

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS**

**RAMON MARTINS DE OLIVEIRA**

**A UTILIZAÇÃO DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA PARA  
A PRESCRIÇÃO INDIVIDUALIZADA DO INTERVALO DE RECUPERAÇÃO  
ENTRE AS SESSÕES DE TREINAMENTO DE FORÇA**

**São Carlos**

**2019**

RAMON MARTINS DE OLIVEIRA

A UTILIZAÇÃO DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA PARA A  
PRESCRIÇÃO INDIVIDUALIZADA DO INTERVALO DE RECUPERAÇÃO  
ENTRE AS SESSÕES DE TREINAMENTO DE FORÇA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Fisiológicas

Orientador: Prof. Dr. Cleiton Augusto Libardi

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

São Carlos

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas

---

**Folha de Aprovação**

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Ramon Martins de Oliveira, realizada em 29/04/2019:

---

Prof. Dr. Cleiton Augusto Libardi  
UFSCar

---

Prof. Dr. Wladimir Rafael Beck  
UFSCar

---

Profa. Dra. Daniela Godoi Jacomassi  
UFSCar

---

Prof. Dr. Miguel Soares Conceição  
USP

---

Prof. Dr. Marcelo de Castro Cesar  
UNIMEP

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Cleiton Augusto Libardi (UFSCAR – Orientador)

Prof. Dr. Wladimir Rafael Beck (UFSCAR)

Profa. Dra. Daniela Godoi Jacomassi (UFSCAR)

Prof. Dr. Miguel Soares Conceição (USP)

Prof. Dr. Marcelo de Castro Cesar (UNIMEP)

**SUPLENTES:**

Profa. Dra. Audrey Borghi-Silva (UFSCAR)

Prof. Dr. Carlos Ugrinowitsch (USP)

Prof. Dr. Felipe Romano Damas (UFSCAR)

*“A persistência é o menor caminho para o êxito”*

***Charles Chaplin***

## DEDICATÓRIA

*À minha esposa **Adriana Ramos de Oliveira** pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza e dificuldades, sendo fundamental para que eu pudesse trilhar novos caminhos. Sem você nenhuma conquista valeria a pena.*

*Aos meus pais **Bertaia e Cida**, que dignamente me apresentaram à importância da família e o caminho da honestidade e persistência.*

*Ao meu irmão **Ronan**, pelo apoio e ajuda, fundamental no início dessa nova fase.*

## AGRADECIMENTOS

*Primeiramente agradeço a DEUS por sempre reforçar a minha fé e esperança, e por orientar toda minha caminhada principalmente quando eu não sabia qual caminho seguir.*

*Aos meus pais e familiares que sempre entenderam e torceram pelos meus sonhos, e que em inúmeras vezes tiveram que contar com minha ausência.*

*Agradeço ao meu orientador e prof. Cleiton Augusto Libardi, pelo convite em trilhar o caminho da ciência, e por sempre me incentivar e orientar a buscar o meu máximo em todas as coisas.*

*Aos amigos do laboratório que agregaram muito durante todo esse processo.*

*Em especial aos “federados” (João, Soligon, Deivid e Vitão), amigos que eu carreguei para a vida toda e que jamais esquecerei toda suporte e ajuda no período em que morei em São Carlos, e inclusive pelas longas conversas e risadas.....*

*Aos meus alunos pelo apoio e ajuda em todo esse período. Em especial ao meu amigo / aluno Marcello Bragil que nunca hesitou em me ajudar com as aulas, quando precisei me ausentar, a você minha gratidão.*

*Em especial a minha esposa Adriana, que abriu mão de muitas coisas para que todo o tempo possível fosse direcionado aos estudos, coletas, análises e etc.....Em inúmeras vezes entendeu minha ausência e inclusive, me fortalecendo com o pensamento de que tudo valeria a pena, mesmo sem saber ao certo o resultado final, por isso me encanto sempre com sua força interior de acreditar sempre (FÉ). Te agradeço pelas vezes em que acreditou em mim, quando talvez eu mesmo não acreditei.... Obrigado!*

## LISTA DE TABELAS E FIGURAS

**TABELA 1.** VOLUME TOTAL DE TREINAMENTO COM INTERVALO DE RECUPERAÇÃO FIXO (TF-FIX) E INTERVALO DE RECUPERAÇÃO INDIVIDUALIZADA EM SESSÕES DE (TF-IND) NA PRIMEIRA E ÚLTIMA SESSÃO DE TREINO..... 24

