UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Influência da fonte proteica da dieta nas adaptações crônicas ao treinamento de
força

Victoria María de los Ángeles Hevia-Larraín

São Paulo
2019

VICTORIA MARÍA DE LOS ÁNGELES HEVIA-LARRAÍN

Influência da fonte proteica da dieta nas adaptações crônicas ao treinamento de
força

VERSÃO CORRIGIDA

(versão original disponível no Serviço de Biblioteca)

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Estudos Biodinâmicos da Educação Física e Esporte

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Roschel

SÃO PAULO

2019

Catálogo da Publicação
Serviço de Biblioteca
Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Hevia-Larraín, Victoria María de los Ángeles
Influência de fonte proteica da dieta nas adaptações crônicas
ao treinamento de força / Victoria María de los Ángeles Hevia-
Larraín. – São Paulo : [s.n.], 2019.
66p.

Dissertação (Mestrado) - -Escola de Educação Física e Esporte
da Universidade de São Paulo.
Orientador: Prof. Dr. Hamilton Augusto Roschel da Silva

1. Treinamento de força 2. Dieta I. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: HEVIA-LARRAÍN, Victoria

Título: Influência da fonte proteica da dieta nas adaptações crônicas ao treinamento de força

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título Mestre em Ciências

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

“Life is what happens to you while you're busy making other plans”

John Lennon.

AGRADECIMENTOS

Agradeço todas as pessoas que passaram pelo meu processo, pois todas me ensinaram diferentes aspectos acadêmicos, pessoais e de vida durante a minha jornada. Primeiramente, ao meu marido, que não só sempre me apoiou em todas as minhas decisões, mas também viveu o meu Mestrado lado a lado.

Agradeço às pessoas que encontrei, logo no começo da minha chegada ao grupo, começando pela Isabel, que confiou em mim e me deu grandes responsabilidades para ajudar no projeto de pesquisa dela, as quais foram de soma importância para poder desenvolver o meu. Aos professores Bruno, Guilherme e Patrícia Campos por terem confiado em mim também, desde o início.

Ao meu orientador, pela paciência, ensinamentos, confiança, correções e troca de ideias que ocorreram em todo o processo! Obrigada por ter trilhado esse caminho há mais tempo do que o próprio Mestrado, junto comigo!

Aos meus companheiros de jornada pela companhia em uma ou mais das seguintes “experiências”: apoio moral, cafezinhos, almoços, risadas, desabafos, cervejas, histórias, treinos e, uma ou outra aventura: Gui Yamaguchi, Nema, Lívia, Wagner, Saulo, Renatão, Alan, Davi, Aninha, Zé, Salomão, Mari, Vitão, Ayane, Ana Jéssica e aos do Lab. Força: Raquel, Elisa, Carlinha, Ricardo, Fabiano, Telma, Giba, Jumes, Manoel, Acácio, Miguel, Gui Telles, Cassaro e Juarez.

Agradeço ao professor Carlos, pelos ensinamentos, ajuda e reflexões. Também, a todos aqueles professores que fizeram parte do meu processo de disciplinas, principalmente aos Profs. Valmor, Go Tani, Fabio e Bayardo.

Agradeço de maneira especial ao Igor, que “apareceu” no meu segundo ano de coletas para acrescentar tanto para o projeto como pessoalmente. Obrigada por toda a sua ajuda e dedicação!

Às minhas amigas Raquel, Elisa e Carolzinha que ganhei na pós-graduação, por todos os momentos compartilhados!

A todos os funcionários EEFEE, que sempre deram suporte sempre que precisei: Deva, Sr. Onísio, Alberto, Dr. Felipe, Vitinho, pessoal da limpeza, de segurança, Márcio, Cláudia e, especialmente, ao Dr. Riani por todas as biópsias e suporte oferecido ao projeto. Conjuntamente, agradeço aos funcionários do HC pelo suporte e análise das amostras de sangue.

Agradeço também aos laboratórios de Bioquímica e Fisiologia, aos alunos que fazem parte e, especificamente, às Professoras Edilamar e Prof. Patrícia Brum pelo acesso e autorização do uso das instalações dos laboratórios, o qual foi de grande ajuda para a execução da minha pesquisa. Também, ao Laboratório de Metabolismo Ósseo: Liliam, Miriam, Valéria, e Marília por terem realizado o DXA para o projeto, e à Prof. Dra. Rosa, por ter permitido a utilização dos seus equipamentos.

À minha família, tanto de sangue como a que ganhei aqui no Brasil, pelo apoio incondicional, de sempre!

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa outorgada (processo 2016/22083-3).

A todas as pessoas, aleatórias ou não, que encontrei nos eventos científicos que participei durante o processo, porque de certa maneira, contribuíram na minha evolução como pesquisadora.

A todos os que ajudaram na divulgação do projeto e no recrutamento de voluntários, principalmente, à Sociedade Vegetariana Brasileira, às nutricionistas Mariane Marques, Alessandra Luglio, Isabel Andrade e ao médico Dr. Eric Slywitch.

Por último, e não menos importante, agradeço todos os voluntários que participaram da pesquisa. Sem eles, nada disto teria sido possível!

RESUMO

HEVIA-LARRAÍN, V. **Influência da fonte proteica da dieta nas adaptações crônicas ao treinamento de força.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2019.

A síntese proteica muscular depende da disponibilidade pós-prandial de aminoácidos essenciais para o músculo, especialmente de leucina, a qual varia de maneira importante entre diferentes fontes proteicas. Assim, diversos estudos agudos sugerem um menor potencial anabólico das proteínas vegetais *vs.* às proteínas animais. Contudo, se desconhecem os efeitos do consumo de proteínas exclusivamente de origem vegetal nas adaptações induzidas pelo treinamento de força. Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar o impacto da fonte proteica da dieta, comparando o consumo exclusivamente de origem vegetal *vs.* misto de fontes proteicas da dieta nas adaptações induzidas pelo treinamento de força, em indivíduos jovens equiparados na ingestão proteica. Dezenove ($n=19$) veganos (VEG 26 ± 5 anos; $72,7\pm 7,1$ kg, $1,78\pm 0,05$ m) e dezenove ($n=19$) omnívoros (OMN 26 ± 4 anos; $73,3\pm 7,8$ kg, $1,76\pm 0,06$ m) fisicamente ativos, participaram de um programa de treinamento de força duas vezes por semana para membros inferiores. O consumo proteico habitual foi determinado antes do começo do estudo através de seis recordatórios de 24-h. Logo, a proteína total foi aumentada individualmente para $1,6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ durante a intervenção através de suplementos proteicos (VEG: proteína isolada de soja; OMN: *whey protein*) e monitorada através de recordatórios de 24-h a cada quatro semanas. PRÉ e PÓS 12 semanas de intervenção, foram avaliadas a massa magra de membros inferiores (MMMI, por DXA), área de secção transversa muscular (AST_m , por ultrassonografia) e das fibras (AST_f , por biópsia muscular), e a força muscular de membros inferiores (por 1-RM no *leg press*). Ambos os grupos atingiram a ingestão proteica alvo de $1,6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ durante a intervenção, apresentando apenas efeito principal de tempo em relação ao PRÉ ($p<0,0001$). Para a MMMI (VEG: $\Delta 1,2 \pm 1,0$ kg; OMN: $\Delta 1,2 \pm 0,8$ kg), AST_m do reto femoral (VEG: $\Delta 1,0 \pm 0,6\text{ cm}^2$; OMN: $\Delta 0,9 \pm 0,5\text{ cm}^2$) e vasto lateral (VEG: $\Delta 2,2 \pm 1,1\text{ cm}^2$; OMN: $\Delta 2,8 \pm 1,0\text{ cm}^2$), AST_f tipo I (VEG: $\Delta 741 \pm 323\text{ }\mu\text{m}^2$; OMN: $\Delta 677 \pm 617\text{ }\mu\text{m}^2$) e tipo II (VEG: $\Delta 921 \pm 458\text{ }\mu\text{m}^2$; OMN: $\Delta 844 \pm 638\text{ }\mu\text{m}^2$) e 1-RM (VEG: $\Delta 97 \pm 38$ kg; OMN: $\Delta 117 \pm 35$ kg), o aumento foi significativo PRÉ-PÓS intervenção em ambos os grupos (todos $p<0,05$), sem diferenças entre os grupos no PÓS. Como conclusão, nossos dados indicam que uma dieta contendo $1,6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ apenas de fontes vegetais induz hipertrofia e ganho de força de maneira comparável a uma dieta contendo fontes proteicas mistas,

sugerindo que a fonte proteica não é um fator determinante nas adaptações induzidas pelo treinamento de força em indivíduos não treinados quando atingem a recomendação proteica.

Palavras-chave: treinamento de força; fonte proteica; hipertrofia; proteína animal; proteína vegetal

ABSTRACT

HEVIA-LARRAÍN, V. **Influence of the dietary protein source on the long-term resistance training adaptations.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2019.

Muscle protein synthesis depends on post-prandial availability of essential amino acids to muscle, particularly leucine which differs significantly between protein sources. Several acute studies show consistently a lower anabolic response of plant- vs. animal-based proteins. However, the effects of an exclusive plant-based dietary protein diet on resistance training-induced adaptations are currently unknown. Then, the aim of the study was to assess the impact of dietary protein source (plant-based proteins vs. mixed protein sources) on resistance training-induced muscle mass and strength in total protein-matched healthy young men. Nineteen ($n=19$) vegan (VEG 26 ± 5 y; 72.7 ± 7.1 kg, 1.78 ± 0.05 m) and nineteen ($n=19$) omnivores (OMN 26 ± 4 y; 73.3 ± 7.8 kg, 1.76 ± 0.06 m) physically active young men were enrolled in a 12-week, twice weekly, supervised lower-limb resistance training program. Six 24-h dietary recalls were performed at baseline (for habitual protein intake determination) and then protein intake was individually increased to $1.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ in both groups via supplementing either soy (VEG) or whey (OMN) protein. 24-h dietary recalls were performed every four weeks throughout the intervention for monitoring purposes. PRE and POST the 12-week intervention, participants were assessed for leg lean mass (LLM, by DXA), *rectus femoris* and *vastus lateralis* cross-sectional area ($m\text{CSA}$, by ultrasound) type I and type II fiber cross-sectional area ($f\text{CSA}$, by muscle biopsy), and lower-limb muscle strength (1-RM, by leg-press 1-RM). Both groups met the protein intake target of $1.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ throughout the intervention, showing just main effect of time respect to PRE values ($p<0.0001$). Both groups significantly increased LLM (VEG: $\Delta 1.2 \pm 1.0$ kg; OMN: $\Delta 1.2 \pm 0.8$ kg), *rectus femoris* $m\text{CSA}$ (VEG: $\Delta 1.1 \pm 0.6\text{ cm}^2$; OMN: $\Delta 0.9 \pm 0.5\text{ cm}^2$), *vastus lateralis* $m\text{CSA}$ (VEG: $\Delta 2.2 \pm 1.1\text{ cm}^2$; OMN: $\Delta 2.8 \pm 1.0\text{ cm}^2$), type I $f\text{CSA}$ (VEG: $\Delta 741 \pm 323\text{ }\mu\text{m}^2$; OMN: $\Delta 677 \pm 617\text{ }\mu\text{m}^2$), type II $f\text{CSA}$ (VEG: $\Delta 921 \pm 458\text{ }\mu\text{m}^2$; OMN: $\Delta 844 \pm 638\text{ }\mu\text{m}^2$), and 1-RM (VEG: $\Delta 97 \pm 38$ kg; OMN: $\Delta 117 \pm 35$ kg) across the intervention (all $p<0.05$), with no between-difference at POST. We conclude that a higher protein-content ($1.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) exclusive plant-based (including soy) protein diet is similarly effective as a mixed diet containing animal-based protein in supporting resistance training-induced muscle adaptations, suggesting that the protein source is not a key determinant for muscle adaptations in untrained young individuals consuming optimal protein intake.

Key-words: resistance training; protein source; hypertrophy; animal-based protein; plant-based protein

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1A: Flutuação dos processos de síntese e degradação proteica muscular em um espaço de tempo influenciado pela refeição.....	5
FIGURA 1B: Flutuação dos processos de síntese e degradação proteica muscular em um espaço de tempo influenciado pela refeição e pelo treinamento de força.....	5
FIGURA 2: Concentração de aminoácidos essenciais de diferentes alimentos fonte de origem vegetal e animal.....	8
FIGURA 3: Concentração de leucina de diferentes alimentos fonte de origem vegetal e animal.....	10
FIGURA 4: Mudança percentual do ganho de massa magra.....	12
FIGURA 5: Desenho experimental.....	15
FIGURA 6: Representação da AST_m do reto femoral e vasto lateral.....	22
FIGURA 7: Representação da AST_f tipo I e tipo II.....	24
FIGURA 8: Fluxograma do estudo.....	28
FIGURA 9: Representação do consumo proteico durante a intervenção.....	30
FIGURA 10A: Massa magra de membros inferiores PRÉ e PÓS intervenção.....	34
FIGURA 10B: Δ Massa magra de membros inferiores.....	34
FIGURA 11A: AST_m do reto femoral PRÉ e PÓS intervenção.....	35
FIGURA 11B: Δ AST_m do reto femoral.....	35
FIGURA 11C: AST_m do vasto lateral PRÉ e PÓS intervenção.....	35
FIGURA 11D: Δ AST_m do vasto lateral.....	35
FIGURA 12A: AST_f tipo I PRÉ e PÓS intervenção.....	36
FIGURA 12B: Δ AST_f tipo I.....	36
FIGURA 12C: AST_f tipo II PRÉ e PÓS intervenção.....	36
FIGURA 12D: Δ AST_f tipo II.....	36
FIGURA 13A: 1-RM PRÉ e PÓS intervenção.....	37
FIGURA 13B: Δ 1-RM.....	37
FIGURA 14: Volume de treinamento total.....	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Perfil de aminoácidos e macronutrientes dos suplementos proteicos.....	19
TABELA 2: Características basais.....	29
TABELA 3: Consumo alimentar.....	32
TABELA 4: Consumo proteico relativo e de leucina por refeição.....	33

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

1-RM - Teste de Força Dinâmica Máxima
25-OH(D) - 25-Hidroxivitamina D
AAE - Aminoácidos Essenciais
AST - Área de Secção Transversa Muscular
BCAA - Aminoácidos de Cadeira Ramificada
DIAAS - *Digestible Indispensable Amino Acid Score*
DPM - Degradação Proteica Muscular
DXA - Densitometria de Dupla Emissão com Fonte de Raios X
DP - Desvio Padrão
g - Gramas
IMC - Índice de Massa Corporal
IPAQ - Questionário Internacional de Nível de Atividade Física
Kcal – Quilocalorias
Kg - Quilogramas
MMMI - Massa Magra de Membros Inferiores
mTOR - *mammalian target of rapamycin*
OMN - Omnívoro (s)
PDCAAS - Escore dos Aminoácidos Corregidos pela Digestibilidade da Proteína
PTN - Proteína
R24H - Recordatório Alimentar de 24 Horas
SPM - Síntese Proteica Muscular
SUP - Suplementação de Proteína da Dieta
TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TF - Treinamento de Força
TF-PA - Treinamento de Força + Proteína Animal
TF-PV - Treinamento de Força + Proteína Vegetal
Ton – Toneladas
VEG – Vegano (s)
VET - Valor Energético Total

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo Geral.....	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	4
3.1	Efeitos do treinamento de força e da nutrição sobre o balanço proteico muscular	4
3.2	Efeitos da manipulação do estímulo proteico no potencial anabólico.....	6
3.3	A influência da fonte proteica nas adaptações neuromusculares	10
4	MÉTODOS.....	14
4.1	Desenho experimental.....	14
4.2	Seleção da amostra.....	15
4.3	Procedimentos experimentais	16
4.3.1	Avaliação nutricional	16
4.3.2	Suplementação da proteína da dieta	17
4.3.3	Exames de sangue.....	19
4.3.4	Composição corporal	20
4.3.5	Medidas de AST_m do reto femoral e vasto lateral	20
4.3.6	Biópsia muscular	22
4.3.7	Análises da AST_f por imunofluorescência	23
4.3.8	Familiarização ao teste de força dinâmica máxima (1-RM)	24
4.3.9	Teste de força dinâmica máxima (1-RM).....	24
4.3.10	Protocolo de treinamento.....	25
5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	26
6	RESULTADOS	27
6.1	Recrutamento e processo amostral	27
6.2	Características gerais dos sujeitos	29
6.3	Avaliação do consumo alimentar e suplementação da proteína da dieta	30
6.4	Massa magra de membros inferiores	34
6.5	Medida da área de secção transversa muscular (AST_m)	34
6.6	Medida da área de secção transversa de fibras (AST_f) tipo I e tipo II.....	35
6.7	Teste de força dinâmica máxima (1-RM)	37
6.8	Adesão à intervenção	37
6.9	Volume total de treinamento	37
7	DISCUSSÃO.....	38
8	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O músculo esquelético é um tecido que se caracteriza pela sua plasticidade, permitindo que ele se adapte quanto à sua estrutura, modificando a área de secção transversa das fibras musculares (*i.e.*, hipertrofia), e quanto à sua função (*e.g.*, ganho de força muscular) (BURD et al., 2009; SNIJDERS et al., 2015), uma vez que ele consegue responder a uma série de estímulos fisiológicos (HOPPELER, 2016).

