, estalidos, edema e limitações de amplitude de movimento; (iii) função nas atividades de vida diária (AVDs); (iv) função em esportes e recreação; e, (v) qualidade de vida relacionada ao joelho (COLLINS et al., 2011; LARSEN et al., 2023; ROOS, 2024).

Cada item é avaliado em uma escala Likert de 5 pontos (0-4), e as pontuações são transformadas em uma escala de 0 a 100, na qual 0 representa sintomas extremos e 100 ausência total de sintomas. Cada subescala é analisada de forma independente, o que permite identificar domínios específicos afetados pela condição clínica. O KOOS apresenta excelente confiabilidade teste-reteste ( $ICC = 0,82 - 0,94$ ), boa consistência interna ( $\alpha > 0,80$ ) e alta sensibilidade para detectar mudanças clínicas ao longo do tempo. É descrita como uma ferramenta válida, responsiva e amplamente utilizada na avaliação longitudinal de intervenções de reabilitação do joelho (GONÇALVES et al., 2009).

#### 4.1.5.2 Lysholm Knee-scoring Scale

A “*Lysholm Knee Scoring Scale*” (LKS), originalmente proposta por Lysholm et al. (1982) e adaptada e validada para o português (PECCIN et al., 2006). É uma escala específica para avaliar os resultados funcionais de cirurgias ligamentares do joelho, com ênfase nos sintomas de instabilidade articular (ANEXO 6) (COLLINS et al., 2011; LYSHOLM; GILLQUIST, 1982; PECCIN; CICONELLI; COHEN, 2006). A versão revisada contempla oito domínios clínicos: claudicação, apoio, travamento articular, instabilidade, dor, edema, subir escadas e agachar.

Cada item possui pontuação específica, resultando em um escore total de 0 a 100 pontos, em que escores mais altos indicam melhor função e escores menores indicam a presença de sintomas. Os resultados são interpretados da seguinte forma: excelente (95-100 pontos); bom (84-94 pontos); regular (65-83 pontos) e ruim ( $\leq 64$  pontos). A LKS apresenta boa confiabilidade teste-reteste ( $ICC = 0,70 - 0,80$ ) e consistência interna adequada ( $\alpha = 0,76$ ), demonstrando validade convergente com outras medidas de função do joelho e sensibilidade para detectar mudanças clínicas após intervenções cirúrgicas e de reabilitação (COLLINS et al., 2011; PECCIN; CICONELLI; COHEN, 2006).

#### 4.1.5.3 Tampa Scale for Kinesiophobia

A “*Tampa Scale for Kinesiophobia*” (TKS; MILLER et al., 1991) é um instrumento destinado a avaliar o medo de movimento e de recidiva associado à prática de atividades físicas na presença de dor musculoesquelética, especialmente em condições crônicas (MILLER, Robert P; KORI; TODD, 1991; SIQUEIRA; TEIXEIRA-SALMELA; MAGALHÃES, 2007). O instrumento foi adaptado e validado para o português (SIQUEIRA et al., 2007) e é considerado uma medida importante para compreender os aspectos psicossociais que interferem na recuperação funcional.

O questionário é composto por 17 afirmações, avaliadas por meio de uma escala Likert de 4 pontos (1 [discordo totalmente] – 4 [concordo totalmente]), refletindo a concordância do avaliado com sentenças relacionadas à crença de vulnerabilidade física, ao medo de movimento e à percepção de risco de recidiva. A pontuação total varia de 17 a 68 pontos, e valores mais altos indicam maior medo na execução de movimentos. Estudos de validação demonstram excelente consistência interna ( $\alpha = 0,80 - 0,85$ ) e confiabilidade teste-reteste ( $ICC = 0,64 - 0,91$ ), além de forte validade convergente com escalas de dor, catastrofização e incapacidade funcional (FRENCH et al., 2007). A TKS está disponível no ANEXO 7.

#### 4.1.6 Procedimentos experimentais

As informações relacionadas à intervenção podem ser acessadas no capítulo 3, assim como a determinação da pressão de restrição do fluxo sanguíneo (item 3.1.6.1), sessão de familiarização e condução do treinamento (3.1.6.2), estrutura do protocolo de treinamento (3.1.6.3), adesão, monitoramento e suporte (3.1.6.4) e percepção de esforço e desconforto (item 3.1.6.5).

#### 4.1.7 Análise dos dados

A caracterização dos participantes foi realizada por meio de estatística descritiva (média, desvio padrão, mediana, amplitude e porcentagem). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, e a homogeneidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene. Para comparar características pessoais e a assimetria de força muscular intermembros na musculatura ao redor do tornozelo e do joelho foi aplicado o teste t para medidas dependentes, considerando os momentos pré- e pós-intervenção. As mudanças nas

características musculares (força e espessura) e nos parâmetros espaço-temporais da marcha em cada condição de velocidade (VASC e VRC) foram avaliadas por meio do Modelo Linear Misto (MLM), considerando os efeitos principais do tempo (pré- e pós-intervenção), segmento (SI e SC) e sua interação (tempo × segmento). Quando identificadas diferenças, foram realizadas comparações *post hoc* com ajuste de Bonferroni, a fim de localizar diferenças intra- (pré × pós) e intermembros (SI × SC). A magnitude das alterações das características musculares (força e espessura) e dos parâmetros espaciais da marcha foi expressa em variação percentual ( $\Delta\%$ ), enquanto os parâmetros temporais da marcha foram analisados em unidades absolutas (segundos), preservando a interpretação direta das diferenças. Para determinar a relevância das alterações observadas em medidas objetivas, foi calculada a Mudança Mínima Detectável (MMD) ao nível de confiança de 95% (MMD<sub>95</sub>). A MMD foi expressa em termos percentuais (%) das medidas de força, espessura muscular e parâmetros espaciais da marcha. Os limiares da MMD basearam-se no Erro Padrão de Medida (EPM) e nos coeficientes de correlação intraclasse (ICC) disponíveis na literatura para a força muscular e para parâmetros espaço-temporais da marcha (DE ARAÚJO RIBEIRO ALVARES et al., 2015; LEPORACE et al., 2016). Para a espessura muscular, os ICCs foram obtidos com base nas análises de confiabilidade realizadas neste estudo. A MMD foi calculada pela fórmula:  $MMD = 1,96 \times \sqrt{2} \times EPM$ . O EPM foi estimado a partir dos desvios-padrão iniciais (DP) e dos ICCs, segundo a equação:  $EPM = DP \times \sqrt{1 - ICC}$ . Os limiares da MMD foram comparados às mudanças observadas ( $\Delta$  entre o pré e o pós de cada segmento), porém, apenas para as variáveis que diferiram em resposta à intervenção. Adicionalmente, foram calculados os tamanhos de efeito de Cohen's  $d$  para amostras pareadas, a fim de quantificar a magnitude das mudanças pré- e pós-intervenção em cada segmento e variável, utilizando o desvio-padrão das diferenças entre os escores. A interpretação dos valores de  $d$  seguiu os limiares convencionais:  $d < 0,2$  foi considerado efeito trivial;  $0,2 \leq d < 0,5$ , pequeno;  $0,5 \leq d < 0,8$ , moderado; e  $d \geq 0,8$ , grande (COHEN, 1988). Não foram identificados dados ausentes em nenhuma das análises. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, versão 25), e o nível de significância foi estabelecido em  $p < 0,05$ .

## 4.2 RESULTADOS

### *Características dos participantes do treinamento*

Quarenta participantes completaram o programa de treinamento e foram avaliados antes e após a intervenção (21 mulheres, 52,5%; 19 homens, 47,5%). Embora os critérios de elegibilidade incluíssem participantes entre 18 e 59 anos, a amostra efetiva variou de 18 a 43 anos ( $27,1 \pm 7,3$  anos). Todos os participantes haviam recebido a liberação do médico ou do fisioterapeuta responsável para retomar as atividades físicas habituais. Os resultados mostraram um discreto aumento da massa corporal após o treinamento (77,2 vs. 78,4 kg;  $p < 0,001$ ; ES = 0,63;  $\Delta = 1,55\%$ ), acompanhado de uma redução do tempo de comportamento sedentário (de 46,8 para 40,6 horas/semana;  $p = 0,007$ ; ES = 0,45;  $\Delta = -13,25\%$ ). Além disso, verificou-se uma redução da pressão arterial sistólica (PAS), que passou de 121,3 para 117,3 mmHg ( $p < 0,001$ ; ES = 0,57;  $\Delta = -3,30\%$ ). As demais variáveis não apresentaram diferenças após a intervenção) ( $p > 0,05$ ) (Tabela 9).

#### *Características das sessões de treinamento*

As sessões de treinamento foram conduzidas com uma pressão média de  $127,5 \pm 11,8$  mmHg, correspondente a 90% da pressão de restrição do fluxo sanguíneo individual (PRFS, mmHg). Durante o protocolo, a percepção de esforço variou entre “muito leve” e “leve” ( $10,5 \pm 2,3$  a.u.) e o desconforto foi classificado como “leve a moderado” ( $4,8 \pm 2,0$  a.u.). As sessões presenciais mostraram-se importantes para a orientação e o monitoramento dos sinais vitais dos participantes. A adesão às 12 sessões presenciais foi de 92%, com, no mínimo, 11 sessões concluídas por participante. Nas 24 sessões domiciliares, a adesão foi de 85,0%, totalizando 20 sessões completas, o que corresponde a uma adesão média de ~89%. O número total de sessões concluídas pelos participantes variou entre 28 e 35.

TABELA 9 – Características físicas, comportamentais, e assimetria de força muscular entre membros dos participantes (pré- e pós-intervenção) (n = 40).

<b>Características</b>	<b>Pré-intervenção</b> Média ± DP	<b>IC 95%</b>		<b>Pós-intervenção</b> Média ± DP	<b>IC 95%</b>		<b>p valor</b>	<b>ES</b>	<b>Δ %</b>
		<b>Inf.</b>	<b>Sup.</b>		<b>Inf.</b>	<b>Sup.</b>			
Massa corporal (kg)	77,2 ± 11,6	73,4	80,9	78,4 ± 12,1	74,5	82,3	< 0,001	-0,63	1,55
IMC (kg.m <sup>-2</sup> )	26,2 ± 2,7	25,3	27,0	26,4 ± 2,8	25,5	27,3	0,26	-0,18	0,76
PAS (mmHg)	121,3 ± 6,7	119,1	123,4	117,3 ± 8,0	114,8	119,9	< 0,001	0,57	-3,30
PAD (mmHg)	78,5 ± 5,9	76,6	80,4	77,6 ± 5,4	75,8	79,3	0,14	0,24	-1,15
FC (bpm)	72,7 ± 7,6	70,30	75,2	71,1 ± 6,6	68,9	73,2	0,10	0,27	-2,20
Nível de Atividade Física (min.sem <sup>-1</sup> )	300,4 ± 179,3	243,0	357,7	267,6 ± 197,6	204,4	330,8	0,40	0,14	-10,92
Comportamento Sedentário (horas.sem <sup>-1</sup> )	46,8 ± 16,6	41,5	52,2	40,6 ± 15,8	35,6	45,7	0,007	0,45	-13,25
<b>Assimetria de força muscular</b>									
<b>Tornozelo</b>									
Plantiflexores (%)	25,1 ± 12,6	21,1	29,1	16,7 ± 14,9	12,0	21,5	0,01	0,47	-33,47
Dorsiflexores (%)	11,6 ± 7,9	9,1	14,2	11,4 ± 9,1	8,5	14,3	0,90	0,02	-1,72
<b>Joelho</b>									
Extensores (%)	17,6 ± 11,2	14,0	21,2	9,4 ± 8,1	6,7	12,0	< 0,001	0,68	-46,59
Flexores (%)	13,0 ± 11,0	9,4	16,5	14,3 ± 9,2	11,3	17,2	0,48	-0,11	10,00

Legenda: DP = Desvio Padrão; ES = Effect size; Δ % = Delta percentual; IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%; kg = Quilograma; min.sem<sup>-1</sup> = minutos por semana; horas.sem<sup>-1</sup> = horas por semana; mmHg = Milímetros de mercúrio; bpm = Batimentos por minuto; IMC = Índice de Massa Corporal; PAS = Pressão Arterial Sistólica; PAD = Pressão Arterial Diastólica; FC = Frequência Cardíaca. p < 0,05.

*Características musculares (força e espessura) dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo*

Antes da intervenção, foi identificada uma diferença média de aproximadamente 25% entre o segmento-intervenção (SI) e o segmento-controle (SC) na força dos plantiflexores ( $p < 0,001$ ; 73,42 N.m vs. 96,53 N.m, respectivamente). Esses resultados indicam a presença de assimetria muscular entre os membros, mesmo em músculos que atuam em segmento subjacente àqueles empregados como critério de seleção (extensores do joelho). Após 12 semanas de treinamento, essa diferença foi reduzida para 16% ( $p > 0,05$ ; 111,30 N.m [SI] vs. 107,79 N.m [SC]).

Após o treinamento, o SI apresentou aumento na força dos plantiflexores, com ganho de 51,6% ( $p < 0,001$ ; ES = 2,18). O SC também obteve ganhos de força, embora de menor magnitude, com um incremento de 11,7% ( $p = 0,014$ ; ES = 0,57). Em ambos os segmentos, o pico de força aumentou de 73,4 N.m para 111,3 N.m (SI) e de 96,5 N.m para 107,8 N.m (SC). A magnitude do aumento foi maior no SI ( $p < 0,001$ ) do que no SC, indicando que a aplicação da RFS produziu adaptações mais pronunciadas. Para os plantiflexores, a MMD foi de 25,35% no SC e 22,46% no SI. Os ganhos observados nos plantiflexores do SI superaram amplamente a MMD (51,6%), o que indica uma mudança relevante.

A força muscular dos dorsiflexores, assim como a espessura dos plantiflexores e dorsiflexores, permaneceram inalteradas após o treinamento em ambos os segmentos ( $p > 0,05$ ). As comparações entre o tempo (pré- e pós-intervenção) e as condições experimentais (SC e SI) estão apresentadas na Tabela 10.

TABELA 10 – Características musculares (força muscular [PT] e espessura muscular [EM]) dos músculos plantiflexores (gastrocnêmio medial) e dorsiflexores (tibial anterior) do tornozelo, pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 40).

Características	SEGMENTO-CONTROLE (SC)									
	Pré-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		ES	Δ %
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.		
<b>Força muscular (PT)</b>										
Plantiflexor do tornozelo (GM) (N.m)	96,53 ± 26,45	4,21	88,07	104,99	107,79 ± 28,01	4,34	98,83	116,74	0,57	11,68 <sup>a,b,†</sup>
Dorsiflexor do tornozelo (TA) (N.m)	37,77 ± 8,74	1,51	34,98	40,57	36,55 ± 11,20	1,67	32,96	40,13	0,16	-3,23
<b>Espessura muscular (EM)</b>										
Plantiflexor do tornozelo (GM) (cm)	1,91 ± 0,28	0,04	1,82	2,00	1,92 ± 0,28	0,04	1,83	2,01	0,20	0,52
Dorsiflexor do tornozelo (TA) (cm)	1,92 ± 0,47	0,07	1,77	2,07	1,91 ± 0,34	0,06	1,80	2,02	0,10	-0,52
<b>SEGMENTO-INTERVENÇÃO (SI)</b>										
Características	Pré-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		ES	Δ %
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.		
<b>Força muscular (PT)</b>										
Plantiflexor do tornozelo (GM) (N.m)	73,42 ± 23,43	4,08	65,93	80,91	111,30 ± 27,48	4,06	102,51	120,09	2,18	51,56 <sup>a,b,†</sup>
Dorsiflexor do tornozelo (TA) (N.m)	34,01 ± 9,82	1,49	30,87	37,16	36,02 ± 10,43	1,70	32,69	39,36	0,30	5,90
<b>Espessura muscular (EM)</b>										
Plantiflexor do tornozelo (GM) (cm)	1,89 ± 0,29	0,05	1,80	1,98	1,90 ± 0,28	0,05	1,81	1,99	0,29	0,53
Dorsiflexor do tornozelo (TA) (cm)	1,99 ± 0,43	0,07	1,85	2,13	2,02 ± 0,35	0,06	1,91	2,13	0,10	1,51

Legenda: SC = Segmento-Controle; SI = Segmento-Intervenção; PT = Pico de Torque; EM = Espessura Muscular; GM = Gastrocnêmio Medial; TA = Tibial Anterior; N.m = Newton.metro; cm = centímetros; DP = Desvio Padrão; EP = Erro Padrão; IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%; ES = Effect Size; Δ % = Delta percentual; <sup>a</sup> = diferença nas comparações dentro do mesmo segmento (pré- e pós-intervenção); <sup>b</sup> = diferença nas comparações entre segmentos (SI e SC); <sup>†</sup> = interação significativa entre segmento x tempo;  $p < 0,05$ .

### *Características musculares (força e espessura) dos extensores e flexores do joelho*

Antes da intervenção (pré), foi identificada diferença na força dos extensores do joelho entre o segmento-intervenção (SI) e o segmento-controle (SC) ( $p < 0,001$ ). O SI (PT = 147,17 N.m) apresentou menor capacidade de produzir força em comparação ao SC (PT = 173,53 N.m). Tal discrepância reflete uma assimetria inicial de cerca de 17%. Após 12 semanas de treinamento, a assimetria foi reduzida para aproximadamente 9% ( $p < 0,001$ ; ES = 0,68;  $\Delta$  = -46,59). Não foram observadas diferenças na força dos flexores do joelho entre o SI e o SC após o treinamento, o que indica sucesso na redução das assimetrias de força ( $p > 0,05$ ).

Após a intervenção, a força dos extensores do joelho aumentou em ambos os segmentos, com ganhos de 33,1% no SI ( $p < 0,001$ ; ES = 1,90; de 147,8 N.m para 195,9 N.m) e de 14,9% no SC ( $p < 0,001$ ; ES = 0,60; de 173,5 N.m para 199,3 N.m). Ainda que os ganhos de força dos extensores do joelho tenham sido importantes, o limiar de MMD de nenhum dos segmentos (SC = 43,02 N.m; SI = 44,70 N.m) foi superado, o que requer cautela na interpretação dessas variações de força.

Os flexores do joelho de ambos os segmentos apresentaram aumentos de força após o treinamento. O SI registrou incrementos de 25% ( $p < 0,001$ ; ES = 1,80; 93,5 N.m para 117,5 N.m), enquanto o SC apresentou aumentos de 9% ( $p < 0,001$ ; ES = 0,70; 100,2 N.m para 109,0 N.m). Contudo, as variações encontradas foram inferiores à MMD (SC = 27,38%; SI = 27,11%).

O aumento da força no SI foi maior do que o observado no SC, em ambas as musculaturas ( $p < 0,001$ ), indicando que a aplicação da RFS produziu adaptações mais pronunciadas no segmento com menor força inicial. Os efeitos foram observados nas comparações entre diferentes momentos (pré vs. pós-intervenção) e condições experimentais (SC vs. SI).

A espessura muscular dos extensores e flexores do joelho permaneceu inalterada após o treinamento em ambos os segmentos (SC E SI;  $p > 0,05$ ). As comparações entre momentos (pré e pós-intervenção) e condição experimental (SC e SI) estão apresentadas na Tabela 11.

TABELA 11 – Características musculares (força muscular [PT] e espessura muscular [EM]) dos músculos extensores (vasto lateral) e flexores (semitendinoso) do joelho, pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) (n = 40).

Características	Pré-intervenção Média ± DP	SEGMENTO-CONTROLE (SC)						ES	Δ %		
		EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%				
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.			
<b>Força muscular (PT)</b>											
Extensor de joelho (VL) (N.m)	173,53 ± 49,08	7,83	157,83	189,22	199,32 ± 58,01	8,74	180,77	217,88	0,60	14,88 <sup>a,b,†</sup>	
Flexor de joelho (ST) (N.m)	100,18 ± 31,24	4,94	90,19	110,17	109,01 ± 31,81	5,05	98,84	119,18	0,70	8,81 <sup>a,b,†</sup>	
<b>Espessura muscular (EM)</b>											
Extensor de joelho (VL) (cm)	2,13 ± 0,30	0,05	2,03	2,22	2,12 ± 0,30	0,05	2,02	2,21	0,10	-0,47	
Flexor de joelho (ST) (cm)	1,93 ± 0,31	0,05	1,83	2,03	1,96 ± 0,30	0,05	1,86	2,06	0,30	1,55	
<b>SEGMENTO-INTERVENÇÃO (SI)</b>											
Características	Pré-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		ES	Δ %	
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.			
<b>Força muscular (PT)</b>											
Extensor de joelho (VL) (N.m)	147,17 ± 51,00	8,36	130,86	163,48	195,88 ± 53,16	8,51	178,88	212,88	1,90	33,11 <sup>a,b,†</sup>	
Flexor de joelho (ST) (N.m)	93,47 ± 30,93	4,90	83,58	103,37	117,53 ± 31,56	4,97	107,43	127,62	1,80	25,78 <sup>a,b,†</sup>	
<b>Espessura muscular (EM)</b>											
Extensor de joelho (VL) (cm)	2,12 ± 0,31	0,05	2,02	2,22	2,13 ± 0,31	0,05	2,03	2,23	0,60	0,47	
Flexor de joelho (ST) (cm)	1,89 ± 0,32	0,05	1,79	1,99	1,91 ± 0,31	0,05	1,81	2,01	0,40	1,06	

Legenda: SC = Segmento-Controle; SI = Segmento-Intervenção; PT = Pico de Torque; EM = Espessura Muscular; VL = Vasto lateral; ST = Semitendinoso; N.m = N.m = Newton.metro; cm = centímetros; DP = Desvio Padrão; EP = Erro Padrão; IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%; ES = Effect Size; Δ % = Delta percentual; <sup>a</sup> = diferença nas comparações dentro do mesmo segmento (pré- e pós-intervenção); <sup>b</sup> = diferença nas comparações entre segmentos (SI e SC); <sup>†</sup> = interação significativa entre segmento x tempo;  $p < 0,05$ .

### *Parâmetros espaço-temporais da marcha*

#### *Velocidade auto-selecionada de caminhada (VASC)*

Após o treinamento, foram observadas alterações nos domínios temporais da marcha no segmento-intervenção (SI). O tempo do passo reduziu de 0,56 s para 0,54 s ( $p < 0,001$ ; ES = 0,4;  $\Delta = -0,02$  s), o tempo de apoio diminuiu de 0,74 s para 0,69 s ( $p < 0,001$ ; ES = 0,7;  $\Delta = -0,05$  s) e o tempo de apoio simples apresentou discreta redução de 0,40 s para 0,39 s ( $p < 0,001$ ; ES = 0,3;  $\Delta = -0,01$  s). Em conjunto, essas alterações indicam um ciclo de marcha mais rápido. Ao analisar a magnitude dessas alterações em relação aos limiares de MMD, apenas a redução do tempo de apoio superou o valor de referência (0,03 s), o que caracteriza uma mudança relevante. As demais alterações, embora significativas, permaneceram abaixo da MMD e devem ser interpretadas com cautela. Não foram identificadas alterações nos parâmetros espaciais da marcha no SI ( $p > 0,05$ ).

No segmento-controle (SC) foram observadas mudanças tanto nos domínios espaciais quanto temporais. O comprimento do passo aumentou de 61,30 para 64,60 cm ( $p < 0,001$ ; ES = 0,6;  $\Delta = 5,4\%$ ), enquanto o tempo do passo foi reduzido de 0,56 s para 0,54 s ( $p < 0,001$ ; ES = 0,4;  $\Delta = -0,02$  s). O tempo de apoio diminuiu de 0,73 s para 0,69 s ( $p < 0,001$ ; ES = 0,6;  $\Delta = -0,04$  s) e o tempo de apoio simples reduziu discretamente de 0,40 s para 0,39 s ( $p < 0,001$ ; ES = 0,5;  $\Delta = -0,01$  s). Apenas as alterações no comprimento do passo (MMD = 3,05%) e no tempo de apoio (MMD = 0,03 s) ultrapassaram os limites de referência, sendo consideradas mudanças reais. A Tabela 12 apresenta os parâmetros espaço-temporais da marcha em velocidade auto-selecionada (VASC), pré- e pós-intervenção, para SI e SC.