**FIGURA 1.** REPRESENTA OS VALORES DA RMSSD MENSURADOS ANTES DAS SESSÕES DE TF PARA OS GRUPOS TF-IND E TF-FIX INDIVIDUALMENTE. ONDE O VALOR DA RMSSD BASAL É REPRESENTADO PELO NÚMERO ZERO (PRÉ), E O NÚMERO DE SESSÕES REPRESENTAM UMA PORCENTAGEM DO VALOR PRÉ..... 25

**FIGURA 2.** FORÇA DINÂMICA MÁXIMA DA EXTENSÃO DE JOELHOS (1-RM, FIG. 2A) E ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA MUSCULAR (AST, FIG. 2B) MENSURADAS NO *BASELINE* (PRÉ) E APÓS 20 SESSÕES DE TF, COM UM INTERVALO DE RECUPERAÇÃO FIXA (TF-FIX) E UM INTERVALO DE RECUPERAÇÃO INDIVIDUALIZADA (TF-IND). \*DIFERENÇA SIGNIFICANTE DO PRÉ PARA O PÓS TESTE ( $P < 0,0001$ ). VALORES APRESENTADOS EM MÉDIA  $\pm$  DP..... 26

**FIGURA 3. A)** REPRESENTA A FREQUÊNCIA MÉDIA SEMANAL DOS GRUPOS AO LONGO DE SETE SEMANAS DE TREINAMENTO. \*DIFERENÇA SIGNIFICANTE PARA AS SEMANAS 1, 2, 3 NO GRUPO TF-IND. §DIFERENÇA SIGNIFICANTE PARA A SEMANA 4 NO GRUPO TF-IND. #DIFERENÇA SIGNIFICANTE PARA AS 7 SEMANAS DE TF DO GRUPO TF-FIX. **B)** REPRESENTA A PROGRESSÃO DO VTT SEMANAL DOS GRUPOS AO LONGO DE SETE SEMANAS DE TREINAMENTO. .... 41

**FIGURA 4. A)** REPRESENTA OS VALORES DA RMSSD MENSURADOS INDIVIDUALMENTE, ANTES DE CADA POSSÍVEL DIA DE TREINAMENTO PARA O GRUPO TF-IND (SEGUNDA À SEXTA AO LONGO DE 7 SEMANAS). ONDE O CÍRCULO BRANCO REPRESENTA OS VALORES DA RMSSD QUANDO ESTAVAM ACIMA DA LINHA DE BASE (I.E. REALIZOU AS SESSÕES DE TF), E O CIRCULO PRETO REPRESENTA OS DIAS QUE OS VALORES DA RMSSD ESTAVAM ABAIXO DA LINHA DE BASE (I.E. NÃO REALIZOU AS SESSÕES DE TF). **B)** REPRESENTA OS VALORES DA RMSSD MENSURADOS INDIVIDUALMENTE ANTES DE CADA SESSÃO DE TF PARA O GRUPO TF-FIX (SEGUNDA, QUARTA E SEXTA), ONDE O CÍRCULO BRANCO REPRESENTA OS VALORES DA RMSSD QUANDO ESTAVAM ACIMA DA LINHA DE BASE (I.E. TREINOU RECUPERADO), E O CIRCULO PRETO REPRESENTA OS DIAS QUE OS VALORES DA RMSSD ESTAVAM ABAIXO DA LINHA DE BASE (I.E. TREINOU NÃO ESTANDO RECUPERADO)..... 43

**FIGURA 5. A)** TESTE DE FORÇA DINÂMICA MÁXIMA (1-RM) PARA O EXERCÍCIO EXTENSÃO DE JOELHOS, **B)** TESTE DE FORÇA DINÂMICA MÁXIMA (1-RM) PARA O EXERCÍCIO SUPINO RETO, **C)** ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA (AST) DO MÚSCULO VASTO LATERAL (VL) NOS MOMENTOS PRÉ E PÓS INTERVENÇÃO DE 7 SEMANAS DE TF. \*DIFERENÇA SIGNIFICANTE DE PRÉ E PÓS TREINAMENTO ( $P < 0,005$ ). VALORES EXPRESSOS EM MÉDIA E DESVIO PADRÃO. .... 44

**FIGURA 6. A)** REPRESENTA OS VALORES DO TESTE DE TAXA DE DESENVOLVIMENTO DE FORÇA (TDF), **B)** DO TESTE DE *TIME UP AND GO* (TUG), **C)** DO TESTE DE *CHAIR STAND* (CS), **D)** DO TESTE DE 6 MINUTOS DE CAMINHADA E **E)** DO TESTE DE VELOCIDADE MÁXIMA DE MARCHA MENSURADOS NOS MOMENTOS PRÉ E PÓS NOS MOMENTOS PRÉ E PÓS. \*DIFERENÇA SIGNIFICANTE ( $P < 0,005$ ). VALORES EXPRESSOS EM MÉDIA E DESVIO PADRÃO. .... 45