A regulação da massa da muscular depende da relação entre as taxas de síntese (SPM) e degradação proteica (DPM), os quais juntos, definem o que é chamado de balanço proteico (PHILLIPS, 2004). Os principais estímulos para a SPM são o treino de força e a ingestão proteica, ambos capazes de estimular a SPM de maneira independente (RENNIE et al., 1982; BENNET et al., 1989; YARASHESKI; ZACHWIEJA; BIER, 1993; BIOLO et al., 1995) ou sinérgica (BIOLO et al., 1997; PENNINGGS et al., 2011), maximizando as potenciais adaptações no músculo esquelético, como a hipertrofia muscular.

No entanto, uma vez que a resposta da SPM depende da disponibilidade de aminoácidos essenciais para o músculo (VOLPI et al., 2003), a ingestão de proteínas parece assumir um papel interessante na oferta de aminoácidos para a SPM (WILKINSON et al., 2007; ATHERTON et al., 2010a; WITARD et al., 2014). Neste sentido, fontes proteicas de origem vegetal *vs.* animal diferem tanto na qualidade proteica como na digestibilidade (FAO, 2013). Em relação à qualidade, fontes vegetais possuem menor concentração de aminoácidos essenciais, como lisina, metionina e aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA), principalmente leucina, quando comparadas às fontes animais (WHO/FAO/UNU, 2007; VAN VLIET; BURD; VAN LOON, 2015; GORISSEN et al., 2018). Adicionalmente, as fontes vegetais apresentam fibras e fatores antinutricionais (*e.g.*, inibidores de tripsina, fitatos e hemaglutininas) os quais diminuem a digestibilidade de proteínas e a biodisponibilidade de aminoácidos (GILANI; COCKELL; SEPEHR, 2005). Neste sentido, vários estudos têm consistentemente demonstrado um menor potencial anabólico em resposta às fontes proteicas vegetais (*e.g.*, soja ou trigo) *vs.* animais (*e.g.*, leite ou *whey protein*), em condições isoproteicas, associadas (WILKINSON et al., 2007; TANG et al., 2009; YANG et al., 2012) ou não (TANG et al., 2009; YANG et al., 2012; GORISSEN et al., 2016) ao treino de força, sugerindo, portanto, que as proteínas animais poderiam ser mais vantajosas em induzir ganhos de massa muscular.

Contudo, no que se refere a estudos crônicos, a literatura atual é restrita apenas aos efeitos da proteína suplementar de diferentes fontes em dietas mistas (contendo proteína

animal e vegetal) nas adaptações induzidas pelo treinamento de força (MESSINA et al., 2018; MORTON et al., 2018), a qual sugere que, neste contexto, não há diferenças entre a proteína suplementar de origem animal *vs.* vegetal.

Até a presente data, nenhum estudo tem respondido os efeitos de uma dieta exclusivamente de origem vegetal nas adaptações crônicas ao treinamento de força. Portanto, o presente estudo teve como objetivo investigar o impacto da fonte proteica da dieta nos parâmetros de hipertrofia e ganho de força muscular, em indivíduos vegetarianos estritos *vs.* omnívoros equiparados pela ingestão proteica diária, assumindo os valores de recomendação ($1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) (MORTON et al., 2018). Considerando as diferenças agudas na resposta anabólica entre proteínas animais e vegetais, a nossa hipótese foi que a ingestão de fontes proteicas exclusivamente de origem vegetal poderia ser menos efetiva em induzir adaptações neuromusculares decorrentes do treinamento de força.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o impacto da fonte proteica da dieta no ganho de massa e força muscular em jovens saudáveis e fisicamente ativos, equiparados pela ingestão de proteínas e submetidos a um programa de 12 semanas de treinamento de força.

2.2 Objetivos Específicos

Comparar a influência da fonte proteica da dieta nas adaptações induzidas pelo treinamento de força de membros inferiores por 12 semanas quanto aos seguintes parâmetros:

- a) Ganho de massa magra (livre de osso) de membros inferiores.
- b) Aumento da área de secção transversa dos músculos reto femoral e vasto lateral.
- c) Aumento da área de secção transversa das fibras musculares tipo I e tipo II do vasto lateral.
- d) Ganho de força muscular em membros inferiores.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Efeitos do treinamento de força e da nutrição sobre o balanço proteico muscular

A dinâmica entre os processos de síntese e degradação de proteínas é chamada de *turnover* proteico. De maneira simples, o *turnover* proteico significa a formação de novas proteínas -síntese- e ao mesmo tempo, a degradação de proteínas (*e.g.*, velhas, danificadas), mantendo a homeostase do metabolismo proteico tanto no organismo como um todo (WATERLOW, 1995), quanto no músculo esquelético, especificamente (PHILLIPS, 2004). Neste último, o equilíbrio de ambos os processos determina o que é chamado de balanço proteico muscular, o qual pode ser também, negativo ($DPM > SPM$) ou positivo ($SPM > DPM$). Os estímulos que determinam um processo prevalecer sobre o outro, são o treinamento de força e a nutrição, os quais de maneira geral, contribuem ao aumento da SPM.

Quanto ao treinamento de força, o legado de pesquisas na área de Ciências do Exercício das últimas três décadas tem nos possibilitado um vasto conhecimento sobre o treinamento de força como estímulo anabólico. Neste sentido, o treinamento de força por si só atua como um potente estímulo para o aumento da SPM (YARASHESKI; ZACHWIEJA; BIER, 1993; BIOLO et al., 1995; PHILLIPS et al., 1997; WILKINSON et al., 2008), assim como também para o aumento da DPM. Tal fato pode ser corroborado por Biolo et al. (1995) e Phillips et al. (1997). Ambos descrevem de maneira clara o papel que exerce uma sessão aguda de treino de força não apenas sobre a SPM, mas também sobre a DPM. Por exemplo, no estudo de Biolo et al. (1995), os autores observaram que o próprio estímulo mecânico decorrente do treino de força foi capaz de promover o aumento dos processos de SPM e DPM em 100 e 50%, respectivamente. Apesar do anterior, o aumento na DPM torna o treinamento de força em um estímulo não suficiente para um balanço proteico muscular positivo, consequentemente, limita o acréscimo de novas proteínas no músculo esquelético.

No entanto, desde o início dos anos 80 que se conhece a capacidade da ingestão de proteínas em estimular a SPM em humanos. Os pioneiros no assunto foram Rennie et al. (1982), os quais observaram que a ingestão de uma refeição mista, contendo proteínas, praticamente dobrou os níveis de SPM. Posteriormente, o trabalho de Bennet et al. (1989), confirmou o papel dos aminoácidos essenciais em aumentar a SPM do músculo tibial anterior, sugerindo que, a hiperaminoacidemia (aumento dos aminoácidos circulantes) proporcionada pela infusão de aminoácidos contribuiu para positivar o balanço proteico muscular.

Subsequentemente, no estudo de Biolo et al. (1997), avaliou-se o efeito da infusão de aminoácidos após uma sessão de treino de força. Os resultados obtidos demonstraram, efetivamente, que a hiperaminoacidemia decorrente da infusão de aminoácidos tornou-se uma estratégia adequada para atingir um balanço proteico muscular positivo.

Em vista do anterior, o treinamento de força por si só não parece ser uma estratégia eficiente para o acréscimo de proteínas musculares se não há uma disponibilidade adequada de aminoácidos. Nessa lógica, o estudo de Pennings et al. (2011) demonstrou, de maneira consistente, que a combinação de ambos estímulos gera um efeito sinérgico, após observar que a SPM foi maior na situação na qual uma sessão de treino de força precedeu à ingestão de proteínas, quando comparada à situação na qual os sujeitos ingeriram, apenas, a mesma quantidade de proteína no repouso (*i.e.*, sem exercício). Tal efeito, tem-se atribuído à capacidade do exercício de sensibilizar ao músculo esquelético à presença de aminoácidos provenientes da ingestão de proteínas (BIOLO et al., 1997; PHILLIPS, 2016), sugerindo que a combinação de ambos estímulos, portanto, se torna extremamente eficaz em positivar o balanço proteico muscular (**Figura 1**), induzindo, de maneira crônica, o acréscimo de novas proteínas musculares (*i.e.*, hipertrofia) (CERMAK et al., 2012; MORTON; MCGLORY; PHILLIPS, 2015).

Figura 1 - A: Representa a flutuação dos processos de SPM e DPM em um espaço de tempo influenciado pela refeição. A área sob a curva representada como **I** ilustra o momento em que a refeição (estímulo proteico) eleva a SPM sobre a DPM. **II** representa o predomínio da DPM no estado pós-absortivo até a próxima refeição, prevalecendo novamente a SPM. Note-se que a SPM e DPM aumentam e diminuem na mesma magnitude num espaço de tempo, mantendo um BPM neutro.

B: Representa a flutuação dos processos de SPM e DPM em um espaço de tempo influenciado pela refeição e pelo TF. **III** ilustra o efeito sinérgico do TF aliado à refeição, resultando em um aumento ainda maior da SPM após o estímulo proteico. **IV** ilustra a atenuação da DPM após a

junção dos estímulos de TF e proteico. Logo, III e IV ilustram o efeito sinérgico entre os estímulos mecânico e proteico em prevalecer a SPM sobre a DPM em um espaço de tempo, favorecendo o BPM positivo. Adaptado de Phillips, 2004.

3.2 Efeitos da manipulação do estímulo proteico no potencial anabólico

Como mencionado anteriormente, o estímulo proteico otimiza o anabolismo muscular após uma sessão de treino de força. Contudo, essa resposta parece depender de alguns aspectos, tais como: dose, *timing*, cinética de digestão e absorção e fonte proteica (origem).

Em relação à dose, Moore et al. (2009) foram os primeiros em investigar o efeito da ingestão de diferentes doses de proteínas no estímulo da SPM, em humanos. Embora composto por um tamanho amostral pequeno de 6 sujeitos, foi um estudo randomizado, *cross-over* e duplo-cego. Os pesquisadores relataram que a dose de 20 g de proteína do ovo – albumina – (~8,6 g de aminoácidos essenciais) administrada após uma sessão aguda de treinamento de força para membros inferiores, promoveu o máximo estímulo da SPM em jovens treinados em força.

Nesse contexto, é interessante mencionar também o estudo de Cuthbertson et al. (2005), no qual avaliou o efeito da dose de aminoácidos essenciais, e não da proteína íntegra, no máximo estímulo da SPM no repouso. Nele, verificou-se que apesar do maior aumento da leucina circulante (principal aminoácido essencial em estimular a SPM) observado na dose de 20 g de aminoácidos essenciais, o máximo estímulo da SPM em jovens, ocorreu na dose de 10 g, muito similar à dose máxima obtida no estudo de Moore et al. (2009).

Corroborando, achados parecidos foram encontrados posteriormente no estudo de Witard et al. (2014). Com um número amostral maior e testando múltiplas doses de proteína após uma sessão aguda de treino de força também para membros inferiores, observou-se, novamente, que 20 g de proteínas foi a dose que maximizou a resposta da SPM, em comparação às doses de 10 e 40 g de proteína. Tais achados demonstram consistência na dose-resposta, quando testada de maneira aguda, sob condições tanto de repouso quanto de exercício de força, sugerindo o fato que existe um “teto” no aumento de leucina (mais detalhado nos próximos tópicos) e de aminoácidos essenciais circulantes para atingir o máximo aumento da SPM.

Quanto ao *timing* (em relação à sessão de exercício), o importante estudo de Biolo et al. (1997), evidenciou a sensibilidade do músculo à presença de proteínas e aminoácidos essenciais após uma sessão de treino de força. Corroborado posteriormente por Burd et al.

(2011), tal fenômeno permanece por um período de pelo menos 24 horas, em indivíduos treinados. No caso de jovens desabituaados ao treinamento de força, Damas et al. (2016a) observaram que a SPM se manteve sobre os níveis basais até 48 horas em relação à primeira sessão de treinamento de força, consolidando a premissa que o músculo submetido ao estímulo mecânico se torna sensível à presença do estímulo proteico por um período considerável de tempo.

Sobre a cinética de digestão e absorção das proteínas, as proteínas “rápidas” promovem um rápido e transiente aumento da aminoacidemia, enquanto as proteínas “lentas” induzem um menor, porém, sustentado aumento da aminoacidemia (FRÜHBECK, 1998). Os exemplos clássicos para proteínas rápidas são o *whey protein* e a proteína isolada de soja (BOS et al., 2003), enquanto a caseína constitui um exemplo de proteína de absorção lenta (BOIRIE et al., 1997; TANG et al., 2009).

As diferenças no padrão de aumento da aminoacidemia dos diferentes tipos de proteína levam, portanto, a modular a resposta de síntese e degradação proteica. Isto é, as proteínas “rápidas” estimulam velozmente a síntese, porém, também a oxidação de aminoácidos e, contrariamente, as proteínas “lentas” estimulam a síntese proteica paulatinamente enquanto inibem, concomitantemente, a degradação, mantendo a resposta por um período mais prolongado (BOIRIE et al., 1997).

Neste sentido, tem-se estabelecido que as proteínas rápidas, como o *whey protein* e a proteína isolada de soja, promovem um maior aumento da SPM quando comparadas às proteínas lentas, como a caseína (TANG et al., 2009). Apesar de ser um dado interessante, é importante considerar que isso só ocorre durante a ingestão isolada proteínas (*e.g.*, *whey protein*, proteína isolada de soja, caseína). Logo, quando pensamos numa refeição mista, quer dizer, contendo também lipídios, carboidratos e fibras, as proteínas “rápidas” perderiam a sua característica, diminuindo a sua cinética de absorção e digestão (TROMMELEN; BETZ; VAN LOON, 2019), fenômeno que ainda não está muito bem elucidado na literatura em relação ao efeito que uma refeição típica teria no estímulo da SPM.