#### *Velocidade rápida de caminhada (VRC)*

Após o protocolo de treinamento, foram observadas alterações apenas nos domínios temporais da marcha em ambos os segmentos. No segmento-intervenção (SI), o tempo do passo reduziu de 0,47 s para 0,44 s ( $p < 0,001$ ; ES = 1,20;  $\Delta = -0,03$  s), enquanto o tempo de duplo apoio apresentou um discreto aumento de 0,20 s para 0,21 s ( $p < 0,001$ ; ES = 0,10;  $\Delta = 0,01$  s). No segmento de controle (SC), o tempo do passo diminuiu de 0,47 s para 0,44 s ( $p < 0,001$ ; ES = 1,20;  $\Delta = -0,03$  s) e o tempo de duplo apoio aumentou de 0,20 s para 0,21 s ( $p < 0,001$ ; ES = 0,20;  $\Delta = 0,01$  s). Ao comparar essas alterações com os limiares de MMD, apenas o tempo do passo superou essa referência (-0,03 s) em ambos os segmentos, o que sugere uma mudança importante. A variação no tempo de duplo apoio, embora significativa, não excedeu a MMD (-0,09 s) e, portanto, deve ser interpretada com cautela.

Não foram identificadas alterações nos parâmetros espaciais da marcha em ambos os segmentos ( $p > 0,05$ ). A Tabela 13 apresenta os parâmetros espaço-temporais da marcha em velocidade rápida de caminhada (VRC), pré- e pós-intervenção, para o SI e SC.

TABELA 12 – Parâmetros espaço-temporais da marcha na velocidade auto-selecionada (VASC), pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) ( $n = 40$ ).

SEGMENTO-CONTROLE (SC)										
Parâmetros da marcha	Pré-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		ES	$\Delta$
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.		
Comprimento do passo (cm)	61,30 ± 6,30	0,95	59,50	63,20	64,6 ± 4,9	0,84	62,90	66,20	-0,6	5,40 <sup>a</sup>
Largura do passo (cm)	11,20 ± 2,10	0,36	10,50	11,90	11,8 ± 3,5	0,55	10,80	12,90	-0,2	5,40
Tempo do passo (s)	0,56 ± 0,05	0,01	0,54	0,57	0,54 ± 0,02	0,01	0,53	0,55	0,4	-0,02 <sup>a</sup>
Tempo de apoio (s)	0,73 ± 0,02	0,02	0,70	0,76	0,69 ± 0,01	0,01	0,68	0,70	0,6	-0,04 <sup>a</sup>
Tempo de balanço (s)	0,40 ± 0,02	0,01	0,39	0,40	0,39 ± 0,01	0,01	0,39	0,40	0,3	-0,01
Tempo de apoio simples (s)	0,40 ± 0,02	0,01	0,39	0,41	0,39 ± 0,02	0,01	0,39	0,40	0,5	-0,01 <sup>a</sup>
Tempo de apoio duplo (s)	0,32 ± 0,09	0,01	0,29	0,35	0,31 ± 0,04	0,01	0,30	0,32	0,2	-0,01
SEGMENTO-INTERVENÇÃO (SI)										
Parâmetros da marcha	Pré-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		ES	$\Delta$
			Inf.	Sup.			Inf.	Sup.		
Comprimento do passo (cm)	64,10 ± 5,30	0,84	62,40	65,70	66,00 ± 5,70	0,90	64,20	67,70	-0,4	3,00
Largura do passo (cm)	11,20 ± 2,20	0,38	10,50	12,00	12,00 ± 3,50	0,51	11,00	13,00	-0,2	7,10
Tempo do passo (s)	0,56 ± 0,05	0,01	0,54	0,57	0,54 ± 0,02	0,01	0,53	0,55	0,4	-0,02 <sup>a</sup>
Tempo de apoio (s)	0,74 ± 0,02	0,02	0,71	0,76	0,69 ± 0,01	0,01	0,68	0,70	0,7	-0,05 <sup>a</sup>
Tempo de balanço (s)	0,40 ± 0,02	0,01	0,39	0,41	0,39 ± 0,01	0,01	0,39	0,40	0,5	-0,01
Tempo de apoio simples (s)	0,40 ± 0,02	0,01	0,39	0,40	0,39 ± 0,02	0,01	0,39	0,40	0,3	-0,01 <sup>a</sup>
Tempo de apoio duplo (s)	0,32 ± 0,09	0,01	0,29	0,35	0,31 ± 0,04	0,01	0,30	0,32	0,1	-0,01

Legenda: cm = centímetros; s = segundos; DP = Desvio Padrão; EP = Erro Padrão; IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%; ES = Effect size;  $\Delta$  = delta (expresso em % para variáveis espaciais e em segundos para variáveis temporais); SC = Segmento-Controle; SI = Segmento-Intervenção; <sup>a</sup> = diferença nas comparações dentro do mesmo segmento (pré- e pós-intervenção);  $p < 0,05$ .

TABELA 13 – Parâmetros espaço-temporais da marcha na velocidade rápida de caminhada (VRC), pré- e pós-intervenção, nos segmentos-controle (SC) e intervenção (SI) ( $n = 40$ ).

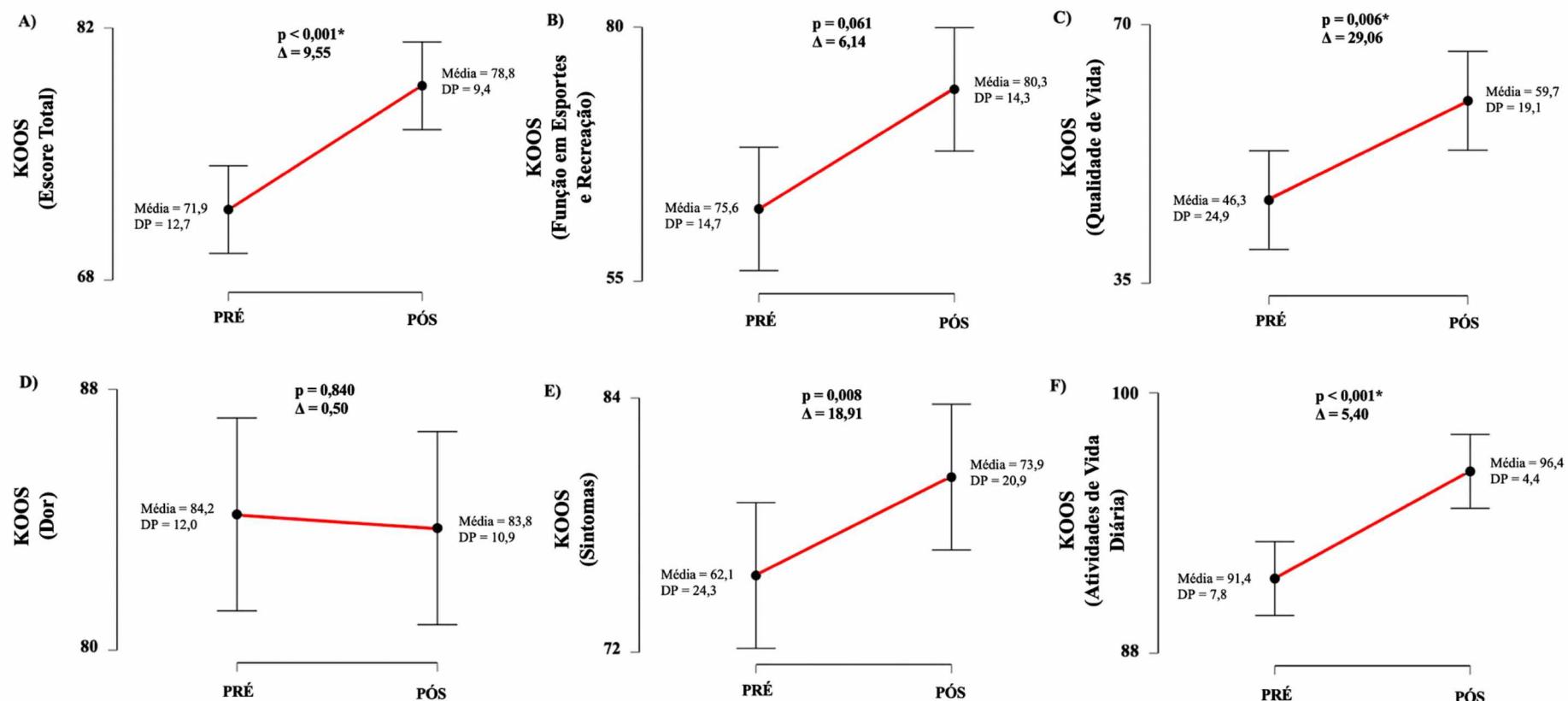
Parâmetros da marcha	Pré-intervenção Média ± DP	EP	SEGMENTO-CONTROLE (SC)						ES	$\Delta$	
			IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP		IC 95%				
			Inf.	Sup.	EP	Inf.	Sup.	ES			
Comprimento do passo (cm)	78,24 ± 9,19	1,46	75,39	81,10	80,20 ± 9,10	1,44	77,38	83,01	-0,30	2,44	
Largura do passo (cm)	11,97 ± 1,99	0,31	11,36	12,58	11,44 ± 1,83	0,29	10,88	12,01	0,30	-4,43	
Tempo do passo (s)	0,47 ± 0,03	0,01	11,36	12,58	0,44 ± 0,04	0,01	10,88	12,01	1,20	-0,03 <sup>a</sup>	
Tempo de apoio (s)	0,56 ± 0,05	0,01	0,55	0,58	0,57 ± 0,05	0,01	0,55	0,58	0,60	0,01	
Tempo de balanço (s)	0,35 ± 0,02	0,01	0,35	0,36	0,35 ± 0,02	0,01	0,34	0,35	0,30	0,00	
Tempo de apoio simples (s)	0,36 ± 0,02	0,01	0,35	0,36	0,35 ± 0,02	0,01	0,34	0,35	0,50	-0,01	
Tempo de apoio duplo (s)	0,20 ± 0,04	0,01	0,19	0,21	0,21 ± 0,04	0,01	0,20	0,22	0,20	0,01 <sup>a</sup>	
SEGMENTO-INTERVENÇÃO (SI)											
Parâmetros da marcha	Pré-intervenção Média ± DP	EP	IC 95%		Pós-intervenção Média ± DP		IC 95%		ES	$\Delta$	
			Inf.	Sup.	EP	Inf.	Sup.	ES			
			78,41 ± 9,27	1,48	75,52	81,31	80,02 ± 9,31	1,46	77,17	82,88	
Comprimento do passo (cm)	78,41 ± 9,27	1,48	75,52	81,31	80,02 ± 9,31	1,46	77,17	82,88	-0,30	2,05	
Largura do passo (cm)	11,94 ± 1,98	0,31	11,33	12,56	11,40 ± 1,81	0,29	10,84	11,96	0,30	-4,52	
Tempo do passo (s)	0,47 ± 0,03	0,01	11,33	12,56	0,44 ± 0,04	0,01	10,84	11,96	1,20	-0,03 <sup>a</sup>	
Tempo de apoio (s)	0,57 ± 0,05	0,01	0,55	0,58	0,57 ± 0,05	0,01	0,55	0,58	0,70	0,00	
Tempo de balanço (s)	0,35 ± 0,02	0,01	0,35	0,36	0,35 ± 0,02	0,01	0,34	0,36	0,50	0,00	
Tempo de apoio simples (s)	0,36 ± 0,02	0,01	0,35	0,36	0,35 ± 0,02	0,01	0,34	0,36	0,30	-0,01	
Tempo de apoio duplo (s)	0,20 ± 0,04	0,01	0,19	0,22	0,21 ± 0,04	0,01	0,20	0,23	0,10	0,01 <sup>a</sup>	

Legenda: cm = centímetros; s = segundos; DP = Desvio Padrão; EP = Erro Padrão; IC 95% = Intervalo de Confiança de 95%; ES = Effect size;  $\Delta$  = delta (expresso em % para variáveis espaciais e em segundos para variáveis temporais); SC = Segmento-Controle; SI = Segmento-Intervenção; <sup>a</sup> = diferença nas comparações dentro do mesmo segmento (pré- e pós-intervenção);  $p < 0,05$ .

*Aspectos perceptuais do joelho**Knee Injury Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)*

Após o treinamento, os participantes apresentaram melhora nos escores do *Knee Injury Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)*. O “escore total” aumentou de 71,9 para 78,8 pontos ( $p < 0,001$ ; ES = 0,64;  $\Delta = 9,6\%$ ; FIGURA 8A). A subescala de “qualidade de vida” (QOL) apresentou um incremento de 46,3 para 59,7 pontos ( $p = 0,006$ ; ES = 0,46;  $\Delta = 29,1\%$ ; FIGURA 8C), enquanto a subescala de “sintomas” passou de 62,1 para 73,9 pontos ( $p = 0,008$ ; ES = 0,44;  $\Delta = 19,0\%$ ; FIGURA 8E). As “atividades da vida diária” (AVDs) também apresentaram ganhos, de 91,4 para 96,4 pontos ( $p < 0,001$ ; ES = 0,66;  $\Delta = 5,4\%$ ; FIGURA 8F). Em contraste, as subescalas de “dor” (FIGURA 8D) e “função em esportes e recreação” (FIGURA 8B) permaneceram inalteradas após o período de intervenção ( $p > 0,05$ ). Os resultados estão apresentados na Figura 8.

FIGURA 8 – Escore Total e Subescalas do Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), pré- e pós-intervenção (n = 40).



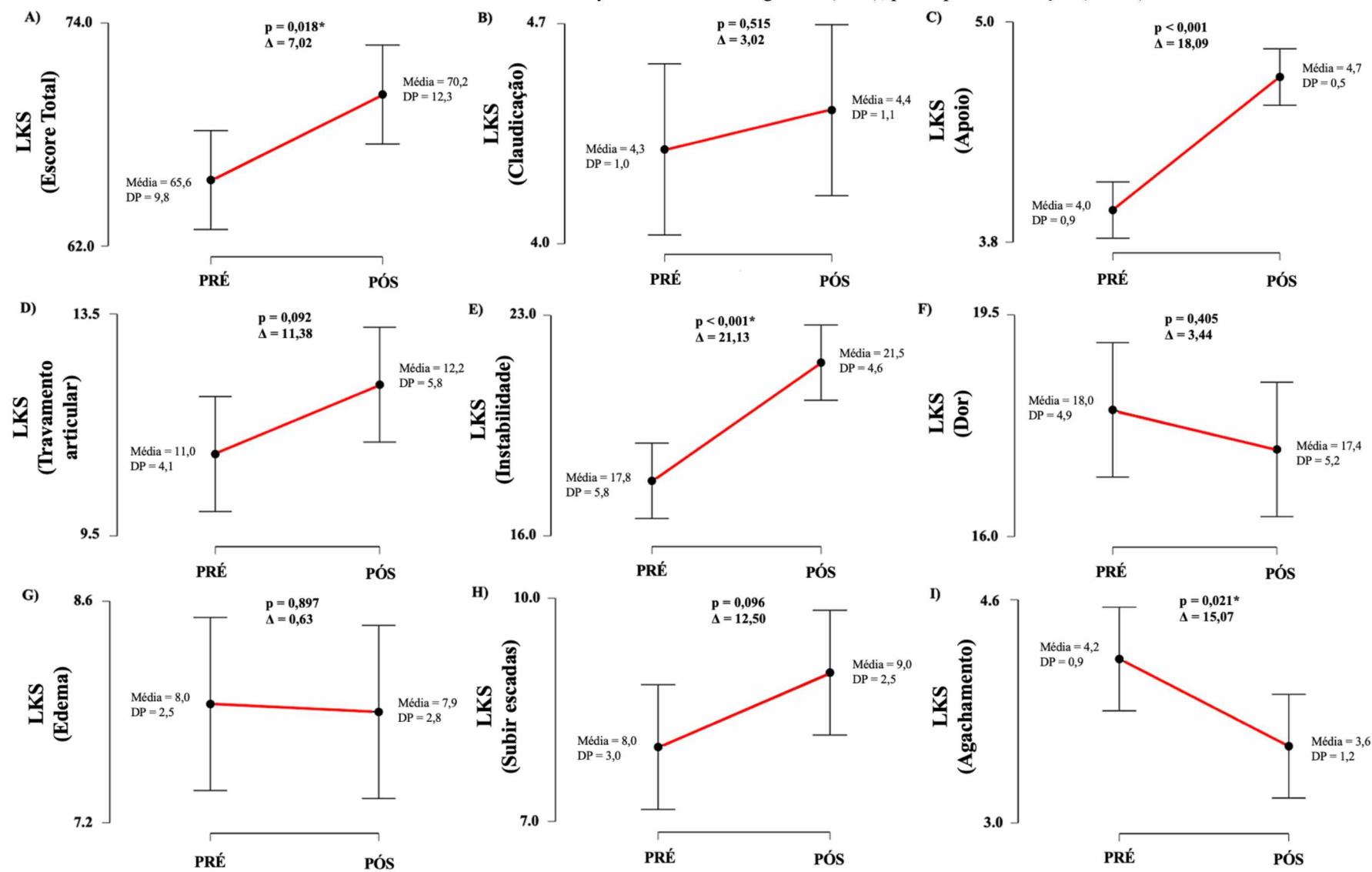
Legenda: DP = Desvio Padrão; Δ % = delta; KOOS = Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score; p < 0,05.

### *Lysholm Knee-scoring Scale (LKS)*

Após o treinamento, os participantes apresentaram melhora subescalas específicas da *Lysholm Knee-scoring Scale (LKS)*, bem como no escore total. O maior ganho ocorreu na subescala “instabilidade”, que aumentou de 17,8 para 21,5 pontos ( $p < 0,001$ ; ES = 0,71;  $\Delta = 21,1\%$ ; FIGURA 9E). As subescalas “apoio” (4,0 para 4,7 pontos;  $p < 0,001$ ; ES = 0,62;  $\Delta = 18,1\%$ ; FIGURA 9C) e “agachamento” (4,2 para 3,6 pontos;  $p = 0,021$ ; ES = 0,38;  $\Delta = 15,1\%$ ; FIGURA 9I) também apresentaram melhorias. O “escore total” aumentou de 65,6 para 70,2 pontos, o que representa um ganho de aproximadamente 7,0% ( $p = 0,018$ ; ES = 0,39; FIGURA 9A).

Em contraste, não foram observadas alterações nas subescalas “claudicação” (FIGURA 9B), “travamento articular” (FIGURA 9D), “dor” (FIGURA 9F), “edema” (FIGURA 9G) e “subir escadas” (FIGURA FH) ( $p > 0,05$ ). Além disso, a proporção de participantes classificados como “bom” (i.e., boa função do joelho, poucos sintomas e limitação mínima) aumentou de 35,0 para 77,5%, enquanto aqueles classificados como “ruim” (i.e., pior função do joelho, presença de sintomas relevantes e maior limitação funcional) reduziram de 22,5% para 0,0% ( $p < 0,001$ ). Os escores totais e parciais (por subescalas) da LKS estão apresentados na Figura 9.

FIGURA 9 – Escore Total e Subescalas do Lysholm Knee-scoring Scale (LKS), pré- e pós-intervenção (n = 40).

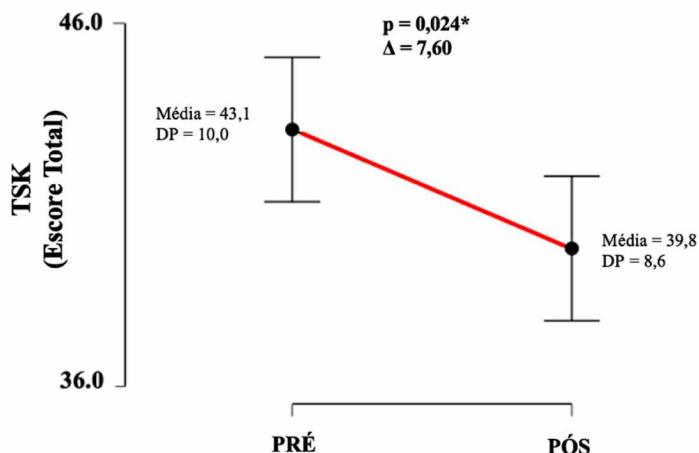


Legenda: DP = Desvio Padrão;  $\Delta \%$  = delta; LKS = Lysholm Knee-scoring Scale;  $p < 0,05$ .

### *Tampa Scale for Kinesiophobia (TSK)*

A TSK indicou redução do medo de movimento após o protocolo de treinamento. Os escores diminuíram de 43,1 para 39,8 pontos ( $p = 0,024$ ;  $ES = 0,37$ ;  $\Delta = 7,6\%$ ). Esses resultados, no entanto, sugerem que a intervenção pode contribuir para maior confiança na execução dos movimentos (Figura 10).

FIGURA 10 – Escore Total do Tampa Scale for Kinesiophobia (TSK), pré- e pós-intervenção (n = 40).



Legenda: DP = Desvio Padrão;  $\Delta\%$  = delta; TSK = Tampa Scale for Kinesiophobia;  $p < 0,05$ .

### 4.3 DISCUSSÃO

O estudo teve como objetivo investigar os efeitos de um programa de caminhada associado à restrição parcial do fluxo sanguíneo (RFS) em adultos jovens nas fases intermediária e tardia da reabilitação após reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA). A RFS foi aplicada unilateralmente no membro inicialmente mais fraco (com assimetria de força  $\geq 10\%$ ), para verificar mudanças nas características musculares (força e espessura), funcionais (parâmetros espaço-temporais da marcha em diferentes velocidades) e perceptuais (função do joelho). A partir dos achados do Estudo experimental 1, este Estudo experimental 2 buscou verificar se efeitos semelhantes ocorreriam em um contexto clínico após reconstrução do LCA. As intervenções cirúrgicas são caracterizadas por déficits persistentes de força e assimetrias entre membros frequentemente mantidas mesmo após programas convencionais de reabilitação. Os limiares da Mudança Mínima Detectável (MMD) foram utilizados na análise da força muscular e dos parâmetros espaço-temporais da marcha, permitindo identificar mudanças relevantes. Contudo, a discussão também considerará a magnitude relativa das

alterações, uma vez que a MMD não tem sido utilizada para interpretar efeitos e mudanças associadas aos protocolos que envolvem RFS.

#### *Força muscular dos extensores e flexores do joelho*

O segmento-intervenção (SI) apresentou aumento de 33% na força dos extensores do joelho e de 26% na força dos flexores, enquanto o segmento-controle (SC) exibiu ganhos mais modestos (15% e 9%, respectivamente). Embora significativos, esses aumentos não ultrapassaram os limiares da MMD para os extensores (SC: 43,0%; SI: 44,7%) e para os flexores (SC: 27,4%; SI: 27,1%) do joelho, indicando que tais alterações podem estar associadas a erros de medida e a variações não controladas. Portanto, essas variações na força precisam ser analisadas com cautela.

Os ganhos mais acentuados dos extensores em relação aos flexores do joelho, podem ter ocorrido por diferenças nas demandas funcionais impostas durante a marcha. Os extensores possuem níveis de ativação aproximadamente duas vezes maiores do que os flexores durante o ciclo da marcha (CHUNG; WANG, 2010; EVANGELIDIS et al., 2016; SIMONSEN, 2014). Enquanto o vasto medial é recrutado de forma elevada por grande parte do ciclo da marcha, os isquiotibiais atingem patamares de apenas 10-15% de uma contração voluntária isométrica máxima (CVIM) (CHUNG; WANG, 2010; EVANGELIDIS et al., 2016; SIMONSEN, 2014). É possível que essa maior demanda tenha gerado limiares mínimos de ativação necessários para que os benefícios dos estímulos de baixa intensidade, quando combinados à RFS, pudessem ser obtidos. De fato, há indicações de que, mesmo quando a RFS é aplicada, exercícios com intensidades muito baixas (ex., 10%) não são suficientes para desencadear respostas hipertróficas importantes (YASUDA et al., 2012). Embora a reconstrução do LCA frequentemente resulte em inibição artrogênica muscular, o que limita o recrutamento do quadríceps e retarda o restabelecimento de força (PARKINSON et al., 2021; THOMAS et al., 2016), o aumento do recrutamento de unidades motoras induzido pela RFS (TAKARADA; TAKAZAWA; ISHII, 2000) pode ter favorecido adaptações mais pronunciadas nos extensores do joelho.