**TABELA 02.** RESULTADO DO RANGE PERCENTUAL DE MUDANÇA (% MUDANÇA) E TESTE DE IGUALDADE DE VARIÂNCIAS PELO INTERVALO DE CONFIANÇA DE 95% (IC 95%) PARA AS AVALIAÇÕES PRÉ E PÓS NO PERÍODO DE 7 SEMANAS DE TF ENTRE OS GRUPOS TF-IND E TF-FIX..... **47**

## SUMÁRIO

<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 GERAIS.....	14
2.2 ESPECÍFICOS.....	14
<b>3. MANUSCRITO 1.....</b>	<b>16</b>
RESUMO .....	16
ABSTRACT .....	17
INTRODUÇÃO .....	18
MÉTODOS.....	20
PARTICIPANTES.....	20
DESENHO EXPERIMENTAL .....	20
VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA (VFC).....	21
ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA MUSCULAR (AST).....	21
FORÇA DINÂMICA MÁXIMA.....	22
PROGRAMAS DE TREINAMENTO DE FORÇA.....	22
ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	23
RESULTADOS .....	23
PROGRESSÃO VOLUME TOTAL DE TREINAMENTO (VTT) .....	23
RECUPERAÇÃO INDIVIDUALIZADA .....	24
FONTE: OLIVEIRA ET AL. (2019).....	25
FORÇA DINÂMICA MÁXIMA E ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA MUSCULAR (AST).....	26
VARIAÇÃO INDIVIDUAL NAS ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES .....	26
DISCUSSÃO .....	27
CONCLUSÃO.....	30
ABSTRACT .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>4. MANUSCRITO 2.....</b>	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
RESUMO .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
INTRODUÇÃO .....	33
MÉTODOS.....	35
PARTICIPANTES.....	35
DESENHO EXPERIMENTAL .....	35
VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA (VFC).....	36
ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA MUSCULAR (AST).....	36
FORÇA MÁXIMA DINÂMICA.....	37
TAXA DE DESENVOLVIMENTO DE FORÇA (TDF) .....	37
<i>CHAIR STAND (CS)</i> .....	38
VELOCIDADE MÁXIMA DE MARCHA .....	38
TIMED UP AND GO (TUG).....	39
6 MINUTOS DE CAMINHADA.....	39
PROGRAMA DE TREINAMENTO DE FORÇA .....	39
ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
FREQUÊNCIA DE TREINAMENTO E VTT (ACUMULADO E PROGRESSÃO).....	40
FREQUÊNCIA DE TREINAMENTO INDIVIDUALIZADA.....	42
FORÇA MÁXIMA DINÂMICA (1-RM) E ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA MUSCULAR (AST)	43
.....	43

VARIABILIDADE DAS RESPOSTAS INDIVIDUAIS E RESPONSIVIDADE AO TREINAMENTO DE FORÇA .....	46
DISCUSSÃO .....	48
COMPARAÇÃO DAS RESPOSTAS ADAPTATIVAS ENTRE GRUPOS .....	48
COMPARAÇÃO ENTRE AS RESPOSTAS ADAPTATIVAS INDIVIDUAIS.....	50
CONCLUSÃO .....	51
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>52</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>63</b>
CERTIFICADOS DO COMITÊ DE ÉTICA DOS MANUSCRITOS 1 E 2 .....	63
MANUSCRITO 1 PUBLICADO NO PERIÓDICO <i>EUROPEAN JOURNAL OF SPORTS SCIENCE</i> .....	64
<b>8. RELATÓRIO DE ATIVIDADES.....</b>	<b>65</b>