Quanto à fonte proteica, é um conceito que alude à origem do alimento fonte de proteína, seja animal ou vegetal. Os diferentes alimentos fonte de proteína animal e vegetal possuem diferenças importantes na composição de aminoácidos. Essa diferença radica, principalmente, na composição de aminoácidos essenciais (**Figura 2**) e de leucina.

Figura 2 - Concentração de aminoácidos essenciais (AAE) de diferentes alimentos fonte de origem vegetal e animal. A concentração de AAE presente no músculo humano é representada como referência padrão. Adaptado de van Vliet et al., 2015.

A composição de aminoácidos essenciais da fonte está diretamente relacionada com os conceitos de qualidade proteica e valor biológico. A qualidade proteica se refere, de maneira simples, ao potencial que a proteína possui em estimular o processo de síntese proteica (VAN VLIET; BURD; VAN LOON, 2015). Por outro lado, o valor biológico é definido como a razão entre o nitrogênio retido e o nitrogênio digerido para satisfazer as necessidades metabólicas do organismo (FAO/WHO, 1991). Isto é, proteínas de alto valor biológico são aquelas que atendem às necessidades de aminoácidos essenciais do organismo (*i.e.*, treonina, triptofano, valina, leucina, metionina, lisina, isoleucina, histidina e fenilalanina). De modo contrário, proteínas de baixo valor biológico possuem deficiência no fornecimento de um ou mais aminoácidos essenciais, chamados, portanto, de aminoácidos limitantes. Geralmente, a mensuração da qualidade proteica de um alimento é avaliada pela composição de aminoácidos essenciais (valor biológico) e corrigida pelo grau de digestibilidade, através do Escore dos Aminoácidos Corrigidos pela Digestibilidade da Proteína (PDCAAS) (WHO/FAO/UNU, 2007) e, mais recentemente, pelo *Digestible Indispensable Amino Acid Score* (DIAS) (FAO, 2013). Tais índices ranqueiam as fontes, a partir da quantidade de nitrogênio e aminoácidos ingerida e, logo absorvida, segundo o potencial que elas têm em prevenir a deficiência de proteína total do organismo.

A modo de exemplo, o grão de soja apresenta um PDCAAS de 0,91 e a carne bovina um PDCAAS de 0,92 (SCHAAFSMA, 2000), ambas sendo, proteínas de alto valor biológico.

Como visto, a diferença numérica é praticamente inexistente, o que esperar-se-ia que o potencial de ambas as fontes em estimular a SPM seja, pelo menos, também similar. Contudo, estudos contrariam essa teoria. Wilkinson et al. (2007) comparou o efeito agudo da ingestão de leite de vaca vs. bebida de soja (equalizados pela quantidade de energia e macronutrientes), ambos alimentos fonte de proteína de alto valor biológico. Os autores observaram que o leite de vaca aumentou em 34% a mais a SPM em comparação à bebida de soja, ambas consumidas após uma sessão de treino de força. Interessantemente, esse efeito foi observado apesar dos autores terem equalizado a quantidade aminoácidos essenciais da ambas as bebidas, com exceção da metionina (aminoácido limitante de soja), cuja quantidade foi quase metade à do leite de vaca.

Corroborando o fato que fontes proteicas de alto valor biológico podem diferir na capacidade de estimular a SPM, o trabalho de Tang et al. (2009) comparou o efeito de três fontes proteicas diferentes (*whey protein*, proteína isolada de soja e caseína) no estímulo da SPM após uma sessão de treino de força. Eles observaram que o *whey protein* foi a fonte que aumentou em maior magnitude os aminoácidos essenciais circulantes, seguido da proteína isolada de soja e por último, a caseína. A mesma ordem se manteve quando relataram tanto o aumento da leucinemia quanto os aumentos da SPM. Logo, os autores concluíram que o *whey protein* foi superior à proteína isolada de soja e à caseína, sendo esta última, a que menos promoveu o aumento da SPM após a sessão de treino de força.

Portanto, os estudos acima mencionados sugerem que, apesar de que certos alimentos fonte de proteína podem ter um valor biológico similar, a magnitude no estímulo da SPM pode ser diferente. Por outro lado, a aminoacidemia parece ser o aspecto mais marcante para o estímulo da SPM entre as diferentes fontes proteicas. Seguindo essa linha de raciocínio, tem-se estabelecido que existe um limiar de aminoácidos essenciais circulantes, principalmente de leucinemia (promovida com ~2-3g de leucina/refeição) (REIDY; RASMUSSEN, 2016), que deve ser atingido para provocar o máximo estímulo da SPM (DRUMMOND et al., 2010; CHURCHWARD-VENNE et al., 2012, 2014; WILKINSON et al., 2013).

A saber, a leucina é um aminoácido de cadeia ramificada que atua como ativador da via da mTOR, uma das principais vias de sinalização da SPM (ANTHONY et al., 2000; DODD; TEE, 2012). De maneira breve, no período pós-prandial ocorre o subsequente aumento da leucinemia, o que provocaria o aumento da concentração intramuscular de leucina e, conseqüentemente, a ativação da cascata de sinalização da via da mTOR (ATHERTON et al., 2010b). Diante isso, o efeito superior do *whey protein* frente à proteína isolada de soja em estimular a SPM pode ser, em parte, explicado pela diferença na concentração de leucina

entre as fontes (13.6% vs. 8.0%, respectivamente), a qual influenciaria em atingir o limiar de leucina. Além, como ilustrado na **Figura 3**, pode-se observar graficamente, a maior concentração de leucina nas fontes proteica de origem animal vs. às de origem vegetal.

Por fim, pode-se especular, que o efeito superior do *whey protein* e do leite de vaca, por exemplo, frente à proteína isolada de soja e caseína, é favorecido não pelo valor biológico em si, mas pela combinação de fatores que maximizam o estímulo da SPM, *i.e.* cinética de digestão e absorção rápida, rápido aumento da aminoacidemia e maior concentração de leucina e aminoácidos essenciais.

Figura 3 - Concentração de leucina de diferentes alimentos fonte de origem vegetal e animal. A concentração de leucina presente no músculo humano é representada como referência padrão. Adaptado de van Vliet et al., 2015.

3.3 A influência da fonte proteica nas adaptações neuromusculares

O estímulo mecânico do treinamento de força induz adaptações que acontecem em fases iniciais e tardias. A fase inicial do treinamento, nas primeiras 4 semanas, caracteriza-se pelo ganho de força via adaptação neural. Por outro lado, a fase tardia, após a quarta e sexta semana de treinamento, a adaptação neural diminui e começa a prevalecer a adaptação morfológica, gerando o aumento do tamanho das fibras musculares, *i.e.*, hipertrofia (DESCHENES; KRAEMER, 2002).

Como mencionado anteriormente, tais adaptações decorrentes do treinamento de força, são maximizadas quando somado o estímulo nutricional. Neste sentido, quando falamos do

efeito da fonte proteica nas variáveis de força e massa muscular, diversos trabalhos de caráter crônico (CANDOW et al., 2006; HARTMAN et al., 2007; JOY et al., 2013; VOLEK et al., 2013) estudaram o efeito da suplementação de proteínas animais *vs.* proteínas vegetais nas adaptações neuromusculares associadas ao treinamento de força. Em relação ao ganho de força, os artigos não demonstraram diferença estatística, quando comparada a suplementação de proteína de origem animal *vs.* vegetal. Tais achados, podem ser explicados pelo fato dos grupos terem aderido a uma dieta hiperproteica e, principalmente, a uma dieta omnívora, cuja fonte de proteínas é tanto de origem vegetal como animal. Nesse contexto, proteínas de origem animal, principalmente as carnes, são fonte de creatina. Visto que a ingestão de alimentos fonte de creatina, quanto a suplementação isolada, aumentam a concentração de creatina muscular, isto leva ao incremento do desempenho muscular em exercícios, principalmente, de força (GUALANO et al., 2012). Portanto, a ausência de diferenças entre os grupos dos estudos anteriormente citados, quanto ao parâmetro de força, pode ser atribuída ao tipo de dieta (omnívora) que os sujeitos aderiram nos diferentes protocolos.

Quanto à hipertrofia, é importante destacar as limitações destes estudos quanto a avaliação deste parâmetro. No estudo de Hartman et al. (2007), os autores realizaram a avaliação direta de hipertrofia através da análise da área de secção transversa (AST) das fibras musculares, via biópsia muscular. Neste sentido, a avaliação da AST das fibras musculares, apesar de ser uma medida direta para hipertrofia, não representa a resposta hipertrófica do músculo de maneira integral (EMA et al., 2013), o qual poderia ter sido interessante que a medida fosse complementada com métodos como a tomografia computadorizada, ressonância magnética ou ultrassonografia, uma vez que estes métodos consideram o tamanho do músculo como um todo. Além disso, o estudo de Joy et al. (2013) utilizou uma medida indicativa de hipertrofia, a espessura muscular, a qual possui uma correlação linear com a AST do músculo (ABE et al., 1997), porém, não é considerada como uma medida de avaliação direta. Ambos os estudos (Hartman et al., 2007 e Joy et al., 2013) utilizaram também, como medida indireta de hipertrofia, a estimação da composição corporal através de densitometria de dupla emissão com fonte de raios X (DXA). Entretanto, nos estudos de Candow et al. (2006) e de Volek et al. (2013), apenas o DXA foi utilizado como medida (indireta) de hipertrofia, a qual, não foi sequer analisada por segmentos corporais, *i.e.*, membros superiores e/ou membros inferiores, a modo de ser uma análise mais específica quanto à resposta hipertrófica decorrente do treinamento.

Contudo, apesar da variabilidade metodológica entre os estudos em relação à hipertrofia, na **Figura 4** ilustram-se os resultados destes estudos quanto ao ganho de massa

magra, avaliado por DXA, segundo a fonte proteica suplementada quando associada ao treinamento de força, em sujeitos jovens, em um período entre 6 e 36 semanas.

Figura 4 - Mudança percentual do ganho de massa magra. TF-PA: treinamento de força + proteína de origem animal; TF-PV: treinamento de força + proteína de origem vegetal; linha horizontal (—) representa a alteração percentual média de todos os estudos. Produção própria.

A média percentual de mudança para o ganho de massa magra associada ao treinamento de força + proteína de origem animal (TF-PA) foi de 4,8%, enquanto para o TF + proteína de origem vegetal (TF+PV) foi de 3,4%. Contudo, tal diferença ainda não é conclusiva quanto ao impacto da fonte proteica (suplementar) na resposta anabólica. Assim sendo, não todos os estudos demonstraram diferença estatística no ganho de massa magra entre as fontes. Por exemplo, no estudo de Candow et. al (2006), o grupo suplementado com *whey protein* apresentou uma maior tendência, apenas, para o ganho de massa magra, em relação ao grupo suplementado com proteína isolada de soja, apesar do alto consumo proteico de ambos os grupos durante a intervenção ($\sim 2,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$). Todavia, a grande limitação do estudo foi o curto período de intervenção (6 semanas). Atualmente, sabe-se que a avaliação de hipertrofia em fases precoces do treinamento não é confiável para mensurar hipertrofia de fato (aumento de proteínas contráteis), devido à presença de edema nas primeiras semanas de treinamento (DAMAS et al., 2016b). Por outro lado, no estudo de Hartman et al. (2007), os autores observaram que a suplementação com proteínas de fonte animal foi capaz de aumentar significativamente a massa magra e a área de secção transversa das fibras musculares em relação à proteína vegetal quando ingeridos após cada sessão de treino de força durante 12 semanas. Porém, a suplementação proteica diária foi dividida em dois momentos com um intervalo de uma hora (17,5 g/momento). Diante disso, a diferença entre os grupos pode-se explicar, possivelmente, pela quantidade insuficiente de proteína isolada de soja para atingir o

limiar de leucinemia para a consequente ativação da SPM, pois, como discutido previamente, a proteína isolada de soja possui uma menor concentração de leucina que o *whey protein*. Tal sugestão, pode ser corroborada pelo estudo de Areta et al. (2013), o qual observou que, apesar da SPM aumentar em relação ao basal, uma baixa quantidade de proteínas (*i.e.*, leucina) não induz o máximo aumento da SPM. Além disso, existe um fenômeno denominado “*muscle full*”, cuja principal característica é que, mesmo sob condições de oferta constante de aminoácidos como matéria prima para a SPM, a mesma volta aos níveis basais após 90-120 minutos do pico de aminoacidemia (ATHERTON et al., 2010a).

Quanto ao estudo de Volek et. al (2013), os autores avaliaram o efeito da suplementação com *whey protein* vs. proteína isolada de soja em associação ao treinamento de força durante 36 semanas. Nele, foi encontrado que a suplementação crônica com a proteína de fonte animal foi estatisticamente superior à de origem vegetal no aumento de massa magra. Contudo, a amostra de estudo foi desbalanceada quanto à proporção de homens e mulheres (H/M) nos grupos “*whey protein*” e “soja” (13/6 vs. 11/11, respectivamente). Neste sentido, apesar de não haver diferença estatística no período basal, o grupo “soja” apresentou uma diferença de ~3 kg a menos de massa magra comparado ao grupo “*whey protein*”, composto por uma proporção maior de sujeitos homens.

Em relação ao estudo de Joy et al. (2013), os autores levantaram a hipótese que uma proteína de origem vegetal, quando ofertada em grandes doses, equivaleria ao efeito induzido por uma proteína de origem animal, de boa qualidade. Para tal, eles suplementaram um grupo com 48 g de *whey protein* vs. 48 g de proteína de arroz associado a oito semanas de treinamento de força. O principal achado foi que não houve diferença nos grupos tanto no ganho de massa magra quanto na espessura muscular, explicado pela grande quantidade de proteína de arroz ofertada, portanto, de leucina. Tal, em teoria, teria sido o suficiente para atingir o limiar de leucinemia e maximizar a ativação da SPM (PHILLIPS, 2016).

Apesar de interessantes, os estudos citados anteriormente, tentaram responder se há diferenças no ganho de massa magra em relação à proteína suplementar, seja de origem vegetal ou animal, pois todos os participantes tinham como padrão alimentar uma dieta de proteínas mistas (*i.e.*, omnívoros). Portanto, nenhum destes estudos responde sobre o impacto da fonte proteica da dieta no ganho de massa e força muscular em resposta ao treinamento de força. Por outro lado, um elegante estudo observou que uma dieta omnívora (durante 12 semanas de treinamento de força) foi superior a uma dieta ovolactovegetariana no ganho de massa magra em idosos. Entretanto, a dieta ovolactovegetariana foi introduzida em idosos que, previamente ao estudo, eram habituados a uma dieta omnívora (CAMPBELL et al.,

1999). Tal fato considera que as eventuais diferenças entre os grupos possam ser justificadas apenas pelas mudanças nos padrões alimentares do grupo ovolactovegetariano, pois os autores relataram que uma vez que os voluntários aderiram à dieta ovolactovegetariana, a ingestão proteica diminuiu em comparação ao início da pesquisa e, também, foi menor quando comparados à ingestão proteica dos sujeitos do grupo da dieta omnívora. Mais tarde, Haub et al. (2002), demonstraram que em sujeitos idosos, quando equiparados pela ingestão de proteínas da dieta ($1,0 - 1,17 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), dietas omnívoras e ovolactovegetarianas eram igualmente efetivas no aumento de força e massa muscular.