Alguns estudos têm demonstrado a efetividade de diferentes protocolos de treinamento para aumentar a força muscular após a reconstrução do LCA, incluindo exercícios resistidos combinados à RFS (20-30% 1RM) e protocolos tradicionais com exercícios de alta intensidade (>70% 1RM). Hughes et al. (2019), ao aplicarem essas modalidades imediatamente após a cirurgia, observaram aumentos de aproximadamente 100% na força do membro operado em ambos os grupos, sem diferenças entre as abordagens. Esses resultados reforçam que, mesmo

na fase inicial da reabilitação – caracterizada por alta responsividade ao treinamento, a RFS é capaz de promover adaptações bastante comparáveis às obtidas com cargas elevadas (HUGHES et al., 2019). Gopinath et al. (2025) relataram que intervenções de 8 a 12 semanas, envolvendo exercícios resistidos a 20-30% de 1RM, com pressões de oclusão entre 60-80% da oclusão total, promovem aumentos de 35%-60% na força e podem reduzir assimetrias entre membros. Melhoras perceptivas de estabilidade e confiança articular também foram observadas quando comparadas a protocolos de reabilitação convencionais (GOPINATTH et al., 2025).

No presente estudo, os participantes encontravam-se nas fases intermediária e tardia da reabilitação, e alguns já haviam concluído o tratamento convencional ( $> 6$  meses), apesar de ainda apresentarem déficits persistentes de força. Os ganhos de força de 33% nos extensores e de 26% nos flexores do joelho podem ser considerados expressivos em períodos bastante avançados após a cirurgia em que uma parcela expressiva da recuperação deve ter ocorrido. Tais ganhos se mostram atrativos, considerando que foram obtidos a partir de estímulos de baixa intensidade, sem cargas externas e com menor demanda articular. Logo, o presente protocolo mostra-se atrativo mesmo em fases tardias da reabilitação, pois é capaz de promover adaptações relevantes (HUGHES et al., 2017; LI et al., 2023), com redução de estresses mecânicos (BOBES ÁLVAREZ et al., 2020; THOMAS et al., 2016).

Em geral, a intensidade do treinamento e a progressão dos estímulos são fatores determinantes da magnitude das adaptações. Por exemplo, Ozaki et al. (2011), avaliaram os efeitos da caminhada associada à RFS em idosos sedentários, e aplicaram quatro sessões semanais durante 10 semanas, com 20 minutos de caminhada ajustada a 45% da frequência cardíaca de reserva. Embora a velocidade da marcha na esteira ergométrica não tenha sido reportada, é possível que tenha sido inferior à observada no presente estudo. Naquele estudo, observaram-se aumentos moderados de 8,7% na força dos extensores e de 15,0% na dos flexores do joelho (OZAKI et al., 2011). De forma semelhante, Pereira Neto e colaboradores investigaram um protocolo de caminhada associado à RFS em idosos com osteoporose, que aplicou uma intensidade de 65% da frequência cardíaca máxima, em duas sessões semanais de 15 minutos por 12 semanas (PEREIRA NETO et al., 2018). Apesar de os parâmetros de treinamento permanecerem constantes ao longo do período, a maior velocidade de marcha pode explicar os ganhos de força mais pronunciados nos extensores do joelho (21%) em comparação ao estudo de Ozaki e colaboradores. Os ganhos identificados por Pereira Neto e colaboradores são menores do que os identificados neste estudo (33%) e podem estar relacionados a diversos fatores (diferenças iniciais, estágios de recuperação, pressão de oclusão, etc.). Todavia, esses

achados reforçam que variações na intensidade e progressão do estímulo são determinantes críticos para a magnitude das adaptações neuromusculares.

Nenhum dos estudos que analisaram os protocolos de caminhada com RFS relatou os parâmetros relativos às MMDs (GOPINATTH et al., 2025; HUGHES et al., 2019). Isso limita a interpretação da relevância das mudanças obtidas, e apenas as comparações com base na magnitude relativa dessas mudanças podem ser realizadas. Por outro lado, a menor magnitude das mudanças encontradas nos demais estudos permite especular que tais ganhos possam estar abaixo dos limiares da MMD.

#### *Força muscular dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo*

O protocolo de caminhada associado à RFS promoveu aumento da força dos músculos distais ao local de aplicação da oclusão, ou seja, nos músculos que atuam ao redor do tornozelo. No SI, os plantiflexores apresentaram ganhos de 51%, superando amplamente o limiar de detecção (MMD: 22,5%). Esses ganhos indicam uma mudança expressiva. Por outro lado, os dorsiflexores apresentaram um incremento discreto de 6%.

As diferenças no recrutamento dos plantiflexores e dorsiflexores durante a marcha podem explicar parte das respostas adaptativas. Durante a marcha, o gastrocnêmio medial apresenta atividade prolongada, sendo recrutado durante aproximadamente 40% do ciclo, especialmente na fase de apoio terminal e no momento do “push-off” (LI et al., 2020). Por outro lado, o tibial anterior é ativado durante cerca de 5% do ciclo, atuando predominantemente na fase de balanço (LI et al., 2020). Isso indica que os plantiflexores são demandados de forma mais prolonga durante a marcha, o que pode prover maior potencial adaptativo e explicar as respostas mais pronunciadas em comparação aos seus antagonistas (AKALAN et al., 2018; ALEXANDER; SCHWAMEDER, 2016; CHUNG; WANG, 2010; EVANGELIDIS et al., 2016; LIN et al., 2021; SIMONSEN, 2014). Além disso, a demanda dos plantiflexores de gerar elevados torques durante a fase propulsiva da marcha permite inferir que esses músculos são mais ativados do que os dorsiflexores, que são responsáveis pela elevação da ponta do pé durante a transposição do pé à frente na fase de balanço. Estudos que analisaram a ativação eletromiográfica dos músculos que atuam ao redor do tornozelo durante a marcha indicam que os dorsiflexores são recrutados entre 10 e 20% de uma CIVM, enquanto os plantiflexores são recrutados em limiares entre 30 e 40% (MAKINO et al., 2022). Logo, o maior tempo associado a uma maior ativação dos plantiflexores pode explicar as maiores respostas em comparação aos dorsiflexores.

O estresse metabólico induzido pela RFS desencadeia respostas neurais e humorais capazes de favorecer adaptações nos músculos com maiores demandas (maior tempo de recrutamento e intensidade), independentemente da proximidade ao manguito. A progressão da velocidade de caminhada pode ter aumentado o recrutamento motor ao longo de toda a cadeia muscular da perna, especialmente em músculos recrutados por mais tempo e com maior ativação e consequentemente, acentuado o ambiente metabólico.

Bowman et al. (2019) aplicaram um protocolo de treinamento resistido de baixa intensidade associado à RFS (30% de 1RM) por seis semanas, no qual a oclusão foi aplicada na região proximal da coxa, enquanto o membro contralateral serviu como controle. Foram observados aumentos de 33% na força dos plantiflexores do segmento submetido ao treinamento e de 18% no segmento controle. Tais achados reforçam a possibilidade de induzir adaptações musculares pronunciadas a estímulos de baixa intensidade, em grupos musculares distais em relação ao local de aplicação da oclusão (BOWMAN et al., 2019). Os efeitos sobre os músculos mais distais podem ter decorrido do fato de a restrição do fluxo sanguíneo aplicada proximalmente (prega glútea) também restringir o fluxo nos músculos mais distais.

O aumento substancial na força dos plantiflexores do SI (51%) após o protocolo de caminhada e RFS supera em 60% os incrementos relatados por Bowman et al. (2019) após o uso de um protocolo de exercícios resistidos. Esses ganhos expressivos podem ser atribuídos a uma combinação de fatores (diferenças na pressão de oclusão, progressão de cargas, discrepâncias de força entre segmentos, etc.) e uma discussão mais detalhada não está no escopo deste estudo. Todavia, é notório que a elevada magnitude dos ganhos não constitui um achado trivial, que pode estar associado ao tipo de exercícios utilizados.

Protocolos baseados em exercícios isolados (ex.: extensão e flexão do joelho ou plantiflexão e dorsiflexão do tornozelo) promovem estímulos concentrados em um único grupo muscular, o que pode levar a respostas mais localizadas (DANKEL et al., 2016). Em contraste, durante a caminhada, os exercícios multiarticulares são sustentados de forma repetida e contínua, o que faz com que o volume de contrações seja substancialmente maior do que o imposto em exercícios de natureza localizada. Assim, a combinação entre uma tarefa funcional e a oclusão contínua pode ter gerado um ambiente de estímulo propício ao desencadeamento de mudanças relevantes nos plantiflexores, de forma mais pronunciada do que as observadas em outros protocolos de RFS. Esses achados destacam o potencial da caminhada associada à RFS como estratégia capaz de promover ganhos de força nas musculaturas proximais e distais ao ponto de oclusão.

### *Segmento-controle vs. segmento-intervenção*

A análise das diferenças entre o segmento controle e o segmento de intervenção é essencial no contexto das assimetrias aplicadas unilateralmente. Os resultados indicam que ganhos mais expressivos no segmento submetido a RFS podem levar a adaptações substanciais, as quais foram efetivas para minimizar os efeitos das assimetrias de força. Assimetrias superiores a 10-15% são problemáticas, pois podem comprometer o desempenho físico, gerar compensações e padrões de movimento alterados, sobrecarregar estruturas musculoesqueléticas e, consequentemente, aumentar a incidência de lesões (BETTARIGA et al., 2022; BISHOP; TURNER; READ, 2018). A redução da assimetria dos extensores de joelho para patamares de 9% coloca os participantes fora de uma “zona de risco”, o que potencialmente reduz a probabilidade de recidiva ou de ocorrência de outras disfunções. Logo, os aumentos mais acentuados no segmento operado parecem uma estratégia interessante, especialmente em quadros em que esses déficits podem ser sustentados por muito tempo após a cirurgia e protocolos de reabilitação. Parkinson et al. (2021) observaram que, aos 10 meses pós-cirurgia, apenas 65,8% dos pacientes atingiram simetria superior a 90% na força do quadríceps e 76,3% nos isquiotibiais, indicando que os déficits persistem em uma proporção significativa de pacientes (PARKINSON et al., 2021).

Apesar da intervenção ter sido direcionada ao membro de menor força muscular, foram identificados ganhos no segmento contralateral, que foi submetido ao protocolo de caminhada, porém sem a RFS. É natural que o segmento controle tenha experimentado ganhos de menor magnitude, uma vez que foi submetido aos mesmos estímulos de caminhada. É plausível que esses ganhos estejam relacionados a adaptações centrais ou a fenômenos de transferência cruzada no segmento de controle. Nas fases iniciais de um programa de treinamento (aproximadamente 4-6 semanas) (LECCE et al., 2024), os aumentos de força são predominantemente determinados por adaptações neurais, uma vez que alterações estruturais requerem mais tempo, especialmente em protocolos de baixa intensidade (ŠKARABOT et al., 2021). Essas adaptações incluem maior recrutamento de unidades motoras, melhor sincronização, aumento da frequência de disparo neural e redução dos limiares de ativação motora (AAGAARD et al., 2002; ALIX-FAGES et al., 2022; LADLOW et al., 2018; (LECCE et al., 2024; YOSHIKO; WATANABE; AKIMA, 2023). Esses processos aumentam a eficiência do sistema neuromuscular e explicam por que é possível observar ganhos de força, mesmo na ausência de hipertrofia detectável. Em intervenções unilaterais, parte desses ajustes centrais pode ser transferida para o membro contralateral – educação cruzada – e pode contribuir para ganhos discretos (9-16%) no membro não treinado (MANCA et al., 2018).

É importante destacar que a oclusão parcial aumenta o estresse metabólico local, promovendo maior acúmulo de metabólitos (como lactato e íons de hidrogênio) e reduzindo a disponibilidade de oxigênio no músculo (ABE et al., 2012; ALIX-FAGES et al., 2022; TAKARADA; TAKAZAWA; ISHII, 2000), o que intensifica a acidose muscular. Esse ambiente mais ácido favorece o recrutamento de unidades motoras de limiar mais elevado, que são ativadas apenas em exercícios de intensidade elevada (ABE et al., 2012; ALIX-FAGES et al., 2022; TAKARADA; TAKAZAWA; ISHII, 2000). Logo, é possível que mecanismos neurais tenham contribuído para respostas mais elevadas no segmento de intervenção, as quais podem ter sido carreadas para o segmento contralateral de controle.

#### *Parâmetros espaço-temporais da marcha*

Na velocidade auto-selecionada, o SI apresentou mudanças restritas aos parâmetros temporais, com redução do tempo do passo, do tempo de apoio e do tempo de apoio simples. Dentre esses parâmetros, apenas a redução do tempo do passo ( $\Delta: -0,05$  s) ultrapassou o limiar da MMD ( $\Delta: -0,03$  s). O tempo do passo está estreitamente relacionado à cadência da marcha, à agilidade na alternância entre os membros, à capacidade do membro de apoio de sustentar carga e à transição adequada entre as fases de apoio e balanço. Após a reconstrução do LCA, é comum que o membro operado prolongue esse tempo devido à fraqueza muscular, à dor ou à insegurança, resultando em uma marcha mais cautelosa (ARMITANO-LAGO et al., 2025; HART et al., 2016; SLATER et al., 2017). Essas alterações na marcha continuam a evoluir entre 6 e 24 meses após a cirurgia e, sem intervenções, podem persistir por um ano ou mais (FU et al., 2025). Assim, a redução do tempo do passo, pode ser considerada como clinicamente relevante (BIRCHMEIER et al., 2026).

A redução do tempo do passo observada no SI pode indicar que o membro operado passou a sustentar carga com maior confiança de forma a gerar propulsão mais eficiente, com transições mais rápidas entre os membros (PFILE et al., 2025). Esses ajustes podem refletir diminuição das estratégias protetivas típicas de períodos pós-operatórios de LCA (WASHABAUGH et al., 2023). Essa melhora é especialmente relevante considerando que déficits de força e ativação do quadríceps e dos plantiflexores estão associados à sobrecarga tardia durante a fase de apoio, comprometendo a cinemática e a cinética do joelho (BIRCHMEIER et al., 2026).

O SC apresentou alterações em parâmetros temporais e espaciais, com aumento do comprimento do passo, redução do tempo do passo, do tempo de apoio e do tempo de apoio simples, sendo que apenas o aumento do comprimento do passo ( $\Delta: 5,4\%$ ) e a redução do tempo

de apoio ( $\Delta$ : -0,04 s) ultrapassaram os limites da MMD (3,05% e 0,03 s). Em quadros pós-operatórios de LCA, o tempo de apoio tende a ser mais prolongado devido à déficits musculares e de ativação dos plantiflexores, que constituem estratégias protetivas que priorizam estabilidade em detrimento da velocidade (HART et al., 2016).

A redução do tempo de apoio no SC pode estar relacionada ao aumento de força observado no SI, especialmente nos plantiflexores (51% - acima da MMD) e extensores do joelho (33%). Com o SI mais forte, o SC pôde alternar mais rapidamente entre as fases de apoio e balanço, indicando uma possível melhora na coordenação entre os membros (CHUNG; WANG, 2010; EVANGELIDIS et al., 2016; SIMONSEN, 2014). Esse achado evidencia o impacto da intervenção unilateral sobre o membro contralateral, consistente com mecanismos de educação cruzada e ajustes intersegmentares, que podem favorecer maior simetria durante a marcha (BIRCHMEIER et al., 2026). Dessa forma, os achados sugerem reversão parcial de padrões compensatórios crônicos e ajustes temporais bilaterais sustentados por adaptações musculares induzidas pelo treinamento (WASHABAUGH et al., 2023).

O aumento do comprimento do passo no SC tem sido reportado como menor no período pós-operatório em comparação à performance pré-lesão ou em pares saudáveis (BIRCHMEIER et al., 2026; FU et al., 2025). Em geral, essas reduções são associadas a mecanismos protetivos, de preservação da estabilidade e de redução de carga (BIRCHMEIER et al., 2026; FU et al., 2025). Logo, aumentos no comprimento do passo podem revelar melhor controle do passo, reduzindo as variações nos aspectos temporais entre segmentos e produzindo maior simetria entre os membros durante a marcha. O aumento do comprimento do passo pode ser obtido de diferentes formas. Uma possibilidade é a geração de um maior impulso da perna de suporte nos instantes finais da fase de apoio terminal, o que permite maior elevação e rotação da pelve e, consequentemente, a colocação do segmento contralateral (perna de balanço) mais à frente (FARRIS; SAWICKI, 2012; FRANCIS et al., 2013; LIM; LIN; PANDY, 2017). Essas alterações têm sido relatadas como associadas à função dos gastrocnêmios, que são os principais responsáveis pela propulsão do centro de massa à frente e passos mais longos (FARRIS; SAWICKI, 2012; FRANCIS et al., 2013; LIM; LIN; PANDY, 2017). Dessa forma, os importantes ganhos na força dos gastrocnêmios podem ter contribuído para o aumento do comprimento do passo e para a redução do tempo de apoio no SC. A redução parcial dos mecanismos compensatórios bilaterais é relevante para restabelecer a simetria da marcha, mesmo diante de uma intervenção unilateral.

Na velocidade rápida, houve uma redução bilateral do tempo do passo acima do limiar da MMD ( $\Delta$ : -0,03 s), acompanhada de um aumento discreto do tempo de duplo apoio em

ambos os segmentos (SC e SI). A marcha em velocidade elevada representa um desafio e exige maior cadência e menor tempo disponível para as transições entre o tempo de apoio e o tempo de balanço. Essas exigências tornam os parâmetros temporais particularmente sensíveis ao treinamento (CLARK et al., 2013; COHEN; VERGHESE; ZWERLING, 2016). Os ganhos de força nos plantiflexores do SI podem ter contribuído para transições mais curtas e simétricas.

O aumento bilateral do tempo de duplo apoio, embora sutil e abaixo da MMD, é consistente com estratégias adaptativas no período pós-operatório. Ainda que caminhar em velocidades rápidas tenda a reduzir o tempo de duplo apoio, após reconstrução do LCA, aumentos transitórios são necessários para estabilizar o membro operado (PATERNO et al., 2007). Esses ajustes discretos podem refletir uma estratégia complementar para incrementar a estabilidade articular (HART et al., 2016).

A combinação entre a redução do tempo do passo e o aumento do duplo apoio caracteriza um padrão adaptativo bilateral, que parece ter sido influenciado pela modificação da capacidade contrátil (ganhos de força) dos músculos envolvidos (LYLE et al., 2022). Esses ajustes bilaterais podem ocorrer, mesmo que as mudanças na capacidade de produção de força e torque sejam unilaterais. Dessa forma, as adaptações na velocidade rápida sugerem que o protocolo de caminhada associado à RFS contribuiu para restaurar componentes essenciais do controle temporal da marcha – alternância rápida entre membros, estabilidade interarticular e sincronização bilateral.

### *Aspectos perceptuais do joelho*

A reabilitação bem-sucedida e o retorno seguro ao esporte após lesão ou cirurgia do LCA dependem de uma avaliação multidimensional, que inclua componentes perceptuais e psicológicos (SELL et al., 2024). Medidas perceptivas permitem analisar dimensões subjetivas que complementam e enriquecem a interpretação dos resultados, o que é essencial para o delineamento dos protocolos de tratamento (COLLINS et al., 2011). Os aspectos perceptuais fornecem informações sobre a autopercepção do participante quanto à função do joelho e refletem fatores emocionais e contextuais (GRABER et al., 2025; TURNER et al., 2010). A grande variabilidade nos aspectos perceptivos, somada à variabilidade dos participantes (condições iniciais, tempo de lesão), tende a comprometer a identificação dos limiares das MMDs. Assim, esse indicador não foi aplicado aos aspectos perceptivos do estudo, sendo aplicados os referenciais da literatura para analisar as Mínimas Diferenças Clinicamente Importantes (MDCI).

Foram identificadas melhorias em diversas subescalas do Knee Injury Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), com destaque para os domínios de “Qualidade de Vida” ( $\Delta$ : 13,4 pontos; 29,06%), “Sintomas” ( $\Delta$ : 11,7 pontos; 18,91%) e “Atividades de Vida Diária” ( $\Delta$ : 4,9 pontos; 5,40%). Considerando que mudanças de 8 a 10 pontos representam a MCID em cada subescala (ROOS, 2024; ROOS; LOHMANDER, 2003), os resultados indicam ganhos importantes, que são comparáveis aos observados em programas tradicionais de treinamento resistido com cargas elevadas (ØIESTAD et al., 2023). A ausência de mudanças expressivas nas subescalas “Dor” e “Função Esportiva” merece atenção. Protocolos de alta intensidade tendem a impactar mais fortemente esses domínios (ØIESTAD et al., 2023). Exercícios de baixa intensidade podem produzir adaptações mais graduais e toleráveis, o que favorece os aspectos associados à percepção da dor. Por outro lado, a percepção de dor pode ser influenciada por múltiplos fatores contextuais, emocionais e cognitivos (ROOS, 2024; ROOS et al., 1998; ROOS; LOHMANDER, 2003). Até 75% das alterações em escores de dor podem ser explicadas por efeitos contextuais e expectativas, que não são exclusivamente relacionados ao tratamento (ROOS, 2024; ROOS et al., 1998; ROOS; LOHMANDER, 2003).

Os resultados da Lysholm Knee-scoring Scale (LKS) indicam ganhos nas subescalas “Instabilidade” ( $\Delta$ : 4 pontos; 21,1%), “Apóio” ( $\Delta$ : 0,7 pontos; 18,1%) e “Agachamento” ( $\Delta$ : 0,6 pontos; 15,1%). Além disso, a proporção de participantes classificados como “bons” aumentou de 35% para 77%, e não houve mais casos classificados como “ruim” após a intervenção. Essas melhorias reforçam que o protocolo de caminhada associado à RFS otimiza a função, mas também fortalece a autoconfiança, a percepção de estabilidade articular e a sensação de segurança, sinais essenciais para o retorno gradual às atividades.

As alterações observadas na pontuação total do LKS foram positivas, mas de menor magnitude quando comparadas a protocolos de maior intensidade (60-95% de 1RM). No estudo de Koutras et al. (2012), por exemplo, ambos os grupos – isocinético e isotônico – iniciaram o treinamento com pontuação média de 75 pontos, progredindo para 94 e 91 pontos, respectivamente (KOUTRAS et al., 2012). Adicionalmente, Vidmar et al. (2020) relataram aumentos expressivos, de aproximadamente 71 para 99 pontos após a intervenção (VIDMAR et al., 2020). Um aspecto central para identificar essas diferenças é o contexto clínico em que os protocolos foram aplicados. Nos estudos prévios, foram incluídos participantes em fases iniciais da reabilitação. Em contraste, no presente estudo, os participantes encontravam-se em fases intermediárias e tardias da reabilitação, com sintomas mais estáveis e menores margens de adaptação, o que reduz a amplitude das mudanças observadas.

Dessa forma, embora a pontuação total do LKS neste estudo tenha aumentado de 65 para 70 pontos — valor inferior às magnitudes relatadas nos protocolos de alta intensidade —, ainda assim representam melhorias consistentes, especialmente quando analisamos a magnitude relativa das alterações. Além disso, ao considerar o limiar da MCID de 5 pontos para o LKS, observa-se que a subescala de Instabilidade, que apresentou os maiores ganhos absolutos ( $\Delta = 4$  pontos; 21%), foi a que mais se aproximou do valor mínimo clinicamente importante. Isso indica que, mesmo com uma intervenção de baixa intensidade, aplicada em um contexto de reabilitação avançada, foi possível promover ganhos perceptuais significativos, particularmente em domínios diretamente relacionados à confiança e estabilidade funcional.

Paralelamente, a redução de 8% nos escores da Tampa Scale for Kinesiophobia (TSK) indica diminuição do medo de movimento e maior confiança na integridade articular. Essa melhoria é consistente com a natureza do protocolo, que emprega estímulos graduais, para promover ajustes progressivos e reforço da autoeficácia (CUYUL-VÁSQUEZ et al., 2020; VAEGTER et al., 2018). A magnitude dessa redução é próxima à observada em programas de alta intensidade (10,3%) (HENRIKSEN et al., 2022), o que sugere que a caminhada associada à RFS pode proporcionar benefícios psicológicos comparáveis.

A caminhada associada à RFS apresenta vantagens práticas, como baixo custo, fácil acessibilidade, boa segurança e aplicabilidade fora do ambiente clínico, fatores que favorecem maior alcance e adesão à intervenção. O protocolo mostrou capacidade de gerar melhorias adicionais, mesmo após a aplicação de outros procedimentos de reabilitação, e sustenta a ideia de que a caminhada associada à RFS é uma estratégia complementar e eficiente, capaz de integrar dimensões físicas, perceptuais e psicológicas à reabilitação.