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O treinamento de força (TF), é amplamente recomendado para promover o aumento da força e massa muscular (i.e., hipertrofia muscular) (ACSM, 2009b), e também pode promover melhoras na funcionalidade em idosos (ACSM, 2009a; VAN ROIE *et al.*, 2013; CHMELO *et al.*, 2015). Contudo, variações individuais nos ganhos de força e hipertrofia são observadas após a realização de programas de TF em jovens e idosos (HUBAL *et al.*, 2005; AHTIAINEN *et al.*, 2016). Enquanto alguns indivíduos apresentam ganhos para força, massa muscular e funcionalidade, outros não apresentam aumentos após a realização de um mesmo protocolo de TF. Inclusive alguns indivíduos apresentam diminuição na força, massa muscular e funcionalidade após programas de TF (HUBAL *et al.*, 2005; CHMELO *et al.*, 2015; AHTIAINEN *et al.*, 2016). Fatores como o condicionamento físico prévio, genética, estado nutricional e o modo com que o TF é prescrito, podem influenciar essas adaptações e, conseqüentemente, proporcionar essa ampla variabilidade nas adaptações. No que diz respeito a prescrição do TF, a manipulação das variáveis do TF (e.g., volume, intensidade, frequência e pausa) de forma individualizada pode ser uma estratégia plausível a ser realizada com o objetivo de reduzir a variabilidade das adaptações (HUBAL *et al.*, 2005; AHTIAINEN *et al.*, 2016). Por exemplo, a frequência de TF (i.e., o intervalo de recuperação entre as sessões), é uma variável que pode ser considerada uma importante candidata para explicar essa variação nas adaptações frente ao TF (AHTIAINEN *et al.*, 2016). Nessa linha, nosso laboratório demonstrou que a frequência de treinamento e, conseqüentemente, o intervalo de recuperação entre as sessões podem influenciar nas adaptações no TF, ao menos em jovens não treinados (DAMAS *et al.*, 2018). Após a realização de 8 semanas de TF, alguns indivíduos apresentaram maiores ganhos de força e hipertrofia muscular realizando uma maior frequência de TF (i.e., 5x vezes por semana), enquanto para outros, os ganhos foram maiores realizando uma menor frequência semanal (i.e., 2-3x vezes por semana) (DAMAS *et al.*, 2018). Adicionalmente, alguns indivíduos que foram considerados não respondedores a uma determinada frequência, responderam positivamente a outra (DAMAS *et al.*, 2018). Esses resultados sugerem que alguns indivíduos podem necessitar de um período de recuperação entre 48 -72h, enquanto outros podem se recuperar em até 24h após a última sessão de treinamento. Dessa forma, é plausível sugerir que controlar individualmente o intervalo de recuperação entre as sessões, pode proporcionar melhor desempenho nas sessões (i.e., cargas maiores ou mais repetições), e isso acarretar em um maior volume total de treinamento (VTT [séries x repetições x carga]), o qual está associado aos ganhos de força (RALSTON *et al.*, 2017), hipertrofia muscular

(SCHOENFELD *et al.*, 2017) e funcionalidade (VAN ROIE *et al.*, 2013; CHMELO *et al.*, 2015; CHURCHWARD-VENNE *et al.*, 2015). Dessa forma, é possível que estratégias que possibilitem que os protocolos de TF sejam realizados com intervalo de recuperação entre as sessões de forma individualizada, possibilite uma redução na variabilidade e a maximização nas adaptações ao TF.

Uma ferramenta que vem sendo muito utilizada para monitorar o intervalo de recuperação entre as sessões de treinamento de forma individualizada, é a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) (BUCHHEIT *et al.*, 2010; PLEWS, LAURSEN, STANLEY, *et al.*, 2013). Este marcador não-invasivo é capaz de mensurar o status do sistema nervoso autônomo (SNA) por meio da análise da frequência cardíaca, e tem sido visto recentemente como um dos métodos mais promissores para individualizar a prescrição do treinamento (BUCHHEIT *et al.*, 2010; PLEWS, LAURSEN, STANLEY, *et al.*, 2013; STANLEY *et al.*, 2013). Alguns autores sugerem que a VFC pode refletir a “fadiga global” acumulada induzida pelo acúmulo das sessões de treinamento, a qual pode ser ainda maior após longos períodos de treinamento sem que se realize uma recuperação adequada (BORRESEN e LAMBERT, 2008; BUCHHEIT *et al.*, 2010; BELLENGER *et al.*, 2016). Por exemplo, a VFC tem sido considerada uma ferramenta promissora para ajudar na prescrição de um programa de treinamento aeróbio (KIVINIEMI *et al.*, 2007; KIVINIEMI *et al.*, 2010), e na mensuração do status de recuperação em vários tipos de exercícios de alta intensidade (CHEN *et al.*, 2011; KINGSLEY *et al.*, 2014; NAKAMURA *et al.*, 2015; SABOUL *et al.*, 2016). Os índices da VFC podem ser obtidos por meio de métodos lineares, no domínio do tempo e da frequência, e métodos não-lineares como por exemplo o *plot de Poincaré* (AUBERT *et al.*, 2003). Dentre os métodos citados, um índice mensurado pelo método linear e que vem sendo frequentemente utilizado para o monitoramento do treinamento, é a *root-mean-square of the successive normal sinus RR interval difference* (raiz quadrada da média das diferenças entre os intervalos R-R [RMSSD]) (PLEWS, LAURSEN, STANLEY, *et al.*, 2013; STANLEY *et al.*, 2013). A RMSSD tem sido usado para o monitoramento do treinamento devido à sua capacidade de refletir a atividade parassimpática em um curto período de tempo (PENTTILA *et al.*, 2001; SABOUL *et al.*, 2016). De fato, tem sido proposto que a prescrição do treinamento de acordo com o retorno da atividade parassimpática aos valores basais pode ser um método eficaz para melhorar a adaptação no treinamento aeróbio (KIVINIEMI *et al.*, 2007) inclusive pelos valores da RMSSD (VESTERINEN *et al.*, 2016). Por exemplo, Kiviniemi *et al.* (2007), utilizaram a VFC para aplicar a intensidade do treinamento de forma individualizada, de acordo com a recuperação da VFC e verificaram maiores aumentos no  $\text{VO}_2$  máximo e limiar anaeróbio quando comparado