Em suma, por mais que os trabalhos de Campbell et al. (1999) e Haub et al. (2002) se aproximem ao problema mencionado anteriormente, estes tampouco respondem sobre o efeito de uma dieta que exclui 100% alimentos de origem animal, portanto, composta exclusivamente de alimentos de origem vegetal, nas adaptações crônicas ao treinamento de força.

4 MÉTODOS

4.1 Desenho experimental

Em um desenho quase-experimental (não randomizado), de grupos paralelos e controlado, foi comparado o efeito da fonte proteica da dieta nos ganhos morfológicos e funcionais dos membros inferiores em resposta ao treinamento de força. O controle do estudo foi realizado pelo pareamento dos indivíduos nas variáveis de peso corporal, estatura, força muscular (1-RM) e massa magra de membros inferiores. Antes do começo do estudo, foram avaliados o nível de atividade física (IPAQ), parâmetros nutricionais (amostras de sangue) e o consumo proteico habitual dos participantes por meio de seis recordatórios alimentares de 24h. Logo, o aporte proteico foi aumentado individualmente para $1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, via suplementação a base de proteínas. O consumo proteico diário durante a intervenção foi monitorado a cada quatro semanas por meio de um recordatório alimentar de 24h nas semanas 4, 8 e 12. Adicionalmente, foram realizadas as seguintes avaliações PRÉ e PÓS 12 semanas de intervenção: massa magra de membros inferiores através de densitometria de dupla emissão com fonte de raios X (DXA), área de secção transversa muscular via ultrassonografia, área de secção transversa de fibras musculares através de biópsia muscular e força dinâmica máxima de membros inferiores no *leg press*. O protocolo de treinamento foi realizado sob supervisão, com uma frequência de duas vezes por semana, voltado para membros inferiores. A **Figura 5** ilustra o desenho experimental do estudo.

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo – CAAE: 54014116.9.0000.5391 e registrado no clinicaltrials.gov (NTC03907059).

Figura 5 – Desenho Experimental. Abreviações: R24H, Recordatório de 24 horas; DXA, Densitometria de dupla emissão com fonte de raios X; AST_m, área de secção transversa do músculo (vasto lateral e reto femoral); AST_f, área de secção transversa da fibra (fibras tipo I e tipo II); 1-RM, Força dinâmica máxima no *leg press*.

4.2 Seleção da amostra

O recrutamento de voluntários foi realizado entre janeiro de 2017 e agosto de 2018, através de cartazes de divulgação exibidos em diversas unidades da Cidade Universitária e comunidade USP, assim como também em diversos restaurantes específicos (vegetarianos e veganos). As redes sociais, como Facebook® e Instagram®, também serviram de meio de divulgação, através de anúncios genéricos e em grupos específicos para vegetarianos. Além do anterior, o recrutamento contou com a indicação de voluntários a partir de profissionais da saúde, como médicos e nutricionistas, especialmente da área do vegetarianismo. A Sociedade Vegetariana Brasileira (SVB) também contribuiu para a divulgação do estudo.

A grande maioria dos voluntários entrou em contato via e-mail ou WhatsApp®. Todos os interessados foram orientados via e-mail sobre os detalhes da pesquisa e foi encaminhado o link do formulário de cadastro de participantes para a seleção dos mesmos (<https://victoriahevia.typeform.com/to/RuHAnn>), criando dessa forma, um banco de dados de potenciais voluntários.

A partir do banco de dados, foram convidados a participar do presente estudo homens saudáveis de 18 a 35 anos. Os participantes foram divididos em dois grupos: indivíduos que excluía da alimentação qualquer alimento de origem animal-grupo vegano- (VEG) ou indivíduos que incluía na alimentação alimentos de origem mista, animal e vegetal-grupo omnívoro- (OMN). Os critérios de inclusão utilizados foram os seguintes: fisicamente ativos (segundo o IPAQ), porém, não treinados em força há pelo menos 1 ano; sem qualquer tipo de doença crônica ou lesão ortopédica que impedisse a prática de exercícios de força; e consumo habitual de proteínas $\geq 0,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Para o grupo VEG, os participantes tinham que ser veganos há pelo menos 1 ano e para o grupo OMN, os sujeitos tinham que ser omnívoros há pelo menos 1 ano. Os critérios de exclusão foram: sem uso prévio de esteroides anabólicos androgênicos; sem uso atual (nos últimos 3 meses) de recursos ergogênicos e/ou de suplementos a base de proteínas; e sem estar engajado em nenhuma dieta de restrição calórica (há pelo menos 1 ano). Antes de começarem as coletas, os participantes foram informados sobre os objetivos do estudo, procedimentos a serem realizados e dos possíveis riscos envolvidos. Aqueles que concordaram em participar, preencheram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

4.3 Procedimentos experimentais

4.3.1 Avaliação nutricional

No PRÉ, foi realizada uma avaliação nutricional por meio de seis recordatórios alimentares de 24 horas, os quais consistiram em 4 dias não consecutivos de semana e 2 dias não consecutivos de fim de semana para obter o consumo habitual de nutrientes. Durante a intervenção, foram realizados um total de três recordatórios alimentares de 24 horas nas semanas 4, 8 e 12 com o intuito de monitorar a ingestão proteica no decorrer do estudo. Os dias avaliados consistiram em dias de semana habituais de alimentação de cada participante.

As avaliações PRÉ e durante a intervenção foram utilizadas para o cálculo de ingestão diária de energia, de proteínas, de aminoácidos essenciais (totais, leucina, lisina, metionina e BCAA), de carboidratos, lipídios e fibra dietética, assim como também para o cálculo de ingestão relativa diária proteínas e consumo proteico segundo a fonte de origem, vegetal e/ou animal. Adicionalmente, foi calculado o consumo proteico relativo e de leucina por refeição nos tempos PRÉ e semanas 4, 8 e 12.

Todos os recordatórios alimentares de 24 horas foram realizados por um nutricionista treinado e experiente. Os dados das avaliações foram tabulados pelo mesmo nutricionista

avaliador, com o auxílio de um software nutricional específico (Nutritionist Pro® v.7.3, Axxya Systems, Woodinville, WO, EUA), utilizando a base de dados de alimentos da USDA (*United States Department of Agriculture*). Para auxílio no cálculo dietético, foram utilizados manuais dietéticos contendo porções alimentares em medidas caseiras para a população brasileira (PINHEIRO, 2004; BOMBEM; CANELLA; BANDONI, 2012; FISBERG; MARCHIONI, 2012), os quais foram utilizados também para inserir alimentos/receitas que não se encontravam no *software*.

Durante o estudo, os voluntários foram orientados a manter no máximo possível a rotina alimentar habitual. Além disso, foram orientados a não acrescentarem nenhum suplemento que pudesse influenciar as variáveis de desempenho e peso corporal ou massa magra (*i.e.*, creatina, cafeína, outras fontes de suplementação proteica).

4.3.2 Suplementação da proteína da dieta

Durante as 12 semanas de intervenção, foi realizado o ajuste da proteína da dieta individualizado para cada participante a $\sim 1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ com o intuito de equiparar a quantidade da ingestão de proteínas entre os grupos VEG e OMN, deixando apenas a fonte proteica como variável diferencial entre eles. Para tal, foi utilizada a média do consumo proteico obtida a partir dos recordatórios alimentares de 24 horas realizados no PRÉ. Logo, a proteína suplementar necessária para a intervenção foi determinada pelo cálculo da diferença entre a quantidade de proteína alvo previamente estabelecida para o estudo ($1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) (PHILLIPS, 2004; MORTON et al., 2018) e a ingestão proteica habitual. Como margem de segurança, optamos por oferecer a quantidade de proteína suplementar até completar $1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. A modo de exemplo, se o indivíduo tinha 70 kg de massa corporal e um consumo proteico habitual de 70 g ($1,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), a proteína suplementar oferecida durante a intervenção foi de 49 g ($0,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$). A suplementação de proteínas foi oferecida diariamente duas vezes por dia (em dias de treino e de não-treino), de maneira contínua, desde o início do programa de treinamento até o último dia de treino, junto às refeições com o menor aporte proteico identificadas a partir da avaliação nutricional (em nosso estudo, os suplementos proteicos foram tipicamente oferecidos no café da manhã e na ceia). A distribuição diária das doses suplementares dependeu da quantidade de proteína suplementar necessária durante a intervenção para cada indivíduo. Sendo assim, respeitou-se a teoria da quantidade de proteína por refeição ótima para o máximo estímulo da MPS, $0,25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (MOORE et al., 2009; WITARD et al., 2014) por momento de suplementação. Ao iniciar a

intervenção, cada participante recebeu o instrutivo individualizado para a ingestão da proteína suplementar prescrita para o estudo. Mensalmente, a proteína suplementar foi entregue no formato de potes. Os indivíduos deviam retornar os potes e, juntamente, foram orientados a preencherem o horário e as doses ingeridas diariamente numa folha de calendário para controle da suplementação.

Para a suplementação de proteínas para o grupo VEG, se utilizou a proteína isolada de soja (SUPRO XT 221D IP®, Solae LLC, DuPont, St. Louis, MO, EUA). No entanto, para a suplementação de proteínas para o grupo OMN, foi utilizada a proteína hidrolisada do soro do leite (THERMAX 690®, Glanbia Nutritionals, Fitchburg, WI, EUA) – *whey protein* –, mantendo, assim, a diferença de fonte proteica entre os grupos. A **Tabela 1** descreve o perfil de aminoácidos e macronutrientes de ambos os suplementos proteicos (informação fornecida pelos fabricantes).

Tabela 1. Perfil de aminoácidos e macronutrientes dos suplementos proteicos

Aminoácido ou nutriente (g/100g produto)	Proteína isolada de soja	<i>Whey protein</i>
Ácido aspártico	10,20	10,70
Ácido glutâmico	16,80	16,70
Alanina	3,80	4,40
Arginina	6,70	1,90
Cisteína	1,10	2,40
Fenilalanina ^a	4,60	2,70
Glicina	3,70	1,60
Histidina ^a	2,30	1,60
Isoleucina ^{a, b}	4,30	6,30
Leucina ^{a, b}	7,20	9,60
Lisina ^a	5,50	9,80
Metionina ^a	1,20	1,90
Prolina	4,50	5,70
Serina	4,60	4,30
Tirosina	3,30	2,80
Treonina ^a	3,30	6,60
Triptofano ^a	1,20	2,00
Valina ^{a, b}	4,40	4,90
BCAA	15,90	20,80
AAE	34,00	45,40
Proteína Total	87,50	92,50
Carboidratos	<1	2,0
Lipídios	3,1	0,2

^a Aminoácidos essenciais (AAE).

^b Aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA).

4.3.3 Exames de sangue

Antes do começo do estudo, com o intuito de analisar parâmetros nutricionais, os participantes deviam chegar no laboratório com pelo menos 4 horas de jejum para a coleta de uma amostra de 5 ml de sangue venoso. As amostras foram centrifugadas a 3000 rpm durante

10 minutos a 4° C e o sobrenadante foi coletado e armazenado a 80°C para futuras análises. As dosagens dos níveis serológicos de proteínas totais, ferritina, vitamina B12 e 25-hidroxivitamina (25-OH(D)) foram realizadas na Divisão de Laboratório Central do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP. Para a determinação das proteínas totais, foi utilizado o método colorimétrico. Ferritina e vitamina B12 foram analisadas por eletroquimioluminiscência. 25-OH(D) foi analisada através do *ARCHITECT 25OH Vitamin D Reagent Kit* (Abbott Diagnostics, Lake Forest, IL, EUA), por quimioimunoensaio seguindo as orientações do fabricante. O motivo da análise destes parâmetros foi apenas para caracterizar os grupos, principalmente, VEG, uma vez que a exclusão total de alimentos de origem animal pode ocasionar certas deficiências nutricionais, principalmente de ferro, vitamina B12 e 25-OH(D) (GILSING et al., 2010; CROWE et al., 2011; HAIDER et al., 2018).

4.3.4 Composição corporal

Os participantes foram pesados em balança digital e a altura determinada na posição em pé, com auxílio de estadiômetro. Essas medidas foram utilizadas na determinação do índice de massa corporal (IMC), pela fórmula: $IMC = kg/m^2$.

Tanto o percentual de massa gorda e massa magra como a massa magra total absoluta de membros inferiores, foram obtidos pelo método de densitometria de dupla emissão com fonte de raios X (DXA), utilizando o aparelho *Hologic QDR 4500 Discovery densitometer* (Hologic Inc., Bedford, MA, EUA). Para a realização deste procedimento, os participantes foram orientados a evitar qualquer exercício físico nas 24 horas antes que precederam ao exame e a comparecer no local no horário da manhã (orientações indicadas pelo Laboratório responsável), sem que tivesse sido necessário o jejum, porém, uma refeição que não ultrapassasse 500 g de alimento (KERR; SLATER; BYRNE, 2017). Uma vez no local, os participantes foram orientados a se deitarem em decúbito dorsal e ficarem estáticos durante o exame, de acordo com as instruções do fabricante. Todas as avaliações foram realizadas por apenas um técnico habilitado em parceria com o Laboratório de Metabolismo Ósseo da Faculdade de Medicina de USP.

4.3.5 Medidas de AST_m do reto femoral e vasto lateral

Os voluntários foram orientados a absterem-se de qualquer exercício físico para membros inferiores por 72 h prévias ao procedimento de ultrassonografia. Assim que os

voluntários chegaram no laboratório, foram posicionados em decúbito dorsal, com os joelhos estendidos, por aproximadamente 20 minutos para que ocorresse a drenagem dos excessos de fluídos da musculatura avaliada. Durante as medidas, os sujeitos foram instruídos a relaxar sua musculatura o máximo possível. Após devidamente posicionados, um pesquisador experiente, por meio de palpação, identificou o epicôndilo lateral do fêmur e o trocânter maior. A partir do ponto médio, entre os acidentes ósseos, a pele foi demarcada transversalmente com tinta semipermanente a cada 2 cm para realização das medidas. Foi utilizado um ultrassom modo-B, com transdutor vetorial linear e frequência de 7,5 MHz (SonoAce R3, Samsung-Medison, Gangwon-do, Córrea do Sul) para captar imagens no plano axial dos músculos reto femoral e vasto lateral da coxa direita. O transdutor foi orientado no plano axial, alinhado perpendicularmente ao músculo e movido de uma posição central para uma posição lateral ao longo dos pontos previamente marcados na pele, com o auxílio de uma generosa camada de gel transdutor para evitar exercer pressão sobre o tecido nos pontos de medição. As imagens foram gravadas para análises, as quais foram posteriormente giradas e sobrepostas a fim de reconstruir a AST_m do reto femoral e vasto lateral. Uma vez reconstruída a imagem de cada músculo, a área de secção transversa dos respectivos, foi avaliada por um único avaliador cego pelo *software* de digitalização de imagens de uso livre, Image-J (Maden 3.2.5, EyePhysics, Los Paladinos, USA), usando um *mouse* de >800 dpi. O erro típico e coeficiente de variação entre duas medidas cegas para a AST_m do reto femoral foram $0,01 \text{ cm}^2$ e 0,23%, respectivamente. Para a AST_m do vasto lateral, o erro típico e coeficiente de variação foram $0,59 \text{ cm}^2$ e 2,12%, respectivamente. A **Figura 6** ilustra a imagem representativa da AST_m dos músculos reto femoral e vasto lateral.

Figura 6 – Imagens representativas dos músculos reto femoral (A) e vasto lateral (B) utilizadas para medidas de área de secção transversa muscular. RF: reto femoral; VL: vasto lateral.