### *Integração dos achados e implicações práticas*

Os resultados apresentados têm especial relevância para a reabilitação após a reconstrução do LCA. Tradicionalmente, o treinamento com cargas elevadas não é indicado nas fases iniciais de reabilitação, devido ao risco de sobrecarga aplicado ao enxerto e a outras estruturas articulares (HUGHES et al., 2017). Nesse contexto, a caminhada associada à RFS surge como uma alternativa promissora, pois combina baixo estresse mecânico com elevado potencial de estímulo neuromuscular, favorecendo a redução de déficits de força e a otimização do retorno funcional, antes da introdução de exercícios resistidos convencionais – quando aplicáveis e indicados (GOPINATH et al., 2025; HUGHES et al., 2017).

No presente estudo, 12 semanas de caminhada associada à RFS foram suficientes para induzir ganhos substanciais de força muscular. Esses ganhos de força podem ser explicados por

diversos fatores, incluindo a progressão da velocidade de caminhada, ( $1,25 \text{ m.s}^{-1}$  a  $2,0 \text{ m.s}^{-1}$ ), que foi mais elevada do que a aplicada em estudos prévios (ex.:  $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ ; ABE; KEARNS; SATO, 2006). É plausível que a maior velocidade inicial e sua progressão sistemática tenham resultado em um estímulo de maior intensidade (ex., maior número de passos, progressão da velocidade) e, consequentemente, tenham produzido respostas adaptativas e funcionais mais expressivas. As diferenças entre os achados do presente estudo e os anteriores também podem estar associadas à pressão de oclusão relativamente alta (90%), mantida durante toda a sessão (até o limite de 20 minutos). Essa abordagem difere de protocolos intermitentes, que alternam períodos de inflação e de deflação do manguito e permitem maior perfusão sanguínea. Embora a oclusão intermitente possa reduzir o desconforto, também pode reduzir o estresse metabólico, limitando a magnitude das adaptações musculares e neurais (BURTON; MCCORMACK, 2022). Assim, a oclusão contínua pode ter potencializado o estímulo, sem comprometer a tolerância a eles.

O formato híbrido do protocolo, com sessões supervisionadas e domiciliares, apresentou alta adesão (~90%). Mesmo diante das preocupações inerentes à RFS em ambientes pouco controlados, os participantes mantiveram a frequência e as características das sessões, o que demonstra que o treinamento pode ser aplicado em contextos reabilitativos. A adesão foi superior à relatada em protocolos totalmente supervisionados (DOUNGSONG et al., 2024; LANG et al., 2022; PAK et al., 2023) e pode ser atribuída às formas de controle empregadas.

Apesar do potencial desconforto associado à oclusão, os participantes relataram desconforto leve ao longo das 12 semanas de intervenção (média: 3,4 na Escala Visual Analógica). Esse achado sugere que os participantes apresentaram boa adaptação e toleraram os estímulos de treinamento, com exercícios percebidos como de intensidade entre leve e muito leve (média: 10,5 na Escala de Borg), o que reforça a boa tolerância ao protocolo. Nenhum sintoma adverso ou inesperado foi relatado, reforçando a segurança do método.

### *Limitações*

Entre as limitações do estudo, destaca-se a variação no tempo pós-cirúrgico dos participantes (6-18 meses), que pode ter influenciado as respostas individuais. No entanto, os participantes apresentavam déficits de força  $\geq 10\%$  no membro operado, o que favorece a homogeneidade da amostra. Pesquisas futuras devem avaliar a aplicação do treinamento de caminhada associado à RFS em diferentes fases da reabilitação, para determinar sua eficácia. A ausência de informações detalhadas sobre a técnica cirúrgica ou o tipo de enxerto utilizado (ex.: tendão patelar, isquiotibial ou quadríceps) também constitui uma limitação metodológica,

visto que nem todos se recordavam dessas informações. A avaliação do nível de atividade física e do comportamento sedentário por meio de questionários autoaplicáveis pode ser considerada uma limitação. Apesar de serem amplamente utilizados em pesquisas de reabilitação, esses instrumentos estão sujeitos a vieses de memória e apresentam sensibilidade limitada, sobretudo para detectar atividades leves, movimentos breves ou variações diárias. Ainda assim, cabe destacar que a atividade física foi incluída apenas como variável descritiva para a caracterização da amostra, não constituindo desfecho do estudo. Embora os participantes tenham sido orientados a manter seus hábitos alimentares, não é possível descartar que variações na dieta tenham influenciado os resultados relacionados à massa corporal. As medidas de espessura muscular foram utilizadas como indicador indireto de hipertrofia, o que pode limitar a interpretação dos resultados. Essa abordagem limita-se a variações na secção transversa muscular e desconsidera alterações na área de secção transversa ou no volume muscular. O delineamento intra-sujeito permitiu uma exposição mais próxima das atividades cotidianas, o que seria difícil de alcançar em desenhos com grupos independentes. Essa abordagem também contribuiu para minimizar as variações individuais, garantindo comparações mais precisas entre os membros. Por outro lado, a ausência de um grupo controle sem intervenção limita a generalização e reduz a validade interna dos achados. Estudos futuros, especialmente ensaios clínicos randomizados, são necessários para confirmar os resultados. Embora medidas de adesão tenham sido adotadas — incluindo a possibilidade de envio de fotos ou vídeos das sessões —, essa comprovação não foi obrigatória. Dessa forma, parte da fidelidade da intervenção baseou-se em autorrelato, o que pode introduzir viés e deve ser considerado uma limitação adicional. Assim, estudos futuros com delineamentos paralelos e grupos controle adequados são recomendados para fortalecer a evidência. Em síntese, as limitações identificadas não comprometem os achados centrais, mas devem ser consideradas ao interpretar a magnitude e generalização dos resultados.

#### **4.4 CONCLUSÃO**

O presente estudo representa um avanço na reabilitação após reconstrução do LCA ao demonstrar que a caminhada associada à RFS é capaz de gerar adaptações musculares, funcionais e perceptuais relevantes. Observou-se aumento consistente da força dos extensores e flexores do joelho e plantiflexores do tornozelo no membro operado, com ganhos que superaram o membro contralateral para os extensores e plantiflexores. No entanto, apenas os plantiflexores do membro inicialmente mais fraco ultrapassaram o limiar da MMD, indicando

uma mudança relevante. Adicionalmente, também foram verificadas adaptações importantes nos parâmetros da marcha. Houve aumento no comprimento do passo e reduções no tempo de passo, tempo de apoio e tempo de duplo apoio, mudanças que ultrapassaram valores da MMD. Esses achados indicam que a caminhada associada à RFS pode modificar aspectos espaciais e temporais da marcha mesmo quando aplicada com cargas baixas. Além disso, os aspectos perceptuais também apresentaram avanços, refletindo maior confiança funcional, menor sensação de instabilidade e redução do medo de movimento. É importante destacar que essas melhorias foram observadas em um protocolo de baixa intensidade, baseado na aplicação progressiva e controlada da RFS com o objetivo de preservar o enxerto no período crítico de cicatrização. O caráter híbrido do programa – combinando sessões presenciais e domiciliares – mostrou-se factível, de fácil implementação e com alta adesão, reforçando sua aplicabilidade clínica. Apesar dos resultados promissores, a interpretação deve ser cautelosa devido às características específicas da amostra (jovens adultos com assimetrias persistentes e tempos pós-operatórios variados). Além disso, nem todas as variáveis musculares ultrapassaram a MMD. Ainda assim, as magnitudes de mudança observadas foram compatíveis com aquelas relatadas em estudos que utilizaram protocolos de maior intensidade e maior estresse mecânico – muitos dos quais não reportaram valores de MMD. Isso reforça a necessidade de interpretar nossos resultados a partir das magnitudes relativas. Por fim, o protocolo aplicado combina inovação, segurança e eficácia, oferecendo uma ferramenta prática para acelerar a recuperação funcional e muscular de forma progressiva, controlada e com baixa sobrecarga. Esses achados reforçam o potencial da caminhada associada à RFS como estratégia complementar na reabilitação após procedimentos cirúrgicos de reconstrução de LCA.

**CAPÍTULO 4  
CONCLUSÃO GERAL**

#### **4.1 CONCLUSÃO GERAL**

O objetivo principal desta tese foi investigar se assimetrias de força muscular nos membros inferiores poderiam ser reduzidas por meio de um programa de caminhada associado à restrição parcial do fluxo sanguíneo (RFS), aplicado no segmento-intervenção (SI), utilizando o segmento-controle (SC) como referência. Os resultados demonstraram que a intervenção proposta foi eficaz, promovendo adaptações musculares relevantes e contribuindo de forma consistente para a redução das assimetrias entre os membros.

No Estudo experimental 1, conduzido em adultos jovens sem histórico de lesões musculoesqueléticas, o objetivo principal foi reduzir a assimetria de força da musculatura extensora do joelho (~15%). Considerando a magnitude relativa das alterações, a intervenção promoveu ganhos expressivos na musculatura ao redor do tornozelo (plantiflexores e dorsiflexores) e do joelho (extensores e flexores), resultando em redução da assimetria para aproximadamente 11% — valor funcionalmente tolerável (BETTARIGA et al., 2022). Contudo, ao aplicar o limiar da Mudança Mínima Detectável (MMD), apenas os plantiflexores do SI e os dorsiflexores de ambos os segmentos ultrapassaram o limiar de detecção, indicando alterações musculares relevantes. Uma expressiva parcela dos estudos destinados a promover incrementos sobre a força e função musculares tem relatado ganhos, todavia, sem considerar os limiares da MMD (ABE et al., 2009; ABE; KEARNS; SATO, 2006; PEREIRA NETO et al., 2018; SAKAMAKI; BEMBEN; ABE, 2011).

Os ganhos pronunciados na força muscular do tornozelo podem ser explicados pela natureza do protocolo de intervenção. A caminhada impõe elevada ativação dos plantiflexores (AKALAN et al., 2018; LIN et al., 2021), que, associada ao elevado número de repetições de baixa intensidade, pode ter sido adequada para induzir adaptações substanciais. Por outro lado, a menor demanda dos músculos que atuam ao redor do joelho pode ter sido insuficiente para induzir adaptações expressivas nos extensores e flexores do joelho. As diferentes demandas musculares em cada uma das fases da marcha podem ter gerado estímulos distintos, sendo especialmente efetiva para músculos que atuam ao redor do tornozelo, apesar de estarem mais distais em relação ao local de aplicação da oclusão. Desta forma, a intervenção promoveu ganhos consistentes na musculatura do tornozelo, e pode ser considerada como efetiva para reduzir déficits de força mais acentuados.

Ao aplicar a mesma estratégia em adultos jovens após reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA), os efeitos positivos foram replicados, confirmando a efetividade da caminhada associada à RFS, mesmo em fases tardias da reabilitação. Além de favorecer ganhos

de força e simetria muscular, a intervenção promoveu melhorias perceptivas importantes, incluindo maior confiança, menor medo do movimento, melhor percepção da estabilidade e aumento da qualidade de vida.

Considerando a magnitude das alterações, o SI apresentou aumentos de força maiores do que os do SC nos extensores do joelho e nos plantiflexores do tornozelo, enquanto os demais grupos musculares mostraram ganhos comparáveis entre os segmentos. Ao aplicar o limiar da MMD, apenas os plantiflexores do SI ultrapassaram o limiar de detecção, reforçando o rigor metodológico do estudo. O protocolo demonstrou, portanto, capacidade de reduzir as assimetrias musculares acentuadas nos extensores do joelho (de ~17% para ~9%). Adicionalmente, foram identificados ganhos na força da musculatura distal em relação ao local de aplicação da RFS. Esses ganhos podem ser atribuídos às maiores demandas da marcha, em comparação com outros grupos musculares relativamente menos recrutados durante a marcha. Os efeitos positivos não se limitaram à força muscular, que pode ter produzido mudanças em parâmetros espaço-temporais da marcha e causado melhorias em aspectos perceptuais, como maior confiança e sensação de estabilidade.

Esses achados indicam que a caminhada associada à RFS é uma estratégia efetiva, capaz de gerar adaptações musculares, funcionais e perceptuais, com estímulos de baixa intensidade. Tais modificações revelam um conjunto de vantagens relevantes do presente protocolo em contextos clínicos em que déficits de força precisam ser reduzidos. É plausível supor que a aplicação do protocolo nas fases iniciais da reabilitação poderia resultar em ganhos importantes, dada sua baixa intensidade e elevada capacidade de aumentar a força muscular. De fato, déficits expressivos permitem ganhos substanciais devido à elevada margem de adaptabilidade muscular (baixa capacidade de gerar força) observada imediatamente após procedimentos cirúrgicos de reconstrução do LCA.

Esta tese fornece evidências de que a caminhada associada à RFS é capaz de induzir adaptações musculares, funcionais e perceptuais mesmo em intensidades muito inferiores às tradicionalmente prescritas em protocolos de treinamento resistido. Isso amplia o entendimento das adaptações musculares ao exercício com RFS, demonstrando que a caminhada associada à RFS favorece a recuperação e reduz as assimetrias entre os membros inferiores. Na prática clínica, esses achados têm implicações diretas e relevantes.

Embora os resultados sejam consistentes, é importante considerar que a amostra incluiu participantes em diferentes estágios de reabilitação, o que pode influenciar o potencial adaptativo. Futuras investigações devem explorar os efeitos da caminhada associada à RFS em fases precoces da recuperação e compará-los aos de protocolos tradicionais que empregam

intensidades elevadas. Em síntese, os achados desta tese evidenciam que a caminhada associada à RFS é uma estratégia inovadora e eficiente para restaurar força, simetria, função e confiança, oferecendo uma importante alternativa de reabilitação. O conjunto de parâmetros permite que aspectos musculares, funcionais e perceptuais sejam considerados no contexto do presente protocolo de reabilitação.

## **4.2 SÍNTESE DAS HIPÓTESES DOS ESTUDOS**

### **4.2.1 Estudo 1**

H<sub>1</sub>) O segmento submetido à oclusão apresentará aumento da força dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, em comparação ao segmento controle (contralateral), após o programa de caminhada associado à RFS, em adultos sem histórico de lesão no LCA;

- Hipótese aceita parcialmente. Houve aumento de força em todos os grupos musculares avaliados (extensores e flexores do joelho, plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo); contudo, apenas os extensores do joelho demonstraram ganhos superiores ao segmento controle.

H<sub>2</sub>) O protocolo reduzirá a assimetria de força muscular entre os membros inferiores, com ênfase nos extensores do joelho;

- Hipótese aceita. A assimetria identificada nos extensores do joelho reduziu de aproximadamente 15% para 11%.

H<sub>3</sub>) O segmento submetido à oclusão apresentará aumento da espessura muscular dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, em comparação ao segmento controle (contralateral), após o protocolo;

- Hipótese rejeitada. A espessura muscular permaneceu inalterada após o treinamento.

H<sub>4</sub>) O protocolo promoverá melhora no desempenho da marcha, em diferentes velocidades de caminhada.

- Hipótese aceita parcialmente. Houve aumento apenas na largura do passo, independentemente da velocidade.

#### 4.2.2 Estudo 2

H<sub>1</sub>) Antes do treinamento, adultos com histórico de lesão no LCA apresentarão assimetria de força muscular entre os membros inferiores, especialmente na musculatura extensora do joelho;

- Hipótese aceita. Foram observadas assimetrias iniciais de 25% nos plantiflexores (reduzida para 16%) e 17% nos extensores (reduzida para 9%).

H<sub>2</sub>) O segmento submetido à oclusão apresentará aumento da força dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, em comparação ao segmento controle (contralateral), após o programa de caminhada associado à RFS, em adultos jovens com histórico de lesão no LCA;

- Hipótese aceita parcialmente. Embora todos os grupos musculares tenham apresentado aumento de força, apenas os extensores do joelho e os plantiflexores exibiram ganhos superiores ao membro controle.

H<sub>3</sub>) O segmento submetido à oclusão apresentará aumento da espessura muscular dos músculos extensores e flexores do joelho, e dos plantiflexores e dorsiflexores do tornozelo, em comparação ao segmento controle (contralateral), após o protocolo;

- Hipótese rejeitada. A espessura muscular permaneceu inalterada após o treinamento.

H<sub>4</sub>) O protocolo promoverá melhora no desempenho da marcha, em diferentes velocidades de caminhada;

Hipótese aceita. Foram observadas melhorias nos parâmetros espaço-temporais da marcha, independentemente da velocidade.

H<sub>5</sub>) O protocolo reduzirá a dor, os sintomas e a cinesiofobia, e promoverá melhora nos escores de função auto-relatada e qualidade de vida.

- Hipótese aceita. Houve melhora perceptiva consistente da função, embora nem todos os domínios tenham apresentado mudanças significativas.

## REFERÊNCIAS

- AAGAARD, Per. et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 4, p. 1318–1326, out. 2002.
- ABE, T. et al. Effects of 42 weeks Walk Training with Blood Flow Reduction on Muscle Size and Strength in the Elderly. **Proceedings of the International Conference on Sports Science and Health**, p. 336–341, 2009.
- ABE, T. et al. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO<sub>2</sub>MAX in young men. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 9, n. 3, p. 452-458, set. 2010.
- ABE, T. et al. Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow-restricted limbs and non-restricted muscles: A brief review. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 32, n. 4, p. 247–252, jul. 2012.
- ABE, T.; KEARNS, C. F.; SATO, Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 5, p. 1460–1466, mai. 2006a.
- AKALAN, N. E. et al. Does clinically measured ankle plantar flexor muscle strength or weakness correlate with walking performance in healthy individuals? **Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation**, v. 31, n. 6, p. 1201–1209, nov. 2018.
- ALEXANDER, N.; SCHWAMEDER, H. Effect of sloped walking on lower limb muscle forces. **Gait and Posture**, v. 47, p. 62–67, jun. 2016.
- ALIX-FAGES, C. et al. The role of the neural stimulus in regulating skeletal muscle hypertrophy. **European Journal of Applied Physiology**, v. 122, n. 5, p. 1111–1128, mai. 2022.
- AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 41, n. 3, p. 687–708, mar. 2009.

ARDERN, C. L. et al. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. **British Journal of Sports Medicine**, v. 48, n. 21, p. 1543–1552, nov. 2014.

ARHOS, E. K. et al. Individuals early after anterior cruciate ligament reconstruction show intact motor learning of step length via the split-belt treadmill. **Clinical Biomechanics**, v. 115, mai. 2024.

ARHOS, E. K. et al. Quadriceps Strength Symmetry Does Not Modify Gait Mechanics After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, Rehabilitation, and Return-to-Sport Training. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 49, n. 2, p. 417–425, fev. 2021.

ARMITANO-LAGO, C. et al. Lower limb coordination patterns following anterior cruciate ligament reconstruction: A longitudinal study. **Journal of Sport and Health Science**, v. 14, dez. 2025.

ATKINS, S. J. et al. The Presence of Bilateral Imbalance of the Lower Limbs in Elite Youth Soccer Players of Different Ages. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 30, n. 4, p. 1007–1013, abr. 2016.

BEATO, M. et al. Lower-Limb Muscle Strength, Anterior-Posterior and Inter-Limb Asymmetry in Professional, Elite Academy and Amateur Soccer Players. **Journal of Human Kinetics**, v. 77, n. 1, p. 135–146, jan. 2021.

BEEKLEY, M. D.; SATO, Y.; ABE, T. KAATSU-walk training increases serum bone-specific alkaline phosphatase in young men. **International Journal of KAATSU Training Research**, v. 1, n. 2, p. 77–81, 2005.

BERG, H. E.; TEDNER, B.; TESCH, P. A. Changes in lower limb muscle cross-sectional area and tissue fluid volume after transition from standing to supine. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 148, n. 4, p. 379–385, 1993.

BETTARIGA, F. et al. The Effects of Training Interventions on Interlimb Asymmetries: A Systematic Review With Meta-analysis. **Strength & Conditioning Journal**, v. 44, n. 5, p. 69–86, out. 2022.

BIRCHMEIER, T. B. et al. Differences in gait biomechanics in the first year after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. **Clinical Biomechanics**, v. 131, p. 106707, jan. 2026.

BISHOP, C. et al. Drop Jump Asymmetry is Associated with Reduced Sprint and Change-of-Direction Speed Performance in Adult Female Soccer Players. **Sports**, v. 7, n. 1, p. 29, jan. 2019.

BISHOP, C. et al. Interlimb Asymmetries: Understanding How to Calculate Differences From Bilateral and Unilateral Tests. **Strength & Conditioning Journal**, v. 40, n. 4, p. 1–6, ago. 2018.

BISHOP, C.; TURNER, A.; READ, P. Effects of inter-limb asymmetries on physical and sports performance: a systematic review. **Journal of Sports Sciences**, v. 36, n. 10, p. 1135–1144, maio 2018.

BOBES ÁLVAREZ, C. et al. Comparison of Blood Flow Restriction Training versus Non-Occlusive Training in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction or Knee Osteoarthritis: A Systematic Review. **Journal of Clinical Medicine**, v. 10, n. 1, p. 68, dez. 2020.

BOMMASAMUDRAM, T. et al. Chronic adaptations to blood flow restriction aerobic or bodyweight resistance training: A systematic review. **Journal of Sports Sciences**, v. 43, n. 19, p. 2241–2255, out. 2025.

BORG, Gunnar. **Borg 's Perceived Exertion and Pain Scales**. Champaign: Human Kinetics, 1998.

BOWMAN, E. N. et al. Proximal, Distal, and Contralateral Effects of Blood Flow RestrictionTraining on the Lower Extremities: A Randomized Controlled Trial. **Sports Health: A Multi-disciplinary Approach**, v. 11, n. 2, p. 149–156, mar. 2019.

BREIVIK, H. et al. Assessment of pain. **British Journal of Anaesthesia**, v. 101, n. 1, p. 17–24, jul. 2008.

BRIGATTO, F. A. et al. High Resistance-Training Volume Enhances Muscle Thickness in Resistance-Trained Men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 36, n. 1, p. 22–30, jan. 2022.

- BROWN, H. et al. Factors affecting occlusion pressure and ischemic preconditioning. **European Journal of Sport Science**, v. 18, n. 3, p. 387–396, mar. 2018.
- BULL, F. C et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. **British Journal of Sports Medicine**, v. 54, n. 24, p. 1451–1462, dez. 2020.
- BURTON, I.; MCCORMACK, A. Blood Flow Restriction Resistance Training in Tendon Rehabilitation: A Scoping Review on Intervention Parameters, Physiological Effects, and Outcomes. **Frontiers in Sports and Active Living**, v. 4, abr. 2022.
- CAPPELLINI, G. et al. Motor patterns in human walking and running. **Journal of Neurophysiology**, v. 95, n. 6, p. 3426–3437, jun. 2006.
- CARTER, D. R. et al. The mechanobiology of articular cartilage development and degeneration. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, v. 427, 2004.
- CENTNER, C. et al. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Medicine**, v. 49, n. 1, p. 95–108, jan. 2019.
- CENTNER, C.; LAUBER, B. A Systematic Review and Meta-Analysis on Neural Adaptations Following Blood Flow Restriction Training: What We Know and What We Don't Know. **Frontiers in Physiology**, v. 11, ago. 2020.
- CERQUEIRA, M. S. et al. Blood Flow Restriction Training: To Adjust or Not Adjust the CuffPressure Over an Intervention Period? **Frontiers in Physiology**, v. 12, jun. 2021.
- CHARLES, D. et al. A Systematic Review Of The Effects of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Atrophy and Circumference Post ACL Reconstruction. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 15, n. 6, p. 882–891, dez. 2020.
- CHMIELEWSKI, T. L. Asymmetrical lower extremity loading after ACL reconstruction: More than meets the eye. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 41, n. 6, p. 374–376, jun. 2011.
- CHODZKO-ZAJKO, W. J. et al. Exercise and physical activity for older adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 41, n. 7, p. 1510-1530, jul. 2009.

CHRISTENSEN, J. C. et al. Quadriceps weakness preferentially predicts detrimental gait compensations among common impairments after total knee arthroplasty. **Journal of Orthopaedic Research**, v. 36, n. 9, p. 2355–2363, set. 2018.

CHUNG, M.; WANG, M. The change of gait parameters during walking at different percentage of preferred walking speed for healthy adults aged 20–60 years. **Gait & Posture**, v. 31, n. 1, p. 131–135, jan. 2010.

CLARK, D. J. et al. Neuromuscular determinants of maximum walking speed in well-functioning older adults. **Experimental Gerontology**, v. 48, n. 3, p. 358–363, mar. 2013.

CLARKSON, M. J.; CONWAY, L.; WARMINGTON, S. A. Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 20, n. 12, p. 1041–1046, dez. 2017.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2 ed. New York: Academic Press, 1988.