com o grupo que realizou uma intensidade fixa de treinamento. De maneira similar, Vesterinen et al., (2016) compararam uma prescrição individualizada no treinamento aeróbio por meio dos valores da RMSSD em comparação com um programa de treinamento aeróbio não individualizado em corredores. O grupo individualizado apresentou um melhor desempenho no teste 3000 metros quando comparado ao grupo que não individualizou a prescrição de treinamento. Apesar de mais utilizada para a prescrição do treinamento aeróbio, a VFC se mostra sensível também após as sessões de TF (HEFFERNAN *et al.*, 2007; CHEN *et al.*, 2011). Por exemplo, Chen et al. (2011) mostraram que indicadores do sistema parassimpático permaneceram alterados até 72h após uma sessão de treinamento em indivíduos treinados.

No entanto, até o presente momento, não sabe se a utilização de indicadores do sistema parassimpático para a prescrição individualizada dos intervalos entre as sessões de TF em jovens e idosos, podem maximizar as adaptações neuromusculares e funcionais, e reduzir a variabilidade dessas respostas adaptativas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GERAIS**

Investigar a utilização da variabilidade da frequência cardíaca para a prescrição individualizada do intervalo de recuperação entre as sessões de TF em sujeitos jovens e idosos.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

Investigar se um programa de TF realizado com uma recuperação individualizada entre as sessões por meio da variabilidade da frequência cardíaca (TF-IND), promove maiores ganhos de força e massa muscular, e reduz a variabilidade dessas adaptações comparado com um programa de TF com intervalos fixos de recuperação (TF-FIX) em jovens.

Investigar se um programa de TF-IND, promove maiores ganhos de força, massa muscular e funcionalidade, e reduz a variabilidade dessas adaptações comparado com o TF-FIX em idosos.

A presente tese será composta de dois estudos originais, os quais serão apresentados a seguir:

**Manuscrito 1**

Efeito da prescrição individualizada do treinamento de força por meio da variabilidade da frequência cardíaca nas respostas individuais da força e hipertrofia muscular.

**Manuscrito 2**

A utilização da variabilidade da frequência cardíaca para prescrição individualizada do treinamento de força em idosos.

### 3. MANUSCRITO 1

**Título:** Efeito da prescrição individualizada do treinamento de força por meio da variabilidade da frequência cardíaca nas respostas individuais da força e hipertrofia muscular.

#### RESUMO

O objetivo do presente estudo foi investigar se o treinamento de força (TF), realizado com uma recuperação individualizada entre sessões (TF-IND), promove maiores ganhos de força e massa muscular e reduz a variabilidade nas adaptações para TF com intervalos de recuperação fixos (TF-FIX). Vinte homens jovens ( $21,9 \pm 3,3$  anos) foram randomizados nos grupos TF-IND e TF-FIX. Cinco dias antes do início do treinamento, as mensurações da raiz quadrada da média das diferenças dos intervalos R-R (RMSSD) de cada indivíduo foram realizadas para estabelecer os valores basais. A cada visita ao laboratório, a variabilidade da frequência cardíaca era mensurada e os valores da RMSSD determinaram se os participantes do protocolo TF-IND estavam recuperados da sessão anterior e se realizariam a sessão de TF nesse dia. Os participantes realizaram as sessões de TF somente se os valores da RMSSD retornaram à linha de base, caso contrário eles esperavam por mais 24h. Já o TF-FIX realizou uma sessão TF a cada 48h. A força muscular foi mensurada por meio do teste de uma repetição máxima (1-RM) e a área de secção transversa (AST) do músculo vasto lateral por ultrassonografia, antes (Pré) e após (Pós) o treinamento. Os valores de 1-RM aumentaram significativamente do pré para pós-treinamento para ambos os grupos (TF-IND: 30% e TF-FIX: 42%,  $P < 0001$ ), sem diferença significativa entre eles. A AST aumentou significativamente do pré para pós-treinamento (TF-IND: 15,7% e TF-FIX: 15,8%,  $P < 0,001$ ), porém não houve diferença significativa entre os grupos. Em conclusão, o TF-IND não promoveu maiores ganhos de força e massa muscular nem reduziu a variabilidade nas adaptações neuromusculares quando comparado ao TF-FIX.