4.3.6 Biópsia muscular

As coletas de tecido muscular dos participantes foram realizadas no vasto lateral via biópsia por agulha de sucção por um médico experiente. No PRÉ, a coleta foi sempre realizada prévia à familiarização e ao teste de força. No PÓS, foi realizada entre 72 e 120 horas após o teste final de força. Os participantes se mantiveram deitados em uma maca, mantendo os joelhos estendidos e a musculatura relaxada. Prévio à extração do tecido, foi realizada a remoção dos pelos com o uso de lâminas descartáveis individuais na região da coxa direita e a área selecionada foi limpa com iodopolividona (1% de iodo ativo). Seguindo, foi colocado um campo cirúrgico esterilizado, individual e descartável para a realização da biópsia. Logo, foram administrados 3 ml de xilocaína a 1% para anestesiá-lo local com agulhas hipodérmicas descartáveis de forma subcutânea. Após a anestesia, foi realizada uma pequena incisão, de aproximadamente 0,5 cm de comprimento, até a fáscia do músculo utilizando uma lâmina de bisturi nº 11, esterilizada, individual e descartável. A agulha de biópsia (modelo Bergstrom) foi introduzida na porção lateral do músculo com o auxílio de uma seringa de sucção de 120 ml, aplicada na extremidade superior externa da agulha. Após a remoção da agulha, a incisão foi coberta por bandagens. Foram extraídas amostras de ~80-100 mg de tecido muscular por biópsia, as quais foram limpas, tirando o excesso de sangue e de

tecido conjuntivo. As fibras foram orientadas transversalmente e rapidamente congeladas, primeiro em isopentano resfriado por nitrogênio líquido e depois, em nitrogênio líquido até armazenamento em freezer a -80°C até o momento das análises de imunofluorescência (*i.e.*, AST_f).

4.3.7 Análises da AST_f por imunofluorescência

Para análise da AST_f , as amostras congeladas de tecidos foram seccionadas a $10\text{ }\mu\text{m}$ em criostato (Leica, CM1850) e sobrepostas em lâminas de vidro polarizado e armazenadas em freezer a -20°C até o início do experimento. Para tal, as amostras foram trazidas à temperatura ambiente e lavadas em tampão fosfato-salino (PBS), 3 vezes de 10 minutos cada. Após, foram bloqueadas com uma solução tampão (1% de PBS, 5% *bovine serum albumin*-BSA- e 0,3% de Triton X-100) durante 60 minutos. Logo, as lâminas foram incubadas *overnight* a 4°C com anticorpos primários (*anti-rabbit laminin* [1:100, Abcam] e *anti-mouse* A4.951 MHCI [1:75, A4.951 DSHB]). No dia seguinte, as amostras foram lavadas seguindo o mesmo protocolo de lavagem com PBS. Seguido, as amostras foram incubadas por 60 minutos a temperatura ambiente com anticorpos secundários (Alexa Fluor® 488 *anti-rabbit* [1:200, Thermo Fisher Scientific], Alexa Fluor® 568 *anti-mouse* [1:1000, Thermo Fisher Scientific]), protegidos da luz. Tanto os anticorpos primários quanto secundários foram misturados no vórtex junto a uma solução tampão (1% PBS, 1% BSA e 0,3% Triton X-100). Posteriormente, as amostras foram novamente lavadas, seguindo o protocolo de lavagem com PBS. Para a montagem, as lâminas foram cobertas com lamínulas, utilizando uma solução contendo glicerol 1% diluído em PBS. As imagens foram observadas com um microscópio de fluorescência Olympus BX51 com uma ampliação de 20x. A quantificação da AST_f por marcação com laminina foi realizada utilizando o programa Image-J por um único investigador, de maneira cega, utilizando um *mouse* de $>800\text{ dpi}$. Foram analisadas em média 50 fibras do tipo I e 50 fibras do tipo II. O erro típico e coeficiente de variação entre duas mensurações cegas pelo mesmo avaliador foi $69,33\text{ }\mu\text{m}^2$ e 2,29%, respectivamente. A **Figura 7** ilustra as imagens representativas das marcações de imunofluorescência.

Figura 7 - Imagem representativa das fibras tipo I e fibras tipo II. (A) *Merge* MHC-1 e laminina; (B) Laminina; (C) MHC-1; (D) *Merge* MHC-1 e laminina em aumento de 20x (imagem utilizada para a marcação da medida de área de secção transversa das fibras tipo I e tipo II).

4.3.8 Familiarização ao teste de força dinâmica máxima (1-RM)

Uma vez que finalizaram as avaliações antes mencionadas, os participantes foram submetidos a duas sessões de familiarização ao teste de 1-RM (método detalhado no tópico seguinte), até a medida estabilizar a um coeficiente de variação $\leq 5\%$. Além do mais, os participantes foram familiarizados ao aparelho cadeira extensora e realizaram duas séries até a falha numa carga estimada, com o intuito de se habituarem aos exercícios da intervenção e de também, encontrar a carga de treino que seria utilizada no início do treinamento.

4.3.9 Teste de força dinâmica máxima (1-RM)

A avaliação da força dinâmica máxima (1-RM) de membros inferiores foi realizada no exercício de *leg press* 45° (Movement Technology®, Bruden, São Paulo, Brasil). Os participantes foram posicionados no aparelho com as escápulas e quadris devidamente apoiados no banco, pernas afastadas na direção dos ombros e os pés posicionados no sentido de evitar que os dedos não ficassem abaixo dos joelhos. Após o devido posicionamento, a

máquina foi destravada e o movimento se iniciou com a plataforma se deslocando para baixo até que os joelhos atingissem um ângulo de 90° (avaliado por goniômetro) retornando à posição inicial novamente. Com o objetivo de manter a reprodutibilidade do movimento, foi posicionado um imã magnético envolto de um aparato plástico sobre uma fita métrica na barra lateral do aparelho (por onde ocorre o curso da plataforma). Adicionalmente, a área da plataforma foi dividida em quadrados iguais, para auxiliar ao avaliador a identificar a posição quanto a amplitude adequada do movimento. O grau de flexão de joelho foi controlado visualmente pelo pesquisador, quem deu retorno verbal ao participante sobre sua execução, quando necessário.

Os testes de 1-RM seguiram os procedimentos propostos pela Sociedade Americana de Fisiologistas do Exercício (BROWN; WEIR, 2001). Em cada dia de teste, os participantes realizaram o aquecimento geral em cicloergômetro (Movement Technology®, Bruden, São Paulo, Brasil) por cinco minutos, seguido de duas séries de aquecimento específico no aparelho *leg press*. Foram executadas na primeira série oito repetições a 50% de 1-RM (estimado na sessão de familiarização) e na segunda, três repetições a 70% de 1-RM (estimado na sessão de familiarização). Um intervalo de três minutos foi concedido entre as séries. Três minutos após o aquecimento os sujeitos realizaram até cinco tentativas (com três minutos de intervalo entre cada tentativa) a fim de se determinar a carga máxima para a execução de uma repetição do exercício de *leg press* (*i.e.* 1-RM). Foi dado forte encorajamento verbal durante o teste.

O erro típico e coeficiente de variação do teste-reteste para 1-RM foi de 5,40 kg e 2,15%, respectivamente.

4.3.10 Protocolo de treinamento

O treinamento teve duração total de 12 semanas, com duas sessões semanais de treino. A duração das sessões variou entre 20 e 40 minutos e o intervalo entre as sessões foi de 48 a 96 horas. Os sujeitos realizaram exercícios específicos para os grupos musculares dos membros inferiores nos aparelhos *leg press* e cadeira extensora. Nas 4 primeiras semanas de treinamento, todos os voluntários realizaram duas séries de 12-15 repetições máximas. Para garantir que todas as séries fossem compostas de repetições máximas, os voluntários foram instruídos a realizarem contrações até a falha concêntrica seguindo a amplitude do movimento adequada. Logo, as cargas foram ajustadas de forma que a falha acontecesse entre 12-15 repetições. Entre a 5ª e 8ª e entre a 9ª e a 12ª semana de treino, os voluntários evoluíram para

três séries de 10-12 e quatro séries de 8-10 repetições máximas, respectivamente. O ajuste da carga dependeu do número de repetições realizadas em cada série, *i.e.*, se os participantes realizassem mais do número máximo de repetições da série, a carga era aumentada para manter o intervalo de repetições máximas alvo na próxima série, e vice-versa, quando não fosse atingido o número mínimo de repetições máximas. As sessões de treinamento ocorreram sempre sob a supervisão de um dos membros da equipe de pesquisa, previamente treinado e/ou com formação em Educação Física. Todos os treinos junto com as datas, cargas e repetições foram anotados em uma planilha específica, tanto para registro como para o cálculo de adesão ao treinamento e volume total de treinamento. A adesão mínima estabelecida para o estudo foi de 83% (*i.e.*, realização de pelo menos 20 das 24 sessões do estudo).

5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O tamanho amostral foi calculado com o auxílio do *software* GPower® (versão 3.1.9.2) baseado em resultados obtidos no tamanho do efeito ($TE = 0,97$) para ganho de massa magra em jovens submetidos a treinamento de força e ingestão de proteínas (*whey protein* ou soja) (VOLEK et al., 2013). Estimou-se uma amostra de 36 voluntários ($n = 18$ por grupo) para um poder estatístico de 80% e um nível de significância (α) de 5%.

Os dados foram tratados segundo os pressupostos básicos da estatística paramétrica (normalidade) pelo teste de Shapiro-Wilk. Uma análise inicial foi realizada através do teste *t-student* independente para verificar a existência de qualquer diferença estatística nas características basais dos grupos (idade, peso corporal, estatura, IMC, composição corporal e exames de sangue). Os efeitos da fonte proteica da dieta nas variáveis dependentes (massa magra de membros inferiores, AST_m , AST_f , e 1-RM) foram testados utilizando o modelo misto para medidas repetidas, assumindo “grupo” (VEG e OMN) e “tempo” (PRÉ e PÓS) como fatores fixos e “sujeitos” como fator randômico. Na ocorrência de valores F significantes, foi aplicado o teste post-hoc com ajuste de Tukey para comparações múltiplas. Adicionalmente, foi utilizado o teste *t-student* para testar possíveis diferenças entre os grupos quanto à mudança PRÉ para o PÓS (delta, Δ) para as variáveis de massa magra de membros inferiores, AST_m , AST_f , e 1-RM. Para ilustrar a variabilidade de resposta das variáveis, os gráficos estão representados como *boxplot*, incluindo a mediana (linhas), intervalo interquartil inferior-superior (caixas), valores mínimo e máximo (bigodes) e a média (cruzes). O consumo alimentar durante a intervenção foi testado através do modelo misto para medidas repetidas, assumindo “grupo” (VEG e OMN) e “tempo” (PRÉ, semana 4, semana 8 e semana 12) como

fatores fixos, e “sujeitos” como fator randômico. Em caso de obter valores F significantes, foi utilizado o teste post-hoc com ajuste de Tukey para comparações múltiplas. Finalmente, o teste *t-student* para medidas independentes foi utilizado para a comparação entre os grupos quanto à adesão do protocolo experimental (*i.e.*, treinos e suplementação) e para o volume total de treinamento. As análises dos dados foram conduzidas através do software SAS versão 9.4 para Windows. O valor de significância (α) adotado foi de $p < 0,05$.

6 RESULTADOS

6.1 Recrutamento e processo amostral

308 voluntários entraram em contato com interesse em participar da pesquisa. Destes, 240 voluntários não atenderam aos critérios de inclusão (praticantes de TF, sexo feminino, idade acima dos limites estabelecidos pelos critérios de inclusão, sedentarismo, obesidade, histórico de esteroides anabolizantes, etc.). Outros 24 não responderam aos contatos (após do encaminhamento do e-mail de esclarecimento do estudo). Ao todo, 44 voluntários foram finalmente selecionados.

Todos os sujeitos selecionados foram homens jovens, saudáveis e fisicamente ativos, não treinados em força, com idade entre 18 e 35 anos. Os voluntários eram em parte alunos da própria universidade, indivíduos externos à universidade, com interesses em conhecer as pesquisas realizadas em nosso laboratório, interessados em realizar o programa de treinamento e, inclusive, interessados também em contribuir com a ciência, sobretudo à pesquisa realizada com vegetarianos estritos.

Após a seleção, os voluntários foram pareados pelas variáveis de peso corporal, estatura, força dinâmica máxima e massa magra de membros inferiores com o intuito de controlar as variáveis, para minimizar qualquer diferença entre os indivíduos no período basal da pesquisa.

Dos 44 indivíduos que foram selecionados, 6 desistiram de participar (*dropouts*) uma vez iniciada a intervenção experimental. Entre os motivos de desistência pode-se destacar: 1) incompatibilidade na agenda; 2) doença gastrointestinal e acidente não relacionado à pesquisa; 3) falha em retornar as nossas tentativas de contato e problemas pessoais.

No total, 38 voluntários aderiram ao estudo (**Figura 8**). Todos os voluntários foram orientados a manter seus níveis habituais de atividade física e consumo alimentar ao longo do estudo. Toda e qualquer alteração de rotina, ou uso de medicamento ou doença ao longo do estudo foram relatados pelos voluntários.

Figura 8 – Fluxograma do estudo

6.2 Características gerais dos sujeitos

A **Tabela 2** resume as características gerais dos grupos VEG ($n=19$) e OMN ($n=19$). Os participantes alocados no grupo VEG eram veganos há 3,2 anos (1-12 anos).

O pareamento dos participantes foi realizado de maneira satisfatória, uma vez que para as variáveis pareadas (peso corporal, estatura, 1-RM e massa magra de membros inferiores), os grupos apresentaram valores similares. O único parâmetro que apresentou diferença estatística entre os grupos ($p<0,05$) foi 25-OH(D), no qual 0/19 participantes no grupo VEG teve valores >30 ng/mL e 6/19 participantes no grupo OMN teve valores >30 ng/mL.

Tabela 2. Características basais

	VEG ($n=19$)	OMN ($n=19$)	<i>p</i>
Idade, anos	26 ± 5	26 ± 4	0,73
Peso corporal, kg	$72,7 \pm 7,1$	$73,3 \pm 8,16$	0,78
Estatura, cm	$178,1 \pm 4,7$	$176,4 \pm 6,4$	0,35
IMC, kg/m^2	$22,9 \pm 2,3$	$23,6 \pm 2,3$	0,39
1-RM <i>leg press</i> , kg	258 ± 59	261 ± 63	0,86
1-RM <i>leg press</i> / peso corporal	$3,5 \pm 0,7$	$3,6 \pm 0,8$	0,95
Massa Magra, kg	$57,3 \pm 5,0$	$57,3 \pm 5,8$	0,99
Massa Magra Membros Inferiores, kg	$18,9 \pm 2,2$	$19,1 \pm 2,4$	0,82
Massa Gorda, %	$17,4 \pm 5,4$	$18,1 \pm 4,4$	0,63
Nível Atividade Física, min/sem	302 ± 127	282 ± 130	0,65
Proteínas totais, g/dL	$7,5 \pm 0,4$	$7,5 \pm 0,3$	0,58
Ferritina, ng/mL	$139,6 \pm 82,7$	$196,3 \pm 120,9$	0,10
Vitamina B12, pg/mL	$300,8 \pm 264,1$	$407,6 \pm 137,1$	0,13
25-OH(D), ng/mL *	$18,0 \pm 6,6$	$24,0 \pm 6,5$	0,01

Dados apresentados em média $\pm$ desvio padrão; IMC: índice de massa corporal; 1 RM: força dinâmica máxima. * Indica diferença estatística no basal entre os grupos ($p<0,05$).