COHEN, J. A.; VERGHESE, J.; ZWERLING, J. L. Cognition and gait in older people. **Maturitas**, v. 93, p. 73-77, nov. 2016.

COLAPIETRO, M. et al. Effects of Blood Flow Restriction Training on Clinical Outcomes for Patients with ACL Reconstruction: A Systematic Review. **Sports Health**, v. 15, n. 2, p. 260-273, mar. 2023.

COLLINS, N. J. et al. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). **Arthritis Care and Research**, v. 63, nov. 2011.

CONSTANTINOU, A. et al. Comparing hip and knee focused exercises versus hip and knee focused exercises with the use of blood flow restriction training in adults with

patellofemoral pain. **European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine**, v. 58, n. 2, p. 225–235,  
abr. 2022.

CUYUL-VÁSQUEZ, I. et al. The addition of blood flow restriction to resistance exercise in individuals with knee pain: a systematic review and meta-analysis. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 24, n. 6, p. 465–478, nov. 2020.

DANKEL, S. J. et al. The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure. **Sports Medicine**, v. 46, n. 1, p. 23–33, jan. 2016.

DE ARAUJO RIBEIRO ALVARES, J. B. et al. Inter-machine reliability of the Biomedex and Cybex isokinetic dynamometers for knee flexor/extensor isometric, concentric and eccentric tests. **Physical Therapy in Sport**, v. 16, n. 1, p. 59–65, fev. 2015.

DE MELO, R. F. V. Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 54, p. jrm00337, nov. 2022b.

DE QUEIROS, V. S. et al. Effect of High-Intensity Interval Exercise versus Continuous Low-Intensity Aerobic Exercise with Blood Flow Restriction on Psychophysiological Responses: A Randomized Crossover Study. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 23, n. 1, p. 114–125, mar. 2024.

DE RENTY, C. et al. Knee Loading With Blood Flow Restriction Can Enhance Recovery After Total Knee Arthroplasty. **Cureus**, v. 15, n. 4, p. e37895, abr. 2023.

DELBAERE, K. et al. Fear-related avoidance of activities, falls and physical frailty. A prospective community-based cohort study. **Age and Ageing**, v. 33, n. 4, p. 368–373, jul. 2004.

DEPHILLIPO, N. N. et al. Blood Flow Restriction Therapy After Knee Surgery: Indications, Safety Considerations, and Postoperative Protocol. **Arthroscopy Techniques**, v. 7, n. 10, p. e1037–e1043, out. 2018.

D'HONDT, J. et al. Association Between Inter-Limb Asymmetry and Determinants of Middle-

- and Long-distance Running Performance in Healthy Populations: A Systematic Review. **Sports Medicine Open**, v. 10, n. 1, p. 127, nov. 2024.
- DOTAN, R. et al. Child-adult differences in the kinetics of torque development. **Journal of Sports Sciences**, v. 31, n. 9, p. 945–953, mai. 2013.
- DOUNGSONG, K. et al. RCT-based Social Return on Investment (SROI) of a Home Exercise Program for People With Early Dementia Comparing In-Person and Blended Delivery Before and During the COVID-19 Pandemic. **INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing**, v. 61, jan. 2024.
- DRIGNY, J. et al. Knee strength symmetry at 4 months is associated with criteria and rates of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. **Annals of Physical and Rehabilitation Medicine**, v. 65, n. 4, p. 101646, jun. 2022.
- EKNOYAN, G. Adolphe Quetelet (1796-1874) - The average man and indices of obesity. **Nephrology Dialysis Transplantation**, v. 23, n. 1, p. 47–51, jan. 2008.
- ERELINE, J.; GAPEYEVA, H.; PÄÄSUKE, M. Comparison of twitch contractile properties of plantarflexor muscles in Nordic combined athletes, cross-country skiers, and sedentary men. **European Journal of Sport Science**, v. 11, n. 1, p. 61–67, jan. 2011.
- ERICKSON, L. N et al. Effect of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Strength, Morphology, Physiology, and Knee Biomechanics Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Protocol for a Randomized Clinical Trial. **Physical Therapy**, v. 99, n. 8, p. 1010–1019, ago. 2019.
- EVANGELIDIS, P. E. et al. Strength and size relationships of the quadriceps and hamstrings with special reference to reciprocal muscle balance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 3, p. 593–600, mar. 2016.
- FALLON, N. E. et al. The impact of cuff width on perceptual responses during and following blood flow restricted walking exercise. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 42, n. 1, p. 29–34, jan. 2022.
- FARAS, T. J. et al. The effect of unilateral blood flow restriction on temporal and spatial gait parameters. **Heliyon**, v. 5, n. 1, p. e01146, jan. 2019.

FARRIS, D. J.; SAWICKI, G. S. Human medial gastrocnemius force-velocity behavior shifts with locomotion speed and gait. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 3, p. 977–982, jan. 2012.

FATELA, P. et al. Acute effects of exercise under different levels of blood-flow restriction on muscle activation and fatigue. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 5, p. 985–995, mai. 2016.

FERNANDES, R. V. et al. Low-Load Resistance Exercise with Blood Flow Restriction Increases Hypoxia-Induced Angiogenic Genes Expression. **Journal of Human Kinetics**, v. 84, n. 1, p. 82–91, out. 2022.

FERRAZ, R. B. et al. Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee Osteoarthritis. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 50, n. 5, p. 897–905, mai. 2018.

FOLEY, A. et al. Return To Sport Following ACL Reconstruction. **Current Reviews in Musculoskeletal Medicine**, v. 18, n. 12, p. 599–610, jul. 2025.

FONSECA, P. A. B. et al. Comparison of Traditional and Advanced Resistance Training Paradigms on Muscle Hypertrophy in Trained Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Translational Sports Medicine**, jun. 2023.

FRAIZ, G. M. et al. Relationship between muscle thickness and calf circumference in healthy older women. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, v. 86, p. 103942, jan. 2020.

FRANCIS, C. A. et al. The modulation of forward propulsion, vertical support, and center of pressure by the plantarflexors during human walking. **Gait and Posture**, v. 38, n. 4, p. 993–997, set. 2013.

FRENCH, D. J. et al. Fear of movement/(re)injury in chronic pain: a psychometric assessment of the original English version of the Tampa scale for kinesiophobia (TSK). **Pain**, v. 127, n. 1-2, p. 42–51, jan. 2007.

FU, S. et al. Effects of knee extension constraint training on knee and loading asymmetry during walking and running after unilateral ACL reconstruction: A pilot randomized clinical trial. **Gait & posture**, v. 122, p. 175–182, out. 2025.

GANDOLFI, M. et al. Changes in the sensorimotor system and semitendinosus muscle morphometry after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective cohort study with 1-year follow-up. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 26, n. 12, p. 3770–3779, dez. 2018.

GILES, L. et al. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomised trial. **British Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 23, p. 1688–1694, dez. 2017.

GONÇALVES, R. S. et al. Cross-cultural adaptation and validation of the Portuguese version of the Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS). **Osteoarthritis and Cartilage**, v. 17, n. 9, p. 1156–1162, set. 2009.

GOPINATTH, V. et al. Blood Flow Restriction Enhances Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. **Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery**, v. 41, n. 4, p. 1048–1060, abr. 2025.

GRABER, J. et al. Optimizing the Accuracy and Precision of the Minimal Detectable Change Statistic: Secondary Analysis of Test-retest Data From the NIH Toolbox Study. **Physical Therapy**, v. 105, n. 2, fev. 2025.

GUAN, Y. et al. Association between Inter-Limb Asymmetries in Lower-Limb Functional Performance and Sport Injury: A Systematic Review of Prospective Cohort Studies. **Journal of Clinical Medicine**, v. 11, n. 2, p. 360, jan. 2022.

GUEDES, D. P.; GUEDES, J. E. R. P. **Manual Prático para Avaliação em Educação Física**. 1 ed. Barueri: Editora Manole, 2006.

HAK, L. et al. Stepping strategies for regulating gait adaptability and stability. **Journal of Biomechanics**, v. 46, n. 5, p. 905–911, mar. 2013.

HARPUT, G. et al. Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 27, n. 1, p. 68–75, jan. 2019.

HART, H. F et al. Knee kinematics and joint moments during gait following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. **British Journal of Sports Medicine**, v. 50, n. 10, p. 597–612, mai. 2016.

HAUN, C. T. et al. A critical evaluation of the biological construct skeletal muscle hypertrophy: Size matters but so does the measurement. **Frontiers in Physiology**, v. 10, p. 247, mar. 2019.

HENRIKSEN, P. et al. Supervised, Heavy Resistance Training Is Tolerated and Potentially Beneficial in Women with Knee Pain and Knee Joint Hypermobility: A Case Series. **Translational Sports Medicine**, v. 2022, p. 1–11, dez. 2022.

HEREDIA-JIMENEZ, J.; ORANTES-GONZALEZ, E.; SOTO-HERMOSO, V. M. Variability of gait, bilateral coordination, and asymmetry in women with fibromyalgia. **Gait and Posture**, v. 45, p. 41–44, mar. 2016.

HEWETT, T. E. et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. **American Journal of Sports Medicine**, v. 33, n. 4, p. 492–501, abr. 2005.

HÖGBERG, J. et al. Only 1 in 10 patients achieve their rehabilitation goals at 1 year and 1 in 4 at 2 years following ACL reconstruction: An analysis of 907 patients. **Journal of Experimental Orthopaedics**, v. 12, n. 4, out. 2025.

HOPKINS, W. G. Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. **Sports Medicine**, v. 30, n. 1, p. 1–15, 2000.

HORTOBÁGYI, T. et al. Old adults perform activities of daily living near their maximal capabilities. **Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences**, v. 58, n. 5, p. 453–460, 2003.

HSIEH, K. L. et al. Effect of Blood Flow Restriction on Gait and Mobility in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 21, n. 12, p. 1325, out. 2024.

HUGHES, L. et al. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. **British Journal of Sports Medicine**, v. 51, n. 13, p. 1003–1011, jul. 2017.

HUGHES, L. et al. Blood Flow Restriction Training in Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstructive Surgery: A Review. **Techniques in Orthopaedics**, v. 33, n. 2, p. 106–113, jun. 2018.

HUGHES, L. et al. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. **Sports Medicine**, v. 49, n. 11, p. 1787–1805, nov. 2019.

HUGHES, L.; PATTERSON, S. D. The effect of blood flow restriction exercise on exercise-induced hypoalgesia and endogenous opioid and endocannabinoid mechanisms of pain modulation. **Journal of Applied Physiology**, v. 128, n. 4, p. 914–924, abr. 2020.

INGELSRUD, L. H. et al. Proportion of Patients Reporting Acceptable Symptoms or Treatment Failure and Their Associated KOOS Values at 6 to 24 Months after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Study from the Norwegian Knee Ligament Registry. **American Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 8, p. 1902–1907, ago. 2015.

ITHURBURN, M. P. et al. Young Athletes With Quadriceps Femoris Strength Asymmetry at Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Demonstrate Asymmetric Single-Leg Drop-Landing Mechanics. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 11, p. 2727–2737, nov. 2015.

IVANENKO, Y. P.; POPPELE, R. E.; LACQUANITI, F. Five basic muscle activation patterns account for muscle activity during human locomotion. **Journal of Physiology**, v. 556, n. 1, p. 267–282, abr. 2004.

JI, S. et al. Local and Systemic Responses to Low-Intensity Cycling With Blood Flow Restriction Compared to High-Intensity Cycling: A Randomized Crossover Study. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 35, n. 11, p. e70157, nov. 2025.

JORDAN, M. J.; AAGAARD, P.; HERZOG, W. Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 25, n. 3, p. e301–e309, jun. 2015.

JORDAN, M. J.; BISHOP, C. Testing Limb Symmetry and Asymmetry After Anterior Cruciate Ligament Injury: 4 Considerations to Increase Its Utility. **Strength & Conditioning Journal**, v. 46, n. 4, p. 406-414, 2023.

JORGENSON, K. W.; PHILLIPS, S. M.; HORNBERGER, T. A. Identifying the Structural Adaptations that Drive the Mechanical Load-Induced Growth of Skeletal Muscle: A Scoping Review. **Cells**, v. 9, n. 7, p. 1658, jul. 2020.

KARAGIANNIDIS, E. Semitendinosus muscle architecture during maximum isometric contractions in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction and controls. **Muscle, Ligaments and Tendons Journal**, v. 7, n. 1, p. 147-151, mai. 2017.

KARANASIOS, S. et al. Low-Intensity Blood Flow Restriction Exercises Modulate Pain Sensitivity in Healthy Adults: A Systematic Review. **Healthcare**, v. 11, n. 5, p. 726, mar. 2023.

KARGARAN, A. et al. Effects of dual-task training with blood flow restriction on cognitive functions, muscle quality, and circulatory biomarkers in elderly women. **Physiology & Behavior**, v. 239, p. 113500, out. 2021.

KAUR, M. et al. Movement Patterns of the Knee During Gait Following ACL Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Medicine**, v. 46, n. 12, p. 1869-1895, dez. 2016.

KILGAS, M. A. et al. Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Medicine**, v. 40, n. 10, p. 650–656, set. 2019.

KOC, B. B. et al. Effect of Low-Load Blood Flow Restriction Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 17, n. 3, p. 334-346, abr. 2022.

KORAKAKIS, V.; WHITELEY, R.; GIAKAS, G. Low load resistance training with blood flow restriction decreases anterior knee pain more than resistance training alone. A pilot randomised controlled trial. **Physical Therapy in Sport**, v. 34, p. 121–128, nov. 2018.

KOTSIFAKI, R. et al. Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. **British Journal of Sports Medicine**, v. 57, n. 9, p. 500-514, mai. 2023.

KOUTRAS, G. et al. A randomized trial of isokinetic versus isotonic rehabilitation program after arthroscopic meniscectomy. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 7, n. 1, p. 31–8, fev. 2012.

KYRITSIS, P. et al. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. **British Journal of Sports Medicine**, v. 50, n. 15, p. 946–951, ago. 2016.

LADLOW, P. et al. Low-Load Resistance Training With Blood Flow Restriction Improves Clinical Outcomes in Musculoskeletal Rehabilitation: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. **Frontiers in Physiology**, v. 9, 10 set. 2018.

LANG, S. et al. Do digital interventions increase adherence to home exercise rehabilitation? A systematic review of randomised controlled trials. **Archives of Physiotherapy**, v. 12, n. 1, p. 24, out. 2022.

LARSEN, P. et al. Knee injury and osteoarthritis outcome score (KOOS) – National record-based reference values. **Knee**, v. 43, p. 144–152, ago. 2023.

LARWA, J. et al. Stiff Landings, Core Stability, and Dynamic Knee Valgus: A Systematic Review on Documented Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Male and Female Athletes. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 7, p. 3826, abr. 2021.

LAURENTINO, G. et al. Effects of strength training and vascular occlusion. **International Journal of Sports Medicine**, v. 29, n. 8, p. 664–667, ago. 2008.

LECCE, E. et al. Cross-education: motor unit adaptations mediate the strength increase in nontrained muscles following 8 weeks of unilateral resistance training. **Frontiers in Physiology**, v. 15, 2024.

LEPORACE, G. et al. Use of spatiotemporal gait parameters to determine return to sports after ACL reconstruction. **Acta Ortopedica Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 73–76, 2016.

LEWEK, M. et al. The effect of insufficient quadriceps strength on gait after anterior cruciate ligament reconstruction. **Clinical Biomechanics (Bristol)**, v. 17, n. 1, p. 56–63, jan. 2002.

LI, W. et al. Analysis of the activation modalities of the lower limb muscles during walking. **Technol Health Care**, v. 28, n. 5, p. 521-532, 2020.

LI, W. et al. Blood flow restriction training: a new approach for preventing and treating sarcopenia in older adults. **Frontiers in Physiology**, v. 26, p. 1616874, 2025.

LI, X. et al. Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled external pilot study. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 24, n. 1, p. 360, mai. 2023.

LIM, Y. P.; LIN, Y. C.; PANDY, M. G. Effects of step length and step frequency on lower-limb muscle function in human gait. **Journal of Biomechanics**, v. 57, p. 1–7, mai. 2017.

LIN, J. et al. Ankle Muscle Activations during Different Foot-Strike Patterns in Running. **Sensors**, v. 21, n. 10, p. 3422, mai. 2021.

LIXANDRÃO, M. E. et al. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. **European Journal of Applied Physiology**, v. 115, n. 12, p. 2471–2480, set. 2015.

LIXANDRÃO, M. E. et al. Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Medicine**, v. 48, n. 2, p. 361–378, fev. 2018.

LOENNEKE, Jeremy P. et al. Low intensity blood flow restriction training: A meta-analysis. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 5, p. 1849–1859, mai. 2012.

LORENZ, Daniel S. et al. Blood Flow Restriction Training. **Journal of Athletic Training**, v. 56, n. 9, p. 937–944, set. 2021.

LUNG, C. et al. Effects of various walking intensities on leg muscle fatigue and plantar pressure distributions. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 22, n. 1, p. 831, dez. 2021.

LYLE, M. A. et al. Associations of Strength and Spatiotemporal Gait Variables With Knee Loading During Gait After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Journal of Athletic Training**, v. 57, n. 2, p. 158–164, fev. 2022.

LYNALL, R. C. et al. Reliability and validity of the protokinetics movement analysis software in measuring center of pressure during walking. **Gait & Posture**, v. 52, p. 308–311, fev. 2017.

LYNCH, A. D. et al. Consensus criteria for defining “successful outcome” after ACL injury and reconstruction: a Delaware-Oslo ACL cohort investigation. **British Journal of Sports Medicine**, v. 49, n. 5, p. 335–342, mar. 2015.

LYSHOLM, J.; GILLQUIST, J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 10, n. 3, p. 150–154, mai. 1982.

MACFARLANE, P. A.; LOONEY, M. A. Walkway length determination for steady state walking in young and older adults. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 79, n. 2, p. 261–267, 2008.

MAKINO, A. et al. Ground Reaction Force And Electromyograms Of Lower Limb Muscles During Fast Walking. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 54, n. 9S, p. 222–222, set. 2022.

MANCA, A. et al. Neurophysiological adaptations in the untrained side in conjunction with cross-education of muscle strength: a systematic review and meta-analysis. **J Appl Physiol**, v. 124, p. 1502–1518, 2018.

MATSUDO, S et al. Questionário Internacional de Atividade Física (IPAQ): Estudo de Validez e Reprodutibilidade no Brasil. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, v. 6, n. 2, 2001.

MCCREESH, K.; EGAN, S. Ultrasound measurement of the size of the anterior tibial muscle group: The effect of exercise and leg dominance. **Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy and Technology**, v. 3, n. 1, set. 2011.

MIDDLETON, A. et al. Self-selected and maximal walking speeds provide greater insight into

fall status than walking speed reserve among community-dwelling older adults. **American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 95, n. 7, p. 475–482, jun. 2016.

MILLER, B. C et al. The Systemic Effects of Blood Flow Restriction Training: A Systematic Review. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 16, n. 4, p. 978–990, ago. 2021.

MILLER, R. P; KORI, Shashidar H; TODD, Dennis D. The Tampa Scale: a Measure of Kinesiophobia. **The Clinical Journal of Pain**, v. 7, n. 1, p. 51, fev. 1991.

MOK, Ernest et al. Negative effects of blood flow restriction on perceptual responses to walking in healthy young adults: A pilot study. **Heliyon**, v. 6, n. 8, p. e04745, ago. 2020.

MONTALVO, A. M. et al. Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Sport: A Systematic Review and Meta-Analysis of Injury Incidence by Sex and Sport Classification. **Journal of Athletic Training**, v. 54, n. 5, p. 472–482, maio 2019.

MONTOYA, A. K. Selecting a Within- or Between-Subject Design for Mediation: Validity, Causality, and Statistical Power. **Multivariate Behavioral Research**, v. 58, n. 3, p. 616–636, 2023.

OGASAWARA, R. et al. Time course for arm and chest muscle thickness changes following bench press training. **Interventional Medicine & Applied Science**, v. 4, n. 4, p. 217, dez. 2012.

OGAWA, M. et al. Time course changes in muscle size and fatigue during walking with restricted leg blood flow in young men. **Journal of Physical Education and Sports Management**, v. 3, n. 1, p. 14–19, 2012.

ØIESTAD, B. E. et al. The efficacy of strength or aerobic exercise on quality of life and knee function in patients with knee osteoarthritis. A multi-arm randomized controlled trial with 1-year follow-up. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 24, n. 1, p. 714, set. 2023.

OZAKI, H. et al. Increases in Thigh Muscle Volume and Strength by Walk Training with Leg Blood Flow Reduction in Older Participants. **The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences**, v. 66A, n. 3, p. 257–263, mar. 2011.

OZAKI, H. et al. Effects of 10 Weeks Walk Training With Leg Blood Flow Reduction on Carotid Arterial Compliance and Muscle Size in the Elderly Adults. **Angiology**, v. 62, n. 1, p. 81–86, jan. 2011.

OZEMEK, C.; LAVIE, C. J.; ROGNMO, Ø. Global physical activity levels - Need for intervention. **Progress in Cardiovascular Diseases**, v. 62, n. 2, p. 102–107, mar. 2019.

PAK, S. S et al. Comparing Digital to Conventional Physical Therapy for Chronic Shoulder Pain: Randomized Controlled Trial. **Journal of Medical Internet Research**, v. 25, p. e49236, ago. 2023.

PALMIERI-SMITH, R. M.; LEPLEY, L. K. Quadriceps Strength Asymmetry After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Alters Knee Joint Biomechanics and Functional Performance at Time of Return to Activity. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 7, p. 1662–1669, jul. 2015.

PARK, Y.; BAE, Y. Association Between Physical Performance, Gait Variability, and Fall Risk in Community-Dwelling Older Adults: Predictive Validity of Step-Width Variability for Screening of Fall Risk. **Life**, v. 15, n. 9, p. 1469, set. 2025.

PARKINSON, A. O. et al. The Calculation, Thresholds and Reporting of Inter-Limb Strength Asymmetry: A Systematic Review. **Journal of Sports Science and Medicine**, p. 594–617, 10 ago. 2021.

PATEL, P. et al. Increased temporal stride variability contributes to impaired gait coordination after stroke. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 12679, 25 jul. 2022.

PATERNO, M. V. et al. Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 42, n. 7, p. 1567–1573, jul. 2014.

PATERNO, M. V et al. Limb Asymmetries in Landing and Jumping 2 Years Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Clinical Journal of Sport Medicine**, v. 17, n. 4, p. 258–262, jul. 2007.

- PATTERSON, S. D. et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. **Frontiers in Physiology**, v. 10, mai. 2019.
- PECCIN, M. S.; CICONELLI, R.; COHEN, M. Specific questionnaire for knee symptoms – the “Lysholm Knee Scoring Scale”: translation and validation into Portuguese. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 14, n. 5, p. 268–272, 2006.
- PEREIRA NETO, E. A. et al. Walking with Blood Flow Restriction Improves the Dynamic Strength of Women With Osteoporosis. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 24, n. 2, p. 135–139, mar. 2018.
- PERRATON, L. et al. Impaired voluntary quadriceps force control following anterior cruciate ligament reconstruction: relationship with knee function. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 25, n. 5, p. 1424–1431, mai. 2017.
- PETTERSSON, A.F.; OLSSON, E.; WAHLUND, L.-O. Motor Function in Subjects with Mild Cognitive Impairment and Early Alzheimer’s Disease. **Dementia and Geriatric Cognitive Disorders**, v. 19, n. 5–6, p. 299–304, 2005.
- PFILE, K. et al. Walking gait biomechanics in individuals with quadriceps tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction. **Frontiers in Sports and Active Living**, v. 7, 2025.
- POPHAL DA SILVA, L. et al. Gait Parameters of Older Adults according to Their Fall History and Functional Capacity while Walking at Different Speeds. **Gerontology**, v. 67, n. 5, p. 532–543, out. 2021.
- PRATT, M. et al. Attacking the pandemic of physical inactivity: what is holding us back? **British Journal of Sports Medicine**, v. 54, n. 13, p. 760–762, jul. 2020.
- PROTOKINETICS. **ProtoKinetics Movement Analysis Software: Measurements and Definitions**. Havertown, 2013.
- REINA-RUIZ, A. J. et al. Effect of Blood Flow Restriction on Functional, Physiological and Structural Variables of Muscle in Patients with Chronic Pathologies: A Systematic Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 3, p. 1160, jan. 2022.