**Palavras-chave:** Hipertrofia, força muscular, frequência, sistema nervoso autônomo, RMSSD.

**Title:** Effect of individualized resistance training prescription with heart rate variability on individual muscle hypertrophy and strength responses.

### ABSTRACT

The aim of the present study was to investigate if resistance training (RT), performed with individualized recovery between sessions (RT-IND), promotes greater gains in strength and muscle mass and reduces the variability on adaptations compared to RT with fixed recovery intervals (RT-FIX). Twenty young men (age  $21.9 \pm 3.3$  years) were randomized in the RT-IND and RT-FIX groups. Five days before the beginning of the training, measurements of the root mean square of successive R-R intervals differences (RMSSD) values of each individual were performed to establish the baseline values. Before each RT session, the RMSSD values determined whether the participants from RT-IND protocol were recovered from the previous session. Participants performed the RT session only if RMSSD values had returned to the baseline, otherwise they had to wait for an additional 24 h. RT-FIX performed an RT session every 48 h. Muscle strength was measured by one-maximal repetition (1-RM) test and muscle cross-section area (CSA) of the vastus laterals by ultrasonography were assessed pre- and post-training. 1-RM values increased significantly from pre to post-training for both groups (RT-IND: 30% and RT-FIX: 42%, main time effect,  $P < 0001$ ), with no significant difference between groups. Muscle CSA increased significantly from pre to post-training (RT-IND: 15.7% and RT-FIX: 15.8%, main time effect,  $P < 0001$ ), with no significant difference between groups. In conclusion, RT-IND did not increase the gains in muscle strength and mass neither reduce the variability in muscle adaptations when compared to the RT-FIX.

**Keywords:** Muscle mass, muscle strength, frequency, autonomic nervous system, RMSSD

## INTRODUÇÃO

Uma grande variabilidade nos ganhos de força e de massa muscular (i.e., hipertrofia muscular) são observados após um programa de treinamento de força (TF) (HUBAL *et al.*, 2005; AHTIAINEN *et al.*, 2016). Enquanto alguns indivíduos apresentam ganhos superiores à 100% e 40% para força e hipertrofia muscular, respectivamente, outros não aumentam, e outros até reduzem após um período de TF (HUBAL *et al.*, 2005). Até a presente data, fatores como nível de aptidão física, genética e estado nutricional podem ser determinantes para essas diferenças nas respostas individuais ao TF (AHTIAINEN *et al.*, 2016). Além disso, variáveis de TF, como o intervalo de recuperação entre sessões, são considerados candidatos para explicar a grande variação entre sujeitos nas adaptações ao TF (AHTIAINEN *et al.*, 2016). Por exemplo, programas de TF de alta intensidade, associados com períodos de recuperação inadequados podem levar ao acúmulo de uma fadiga, resultando em uma queda no desempenho das sessões subsequentes, que pode afetar as adaptações ao TF (XIAO *et al.*, 2012). Por outro lado, um ótimo período de recuperação pode permitir que os indivíduos realizem um maior volume total de treinamento (séries × repetições × carga [kg]) nas sessões subsequentes, seja pelas maiores cargas levantadas ou pelo maior número de repetições realizadas, o que ao longo de um período de tempo parece estar associado aos ganhos de força (RALSTON *et al.*, 2017) e hipertrofia (SCHOENFELD *et al.*, 2017). Portanto, é plausível sugerir que uma recuperação adequada entre as sessões pode evitar um acúmulo de fadiga induzido pelo treinamento, e garantir uma maior adaptação ao TF, e possivelmente reduzir a variabilidade das adaptações observadas após um programa de TF.