6.3 Avaliação do consumo alimentar e suplementação da proteína da dieta

Observamos diferença no período basal (PRÉ) entre os grupos para todas as variáveis (proteína [ingestão de proteína relativa, proteína animal e proteína vegetal], AAE, leucina, lisina, metionina, BCAA, carboidratos, lipídios e fibra dietética, todos $p < 0,05$), exceto para o consumo energético ($p = 0,25$). Durante a intervenção, ambos os grupos atingiram a quantidade de proteína alvo (*i.e.*, $1,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) através de proteína dietética e proteína suplementar. A proteína dietética se manteve estável durante a intervenção para ambos os grupos (VEG: $0,89 \pm 0,25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ e OMN: $1,19 \pm 0,21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) em relação ao consumo habitual de proteínas (valores PRÉ: VEG: $0,91 \pm 0,19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ e OMN: $1,18 \pm 0,19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$). Em relação à proteína suplementar, observamos diferença estatística entre os grupos, devido ao fato do grupo VEG possuir um menor consumo proteico habitual *vs.* o grupo OMN ($p < 0,0001$). Portanto, para equiparar ambos os grupos na quantidade de proteína alvo de $1,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, a proteína suplementar necessária para os grupos VEG e OMN (soja e *whey protein*, respectivamente) foi de $0,79 \pm 0,21$ *vs.* $0,52 \pm 0,19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, respectivamente, $p = 0,001$. Em valores absolutos, a proteína suplementar foi $58 \pm 17 \text{ g}$ para o grupo VEG e $39 \pm 17 \text{ g}$ para o grupo OMN. A **Figura 9** ilustra a representação gráfica da ingestão dietética e suplementar de proteínas durante a intervenção.

Figura 9 – Representação em valores absoluto e relativo do consumo dietético de proteínas e a quantidade de proteína suplementar oferecida durante a intervenção.

A ingestão de proteína total e relativa, para os grupos VEG e OMN, aumentaram de maneira similar em relação ao basal (efeito principal de tempo, $p < 0,0001$), as quais se mantiveram estável ao longo da intervenção, sem diferenças quando comparados intra- e

entre-grupo, entre as semanas 4, 8 e 12 ($p>0,05$ para todas as comparações). Para AAE, leucina e BCAA, houve também um aumento significativo em relação aos valores PRÉ para ambos os grupos (efeito principal de tempo, todas as variáveis: $p<0,0001$), sem diferença intra-grupo entre as semanas 4, 8 e 12 ($p>0,05$ para todas as variáveis). Houve efeito principal de grupo para AAE, leucina e BCAA (OMN>VEG; $p<0,0001$ para todas as variáveis), sem apresentar interação grupo $\times$ tempo ($p>0,05$ para todas as variáveis). A **Tabela 3** descreve informações adicionais sobre o consumo alimentar.

A **Tabela 4** descreve o consumo proteico relativo e de leucina por refeição. De maneira geral, o grupo VEG apresentou menor ingestão proteica no almoço e no jantar que o grupo OMN (efeito principal de grupo; almoço: $p=0,0001$; jantar: $p=0,02$). A ingestão proteica aumentou de maneira significativa no café da manhã e na ceia (refeições nas quais a proteína suplementar foi oferecida) em relação ao basal em ambos os grupos (efeito principal de tempo, $p<0,05$), sem apresentar diferenças estatísticas intra-grupo nas semanas 4, 8 ou 12 (para todos os tempos, $p>0,05$) nem interação grupo $\times$ tempo (café da manhã: $p=0,78$; ceia: $p=0,06$). Em relação ao consumo de leucina por refeição, encontramos efeito principal de tempo para o café da manhã, jantar e ceia, com valores aumentados de leucina em comparação aos valores PRÉ em ambos os grupos ($p<0,05$ para todas as comparações). Adicionalmente, houve efeito principal de grupo para os valores de leucina do almoço e jantar, sendo maior para o grupo OMN quando comparado ao grupo VEG (almoço: $p<0,0001$; jantar: $p=0,0002$). Importantemente, não detetamos nenhuma interação grupo $\times$ tempo para a quantidade de leucina para nenhuma refeição ($p>0,05$ para todas as comparações).

Tabela 3. Consumo alimentar

	PRE		Semana 4		Semana 8		Semana 12		<i>Grupo x tempo valor p</i>
	VEG	OMN	VEG	OMN	VEG	OMN	VEG	OMN	
Calorias, kcal ⁻¹	2251±414	2120±244	2324±472	2057±379	2378±429	2197±479	2359±394	2271±430	0,61
Proteína g·kg ⁻¹ ·d ⁻¹ #	0,91±0,19	1,18±0,19 [†]	1,68±0,19	1,71±0,15	1,68±0,19	1,73±0,12	1,66±0,21	1,70±0,16	<0,001
Proteína, g ⁻¹ #	65±11	86±13 [†]	122±12	124±12	122±13	127±13	120±18	124±17	<0,001
Proteína animal, g ⁻¹ (%)*	-	58±9 (67) [†]	-	99±16 (79)	-	100±14 (79)	-	97±17 (78)	<0,001
Proteína vegetal, g ⁻¹ (%)*	65±11 (100)	28±5 (33) [†]	122±12 (100)	25±9 (21)	122±13 (100)	27±9 (21)	120±18 (100)	27±9 (22)	<0,001
AAE, g ⁻¹ *#	21±4	33±5 [†]	42±4	54±7	43±5	55±7	43±7	53±8	0,89
Leucina, g ⁻¹ *#	5±1	7±1 [†]	9±1	11±2	9±1.0	11±2	9±1	11±2	0,95
Lisina, g ⁻¹ *#	3±1	6±1 [†]	6±1	11±2	7±1	11±1	7±1	10±1	0,004
Metionina, g ⁻¹ *#	1±0	2±0 [†]	2±0	3±0	2±0	3±0	2±0	3±0	0,07
BCAA, g ⁻¹ *#	10±2	15±2 [†]	20±2	24±3	20±2	25±3	20±3	24±4	0,91
Carboidratos, g ⁻¹ *	356±73	262±38 [†]	360±97	216±62	349±87	243±79	342±75	272±60	0,02
Lipídios, g ⁻¹ *	62±20	80±14 [†]	53±20	76±25	63±21	79±20	64±24	79±17	0,71
Fibra dietética, g ⁻¹ *	39±10	18±5 [†]	40±16	15±7	39±14	19±10	38±13	19±10	0,18

Dados apresentados em média ± DP. [†] Indica $p < 0,05$ para diferença entre grupos no PRÉ (teste *t-student* independente); # indica $p < 0,05$ para efeito principal de tempo (comparação dos valores PRÉ com as semanas 4, 8 e 12; * Indica $p < 0,05$ para efeito principal de grupo.

Tabela 4. Consumo proteico relativo e de leucina por refeição

	PRE		Semana 4		Semana 8		Semana 12		Grupo x tempo valor p
	VEG	OMN	VEG	OMN	VEG	OMN	VEG	OMN	
Consumo proteico									
Desjejum g·kg ⁻¹ #	0,15±0,06	0,17±0,06	0,28±0,20	0,26±0,19	0,32±0,25	0,29±0,20	0,26±0,19	0,29±0,23	0,78
Almoço, g·kg ⁻¹ *	0,36±0,09	0,47±0,10 [†]	0,38±0,15	0,57±0,19	0,37±0,15	0,55±0,17	0,40±0,17	0,52±0,12	0,26
Jantar, g·kg ⁻¹ *	0,27±0,08	0,39±0,11 [†]	0,30±0,13	0,39±0,17	0,35±0,19	0,45±0,23	0,36±0,26	0,45±0,17	0,97
Ceia, g·kg ⁻¹ #	0,03±0,04	0,07±0,07	0,36±0,29	0,23±0,24	0,39±0,28	0,30±0,26	0,42±0,32	0,25±0,20	0.06
Consumo de leucina									
Desjejum, g ⁻¹ #	1±0 [†]	1±0 [†]	2±1	2±2	2±2	2±1	1±1	2±2	0,90
Almoço, g ⁻¹ *	2±0	3±0 [†]	2±1	3±1	2±1	3±1	2±1	3±1	0,14
Jantar, g ⁻¹ *#	1±0	2±1 [†]	1±1	2±1	2±1	3±1	2±1	3±1	0,98
Ceia, g ⁻¹ #	0±0	0±0	2±2	2±2	2±2	2±2	2±2	2±2	0,76

Dados apresentados em média ± DP. [†] indica $p<0,05$ para diferença entre grupos no PRÉ (teste *t-student* independente); # indica $p<0,05$ para efeito principal de tempo (comparação dos valores PRÉ com as semanas 4, 8 e 12; * Indica $p<0,05$ para efeito principal de grupo.

6.4 Massa magra de membros inferiores

A intervenção aumentou de maneira significativa a massa magra de membros inferiores para ambos os grupos, observando apenas efeito principal de tempo, $p < 0,0001$. O grupo VEG aumentou de $18,9 \pm 2,1$ para $20,1 \pm 2,1$ kg e o grupo OMN aumentou de $19,1 \pm 2,4$ para $20,3 \pm 2,7$ kg, sem diferença na interação grupo $\times$ tempo ($p = 0,94$). Não houve diferença para a mudança absoluta PRÉ-PÓS (VEG: $\Delta 1,2 \pm 1,0$ kg; OMN: $\Delta 1,2 \pm 0,8$ kg) ($p = 0,99$) entre os grupos (**Figura 10**).

Figura 10 – (A) representa a massa magra de membros inferiores (MMMI) antes (PRÉ) e após (PÓS) 12 semanas de treinamento para os grupos VEG e OMN. (B) representa a mudança absoluta (Δ) pré-pós intervenção para MMMI nos grupos VEG e OMN. Valores apresentados como mediana (linha —), intervalo interquartil, inferior e superior (caixa), variação (bigodes) e média (+). * Indica efeito principal de tempo ($p < 0,05$).

6.5 Medida da área de secção transversal muscular (AST_m)

Detectamos apenas efeito principal de tempo para a AST_m do reto femoral e vasto lateral (ambas $p < 0,0001$), sem encontrar interação grupo $\times$ tempo ($p = 0,67$ e $p = 0,14$, respectivamente). Para o reto femoral, o grupo VEG aumentou de $8,6 \pm 1,6$ para $9,6 \pm 1,6$ cm² e o grupo OMN aumentou de $8,7 \pm 2,1$ para $9,4 \pm 2,2$ cm². Similarmente, para o vasto lateral o grupo VEG aumentou de $21,6 \pm 3,1$ para $23,8 \pm 3,6$ cm² e o grupo OMN aumentou de $22,1 \pm 4,1$ para $24,9 \pm 4,4$ cm². Não observamos significância entre os grupos para a mudança absoluta PRÉ-PÓS nem para a AST_m do reto femoral (VEG: $\Delta 1,1 \pm 0,6$ cm²; OMN: $\Delta 0,9 \pm 0,5$ cm², $p = 0,50$) nem para a AST_m do vasto lateral (VEG: $\Delta 2,2 \pm 1,1$ cm²; OMN: $\Delta 2,8 \pm 1,0$ cm², $p = 0,14$) (**Figura 11**).

Figura 11 – Representação da AST_m dos músculos reto femoral (A) e vasto lateral (C) PRÉ e PÓS intervenção para os grupos VEG e OMN. (B) e (D) representam as mudanças em valores absolutos (Δ) para a AST_m (reto femoral e vasto lateral) PRÉ-PÓS intervenção nos grupos VEG e OMN. Valores apresentados como mediana (linha —), intervalo interquartil, inferior e superior (caixa), variação (bigodes) e média (+). * Indica efeito principal de tempo ($p < 0,05$).

6.6 Medida da área de secção transversa de fibras (AST_f) tipo I e tipo II

A AST_f tipo I aumentou significativamente após a intervenção para ambos os grupos (VEG: de 3.750 ± 648 para $4.491 \pm 641 \mu\text{m}^2$; OMN: de 4.444 ± 908 para $5.121 \pm 1.216 \mu\text{m}^2$), observando apenas efeito principal de tempo ($p < 0,0001$), sem diferença estatística para a interação grupo $\times$ tempo ($p = 0,77$). A mudança PRÉ-PÓS para a AST_f tipo I também foi similar entre os grupos (VEG: $\Delta 741 \pm 323 \mu\text{m}^2$; OMN: $\Delta 677 \pm 617 \mu\text{m}^2$), sem apresentar significância ($p = 0,77$).

A AST_f tipo II apresentou diferença entre os grupos no basal (PRÉ), $p = 0,02$. Contudo, ao adotar os valores basais como covariável, o teste de ANCOVA não detectou qualquer influência dos valores PRÉ no modelo estatístico ($p > 0,05$). Dessa forma, ao rodar o modelo

misto para medidas repetidas, ambos os grupos aumentaram estatisticamente a AST_f tipo II após a intervenção, observando apenas efeito principal de tempo ($p<0,0001$). O grupo VEG aumentou de 3.844 ± 571 para $4.765 \pm 431 \mu m^2$ e o grupo OMN aumentou de 4.663 ± 960 para $5.507 \pm 1.301 \mu m^2$. Não houve diferença para a interação grupo $\times$ tempo ($p=0,75$). Adicionalmente, os valores de mudança PRÉ-PÓS para a AST_f tipo II também foram comparáveis entre os grupos (VEG: $\Delta 921 \pm 458 \mu m^2$; OMN: $\Delta 844 \pm 638 \mu m^2$, $p=0,75$). (Figura 12)

Figura 12 – Representação da AST_f das fibras tipo I (A) e tipo II (C) PRÉ e PÓS intervenção para os grupos VEG e OMN. (B) e (D) representam as mudanças em valores absolutos (Δ) para a AST_f (tipo I e tipo II) PRÉ-PÓS intervenção nos grupos VEG e OMN. Valores apresentados como mediana (linha —), intervalo interquartil, inferior e superior (caixa), variação (bigodes) e média (+). * Indica efeito principal de tempo ($p<0,05$); † Indica diferença entre os grupos no tempo PRÉ ($p<0,05$).

6.7 Teste de força dinâmica máxima (1-RM)

Similar aos resultados anteriores, a força dinâmica máxima aumentou significativamente decorrente da intervenção para ambos os grupos, observando-se apenas efeito principal de tempo ($p < 0,0001$). Para o grupo VEG o aumento foi de 258 ± 59 para 354 ± 81 kg e para o grupo OMN o aumento foi de 261 ± 63 para 383 ± 74 kg, sem diferenças na interação grupo $\times$ tempo ($p = 0,10$) nem para a mudança PRÉ-PÓS (VEG: $\Delta 97 \pm 38$ kg; OMN: $\Delta 117 \pm 35$ kg) ($p = 0,10$). (**Figura 13**).

Figura 13 – (A) representa 1-RM no *leg press* antes (PRÉ) e após (PÓS) 12 semanas de treinamento para os grupos VEG e OMN. (B) representa a mudança em valores absolutos (Δ) para 1-RM PRÉ-PÓS intervenção nos grupos VEG e OMN. Valores apresentados como mediana (linha —), intervalo interquartil, inferior e superior (caixa), variação (bigodes) e média (+). * Indica efeito principal de tempo ($p < 0,05$).

6.8 Adesão à intervenção

A média de adesão ao treinamento de força não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre os grupos VEG ($94,3 \pm 5,7$ %) e OMN ($95,2 \pm 5,6$ %). De maneira similar, não houve diferença significativa entre os grupos na adesão à suplementação (VEG: $93,8 \pm 5,7$ % e OMN: $96,4 \pm 3,4$ %, $p > 0,05$).