- RIDHA, A. et al. The recovery trajectory of anterior cruciate ligament ruptures in randomised controlled trials: A systematic review and meta-analysis of operative and nonoperative treatments. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, v. 33, p. 3781-3793, fev. 2025.
- ROCK, K. et al. Assessing the Reliability of Handheld Dynamometry and Ultrasonography to Measure Quadriceps Strength and Muscle Thickness in Children, Adolescents, and Young Adults. **Physical & Occupational Therapy in Pediatrics**, v. 41, n. 5, p. 540–554, 2021.
- ROHMAN, E.; STEUBS, J. T.; TOMPKINS, M. Changes in involved and uninvolved limb function during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: implications for Limb Symmetry Index measures. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 6, p. 1391–1398, jun. 2015.
- ROLNICK, N. et al. Perceived Barriers to Blood Flow Restriction Training. **Frontiers in Rehabilitation Sciences**, v. 2, 8 jul. 2021.
- ROOS, E. M. 30 years with the Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS). **Osteoarthritis and Cartilage**, v. 32, n. 4, p. 421–429, abr. 2024.
- ROOS, E. M. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)--development of a self-administered outcome measure. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 28, n. 2, p. 88–96, ago. 1998.
- ROOS, E. M; LOHMANDER, L S. The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): from joint injury to osteoarthritis. **Health Quality Life Outcomes**, v. 1, p. 61, nov. 2003.
- ROPER, J. A. et al. Adaptation Strategies of Individuals With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Orthopaedic Journal of Sports Medicine**, v. 4, n. 2, 1 fev. 2016.
- ROWE, E.; BEAUCHAMP, M. K.; ASTEPHEN WILSON, Janie. Age and sex differences in normative gait patterns. **Gait and Posture**, v. 88, p. 109–115, jul. 2021.
- SAKAMAKI, M.; G BEMBEN, M.; ABE, T. Legs and trunk muscle hypertrophy following walk training with restricted leg muscle blood flow. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 10, n. 2, p. 338–40, 2011.

- SALMON, L. et al. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. **Arthroscopy**, v. 21, n. 8, p. 948–957, ago. 2005.
- SCHMITT, L. C.; PATERNO, M. V.; HEWETT, T. E. The impact of quadriceps femoris strength asymmetry on functional performance at return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 42, n. 9, p. 750–759, 2012.
- SCHOEPP, C. et al. From Past to Future: Emergent Concepts of Anterior Cruciate Ligament Surgery and Rehabilitation. **Journal of Clinical Medicine**, v. 14, n. 19, p. 6964, out. 2025.
- SCHULZ, K. F.; ALTMAN, D. G.; MOHER, D. CONSORT 2010 Statement: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. **BMJ**, v. 340, n. 7748, p. 698–702, mar. 2010.
- SCINICARELLI, G. et al. The reliability of common functional performance tests within an experimental test battery for the lower extremities. **Sports**, v. 9, n. 7, jul. 2021.
- SCOTT, B. R. et al. An Updated Panorama of Blood-Flow-Restriction Methods. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 18, n. 12, p. 1461-1465, set. 2023.
- SEDAGHAT, A. R. Understanding the Minimal Clinically Important Difference (MCID) of Patient-Reported Outcome Measures. **Otolaryngology–Head and Neck Surgery**, v. 161, n. 4, p. 551–560, out. 2019.
- SELL, T. C. et al. Anterior Cruciate Ligament Return to Sport after Injury Scale (ACL-RSI) Scores over Time After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review with Meta-analysis. **Sports Medicine - Open**, v. 10, n. 1, p. 49, abr. 2024.
- SHARMA, V. et al. Characterization of acute ischemia-related physiological responses associated with remote ischemic preconditioning: a randomized controlled, crossover human study. **Physiological Reports**, v. 2, n. 11, 2014.
- SHRIVER, C. T et al. Effects of Different Percentages of Blood Flow Restriction on Muscle Oxygen Saturation While Walking. **International Journal of Exercise Science**, v. 16, n. 2, p. 411–428, 2023.

SIMONSEN, Erik Bruun. Contributions to the understanding of gait control. **Danish Medical Journal**, v. 61, n. 4, p. B4823, abr. 2014.

SIQUEIRA, F. B.; TEIXEIRA-SALMELA, L. F.; MAGALHÃES, L. C. Análise das propriedades psicométricas da versão brasileira da escala tampa de cinesifobia. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 19–24, 2007.

ŠKARABOT, J. et al. The knowns and unknowns of neural adaptations to resistance training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 121, n. 3, p. 675-685, 2021.

SLATER, L. V. et al. Progressive changes in walking kinematics and kinetics after anterior cruciate ligament injury and reconstruction: A review and meta-Analysis. **Journal of Athletic Training**, v. 52, n. 9, p. 847–860, set. 2017.

SMAJLA, D.; ŽITNIK, J.; ŠARABON, N. Investigation of inter-limb symmetry in knee extensors using different strength outcome measures. **Diagnostics**, v. 11, n. 10, out. 2021.

STONE, A. E. et al. Cognitive performance and locomotor adaptation in persons with anterior cruciate ligament reconstruction. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 32, n. 6–7, p. 568–577, mai. 2018.

STRAY-GUNDERSEN, S.; WOOTEN, S.; TANAKA, H. Walking With Leg Blood Flow Restriction: Wide-Rigid Cuffs vs. Narrow-Elastic Bands. **Frontiers in Physiology**, v. 11, mai. 2020.

SU, C. et al. Effects of blood flow restriction combined with high-load training on muscle strength and sports performance in athletes: a systematic review and meta-analysis. **Frontiers in Physiology**, v. 16, jul. 2025.

TAJDINI, H. et al. Association between Kinesiophobia and Gait Asymmetry after ACL reconstruction: Implications for Prevention of Reinjury. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 6, p. 1–11, mar. 2021.

TAKARADA, Y.; TAKAZAWA, H.; ISHII, N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 12, p. 2035–2039, dez. 2000.

TENNENT, D. J. et al. Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy. **Clinical Journal of Sport Medicine**, v. 27, n. 3, p. 245–252, mai. 2017.

THOMAS, A. C. et al. Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 19, n. 1, p. 7–11, jan. 2016.

TICINESI, A. et al. Assessing sarcopenia with vastus lateralis muscle ultrasound: an operative protocol. **Aging Clinical and Experimental Research**, v. 30, n. 12, p. 1437–1443, dez. 2018.

TURNER, D. et al. The minimal detectable change cannot reliably replace the minimal important difference. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 63, n. 1, p. 28–36, jan. 2010.

VAEGTER, H.B. et al. Kinesiophobia is associated with pain intensity but not pain sensitivity before and after exercise: an explorative analysis. **Physiotherapy**, v. 104, n. 2, p. 187–193, jun. 2018.

VAN MELICK, N. et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. **British Journal of Sports Medicine**, v. 50, n. 24, p. 1506–1515, dez. 2016.

VECHIN, F. C. et al. Comparisons Between Low-Intensity Resistance Training With Blood Flow Restriction and High-Intensity Resistance Training on Quadriceps Muscle Mass and Strength in Elderly. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 4, p. 1071–1076, 4 abr. 2015.

VIDMAR, M. F. et al. Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training for quadriceps rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 24, n. 5, p. 424–432, set. 2020.

VIEIRA DE MELO, R. F. et al. Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 54, p. jrm00337, nov. 2022a.

- WALDEN, T. P. et al. Blood flow restricted walking alters gait kinematics. **European Journal of Sport Science**, v. 23, n. 8, p. 1528-1537, ago. 2023.
- WANG, P.; QIN, Z.; ZHANG, M. Association between pre-season lower limb interlimb asymmetry and non-contact lower limb injuries in elite male volleyball players. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, dez. 2025.
- WASHABAUGH, E. P. et al. Functional Resistance Training Differentially Alters Gait Kinetics After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Pilot Study. **Sports Health: A Multi-disciplinary Approach**, v. 15, n. 3, p. 372–381, mai. 2023.
- WEBSTER, K. E.; FELLER, J. A. A research update on the state of play for return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. **Journal of Orthopaedics and Traumatology**, v. 20, n. 1, p. 10, dez. 2019.
- WRIGHT, R. W. et al. Risk of tearing the intact anterior cruciate ligament in the contralateral knee and rupturing the anterior cruciate ligament graft during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective MOON cohort study. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 35, n. 7, p. 1131–1134, jul. 2007.
- YASUDA, T. et al. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: A pilot study. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 30, n. 5, p. 338–343, set. 2010.
- YASUDA, T. et al. Effects of Blood Flow Restricted Low-Intensity Concentric or Eccentric Training on Muscle Size and Strength. **PLoS ONE**, v. 7, n. 12, p. e52843, dez. 2012.
- YOSHIKO, A.; WATANABE, K.; AKIMA, H. Relative contribution of neuromuscular activation, muscle size, and muscle quality to maximum strength output of the thigh muscles in young individuals. **Physiological Reports**, v. 11, n. 1, jan. 2023.
- ZHANG, T.; WANG, X.; WANG, J. Effect of blood flow restriction combined with low-intensity training on the lower limbs muscle strength and function in older adults: A meta-analysis. **Experimental Gerontology**, jul. 2022.

ZUMSTEIN, F.; CENTNER, C.; RITZMANN, R. How limb dominance influences limb symmetry in ACL patients: effects on functional performance. **BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation**, v. 14, n. 1, dez. 2022.

## APÊNDICES

### **APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Nós, André Luiz Felix Rodacki e Natália Boneti Moreira (professores da Universidade Federal do Paraná), Letícia Pophal da Silva e Caio Corso (alunos de pós-graduação), e Gustavo Filoco de Rezende e Francisco Wekerlin Morozowski (Fisioterapeuta e Médico, colaboradores) estamos convidando VOCÊ, com idade entre 18 e 59 anos, a participar do estudo intitulado “EFEITOS DA CAMINHADA COM OCLUSÃO VASCULAR PARCIAL SOBRE ASPECTOS MUSCULARES E FUNCIONAIS DE INDIVÍDUOS COM ASSIMETRIA DE FORÇA EM MEMBROS INFERIORES”. Nosso intuito é permitir que os participantes obtenham uma avaliação física, envolvendo aspectos musculares e funcionais, e a partir disto, caso você apresente alguma alteração, será convidado a participar de um treinamento com o objetivo de melhorar estes aspectos.

- a) O objetivo desta pesquisa é determinar o número de adultos com assimetria de força muscular de membros inferiores, ou seja, verificar se há diferença de força muscular entre a perna direita e a esquerda, bem como verificar se o treinamento com caminhada e o treinamento com exercícios resistidos, ambos associados a oclusão vascular parcial, são capazes de aumentar a força e a espessura muscular, e melhorar os aspectos funcionais de adultos. Além disso, será comparado qual dos treinamentos será mais eficaz em melhorar os aspectos musculares e funcionais de adultos.
- b) Caso o(a) Senhor aceite participar da pesquisa, será necessário realizar de uma a três avaliações presenciais e individuais, na Universidade Federal do Paraná. A avaliação será consistida em: características pessoais (idade, gênero, escolaridade, ocupação, situação conjugal, histórico de COVID, peso, altura e índice de massa corporal [IMC]) e condições gerais de saúde, nível de atividade física e comportamento sedentário, e avaliação da força muscular dos músculos flexores e extensores do joelho. Para os indivíduos que participarão do treinamento, será realizada a confirmação da força muscular, análise da espessura muscular de extensores e flexores do joelho e análise da marcha. Antes do início do estudo, todos os procedimentos adotados e equipamentos utilizados serão explicados, e os pesquisadores estarão dispostos a responder todas as possíveis dúvidas no decorrer da pesquisa.
- c) Você deverá comparecer na Universidade Federal do Paraná (Departamento de Educação Física, Centro de Estudos do Comportamento Motor), localizado na Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 – Jardim das Américas, Curitiba – Paraná, 81530-000, para participar das avaliações e do treinamento, caso seja selecionado e aceite. A maioria dos indivíduos será avaliada apenas uma vez, com exceção dos participantes do treinamento, que também deverão realizar uma avaliação antes e após o treinamento. Cada avaliação terá duração de aproximadamente 1 hora e 30 minutos, e será realizada de acordo com a disponibilidade do participante. O treinamento será realizado três vezes na semana, por um período de 12 semanas, totalizando 36 sessões. Cada sessão poderá ter duração variada. Após a inclusão no estudo, os participantes serão distribuídos em dois grupos, de maneira aleatória: grupo 1 (caminhada associada a oclusão vascular parcial) e grupo 2 (exercícios resistidos associado a oclusão vascular parcial). No grupo 1, os participantes deverão realizar uma caminhada em velocidade controlada e no grupo 2, irão realizar exercícios de força, com foco na flexão e extensão dos joelhos. Em ambos os grupos, a oclusão vascular parcial será associada aos exercícios, ou seja, um manguito será fixado e inflado em sua perna mais fraca e você realizará os exercícios. Para exemplificar, o manguito utilizado é a faixa larga fixada no braço do paciente, quando é realizada a aferição da pressão arterial. Esta técnica possui o objetivo de restringir parcialmente o fluxo sanguíneo da região e potencializar o aumento de força muscular. O fluxo sanguíneo não será completamente interrompido, iremos utilizar 80% da sua pressão de oclusão vascular individual, avaliada por meio de um esfigmomanômetro e de um aparelho Doppler vascular. Após o término da sessão, o manguito será desinflado e removido. Todo o treinamento será monitorado pela frequência cardíaca, pressão arterial e por uma escala de esforço. Além disso, todos os procedimentos citados serão realizados por profissionais de saúde devidamente treinados e capacitados. Durante o período do treinamento você não poderá estar realizando outro tipo de atividade física, para que possamos identificar com clareza os benefícios do treinamento atual. Será necessário que você cumpra pelo menos 75% das sessões propostas, ou seja, no mínimo 27 das 36 sessões. Antes das avaliações e do treinamento, todas as informações acima serão detalhadas, demonstradas e explicadas pelos pesquisadores por meio de uma sessão de familiarização.
- d) A coleta de dados poderá trazer riscos de constrangimento e cansaço aos participantes devido aos questionamentos e os testes realizados. Durante ou logo após a realização das avaliações e do treinamento, o participante poderá referir dor muscular leve, decorrente dos movimentos solicitados. No entanto, estes desconfortos são passageiros. Os exercícios que serão realizados durante o treinamento são de baixa intensidade, e os desconfortos são menores quando comparados ao treinamento resistido regular (ex. musculação).

## **APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO -**

### **Continuação**

- e) Alguns riscos relacionados ao estudo podem ser: constrangimento decorrente das questões abordadas nos questionários e dor muscular leve após a aplicação dos testes e treinamento. Uma das alternativas para evitar estes riscos é a avaliação individual e em local reservado, e a seleção de pacientes adequados, de acordo com critérios de elegibilidade rigorosos. O exercício associado a oclusão vascular parcial, quando realizado em um ambiente seguro por profissionais de saúde treinados e experientes, é uma alternativa de treinamento segura para a maioria dos indivíduos, independentemente da idade e do nível de treinamento. Além disso, a equipe de pesquisa possui experiência com este tipo de treinamento, o que reforça o domínio das técnicas e riscos. Os testes serão realizados em forma de circuito com o objetivo de minimizar os efeitos da fadiga localizada, dor e desempenho dos participantes. O intervalo de recuperação entre os testes será de aproximadamente 2 minutos, e os participantes poderão interromper os testes e o treinamento a qualquer momento, caso não se sintam confortáveis. Se o participante apresentar qualquer sinal ou sintoma como cansaço, dor e desconforto importante, o teste será interrompido imediatamente. Como forma de segurança, os participantes só poderão participar da pesquisa caso possuam liberação médica, fornecida pelo médico associado ao estudo (Dr. Francisco Wekerlin Morozowski, Médico Ortopedista – CRM: 23151). O Dr. Francisco fornecerá atendimento gratuito a todos que apresentem possíveis consequências negativas. Todas as ações acima citadas contribuirão para a redução do risco de qualquer evento negativo durante o período do estudo, porém, caso ocorra, serão tomadas as devidas providências para que o participante seja atendido e tratado imediatamente. O(a) Senhor(a) estará ciente de todos os procedimentos.
- f) A oclusão vascular parcial será realizada apenas no membro inferior assimétrico, ou seja, na perna com diminuição de força muscular, para que seja possível aproximar a dos valores obtidos no membro contralateral, com o objetivo de reduzir a assimetria de força muscular de membros inferiores. Diante disto, o membro que não receberá a oclusão vascular parcial, será considerado segmento controle. Exemplo: Caso a perna esquerda seja mais fraca, o manguito será fixado e inflado apenas neste membro, próximo a região da virilha, e você irá realizar o treinamento. O objetivo é que a perna esquerda apresente força muscular semelhante ou igual à perna direita.
- g) O(a) Sr.(a) terá a garantia de que problemas como desconforto ou dores musculares leves serão tratados em consultório médico particular, do Dr. Francisco Wekerlin Morozowski (CRM: 23151), médico associado ao estudo. No caso eventual de danos graves decorrentes da pesquisa o(a) Sr.(a) tem assegurado o direito à indenização nas formas da lei.
- h) Os benefícios esperados com essa pesquisa são os de que, ao concordar em participar deste estudo, o(a) Senhor(a) terá a oportunidade de verificar sua condição de saúde e auxiliar na identificação da prevalência de assimetria de força muscular de membros inferiores, ou seja, qual o número de indivíduos com diferença de força muscular entre os membros inferiores na população. Além disto, poderá participar de um treinamento com o objetivo de igualar a força muscular dos membros inferiores. Os resultados do presente estudo possibilitarão acrescentar novas informações à área de estudo, com o intuito de aperfeiçoar o tratamento para assimetria de força muscular. Ainda, o(a) Senhor(a) contará com o acompanhamento de um profissional de saúde durante todo o estudo para sanar possíveis dúvidas.
- i) Todos os pesquisadores do estudo poderão ser localizados no Centro de Estudos do Comportamento Motor (CECOM) localizado na Avenida Coronel Francisco H. dos Santos, 100, no Novo Edifício do Departamento de Educação Física, térreo - Campus Centro Politécnico, telefone (41) 3361- 1568. Você também poderá entrar em contato pelos telefones: (41) 99129-8595 (André), (41) 99880-1882 (Natália), (41) 99526-6688 (Letícia) ou por e-mail: rodacki@ufpr.br, nataliamoreira@ufpr.br e leticiapophal@hotmail.com, no horário 13h às 17h, para esclarecer possíveis dúvidas que o(a) Senhor(a) possa ter antes, durante ou depois de encerrado o estudo.
- j) A sua participação neste estudo é voluntária e se o(a) Senhor(a) não quiser mais fazer parte da pesquisa poderá desistir a qualquer momento e solicitar que lhe devolvam este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado.
- k) O material obtido para este estudo será utilizado unicamente para essa pesquisa e será armazenado pelo período de cinco anos após o término do estudo. (Resol. 441/2011, 466/2012 e 510/2016).
- l) As informações relacionadas ao estudo serão conhecidas apenas pelos pesquisadores do estudo.
- m) O(a) Senhor(a) terá a garantia de que quando os dados/resultados obtidos com este estudo forem publicados, estes estarão codificados de modo que não apareça seu nome.

## **APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO -**

### **Continuação**

n) As despesas necessárias para a realização da pesquisa, incluindo materiais para avaliação e treinamento, não são de sua responsabilidade e o(a) Senhor(a) não receberá qualquer valor em dinheiro pela sua participação. Sua participação não terá custo ou compensação financeira. No entanto, despesas com transporte e alimentação decorrentes da sua participação na pesquisa, quando for o caso, serão reembolsadas. Também não existe nenhum tipo de seguro de saúde ou de vida em função de sua participação no estudo.

o) Se o(a) Senhor(a) tiver dúvidas sobre seus direitos como participante de pesquisa, você pode contatar também o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP/SD) do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná, pelo e-mail: [cometica.saude@ufpr.br](mailto:cometica.saude@ufpr.br) e/ou telefone: (41) 3360-7259, das 08:30h às 11:00h e das 14:00h às 16:00h. O Comitê de Ética em Pesquisa é um órgão colegiado multi e transdisciplinar, independente, que existe nas instituições que realizam pesquisa envolvendo seres humanos e foi criado com o objetivo de proteger os participantes de pesquisa, em sua integridade e dignidade, e assegurar que as pesquisas sejam desenvolvidas dentro de padrões éticos (Resolução nº 466/12 Conselho Nacional de Saúde).

Eu, li esse Termo de Consentimento e comprehendi a natureza e o objetivo do estudo do qual concordei em participar. A explicação que recebi menciona os riscos e benefícios. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento sem justificar minha decisão e sem qualquer prejuízo para mim. Eu entendi que caso seja selecionado e aceite participar do treinamento, não poderei realizar outro tipo de atividade física neste período. Fui informado que serei atendido gratuitamente se apresentar algum dos problemas relacionados no item E e G.

Eu concordo, voluntariamente, em participar deste estudo.