Nesse sentido, alguns autores sugerem que a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) pode refletir o acúmulo de fadiga induzida pelo treinamento, que ocorre durante períodos de treinamento de alta intensidade sem uma adequada recuperação (BORRESEN e LAMBERT, 2008; BUCHHEIT *et al.*, 2010; BELLENGER *et al.*, 2016). Este marcador não invasivo da modulação cardiovascular autonômica tem sido considerado como um dos mais promissores métodos para individualizar a prescrição de treinamento (BUCHHEIT *et al.*, 2010; PLEWS, LAURSEN, STANLEY, *et al.*, 2013; STANLEY *et al.*, 2013). Por exemplo, a VFC tem sido considerada uma ferramenta eficaz para periodizar programas de treinamento (KIVINIEMI *et al.*, 2007; KIVINIEMI *et al.*, 2010), uma vez que é capaz de refletir o estresse gerado pela carga de treinamento imposta ao organismo e o status de recuperação frente a diferentes sessões de treinamento (CHEN *et al.*, 2011; KINGSLEY *et al.*, 2014; NAKAMURA *et al.*, 2015; SABOUL *et al.*, 2016). Um dos parâmetros da VFC considerado como um bom índice de

monitoramento de treinamento é a raiz quadrada média de diferenças sucessivas nos intervalos R-R (RMSSD) (PLEWS, LAURSEN, KILDING, *et al.*, 2013). A RMSSD é usada para o monitoramento do treinamento pela sua capacidade de refletir a atividade parassimpática durante um período curto de tempo. De fato, é proposto que a prescrição de treinamento de acordo com a atividade parassimpática pode ser um método eficaz para melhorar a adaptação no treinamento aeróbio (KIVINIEMI *et al.*, 2007; VESTERINEN *et al.*, 2016). Por outro lado, nenhum estudo utilizou as mensurações da RMSSD como uma ferramenta para monitorar os efeitos da sobrecarga durante programas de TF. Apesar disso, sabe-se que uma única sessão de TF pode alterar os índices parassimpáticos por mais de 72h (CHEN *et al.*, 2011). Portanto, uma redução dos valores da RMSSD pode refletir em uma recuperação insuficiente da sessão anterior de TF (HAUTALA *et al.*, 2001), sugerindo uma condição fisiológica desfavorável para próxima sessão de treinamento.

A lógica por trás da utilização da VFC como ferramenta para monitorar a recuperação entre sessões em programas de TF pode ser baseado no volume total de treinamento (VTT) realizado em cada sessão, ao longo de um número fixo de sessões de treinamento (por exemplo, 20 sessões de TF). Por exemplo, o monitoramento da recuperação individualizado pelos valores da RMSSD pode garantir um ótimo desempenho na sessão de TF subsequente, resultando em um maior VTT da sessão em comparação com um programa de TF em que o intervalo de recuperação será fixo para todos os participantes. Assim, é plausível considerar que programas de TF com intervalos de recuperação individualizado podem produzir um maior VTT e, conseqüentemente, maiores aumentos na força muscular e hipertrofia. Além disso, eventualmente reduzir a variabilidade dessas adaptações, quando comparadas a programas de TF com um intervalo de recuperação fixo.

Portanto, o objetivo do presente estudo, foi determinar se um programa de TF realizado com uma recuperação individualizada entre as sessões (TF-IND), promove maiores ganhos de força e hipertrofia muscular, e reduz a variabilidade dessas adaptações em comparação com um programa de intervalos fixos de recuperação (TF-FIX) em homens jovens. Além disso, procuramos determinar se existe relação entre o número de sessões que os participantes estavam recuperados (i.e., que a RMSSD retornou a linha de base) e a percentagem do aumento de força, hipertrofia e VTT. Nós hipotetizamos que o TF-IND produziria um maior VTT em um número fixo de sessões de TF, resultando assim em maiores ganhos de força e hipertrofia, e uma menor variabilidade nas adaptações do que o TF-FIX.

## **MÉTODOS**

### **Participantes**

Vinte e dois homens jovens voluntariaram-se para este estudo, mas devido à problemas pessoais somente vinte sujeitos (idade:  $21,9 \pm 3,3$  anos; corpo massa:  $77,5 \pm 11,6$  kg; altura:  $176 \pm 0,7$  cm) concluíram o estudo. Os participantes não poderiam ter realizado um programa de TF por pelo menos 6 meses antes da o início do estudo, não poderia ter lesões musculares e / ou articulares, não fazer uso de anti-inflamatório, analgésicos, anti-hipertensivos, betabloqueadores, drogas depressoras do sistema nervoso ou cafeína ao longo do protocolo experimental. O participante deveria comparecer a 100% das avaliações e sessões de TF. O estudo foi conduzido de acordo com o Declaração de Helsinque e aprovação ética foi concedida pelo comitê de ética da Universidade Federal de São Carlos (Número do parecer 1.602.561).