6.9 Volume total de treinamento

O volume total de treinamento (VTT) nos exercícios *leg press* e cadeira extensora é apresentado na **Figura 14**. Não houve diferença significativa entre os grupos para nenhum tipo de exercício no volume total de treinamento. Para o exercício *leg press*, o grupo VEG

teve VTT de 177 ± 54 ton. e o grupo OMN teve VTT de 186 ± 43 ton. ($p=0,55$). Para o exercício cadeira extensora, o grupo VEG teve VTT de 51 ± 14 ton. e o grupo OMN teve VTT de 58 ± 14 kg ($p=0,15$).

Figura 14 – Volume de treinamento total (VTT) para os exercícios *leg press* (A) e cadeira extensora (B) nos grupos VEG e OMN.

7 DISCUSSÃO

No presente estudo, investigamos se o consumo exclusivo de proteínas de origem vegetal poderia prejudicar as adaptações decorrentes ao treinamento de força, após um programa de 12 semanas de treinamento de força para membros inferiores, comparado ao consumo de proteínas de origem mista (~80% proteína animal) em condições de consumo proteico adequado ($1,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) (MORTON et al., 2018), em indivíduos não treinados em treinamento de força. Observamos um aumento similar para as variáveis de massa magra de membros inferiores, área de secção transversa muscular (reto femoral e vasto lateral), área de secção transversa de fibras musculares (fibras tipo I e tipo II) e força dinâmica máxima muscular decorrente da intervenção, as quais, vimos que independe do padrão da ingestão de fontes proteicas.

Nossos dados diferem de estudos agudos que compararam a resposta anabólica de proteínas vegetais vs. animais. Dados prévios têm sugerido, consistentemente, que fontes isoladas de proteínas vegetais induzem uma menor resposta à SPM que quando comparadas às proteínas animais (WILKINSON et al., 2007; TANG et al., 2009; YANG et al., 2012; GORISSEN et al., 2016). A explicação mais plausível para tal resposta, seria pelo fato que os aminoácidos provenientes de proteínas vegetais são maiormente oxidados (YANG et al.,

2012), assim como também, direcionados em maior proporção para os tecidos esplênicos que para os tecidos periféricos (*e.g.*, músculo esquelético) (FOUILLET et al., 2002; BOS et al., 2003). As diferenças, portanto, na eficiência da SPM parecem estar relacionadas à composição de AAE (FOUILLET et al., 2002; VAN VLIET; BURD; VAN LOON, 2015; GORISSEN et al., 2018), particularmente de leucina (WHO/FAO/UNU, 2007; VAN VLIET; BURD; VAN LOON, 2015; GORISSEN et al., 2018).

Uma vez que proteínas de origem vegetal e animal diferem, portanto, na disponibilidade de AAE, no nosso estudo pudemos observar que estas diferenças foram atenuadas, provavelmente, pela combinação de diferentes alimentos fonte de proteína vegetal (grupo VEG). Neste sentido, sugere-se que a combinação de múltiplas fontes vegetais melhoram o perfil de aminoácidos de uma refeição, o qual não somente induziria uma maior resposta de SPM que uma fonte proteica vegetal isolada (VAN VLIET; BURD; VAN LOON, 2015), senão que também induziria uma resposta de SPM similar à da ingestão de fontes proteicas de origem animal. De fato, a combinação de cereais e/ou grãos (tipicamente baixos em lisina/altos em metionina) e leguminosas (tipicamente altos em lisina/baixos em metionina), por exemplo, fornece uma proteína mais “completa” (VAN VLIET; BURD; VAN LOON, 2015). Assim, para o grupo VEG, tal combinação poderia ter contribuído positivamente à SPM ao longo da intervenção, induzindo adequadamente o estímulo para os ganhos morfológicos e funcionais do músculo esquelético em resposta ao treinamento. Além disso, a proteína isolada de soja (da suplementação) é livre de fatores antinutricionais (GILANI; COCKELL; SEPEHR, 2005), o qual melhora a sua digestibilidade (GILANI et al., 2012), pelo que em teoria, melhoraria a disponibilidade dos seus aminoácidos para a SPM.

Interessantemente, no presente estudo observamos que o ganho de massa muscular e de força foram similares entre os grupos, apesar das diferenças significantes entre VEG e OMN quanto à composição de AAE, incluindo leucina. Contudo, apesar de tais diferenças, a ingestão absoluta de AAE no grupo VEG foi, de fato, alta (*e.g.*, $\sim 9 \text{ g} \cdot \text{dia}^{-1}$ para a ingestão de leucina), e possivelmente, o suficiente para maximizar o estímulo anabólico, sobretudo quando considerado o efeito do “*muscle full*” (MILLWARD; PACY, 1995; ATHERTON et al., 2010a). Portanto, especulamos que o anterior poderia estar mitigando qualquer efeito da fonte proteica da dieta. Em contraste, estudos anteriores, têm comparado os efeitos da proteína suplementar (origem vegetal vs. origem animal) nas adaptações ao treinamento de força, apresentando resultados controversos (CAMPBELL et al., 1999; HAUB et al., 2002; CANDOW et al., 2006; HARTMAN et al., 2007; JOY et al., 2013; VOLEK et al., 2013; BANASZEK et al., 2019), devido a certas limitações. Primeiro, estes estudos ofereceram a

proteína suplementar (vegetal ou animal) como parte do padrão alimentar omnívoro dos participantes, fato que poderia ter mitigado qualquer efeito da fonte proteica do suplemento (CANDOW et al., 2006; HARTMAN et al., 2007; JOY et al., 2013; VOLEK et al., 2013; BANASZEK et al., 2019). Segundo, o controle da ingestão proteica durante a intervenção foi negligenciado (JOY et al., 2013; BANASZEK et al., 2019), assim como também no período basal (CANDOW et al., 2006). Como terceiro ponto, dois estudos orientaram aos participantes para mudar o padrão habitual de alimentação (para a exclusão total de carnes) durante a intervenção, o qual significou uma menor ingestão proteica durante o protocolo (CAMPBELL et al., 1999) e um possível efeito residual do padrão alimentar prévio à intervenção (*i.e.*, dieta omnívora) (CAMPBELL et al., 1999; HAUB et al., 2002). E por último, o estudo de Candow et. al., (2006), teve um curto período de intervenção (6 semanas). Logo, ao contrário do nosso trabalho, estes estudos não permitem determinar se a fonte proteica possui alguma influência nas adaptações induzidas pelo treinamento de força.

Ainda que, no presente estudo, nossos dados sugerem que não há diferenças nas adaptações ao treinamento de força ao comparar uma dieta de fonte exclusivamente de origem vegetal vs. uma dieta de fontes mistas (animais e vegetais), é importante ressaltarmos que ao extrapolar os nossos dados, é preciso considerar alguns pontos. Por exemplo, para que o grupo VEG atingisse a ingestão proteica alvo, foi necessária a suplementação de ~50 g de proteína de soja diária. Nesse sentido, pessoas que aderem a uma dieta exclusivamente de proteínas de fonte vegetal, atingir uma ingestão proteica de $1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ apenas de alimentos, além de ser um grande desafio, pode significar em duas principais implicações: 1) seria necessário consumir um grande volume de alimentos, portanto, de quilocalorias e fibras; e 2) ao aumentar o consumo de alimentos, principalmente integrais, aumenta também a ingestão de fatores antinutricionais, os quais, entre outros efeitos, diminuem a digestibilidade da proteína da dieta (GILANI; COCKELL; SEPEHR, 2005). Logo, os nossos resultados se limitam à situação em que a suplementação de isolados de proteína vegetal, associada ao treinamento de força, é oferecida como uma estratégia prática para atingir o consumo adequado de proteínas preconizado pela literatura ($1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) (MORTON et al., 2018), nos casos em que a proteína da dieta é isenta de proteínas animais (*i.e.*, proteína da dieta 100% de origem vegetal).

Nosso trabalho acrescenta significativamente à literatura, uma vez que este é o primeiro estudo que comparou os efeitos da ingestão exclusiva de proteínas vegetais da dieta vs. mista (animal e vegetal) em resposta ao treinamento de força. Adicionalmente, avaliamos a hipertrofia tanto a nível macroscópico (através de DXA e ultrassonografia) como a nível

microscópico (através de biópsia muscular), todos sugerindo, de fato, aumento da massa magra e/ou muscular. Contudo, o nosso trabalho também possui limitações. Primeiramente, optamos por um desenho de estudo não randomizado, uma vez que consideramos o desenho quasi-experimental como o desenho mais adequado para responder à nossa pergunta de pesquisa. Pois, no caso contrário, teríamos que ter randomizado aos nossos voluntários omnívoros na condição de exclusão total de alimentos de origem animal (VEG) durante a intervenção ou à condição controle (manutenção do padrão alimentar habitual, omnívoro), envolvendo restrição de alimentos (de origem animal) no caso do VEG o que poderia ter enviesado os nossos resultados por dois principais motivos: a possível baixa aderência à dieta e eventuais mudanças no peso corporal e/ou composição corporal. Como segundo ponto, ainda não sendo parte do escopo do estudo, não estudamos nenhum mecanismo relacionado à resposta anabólica. Por último, futuras pesquisas devem investigar os efeitos da fonte proteica da dieta nos ganhos de massa muscular em outras populações, diferente estado de treinamento (*e.g.*, treinados em força) e em diferentes condições clínicas, especialmente, em indivíduos com resistência anabólica (*e.g.*, idosos), os quais a fonte proteica da dieta poderia sim, exercer um maior protagonismo para sustentar o ganho de massa muscular ao longo do tempo.

8 CONCLUSÃO

Uma dieta rica em proteínas ($\sim 1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), incluindo a proteína isolada de soja, quando isenta de qualquer proteína animal, induz ganhos de força e hipertrofia comparável a uma dieta isoproteica contendo fontes animais e vegetais ($\sim 80\%$ de origem animal), sugerindo, portanto, que a fonte proteica da dieta não é um fator determinante nas adaptações induzidas pelo treinamento de força, em indivíduos jovens não treinados, quando atingem a recomendação da ingestão proteica.

REFERÊNCIAS

ABE, T.; KAWAKAMI, Y.; SUZUKI, Y.; GUNJI, A.; FUKUNAGA, T. Effects of 20 Days Bed Rest on Muscle Morphology. **J Gravit Physiol.**, v. 4, n. 1, p. S4-10, 1997.

ANTHONY, J. C.; YOSHIZAWA, F.; ANTHONY, T. G.; VARY, T. C.; JEFFERSON, L. S.; KIMBALL, S. R. Leucine Stimulates Translation Initiation in Skeletal Muscle of Postabsorptive Rats via a Rapamycin-Sensitive Pathway. **J. Nutr.**, v. 130, n. 10, p. 2413–2419, out. 2000.

ARETA, J. L.; BURKE, L. M.; ROSS, M. L.; CAMERA, D. M.; WEST, D. W. D.; BROAD, E. M.; JEACOCKE, N. A.; MOORE, D. R.; STELLINGWERFF, T.; PHILLIPS, S. M.; HAWLEY, J. A.; COFFEY, V. G. Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. **J Physiol**, v. 591, n. Pt 9, p. 2319–31, 2013.

ATHERTON, P. J.; ETHERIDGE, T.; WATT, P. W.; WILKINSON, D.; SELBY, A.; RANKIN, D.; SMITH, K.; RENNIE, M. J. Muscle full effect after oral protein: Time-dependent concordance and discordance between human muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. **Am J Clin Nutr**, v. 92, n. 5, p. 1080–1088, 2010a.

ATHERTON, P. J.; SMITH, K.; ETHERIDGE, T.; RANKIN, D.; RENNIE, M. J. Distinct anabolic signalling responses to amino acids in C2C12 skeletal muscle cells. **Amino Acids**, v. 38, n. 5, p. 1533–1539, 2010b.

BANASZEK, A.; TOWNSEND, J. R.; BENDER, D.; VANTREASE, W. C.; MARSHALL, A. C.; JOHNSON, K. D. The Effects of Whey vs. Pea Protein on Physical Adaptations Following 8-Weeks of High-Intensity Functional Training (HIFT): A Pilot Study. **Sports**, v. 7, n. 1, p. 12, 2019.

BENNET, W. M.; CONNACHER, A. A.; SCRIMGEOUR, C. M.; SMITH, K.; RENNIE, M. J. Increase in anterior tibialis muscle protein synthesis in healthy man during mixed amino acid infusion: studies of incorporation of [1-13C]leucine. **Clin Sci (Lond)**, v. 76, n. 4, p. 447–454, 1989.

BIOLO, G.; MAGGI, S. P.; WILLIAMS, B. D.; TIPTON, K. D.; WOLFE, R. R. Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 268, n. 3 Pt 1, p. E514–E520, 1995.

BIOLO, G.; TIPTON, K. D.; KLEIN, S.; WOLFE, R. R. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 273, n. 1 Pt 1, p. E122–E129, 1997.

BOIRIE, Y.; DANGIN, M.; GACHON, P.; VASSON, M.-P.; MAUBOIS, J.-L.; BEAUFRERE, B. Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 94, n. 26, p. 14930–14935, 1997.

BOMBEM, K. C. de M.; CANELLA, D. S.; BANDONI, D. H. **Manual de medidas caseiras e receitas para cálculos dietéticos**. 1^a ed. São Paulo: M Books, 2012.

BOS, C.; METGES, C. C.; GAUDICHON, C.; PETZKE, K. J.; PUEYO, M. E.; MORENS, C.; EVERWAND, J.; BENAMOUZIG, R.; TOME, D. Postprandial kinetics of dietary amino acids are the main determinant of their metabolism after soy or milk protein ingestion in humans. **J. Nutr.**, v. 133, n. 5, p. 1308–1315, 2003.

BROWN, L. E.; WEIR, J. P. Procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. **JEP**, v. 4, n. 3, p. 1–21, 2001.

BURD, N. A.; TANG, J. E.; MOORE, D. R.; PHILLIPS, S. M. Exercise training and protein metabolism: influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. **J Appl Physiol**, v. 106, n. 5, p. 1692–701, 2009.

CAMPBELL, W. W.; BARTON, M. L. J.; CYR-CAMPBELL, D.; DAVEY, S. L.; BEARD, J. L.; PARISE, G.; EVANS, W. J. Effects of an Omnivorous Diet Compared with a Lactoovovegetarian Diet on Resistance-Training-Induced Changes in Body Composition and Skeletal Muscle in Older Men. **Am J Clin Nutr**, v. 70, n. 6, p. 1032–1039, dez. 1999.

CANDOW, D. G.; BURKE, N. C.; SMITH-PALMER, T.; BURKE, D. G. Effect of whey and soy protein supplementation combined with resistance training in young adults. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.**, v. 16, n. 3, p. 233–244, 2006.

CERMAK, N. M.; RES, P. T.; GROOT, L. C. D.; SARIS, W. H. M.; VAN LOON, L. J. C. Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance type exercise training a meta analysis.pdf. **Am J Clin Nutr.**, v. 96, p. 1454–1464, 2012.

CHURCHWARD-VENNE, T. A.; BREEN, L.; DI DONATO, D. M.; HECTOR, A. J.; MITCHELL, C. J.; MOORE, D. R.; STELLINGWERFF, T.; BREUILLE, D.; OFFORD, E. A.; BAKER, S. K.; PHILLIPS, S. M. Leucine supplementation of a low-protein mixed macronutrient beverage enhances myofibrillar protein synthesis in young men: A double-blind, randomized trial1-3. **Am J Clin Nutr**, v. 99, n. 2, p. 276–286, 2014.