Curitiba, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Assinatura do Participante de Pesquisa

---

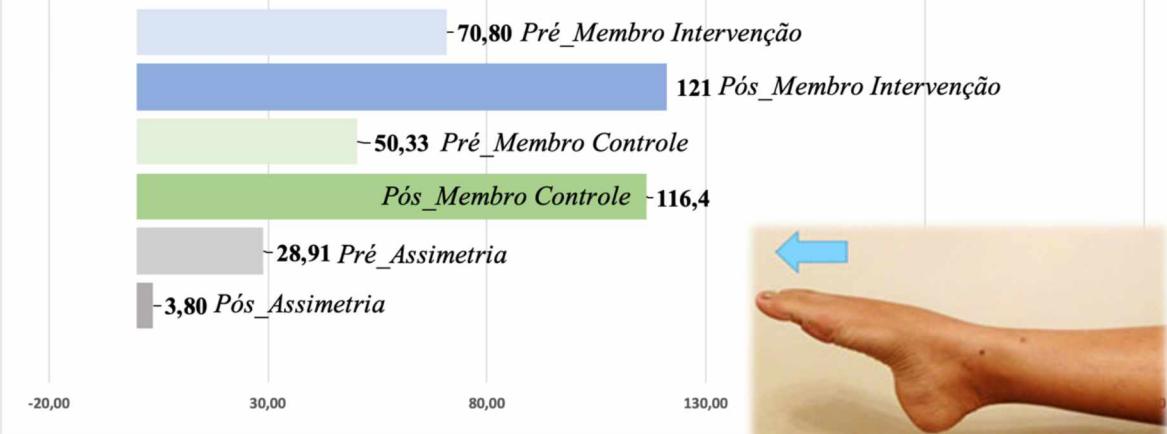
Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

[Assinatura do Pesquisador Responsável ou quem aplicou o TCLE]

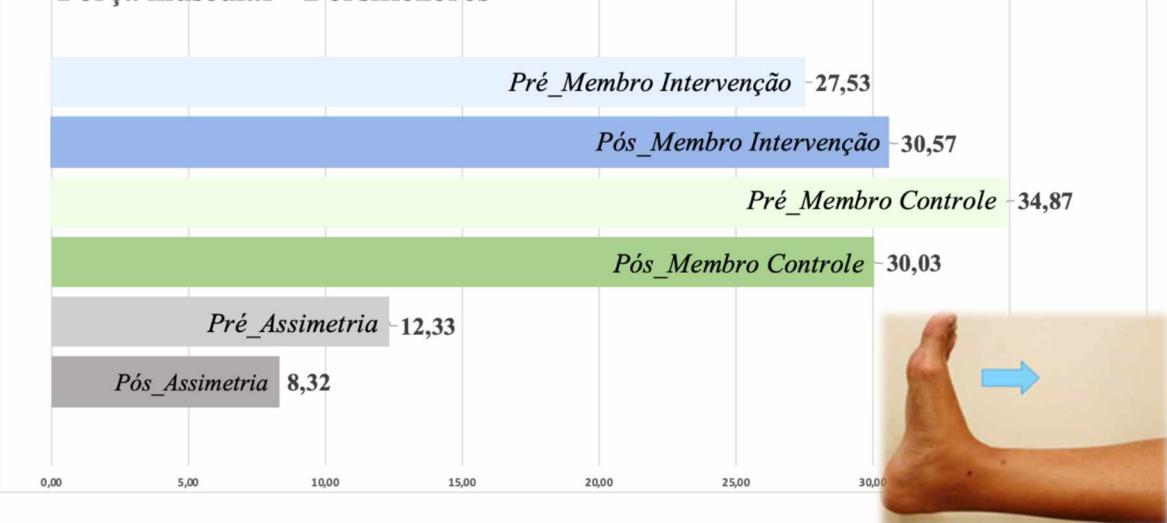
*Este documento foi elaborado em duas (2) vias, uma ficará com o(s) pesquisador(a/es) e outra com o(a) participante da*

## APÊNDICE B – RELATÓRIO INDIVIDUAL

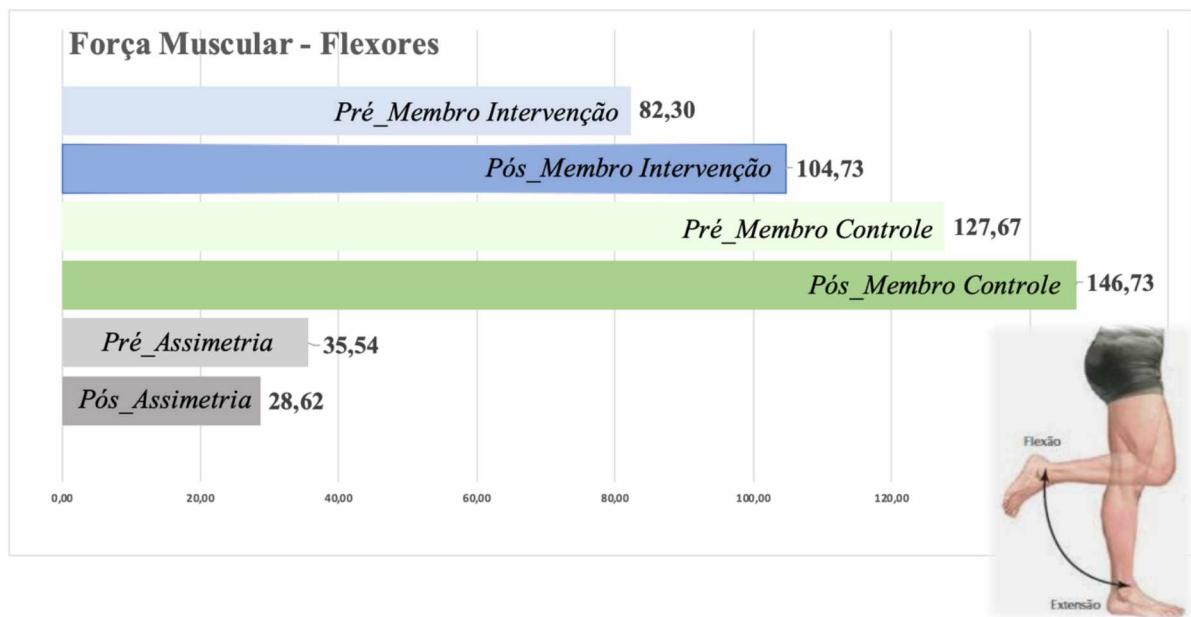
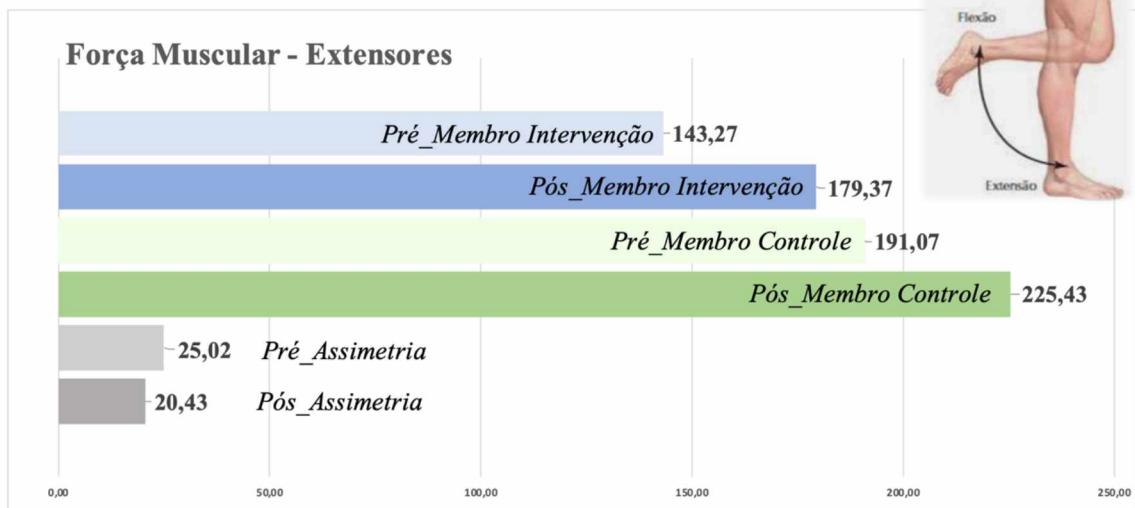
### Força muscular - Plantiflexores



### Força muscular - Dorsiflexores



## APÊNDICE B – RELATÓRIO INDIVIDUAL - Continuação



**APÊNDICE B – RELATÓRIO INDIVIDUAL - Continuação****Espessura muscular - Vasto lateral (quadríceps)**

*Pré\_Membro Intervenção* ~1,91

*Pós\_Membro Intervenção* ~1,92



*Pré\_Membro Controle* ~2,11

*Pós\_Membro Controle* ~2,12

0,50 1,00 1,50 2,00 2,50

**Espessura muscular - Semitendinoso (isquiotibiais)**

*Pré\_Membro Intervenção* ~2,06

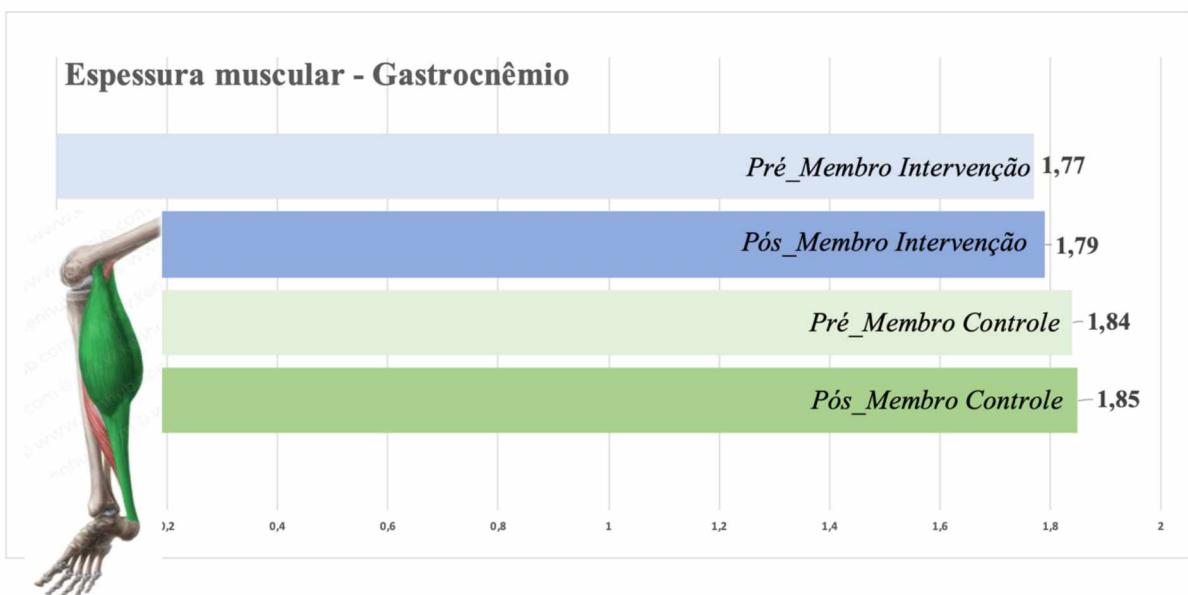
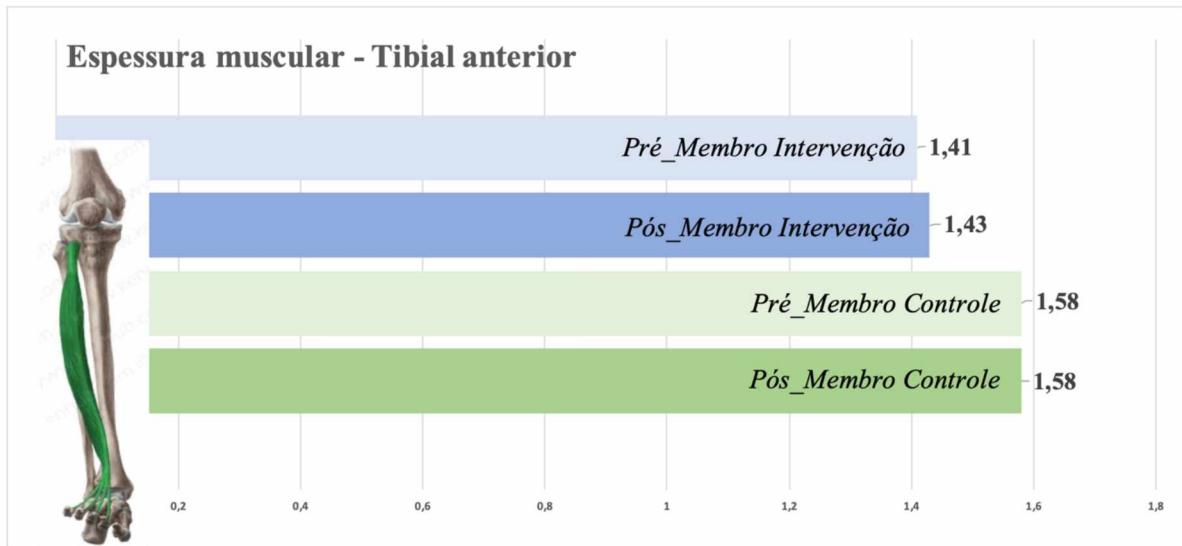
*Pós\_Membro Intervenção* ~2,08



*Pré\_Membro Controle* ~2,23

*Pós\_Membro Controle* ~2,24

0,5 1 1,5 2 2,5

**APÊNDICE B – RELATÓRIO INDIVIDUAL - Continuação**

## APÊNDICE C – FICHA DE AVALIAÇÃO

<b>Nome do avaliado:</b> _____ <b>No telefone (fixo):</b> _____ / <b>Cel:</b> _____ <b>Estatura:</b> _____ / <b>Massa:</b> _____ / <b>IMC:</b> _____ <small>* IMC ≥ 30</small>	<b>Idade:</b> _____ <b>Sexo:</b> Fem ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> Masc ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> <b>Pressão arterial:</b> _____ <small>*Sistólica ≥ 140 mmHg ou diastólica ≥ 90 mmHg</small>
---	--

<b>Escolaridade:</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>0</sup> Analfabeto ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> 1-4 anos ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> 5-8 anos ( <input type="checkbox"/> ) <sup>3</sup> >8 anos ( <input type="checkbox"/> ) <sup>4</sup> Superior incompleto ( <input type="checkbox"/> ) <sup>5</sup> Superior completo ( <input type="checkbox"/> ) <sup>6</sup> Pós-graduação ( <input type="checkbox"/> ) <sup>7</sup> Não sabe	<b>Ocupação:</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> Trabalho empregado (CLT) ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> Trabalho autônomo ( <input type="checkbox"/> ) <sup>3</sup> Trabalhos domésticos ( <input type="checkbox"/> ) <sup>4</sup> Estudante ( <input type="checkbox"/> ) <sup>5</sup> Desempregado/Nenhuma ( <input type="checkbox"/> ) <sup>6</sup> Aposentado com outra ocupação ( <input type="checkbox"/> ) <sup>7</sup> Aposentado sem outra ocupação	<b>Situação conjugal</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> Casado ou união estável ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> Divorciado ( <input type="checkbox"/> ) <sup>3</sup> Viúvo ( <input type="checkbox"/> ) <sup>4</sup> Solteiro ( <input type="checkbox"/> ) <sup>5</sup> Não quis informar
--	--	---

<b>Você possui alguma das doenças abaixo?</b>	<b>Histórico de fratura óssea?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO Se sim, onde? _____
<b>DIABETES?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO	<b>Histórico de cirurgias?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO Se sim, onde? _____
<b>DISLIPIDEMIA</b> (Colesterol alto)? ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO	<b>Diagnóstico de varizes (últimos 06 meses)?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO
<b>PRESSÃO ALTA?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO	<b>Histórico de TVP e/ou embolismo pulmonar?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO
<b>CANCER?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO	<b>Uso de métodos contraceptivos orais?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO
<b>DOENÇA CARDIOVASCULAR?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO	<b>Uso de álcool?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO
<b>DOENÇA RESPIRATÓRIA?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO	<b>Uso de tabaco?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO

<b>Atualmente, possui alguma lesão?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO Se sim, qual(is)? _____ <b>Nos últimos 12 meses, sofreu alguma lesão?</b> ( <input type="checkbox"/> ) <sup>1</sup> SIM ( <input type="checkbox"/> ) <sup>2</sup> NÃO Se sim, qual(is)? _____ <b>Sente dor ou desconforto?</b> _____
--

**ANEXOS**

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR)

**UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS  
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ -  
SCS/UFPR**



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### **DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Efeitos de um Programa de Caminhada associado à Restrição Parcial de Fluxo Sanguíneo sobre Aspectos Musculares e Funcionais em Indivíduos com Assimetria de Força Muscular em Membros Inferiores

**Pesquisador:** André Luiz Felix Rodacki

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 80899524.0.0000.0102

**Instituição Proponente:** Departamento de Educação Física - UFPR

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### **DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 6.989.686

#### **Apresentação do Projeto:**

Trata-se do projeto de pesquisa intitulado Efeitos de um Programa de Caminhada associado à Restrição Parcial de Fluxo Sanguíneo sobre Aspectos Musculares e Funcionais em Indivíduos com Assimetria de Força Muscular em Membros Inferiores, sob a coordenação e orientação do Prof. Dr. André Luiz Felix Rodacki do Departamento de Educação Física da UFPR, com a participação e colaboração da Prof. Dra. Natália Boneti Moreira, Me. Letícia Pophal da Silva (aluna de pós-graduação), Caio Corso (aluno de pós-graduação), Me. Gustavo Filoco de Rezende (Fisioterapeuta) e Dr. Francisco Wekerlin Morozowski (Médico Ortopedista - CRM: 23151).

As informações exaradas neste parecer foram extraídas dos documentos apensados na Plataforma Brasil.

#### **Detalhamento do Estudo**

Trata-se de estudo será do tipo experimental com delineamento de ensaio clínico não randomizado (THOMAS; NELSON; SILVERMAN, 2012).

O projeto em tela submetido para apreciação ao Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal do Paraná (UFPR) para apreciação. Em seguida, o estudo será registrado no Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos (ReBec) e será conduzido e reportado por meio do Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) (SCHULZ; ALTMAN; MOHER,

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

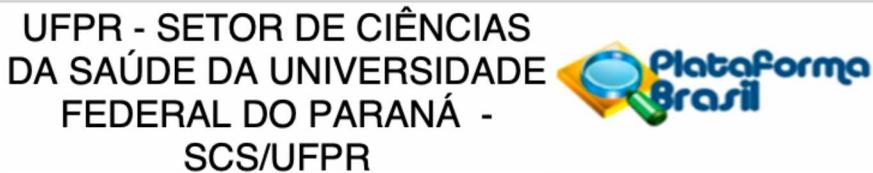
**UF:** PR

**Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) – Continuação



Continuação do Parecer: 6.989.686

2010).

### Local

O estudo será realizado no Centro de Estudos do Comportamento Motor (CECOM), do Departamento de Educação Física da Universidade Federal do Paraná, localizado na Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 Jardim das Américas, Curitiba , Paraná, 81530-000.

### Participantes

O estudo será realizado com participantes com idade entre 18 e 59 anos, de ambos os gêneros, que se voluntariem a participar do estudo, apresentem assimetria de força muscular entre membros inferiores e principalmente, que possuam liberação médica para realização do treinamento proposto.

### Critérios de Inclusão

Os critérios de elegibilidade para inclusão no programa de treinamento serão: (i) indivíduos com idade entre 18 e 59 anos; (ii) ausências de alterações que impossibilitem o preenchimento dos questionários, compreensão das orientações e a realização dos testes (e.g., déficits vestibulares graves e déficits de mobilidade); (iii) comprometimento cognitivo que possa causar dificuldades na conclusão dos questionários, compreensão das orientações e realização dos testes; (iv) diferença de força muscular entre membros inferiores 10% na musculatura extensora do joelho (quadríceps), indicando assimetria; (v) liberação médica para realização do treinamento, concedida pelo médico associado ao estudo (Dr. Francisco Wekerlin Morozowski); (vi) pressão arterial sistólica 140 mmHg ou pressão arterial diastólica 90 mmHg; e, (vii) não apresentar mais de um fator de risco para tromboembolismo que inclui: (1) índice de massa corporal 30 kg.m<sup>-2</sup>, (2) diagnóstico de doença crônica inflamatória; (3) histórico de fraturas de pelve, quadril e fêmur; (4) cirurgias de grande porte nos últimos 6 meses; (5) diagnóstico de varizes nos últimos 6 meses; (6) histórico familiar de trombose venosa profunda e embolismo pulmonar; (7) uso de métodos contraceptivos orais; ou (8) uso de tabaco (FALLON et al., 2022).

### Critério de Exclusão

Os participantes que não se enquadram nos critérios de elegibilidade serão excluídos da pesquisa, assim como os que não assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, e que não completarem 75% das sessões de treinamento propostas, caso selecionados para a intervenção.

### Plano de Recrutamento

O projeto será amplamente divulgado na comunidade universitária da Universidade Federal do

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

**UF:** PR

**Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) – Continuação

**UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS  
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ -  
SCS/UFPR**



Continuação do Parecer: 6.989.686

Paraná (UFPR), composta por docentes, discentes e servidores; assim como em diversas mídias sociais para atrair o público externo.

Após o rastreamento inicial de indivíduos com assimetria de força muscular inter-membros (primária indivíduos saudáveis; secundária indivíduos com lesão no ligamento cruzado anterior), os participantes serão convidados a participar do treinamento.

Todos os participantes serão avaliados após assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

### Cálculo amostral

A amostra mínima deste estudo será de 52 indivíduos. Em seguida, serão acrescentados 5% para possíveis perdas de dados ou desistências, totalizando o valor amostral necessário de 54 indivíduos, divididos em dois grupos de 27 participantes (segmento-intervenção vs. segmento-controle).

O cálculo amostral será realizado por meio Programa G\*Power 3.1 (University of Düsseldorf, Düsseldorf, Alemanha).

O tamanho de efeito (0.4) foi derivado do estudo conduzido por Lamberti e colaboradores (2020), que investigou os efeitos de um protocolo de caminhada associado à restrição parcial de fluxo sanguíneo na velocidade de caminhada. Além disso, foram considerados os seguintes parâmetros: (i) F test (ANOVA); (ii) nível de confiança de 95%; (iii) erro amostral máximo de 5%; (iv) poder amostral de 90%; (v) quantidade de grupos = 2; e (vi) número de medidas = 2 (avaliação pré- e pós-intervenção).

### Procedimentos

Cada avaliação terá duração de aproximadamente 1 hora e 30 minutos, e será realizada de acordo com a disponibilidade do participante. O treinamento será realizado três vezes na semana, por um período de 12 semanas, totalizando 36 sessões. Cada sessão poderá ter duração variada.

Após a inclusão no estudo, os participantes serão distribuídos em dois grupos, de maneira aleatória: grupo 1 (caminhada associada a oclusão vascular parcial) e grupo 2 (exercícios resistidos associado a oclusão vascular parcial). No grupo 1, os participantes deverão realizar uma caminhada em velocidade controlada e no grupo 2, irão realizar exercícios de força, com foco na flexão e extensão dos joelhos. Em ambos os grupos, a oclusão vascular parcial será associada aos exercícios, ou seja, um manguito será fixado e inflado em sua perna mais fraca e você realizará os exercícios.

Para a realização deste estudo, será adotada uma abordagem intra-sujeito, na qual o membro

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

**UF:** PR

**Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) – Continuação

**UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS  
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ -  
SCS/UFPR**



Continuação do Parecer: 6.989.686

mais fraco será submetido ao treinamento, sendo denominado de *segmento-intervenção (SI)*, enquanto o membro mais forte será designado como *segmento-controle (SC)*.

O treinamento será realizado três vezes na semana, por um período de 12 semanas. A intensidade do treinamento será monitorada por meio de um aplicativo de metrônomo gratuito (Cifra club®) para fins de padronização, frequência cardíaca, pressão arterial e percepção subjetiva de esforço (Escala de Borg).

A pressão de restrição do fluxo sanguíneo (PRFS, mmHg) será mensurada individualmente, por meio de um Doppler vascular, com o objetivo realizar o treinamento com 90% da PRFS.

Além disso, a escala de desconforto também será monitorada após o encerramento de cada sessão. Inicialmente será realizada uma avaliação que abordará questões relacionadas as características pessoais e sociodemográficas, condições clínicas, dados antropométricos (estatura, massa corporal e índice de massa corporal [IMC]) e nível de atividade física e comportamento sedentário (International Physical Activity Questionnaire [IPAQ]). A força muscular será avaliada por meio do dinamômetro Biodex Multi-Joint System (Biodex Medical Systems. Inc. Shirley. NY. USA) a partir da medida da contração voluntária máxima isométrica (CVMI).

A análise da hipertrofia muscular será conduzida por meio da medida de espessura muscular (EM), avaliada pelo aparelho de ultrassom (US) modo-B portátil Versão 1.10 (Konica Minolta®, modelo Sonimage HS1). Por fim, os aspectos espaço-temporais da marcha, em diferentes velocidades de caminhada (velocidade auto-selecionada e rápida de caminhada), serão analisados por meio do Zeno Walkway (120Hz). As avaliações serão realizadas em dois momentos, pré e pós-intervenção.

Todas as avaliações serão conduzidas por pesquisadores devidamente treinados para a utilização dos instrumentos propostos.

### Metodologia de Análise de dados

A estatística descritiva (média, desvio padrão, mediana, amplitude e porcentagem) será utilizada para caracterizar os participantes do presente estudo.

Os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene serão utilizados para avaliar a normalidade dos dados e a homogeneidade da variância, respectivamente.

O teste t dependente será utilizado para comparar as características pessoais, parâmetros espaço-temporais da marcha em diferentes velocidades e a assimetria de força muscular inter-membros entre os diferentes momentos de avaliação (pré e pós-intervenção).

O modelo linear misto (MLM) será aplicado para avaliar as mudanças nas características

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

**UF:** PR

**Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) – Continuação

**UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS  
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ -  
SCS/UFPR**



Continuação do Parecer: 6.989.686

musculares (força muscular e espessura muscular), em resposta ao protocolo de treinamento.

O teste post-hoc de Bonferroni será utilizado para identificar diferenças dentro do mesmo segmento (pré e pós-intervenção) e entre segmentos (Si e SC).

O valor de delta percentual será calculado para mensurar a magnitude das diferenças observadas.

Todos os procedimentos estatísticos serão realizados no software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, versão 25) e o nível de significância será estabelecido em  $p < 0.05$ .

No processo documental do projeto os pesquisadores apresentam de forma detalhada e fundamentada informações pertinentes ao desenvolvimento do estudo proposto.

**Objetivo da Pesquisa:**

**Objetivo Geral**

Verificar se diferentes tipos de assimetrias de força muscular em membros inferiores (i.e., primária e secundária), podem ser minimizadas por meio de um programa de treinamento de caminhada associado à restrição parcial de fluxo sanguíneo.

**Objetivos específicos**

- i) Identificar a presença de assimetria de força muscular entre membros inferiores, por meio da musculatura extensora do joelho, em adultos saudáveis e com lesão no ligamento cruzado anterior;
- ii) Verificar se um programa de treinamento de caminhada associado à restrição parcial de fluxo sanguíneo é capaz de aumentar a força muscular do segmento-exercitado ao redor da articulação do tornozelo (plantiflexores e dorsiflexores) e do joelho (extensora e flexora), quando comparado ao segmento-controle, em adultos saudáveis e com lesão no ligamento cruzado anterior;
- iii) Verificar se um treinamento de caminhada associado à restrição parcial de fluxo sanguíneo é capaz de reduzir a assimetria de força muscular entre membros inferiores, identificada na musculatura extensora do joelho, em adultos saudáveis e com lesão no ligamento cruzado anterior;
- iv) Verificar se um treinamento de caminhada associado à restrição parcial de fluxo sanguíneo é capaz de gerar aumento do volume muscular do segmento-exercitado ao redor da articulação do tornozelo (plantiflexores e dorsiflexores) e do joelho (extensora e flexora), quando comparado ao segmento-controle, em adultos saudáveis e com lesão no ligamento cruzado anterior;
- v) Verificar se um treinamento de caminhada associado à restrição parcial de fluxo sanguíneo é

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

**UF:** PR

**Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) – Continuação

**UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS  
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ -  
SCS/UFPR**



Continuação do Parecer: 6.989.686

capaz de melhorar o desempenho da marcha, em diferentes velocidades de caminhada, em adultos saudáveis e com lesão no ligamento cruzado anterior.

### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

#### Riscos

A coleta de dados poderá trazer riscos de constrangimento e cansaço aos participantes devido a individualidade biológica e social. Durante ou logo após a realização das avaliações e dos treinamentos, o participante poderá referir dor muscular leve, decorrentes dos movimentos solicitados. No entanto, tais desconfortos são transientes e têm sido reportados como menores quando comparados ao treinamento resistido com altas cargas devido à baixa intensidade dos exercícios.

Uma das alternativas para evitar efeitos adversos é a inclusão de critérios de elegibilidade rigorosos, conforme item 5.3, diretamente relacionados à prática de exercício físico com RFS (FALLON et al., 2022). Relata-se que o exercício com RFS, quando realizado em um ambiente controlado por profissionais treinados e experientes, fornece uma alternativa de treinamento segura para a maioria dos indivíduos, independentemente da idade e do nível de treinamento (LOENNEKE et al., 2011).

De acordo com os pesquisadores destaca-se que existe experiência adquirida com este tipo de treinamento, que derivou em algumas publicações (ANDRADE et al., 2016; SKIBA; ANDRADE; RODACKI, 2022) estritamente relacionadas ao tema que reforçam pleno domínio das técnicas e riscos vinculados aos protocolos aplicados no estudo.

A pesquisa será realizada em local reservado, de maneira individualizada por pesquisador previamente treinado, e o indivíduo poderá interromper a avaliação a qualquer momento.

Os testes serão realizados em forma de circuito com o intuito de minimizar os efeitos da fadiga localizada, dor e desempenho dos participantes. O intervalo de recuperação entre os testes será de aproximadamente 2 minutos, e os participantes podem interromper os testes a qualquer momento.

Qualquer sinal ou sintomas, tais como cansaço, dor e desconforto importante, o teste será interrompido. Os participantes só poderão participar da pesquisa caso possuam liberação médica (critério de elegibilidade), fornecida pelo médico associado a pesquisa (Dr. Francisco Wekerlin Morozowski, Médico Ortopedista CRM: 23151).

O Dr. Francisco fornecerá suporte gratuito a todos que apresentem possíveis consequências negativas. Todas as ações acima citadas contribuirão para a redução do risco de qualquer evento negativo durante o período do estudo, porém, caso ocorra, serão tomadas as devidas

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

**UF:** PR            **Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) – Continuação

**UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS  
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ -  
SCS/UFPR**



Continuação do Parecer: 6.989.686

providências para que o participante seja atendido e tratado imediatamente.

### Benefícios

Os participantes terão a oportunidade de obter uma avaliação física, por meio dos testes aplicados. As intervenções propostas poderão proporcionar a redução da assimetria de força muscular de membros inferiores, permitindo que os participantes recuperem massa e força muscular.

A avaliação e as intervenções aplicadas no presente estudo acrescentarão conhecimento aos pesquisadores sobre um método alternativo para redução da assimetria de força muscular de membros inferiores.

De acordo com os pesquisadores o estudo contribuirá significativamente para a ciência ao explorar uma abordagem inovadora para reduzir a assimetria de força muscular nos membros inferiores, utilizando um protocolo de caminhada associado à restrição de fluxo sanguíneo (RFS). Essa técnica pode oferecer uma alternativa eficaz e de baixa intensidade em comparação aos tradicionais exercícios com altas cargas, que muitas vezes são desafiadores para os indivíduos.

Para os participantes, a pesquisa oferece a oportunidade de melhorar sua força muscular e o equilíbrio entre os membros, contribuindo para um estilo de vida mais ativo e saudável. Os resultados possibilitarão estabelecer métodos alternativos para redução da assimetria de força muscular de membros inferiores. Além disso, poderão ser extrapolados para outras populações em que a assimetria se mostra mais severa e requer protocolos efetivos para sua redução.

### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Trata-se do projeto de pesquisa intitulado Efeitos de um Programa de Caminhada associado à Restrição Parcial de Fluxo Sanguíneo sobre Aspectos Musculares e Funcionais em Indivíduos com Assimetria de Força Muscular em Membros Inferiores a ser realizado no período de 2024 a março de 2026, com financiamento próprio.

A contextualização e fundamentação do estudo pauta-se na literatura pertinente à temática abordada, apropriada aos objetivos propostos.

A partir do detalhamento do projeto de pesquisa evidencia-se a exequibilidade da proposta considerando seus objetivos procedimentos, recursos humanos, infraestrutura e cronograma previsto para sua realização.

Os pesquisadores apresentaram a carta de ciência e concordância do Programa de Pós-Graduação em Educação Física, assinada pelo coordenador Prof. Dr. Paulo César Baraúce Bento.

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

**UF:** PR

**Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) – Continuação

**UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS  
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ -  
SCS/UFPR**



Continuação do Parecer: 6.989.686

De acordo com os pesquisadores o projeto se destaca pela sua abordagem única ao combinar a caminhada com a RFS, um método ainda pouco explorado no contexto da correção de assimetrias de força muscular. Diferentemente dos métodos convencionais que envolvem altas cargas, a utilização de baixa intensidade com RFS pode proporcionar benefícios similares com menor risco de lesões e menor desconforto. Essa inovação pode transformar a forma como programas de reabilitação e treinamento são desenvolvidos, oferecendo uma alternativa prática e eficaz que pode ser amplamente aplicada em diferentes contextos clínicos e esportivos.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Os termos e documentos requeridos para a realização da pesquisa foram apresentados.

**Recomendações:**

Solicitamos que sejam apresentados a este CEP, relatórios semestrais e final, sobre o andamento da pesquisa, bem como informações relativas às modificações do protocolo, cancelamento, encerramento e destino dos conhecimentos obtidos, através da Plataforma Brasil - no modo: NOTIFICAÇÃO. Demais alterações e prorrogação de prazo devem ser enviadas no modo EMENDA. Lembrando que o cronograma de execução da pesquisa deve ser atualizado no sistema Plataforma Brasil antes de enviar solicitação de prorrogação de prazo.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

O projeto cumpre os requisitos necessários para sua realização.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

01 - Solicitamos que sejam apresentados a este CEP, relatórios semestrais(a cada seis meses de seu parecer de aprovado) e final, sobre o andamento da pesquisa, bem como informações relativas às modificações do protocolo, cancelamento, encerramento e destino dos conhecimentos obtidos, através da Plataforma Brasil - no modo: NOTIFICAÇÃO. Para o próximo relatório, favor utilizar o modelo atualizado, (abril/22), de relatório parcial.

02 - Demais alterações e prorrogação de prazo devem ser enviadas no modo EMENDA. Lembrando que o cronograma de execução da pesquisa deve ser atualizado no sistema Plataforma Brasil antes de enviar solicitação de prorrogação de prazo. Emenda – ver modelo de carta em nossa página: [www.cometica.ufpr.br](http://www.cometica.ufpr.br) (obrigatório envio).

03 - Importante:(Caso se aplique): Pendências de Coparticipante devem ser respondidas pelo

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

**UF:** PR

**Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** [cometica.saude@ufpr.br](mailto:cometica.saude@ufpr.br)

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) – Continuação

**UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS  
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ -  
SCS/UFPR**



Continuação do Parecer: 6.989.686

acesso do Pesquisador principal. Para projetos com coparticipante que também solicitam relatórios semestrais, estes relatórios devem ser enviados por Notificação, pelo login e senha do pesquisador principal no CAAE correspondente a este coparticipante, após o envio do relatório à instituição proponente.

04 – Inserir nos TCLE e TALE o número do CAAE e o número do parecer consubstanciado aprovado, para aplicação dos termos.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJECTO_2356175.pdf	12/06/2024 14:09:55		Aceito
Outros	Checklist.pdf	12/06/2024 14:09:16	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	12/06/2024 14:08:53	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJECTO_2356175.pdf	11/06/2024 18:20:34		Aceito
Outros	Analise_Merito.pdf	11/06/2024 18:19:32	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
Outros	Check_list.pdf	11/06/2024 18:18:58	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
Outros	Check_list.pdf	11/06/2024 18:18:58	André Luiz Felix Rodacki	Recusado
Outros	Encaminhamento_Pesquisador.pdf	11/06/2024 18:18:24	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
Outros	ExtratoAta_Departamento.pdf	11/06/2024 18:18:03	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
Folha de Rosto	Folha_Rosto.pdf	11/06/2024 18:17:35	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Compromisso_EquipePesquisa.pdf	11/06/2024 18:17:06	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
Declaração de concordância	Concordancia_ServicosEnvolvidos.pdf	11/06/2024 18:16:39	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Detalhado.docx	11/06/2024 18:16:21	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento /	TCLE.pdf	11/06/2024 18:15:49	André Luiz Felix Rodacki	Aceito

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

**UF:** PR

**Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

## ANEXO 1 – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (UFPR) – Continuação

**UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS  
DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARANÁ -  
SCS/UFPR**



Continuação do Parecer: 6.989.686

<b>Justificativa de Ausência</b>	TCLE.pdf	11/06/2024 18:15:49	André Luiz Felix Rodacki	Aceito
<b>TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência</b>	TCLE.pdf	11/06/2024 18:15:49	André Luiz Felix Rodacki	Recusado

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

CURITIBA, 07 de Agosto de 2024

---

**Assinado por:  
IDA CRISTINA GUBERT  
(Coordenador(a))**

**Endereço:** Rua Padre Camargo, 285 - 1º andar

**Bairro:** Alto da Glória

**CEP:** 80.060-240

**UF:** PR

**Município:** CURITIBA

**Telefone:** (41)3360-7259

**E-mail:** cometica.saude@ufpr.br

## ANEXO 2 - QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA

Para responder as questões lembre que:

- atividades físicas **VIGOROSAS** são aquelas que precisam de um grande esforço físico e que fazem respirar MUITO mais forte que o normal
- atividades físicas **MODERADAS** são aquelas que precisam de algum esforço físico e que fazem respirar UM POUCO mais forte que o normal

Para responder as perguntas pense somente nas atividades que você realiza **por pelo menos 10 minutos contínuos** de cada vez:

**1a** Em quantos dias da última semana você **CAMINHOU** por pelo menos 10 minutos contínuos em casa ou no trabalho, como forma de transporte para ir de um lugar para outro, por lazer, por prazer ou como forma de exercício?

Dias \_\_\_\_\_ por **SEMANA** ( ) Nenhum

**1b** Nos dias em que você caminhou por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou caminhando **por dia**?

Horas: \_\_\_\_\_ Minutos: \_\_\_\_\_

**2a.** Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **MODERADAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo, pedalar leve na bicicleta, nadar, dançar, fazer ginástica aeróbica leve, jogar vôlei recreativo, carregar pesos leves, fazer serviços domésticos na casa, no quintal ou no jardim como varrer, aspirar, cuidar do jardim, ou qualquer atividade que fez aumentar **moderadamente** sua respiração ou batimentos do coração. (**POR FAVOR NÃO INCLUA CAMINHADA**)

Dias \_\_\_\_\_ por **SEMANA** ( ) Nenhum

**2b.** Nos dias em que você fez essas atividades moderadas por pelo menos 10 minutos contínuos, quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades **por dia**?

Horas: \_\_\_\_\_ Minutos: \_\_\_\_\_

**3a** Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **VIGOROSAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo, correr, fazer ginástica aeróbica, jogar futebol, pedalar rápido na bicicleta, jogar basquete, fazer serviços domésticos pesados em casa, no quintal ou cavoucar no jardim, carregar pesos elevados ou qualquer atividade que fez aumentar **MUITO** sua respiração ou batimentos do coração.

Dias \_\_\_\_\_ por **SEMANA** ( ) Nenhum

**3b** Nos dias em que você fez essas atividades vigorosas por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades **por dia**?

Horas: \_\_\_\_\_ Minutos: \_\_\_\_\_

**ANEXO 2 - QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA**  
**- Continuação**

Estas últimas questões são sobre o tempo que você permanece sentado todo dia, no trabalho, na escola ou faculdade, em casa e durante seu tempo livre. Isto inclui o tempo sentado estudando, sentado enquanto descansa, fazendo lição de casa visitando um amigo, lendo, sentado ou deitado assistindo TV. Não inclua o tempo gasto sentando durante o transporte em ônibus, trem, metrô ou carro.

**4a.** Quanto tempo no total você gasta sentado durante um **dia de semana**?

Horas: \_\_\_\_\_ Minutos: \_\_\_\_\_

**4b.** Quanto tempo no total você gasta sentado durante em um **dia de final de semana**?

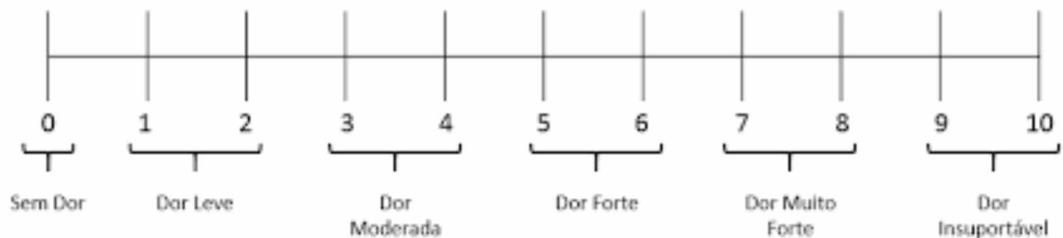
Horas: \_\_\_\_\_ Minutos: \_\_\_\_\_

**ANEXO 3 – ESCALA DE BORG**

- 6 Sem nenhum esforço**  
**7 Extremamente leve**  
**8**  
**9 Muito leve**  
**10**  
**11 Leve**  
**12**  
**13 Um pouco intenso**  
**14**  
**15 Intenso (pesado)**  
**16**  
**17 Muito intenso**  
**18**  
**19 Extremamente intenso**  
**20 Máximo esforço**

Escala RPE de Borg

© Gunnar Borg, 1970, 1985, 1994, 1998

**ANEXO 4 – ESCALA VISUAL ANALÓGICA**

## ANEXO 5 – KNEE INJURY AND OSTEOARTHRITIS OUTCOME SCORE

**INSTRUÇÕES:** Este questionário perguntará sua opinião sobre o seu joelho. Estas informações nos fornecerão dados sobre como você se sente em relação ao seu joelho e até que ponto você consegue realizar suas atividades habituais.

Responda a cada pergunta assinalando o quadrado apropriado, apenas um quadrado deve ser escolhido para cada pergunta. Caso não tenha certeza sobre qual resposta escolher, por favor, escolha a que achar mais apropriada.

### Sintomas

Estas perguntas devem ser respondidas de acordo com os sintomas do seu joelho durante a **última semana**.

S1. Você tem inchaço no joelho?

Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
<input type="checkbox"/>				

S2. Você sente um rangido, estalidos ou ouve qualquer outro tipo de barulho quando movimenta seu joelho?

Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
<input type="checkbox"/>				

S3. Seu joelho trava ou prende quando se movimenta?

Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
<input type="checkbox"/>				

S4. Você consegue esticar seu joelho completamente?

Sempre	Frequentemente	Às vezes	Raramente	Nunca
<input type="checkbox"/>				

S5. Você consegue dobrar seu joelho completamente?

Sempre	Frequentemente	Às vezes	Raramente	Nunca
<input type="checkbox"/>				

### Rigidez

As próximas perguntas dizem respeito à quantidade de rigidez no joelho que você sentiu durante a **última semana**. Rigidez é uma sensação de dificuldade ou lentidão para movimentar seu joelho.

S6. Qual a intensidade da rigidez do seu joelho de manhã ao acordar?

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

S7. Qual a intensidade da rigidez do seu joelho após sentar, deitar ou descansar no **final do dia**?

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**ANEXO 5 – KNEE INJURY AND OSTEOARTHRITIS OUTCOME SCORE**  
**- Continuação**

**Dor**

P1. Com que frequência você sente dor no joelho?

Nunca	Uma vez por mês	Uma vez por semana	Todos os dias	Sempre
<input type="checkbox"/>				

Qual a intensidade de dor no joelho que você sentiu durante a **última semana** para realizar as seguintes atividades?

P2. Girar ou torcer-se sobre o joelho machucado

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

P3. Esticar completamente o joelho

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

P4. Dobrar completamente o joelho

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

P5. Andar sobre uma superfície plana

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

P6. Subir ou descer escadas

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

P7. Na cama durante a noite

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

P8. Sentar-se ou deitar-se

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

P9. Ficar em pé

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**Atividades diárias**

As perguntas a seguir são sobre sua função física, ou seja, nos referimos à capacidade de se movimentar e cuidar de si mesmo. Por favor, para cada uma das seguintes atividades indique o grau de dificuldade que você teve na **última semana** por causa do seu joelho.

A1. Descer escadas

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

A2. Subir escadas

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

## ANEXO 5 – KNEE INJURY AND OSTEOARTHRITIS OUTCOME SCORE

### - Continuação

Para cada uma das seguintes atividades indique o grau de dificuldade que você teve na **última semana** por causa do seu joelho.

**A3. Levantar-se de uma posição sentada**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A4. Ficar em pé**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A5. Agachar/abaixar para pegar um objeto**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A6. Andar sobre uma superfície plana**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A7. Entrar ou sair do carro/ônibus**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A8. Fazer compras**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A9. Vestir as meias ou meias-calças**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A10. Levantar-se da cama**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A11. Tirar as meias ou meias-calças**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A12. Deitado na cama (virar-se, manter a posição do joelho)**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A13. Entrar e sair do banho**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A14. Sentar- se**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**A15. Sentar e levantar do vaso sanitário**

Nenhuma	Leve	Moderada	Severa	Extrema
<input type="checkbox"/>				

**ANEXO 5 – KNEE INJURY AND OSTEOARTHRITIS OUTCOME SCORE**  
**- Continuação**

Para cada uma das seguintes atividades, indique, por favor, o grau de dificuldade que você teve na **última semana** por causa do seu joelho.

A16. Tarefas domésticas pesadas (mover caixas pesadas, esfregar o chão, etc)

Nenhuma <input type="checkbox"/>	Leve <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>
-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

A17. Tarefas domésticas leves (cozinhar, tirar o pó, etc)

Nenhuma <input type="checkbox"/>	Leve <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>
-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

**Atividades esportivas e de lazer**

As próximas perguntas são sobre suas funções físicas quando realizadas com níveis mais altos de dificuldade. As perguntas devem ser respondidas de acordo com o grau de dificuldade que você teve durante a **última semana** por causa do seu joelho.

SP1. Ficar de cócoras

Nenhuma <input type="checkbox"/>	Leve <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>
-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

SP2. Correr

Nenhuma <input type="checkbox"/>	Leve <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>
-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

SP3. Pular

Nenhuma <input type="checkbox"/>	Leve <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>
-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

SP4. Girar ou torcer-se sobre o joelho machucado

Nenhuma <input type="checkbox"/>	Leve <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>
-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

SP5. Ajoelhar-se

Nenhuma <input type="checkbox"/>	Leve <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>
-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

**Qualidade de vida**

Q1. Com que frequência você percebe o problema do seu joelho?

Nunca <input type="checkbox"/>	Uma vez por mês <input type="checkbox"/>	Uma vez por semana <input type="checkbox"/>	Todo dia <input type="checkbox"/>	Constantemente <input type="checkbox"/>
-----------------------------------	---	--	--------------------------------------	--

Q2. Você modificou seu estilo de vida para evitar atividades que poderiam piorar o seu joelho?

Não <input type="checkbox"/>	Um pouco <input type="checkbox"/>	Moderadamente <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Totalmente <input type="checkbox"/>
---------------------------------	--------------------------------------	---	--------------------------------------	--

Q3. Até que ponto a falta de confiança no seu joelho te incomoda?

Nada <input type="checkbox"/>	Um pouco <input type="checkbox"/>	Moderadamente <input type="checkbox"/>	Bastante <input type="checkbox"/>	Extremamente <input type="checkbox"/>
----------------------------------	--------------------------------------	---	--------------------------------------	--

Q4. Em geral, o seu joelho lhe causa muitos problemas?

Nenhum <input type="checkbox"/>	Poucos <input type="checkbox"/>	Alguns <input type="checkbox"/>	Bastantes <input type="checkbox"/>	Extremos <input type="checkbox"/>
------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------

## ANEXO 6 – LYSHOLM KNEE-SCORING SCALE

**Mancar (5 pontos)**

Nunca = 5  
Leve ou periodicamente = 3  
Intenso e constantemente = 0

**Apoio (5 pontos)**

Nenhum = 5  
Bengala ou muleta = 2  
Impossível = 0

**Travamento (15 pontos)**

Nenhum travamento ou sensação de travamento = 15  
Possui sensação, mas sem travamento = 10  
Travamento ocasional = 6  
Frequente = 2  
Articulação travada no exame = 0

**Instabilidade (25 pontos)**

Nunca falseia = 25  
Raramente, durante atividades atléticas ou outros exercícios pesados = 20  
Frequentemente durante atividades atléticas ou outros exercícios pesados (ou incapaz de participação) = 15  
Ocasionalmente em atividades diárias = 10  
Frequentemente em atividades diárias = 5  
Em cada passo = 0

**Dor (25 pontos)**

Nenhuma = 25  
Inconstante ou leve durante exercícios pesados = 20  
Marcada durante exercícios pesados = 15  
Marcada durante ou após caminhar mais de 2km = 10  
Marcada durante ou após caminhar menos de 2km = 5  
Constante = 0

**Inchaço (10 pontos)**

Nenhum = 10  
Com exercícios pesados = 6  
Com exercícios comuns = 2  
Constante = 0

**Subindo escadas (10 pontos)**

Nenhum problema = 10  
Levemente prejudicado = 6  
Um degrau de cada vez = 2  
Impossível = 0

**Agachamento (5 pontos)**

Nenhum problema = 5  
Levemente prejudicado = 4  
Não além de 90º = 2  
Impossível = 0

**Pontuação total:** \_\_\_\_\_

**Quadro de pontuação: Excelente: 95 – 100; Bom: 84 – 94; Regular: 65 – 83; Ruim < 64.**

## ANEXO 7 – TAMPA SCALE FOR KINESIOPHOBIA

	<b>Discordo totalmente</b>	<b>Discordo parcialmente</b>	<b>Concordo parcialmente</b>	<b>Concordo totalmente</b>
1. Tenho medo de me machucar, se eu fizer exercícios.	1	2	3	4
2. Se eu tentasse superar esse medo, minha dor aumentaria.	1	2	3	4
3. Meu corpo está dizendo que alguma coisa muito errada está acontecendo comigo.	1	2	3	4
4. Minha dor provavelmente seria aliviada se eu fizesse exercício.	1	2	3	4
5. As pessoas não estão levando minha condição médica a sério.	1	2	3	4
6. A lesão colocou meu corpo em risco para o resto da minha vida.	1	2	3	4
7. A dor sempre significa que o meu corpo está machucado.	1	2	3	4
8. Só porque alguma coisa piora a minha dor, não significa que essa coisa é perigosa.	1	2	3	4
9. Tenho medo de que eu possa me machucar accidentalmente.	1	2	3	4
10. A atitude mais segura que posso tomar para prevenir a piora da minha dor é, simplesmente, ser cuidadoso para não fazer nenhum movimento desnecessário.	1	2	3	4
11. Eu não teria tanta dor se algo realmente perigoso não estivesse acontecendo no meu corpo.	1	2	3	4
12. Embora eu sinta dor, estaria melhor se estivesse ativo fisicamente.	1	2	3	4
13. A dor me avisa quando devo parar o exercício para eu não me machucar.	1	2	3	4
14. Não é realmente seguro para uma pessoa, com problemas iguais aos meus, ser ativo fisicamente.	1	2	3	4
15. Não posso fazer todas as coisas que as pessoas normais fazem, pois me machuco facilmente.	1	2	3	4
16. Embora alguma coisa me provoque muita dor, eu não acho que seja, de fato, perigoso.	1	2	3	4
17. Ninguém deveria fazer exercícios, quando está com dor.	1	2	3	4