CHURCHWARD-VENNE, T. a; BURD, N. a; MITCHELL, C. J.; WEST, D. W. D.; PHILP, A.; MARCOTTE, G. R.; BAKER, S. K.; BAAR, K.; PHILLIPS, S. M. Supplementation of a suboptimal protein dose with leucine or essential amino acids: effects on myofibrillar protein synthesis at rest and following resistance exercise in men. **J Physiol**, v. 590, n. Pt 11, p. 2751–65, 2012.

CROWE, F. L.; STEUR, M.; ALLEN, N. E.; APPLEBY, P. N.; TRAVIS, R. C.; KEY, T. J. Plasma concentrations of 25-hydroxyvitamin D in meat eaters, fish eaters, vegetarians and vegans: results from the EPIC–Oxford study. **Public Health Nutrition**, v. 14, n. 02, p. 340–346, 2011.

CUTHBERTSON, D.; SMITH, K.; BABRAJ, J.; LEESE, G.; WADDELL, T.; ATHERTON, P.; WACKERHAGE, H.; TAYLOR, P. M.; RENNIE, M. J. Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle. **FASEB J**, v. 19, n. 3, p. 422–424, 2004.

DAMAS, F.; PHILLIPS, S. M.; LIBARDI, C. A.; VECHIN, F. C.; LIXANDRÃO, M. E.; JANNIG, P. R.; COSTA, L. A. R.; BACURAU, A. V; SNIJDERS, T.; PARISE, G.; TRICOLI, V.; ROSCHEL, H.; UGRINOWITSCH, C. Resistance training-induced changes in integrated myofibrillar protein synthesis are related to hypertrophy only after attenuation of muscle damage. **J Physiol**, v. 594, n. 18, p. 5209–5222, 2016a.

DAMAS, F.; PHILLIPS, S. M.; LIXANDRAO, M. E.; VECHIN, F. C.; LIBARDI, C. A.; ROSCHEL, H.; TRICOLI, V.; UGRINOWITSCH, C. Early Resistance Training-Induced Increases in Muscle Cross-Sectional Area Are Concomitant with Edema-Induced Muscle Swelling. **Eur J Appl Physiol**, v. 116, n. 1, p. 49–56, jan. 2016b.

DESCHENES, M. R.; KRAEMER, W. J. Performance and physiologic adaptations to resistance training. **Am J Phys Med & Rehab**. November, p. 3–16, 2002.

DODD, K. M.; TEE, A. R. Leucine and mTORC1: a complex relationship. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 302, n. 11, p. E1329-42, 2012.

DRUMMOND, M. J.; GLYNN, E. L.; FRY, C. S.; TIMMERMAN, K. L.; VOLPI, E.; RASMUSSEN, B. B. An increase in essential amino acid availability upregulates amino acid transporter expression in human skeletal muscle. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 298, n. 5, p. E1011–E1018, 2010.

EMA, R.; WAKAHARA, T.; MIYAMOTO, N.; KANEHISA, H.; KAWAKAMI, Y. Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. **Eur J Appl Physiol**, v. 113, n. 11, p. 2691–2703, 2013.

FAO/WHO. **Protein quality evaluation: report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation, Bethesda, Md., USA 4-8 December 1989**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1991.

FAO. Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. **FAO Food Nutr Pap.**, v. 92, p. 1–66, 2013.

FISBERG, R. M.; MARCHIONI, D. M. L. **Manual de Avaliação do Consumo Alimentar em Estudos Populacionais: A Experiência do Inquérito de Saúde em São Paulo (ISA)**. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo., 2012.

FOUILLET, H.; MARIOTTI, F.; GAUDICHON, C.; BOS, C.; TOME, D. Peripheral and splanchnic metabolism of dietary nitrogen are differently affected by the protein source in humans as assessed by compartmental modeling. **J Nutr.**, v. 132, n. 1, p. 125–133, 2002.

FRÜHBECK, G. Slow and fast dietary proteins. **Nature**, v. 391 (6670), p. 843–845, 1998.

GILANI, G. S.; COCKELL, K. A.; SEPEHR, E. Effects of Antinutritional Factors on Protein Digestibility and Amino Acid Availability in Foods. **Journal of AOAC International**, v. 88, n. 3, p. 967–987, 2005.

GILANI, G. S.; TOMÉ, D.; MOUGHAN, J. P.; RUTHERFURD, M. S.; BURLINGAME, B. Report of a Sub-Committee of the 2011 FAO Consultation on “Protein Quality Evaluation in Human Nutrition” on: The assessment of amino acid digestibility in foods for humans and including a collation of published ileal amino acid digestibility data for human food. **FAO**, v. 2012, n. February, p. 1–58, 2012.

GILSING, A. M. J.; CROWE, F. L.; LLOYD-WRIGHT, Z.; SANDERS, T. A. B.; APPLEBY, P. N.; ALLEN, N. E.; KEY, T. J. Serum concentrations of vitamin B12 and folate in British male omnivores, vegetarians and vegans: Results from a cross-sectional analysis of the EPIC-Oxford cohort study. **Eur J Clin Nutr**, v. 64, n. 9, p. 933–939, 2010.

GORISSEN, S. H.; HORSTMAN, A. M.; FRANSSEN, R.; CROMBAG, J. J.; LANGER, H.; BIERAU, J.; RESPONDEK, F.; VAN LOON, L. J. Ingestion of Wheat Protein Increases In Vivo Muscle Protein Synthesis Rates in Healthy Older Men in a Randomized Trial. **J Nutr**, v. 146, n. 9, p. 1651–1659, 2016.

GORISSEN, S. H. M.; CROMBAG, J. J. R.; SENDEN, J. M. G.; WATERVAL, W. A. H.; BIERAU, J.; VERDIJK, L. B.; VAN LOON, L. J. C. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. **Amino Acids**, v. 50, n. 12, p. 1685–1695, 2018.

GUALANO, B.; ROSCHEL, H.; LANCHA, A. H.; BRIGHTBILL, C. E.; RAWSON, E. S. In sickness and in health: The widespread application of creatine supplementation. **Amino Acids**, v. 43, n. 2, p. 519–529, 2012.

HAIDER, L. M.; SCHWINGSHACKL, L.; HOFFMANN, G.; EKMEKCIOGLU, C. The Effect of Vegetarian Diets on Iron Status in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 58, n. 8, p. 1359–1374, maio 2018.

HARTMAN, J. W.; TANG, J. E.; WILKINSON, S. B.; TARNOPOLSKY, M. A.; LAWRENCE, R. L.; FULLERTON, A. V.; PHILLIPS, S. M. Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. **Am J Clin Nutr.**, v. 86, n. 2, p. 373–381, 2007.

HAUB, M. D.; WELLS, A. M.; TARNOPOLSKY, M. A.; CAMPBELL, W. W. Effect of protein source on resistive-training-induced changes in body composition and muscle size in older men. **Am J Clin Nutr.**, v. 76, n. 3, p. 511–517, 2002.

HOPPELER, H. Molecular networks in skeletal muscle plasticity. **J Exp Biol.**, v. 219, n. 2, p. 205–213, 2016.

JOY, J. M.; LOWERY, R. P.; WILSON, J. M.; PURPURA, M.; DE SOUZA, E. O.; WILSON, S. M.; KALMAN, D. S.; DUDECK, J. E.; JAGER, R. The Effects of 8 Weeks of Whey or Rice Protein Supplementation on Body Composition and Exercise Performance. **Nutr J**, v. 12, p. 86, 2013.

KERR, A.; SLATER, G. J.; BYRNE, N. Impact of Food and Fluid Intake on Technical and Biological Measurement Error in Body Composition Assessment Methods in Athletes. **The British journal of nutrition**, v. 117, n. 4, p. 591–601, fev. 2017.

MESSINA, M.; LYNCH, H.; DICKINSON, J. M.; REED, K. E. No Difference Between the Effects of Supplementing With Soy Protein Versus Animal Protein on Gains in Muscle Mass and Strength in Response to Resistance Exercise. **International journal of sport nutrition and exercise metabolism**, v. 28, n. 6, p. 674–685, nov. 2018.

MILLWARD, D. J.; PACY, P. J. Postprandial protein utilization and protein quality assessment in man. **Clinical Science**, v. 88, n. 6, p. 597–606, 1995.

MOORE, D. R.; ROBINSON, M. J.; FRY, J. L.; TANG, J. E.; GLOVER, E. I.; WILKINSON, S. B.; PRIOR, T.; TARNOPOLSKY, M. A.; PHILLIPS, S. M. Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. **Am J Clin Nutr.**, v. 89, n. 1, p. 161–168, 2009.

MORTON, R. W.; MCGLORY, C.; PHILLIPS, S. M. Nutritional interventions to augment resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy. **Front Physiol.**, v. 6, p. 1–9, 2015.

MORTON, R. W.; MURPHY, K. T.; MCKELLAR, S. R.; SCHOENFELD, B. J.; HENSELMANS, M.; HELMS, E.; ARAGON, A. A.; DEVRIES, M. C.; BANFIELD, L.; KRIEGER, J. W.; PHILLIPS, S. M. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. **Br J Sports Med.**, v. 52, n. 6, p. 376–384, 2018.

PENNINGS, B.; KOOPMAN, R.; BEELEN, M.; SENDEN, J. M. G.; SARIS, W. H. M.; VAN LOON, L. J. C. Exercising before Protein Intake Allows for Greater Use of Dietary Protein-Derived Amino Acids for de Novo Muscle Protein Synthesis in Both Young and Elderly Men. **Am J Clin Nutr.**, v. 93, n. 2, p. 322–331, 2011.

PHILLIPS, S. M. Protein requirements and supplementation in strength sports. **Nutrition**, v. 20, n. 7–8, p. 689–695, 2004.

PHILLIPS, S. M. The Impact of Protein Quality on the Promotion of Resistance Exercise-Induced Changes in Muscle Mass. **Nutr Metab (Lond).**, v. 13, p. 64, 2016.

PHILLIPS, S. M.; TIPTON, K. D.; AARSLAND, A.; WOLF, S. E.; WOLFE, R. R. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 273, n. 1, p. E99-107, 1997.

PINHEIRO, A. B. V. **Tabela para avaliação de consumo alimentar em medidas caseiras**. 5^a ed. [s.l.] Atheneu, 2004.

REIDY, P. T.; RASMUSSEN, B. B. Role of Ingested Amino Acids and Protein in the Promotion of Resistance Exercise-Induced Muscle Protein Anabolism. **J Nutr**, v. 146, n. 2, p. 155–183, 2016.

RENNIE, M. J.; EDWARDS, R. H.; HALLIDAY, D.; MATTHEWS, D. E.; WOLMAN, S. L.; MILLWARD, D. J. Muscle protein synthesis measured by stable isotope techniques in man: the effects of feeding and fasting. **Clinical Science (London, England : 1979)**, v. 63, n. 6, p. 519–523, 1982.

SCHAAFSMA, G. The protein digestibility-corrected amino acid score. **J Nutr**, v. 1, n. 30, p. S1865-1867, 2000.

SNIJDERS, T.; NEDERVEEN, J. P.; MCKAY, B. R.; JOANISSE, S.; VERDIJK, L. B.; VAN LOON, L. J. C.; PARISE, G. Satellite Cells in Human Skeletal Muscle Plasticity. **Front Physiol.**, v. 6, p. 283, 2015.

TANG, J. E.; MOORE, D. R.; KUJBIDA, G. W.; TARNOPOLSKY, M. A.; PHILLIPS, S. M. Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. **J Appl Physiol**, v. 107, n. 3, p. 987–92, 2009.

TROMMELEN, J.; BETZ, M. W.; VAN LOON, L. J. C. The Muscle Protein Synthetic Response to Meal Ingestion Following Resistance-Type Exercise. **Sports Medicine**, v. 49, n. 2, p. 185–197, 2019.

VAN VLIET, S.; BURD, N. A.; VAN LOON, L. J. The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. **J Nutr.**, v. 145, n. 9, p. 1981–1991, 2015.

VOLEK, J. S.; VOLK, B. M.; GÓMEZ, A. L.; KUNCES, L. J.; KUPCHAK, B. R.; FREIDENREICH, D. J.; ARISTIZABAL, J. C.; SAENZ, C.; DUNN-LEWIS, C.; BALLARD, K. D.; QUANN, E. E.; KAWIECKI, D. L.; FLANAGAN, S. D.; COMSTOCK, B. A.; FRAGALA, M. S.; EARP, J. E.; FERNANDEZ, M. L.; BRUNO, R. S.; PTOLEMY, A. S.; KELLOGG, M. D.; MARESH, C. M.; KRAEMER, W. J. Whey protein supplementation during resistance training augments lean body mass. **J Am Coll Nutr**, v. 32, n. 2, p. 122–35, 2013.

VOLPI, E.; KOBAYASHI, H.; SHEFFIELD-MOORE, M.; MITTENDORFER, B.; WOLFE, R. R. Essential Amino Acids Are Primarily Responsible for the Amino Acid Stimulation of Muscle Protein Anabolism in Healthy Elderly Adults. **Am J Clin Nutr.**, v. 78, n. 2, p. 250–258, ago. 2003.

WATERLOW, J. C. Whole-Body Protein Turnover in Humans: Past, Present, and Future. **Annu Rev Nutr.**, v. 15, p. 57–92, 1995.

WHO/FAO/UNU. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. **World Health Organ Tech Rep Ser.**, n. 935, p. 1–265, 2007.

WILKINSON, D. J.; HOSSAIN, T.; HILL, D. S.; PHILLIPS, B. E.; CROSSLAND, H.; WILLIAMS, J.; LOUGHNA, P.; CHURCHWARD-VENNE, T. A.; BREEN, L.; PHILLIPS, S. M.; ETHERIDGE, T.; RATHMACHER, J. A.; SMITH, K.; SZEWCZYK, N. J.; ATHERTON, P. J. Effects of leucine and its metabolite β -hydroxy- β -methylbutyrate on human skeletal muscle protein metabolism. **J Physiol**, v. 591, n. 11, p. 2911–2923, 2013.

WILKINSON, S. B.; PHILLIPS, S. M.; ATHERTON, P. J.; PATEL, R.; YARASHESKI, K. E.; TARNOPOLSKY, M. A.; RENNIE, M. J. Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. **J Physiol**, v. 15, n. 586, p. 3701–3717, 2008.

WILKINSON, S. B.; TARNOPOLSKY, M. A.; MACDONALD, M. J.; MACDONALD, J. R.; ARMSTRONG, D.; PHILLIPS, S. M. Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. **Am J Clin Nutr**, v. 85, n. 4, p. 1031–1040, 2007.

WITARD, O. C.; JACKMAN, S. R.; BREEN, L.; SMITH, K.; SELBY, A.; TIPTON, K. D. Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise. **Am J Clin Nutr.**, v. 99, n. 1, p. 86–95, 2014.

YANG, Y.; CHURCHWARD-VENNE, T. A.; BURD, N. A.; BREEN, L.; TARNOPOLSKY, M. A.; PHILLIPS, S. M. Myofibrillar protein synthesis following ingestion of soy protein isolate at rest and after resistance exercise in elderly men. **Nutr Metab (Lond)**, v. 9, p. 57, 2012.

YARASHESKI, K. E.; ZACHWIEJA, J. J.; BIER, D. M. Acute effects of resistance exercise on muscle protein synthesis rate in young and elderly men and women. **Am J Physiol**, v. 265, n. 2 Pt 1, p. E210–E214, 1993.