### **Desenho experimental**

Na primeira semana, todos os participantes se submeteram a mensurações da VFC (RMSSD) durante cinco dias da semana (segunda à sexta). Assim, foi possível obter os valores de referência de cada participante por meio da média de cinco dias menos um desvio padrão, que foi usado como parâmetro de recuperação antes cada sessão de treinamento. Na sexta-feira, a área de secção transversa (AST) do músculo vasto lateral (VL) foi avaliada. Na segunda semana, todos os participantes foram familiarizados com o teste de uma repetição máxima (1-RM) e o protocolo de exercícios. Setenta e duas horas após a familiarização, foi realizado um novo teste de 1-RM. Se os valores de 1-RM fossem maiores que 5% comparado ao teste anterior, um teste subsequente era realizado após 72h. Os valores de AST e 1-RM foram usados para classificar os participantes em quartis, para que pudessem ser alocados de forma aleatorizada e balanceada nos seguintes grupos experimentais: (1) TF com intervalo de recuperação constante (TF-FIX;  $n = 10$ ) entre as sessões e a frequência fixada em 3 vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira); 2) TF com intervalo de recuperação individualizada (TF-IND;  $n = 10$ ) (segunda à sexta-feira). Todos os participantes foram submetidos à 20 sessões de TF. Noventa e seis horas após a última sessão de treinamento, AST e 1-RM foram reavaliados.

### **Variabilidade da frequência cardíaca (VFC)**

A coleta de dados foi realizada em laboratório sempre no mesmo horário. Os participantes foram instruídos a evitar bebidas estimulantes que pudessem influenciar nas respostas da frequência cardíaca. Além do mais, eles foram orientados a fazerem refeições leves e terem uma noite adequada de sono (pelo menos oito horas) antes das avaliações. Os participantes ficaram deitados em uma sala silenciosa por 10 min na posição supina e foram instruídos a não dormir, mexer ou falar. As gravações dos intervalos R-R foram obtidas por meio de um transmissor colocado no peitoral do participante e um monitor de frequência cardíaca (Polar® S810i, Finlândia). Os dados foram posteriormente transferidos para o software Kubios (HRV 2.2, Finlândia). Utilizou-se sempre o filtro do software para correção dos artefactos (médio) com sessões de 256 pontos, as análises dos dados foram realizadas sempre pelo mesmo avaliador. Uma média de 5 dias dos valores da RMSSD (segunda à sexta) foi utilizada para definir a linha de base, pois parece ser mais sensível para rastrear mudanças no status do treinamento em comparação com valores de um único (PLEWS, LAURSEN, KILDING, *et al.*, 2013). Nós adotamos o valor basal da RMSSD para cada participante, como sendo a média menos um desvio padrão, uma vez que este valor arbitrário pode ser uma pequena variação observada ao longo dos cinco dias de mensuração. Antes de cada sessão de TF, os valores da RMSSD determinou se os participantes do grupo TF-IND estavam recuperados da sessão anterior e se realizariam as sessões de TF. Os participantes realizaram a sessão de TF somente se os valores da RMSSD retornavam à linha de base, caso contrário, eles tiveram que esperar por um período de 24h. As sessões de TF poderiam acontecer de segunda à sexta para o grupo TF-IND e sempre às segundas, quartas e sextas para o grupo TF-FIX. Os sábados e domingos foram considerados períodos de descanso para os dois grupos.

### **Área de secção transversa muscular (AST)**

A AST do VL da perna dominante foi obtida através de ultrassonografia (US), seguindo os procedimentos descrito no estudo de validação do nosso grupo (LIXANDRAO *et al.*, 2014). As imagens foram coletadas usando ultrassom no modo B com uma sonda de 7,5 MHz (Samsung, MySono U6, São Paulo, Brasil). O gel foi aplicado na superfície para promover o acoplamento acústico, evitando deformações dérmicas. A AST do VL foi obtida em 50% do comprimento do fêmur, medido manualmente como ponto intermediário entre o trocânter maior e o epicôndilo lateral. A pele foi marcada transversalmente em intervalos de 2 cm na direção

medial e lateral da coxa para guiar o deslocamento da sonda. A sonda foi alinhada com as marcas da pele e imagens sequenciais foram adquiridas movendo a sonda medial-lateralmente na coxa. As imagens foram baixadas no programa Power Point (Microsoft, EUA) na mesma sequência em que foram adquiridas, e usadas para a construção do VL. A AST muscular foi então circulada usando a fásia como referência para o músculo limites, e o valor de AST foi calculado usando planimetria computadorizada. O coeficiente de variação (CV) e erro típico (ET) entre duas medidas repetidas realizadas em dias diferentes (72h separados) para o AST foram de 0,98% e 0,24 cm<sup>2</sup>, respectivamente.

### **Força dinâmica máxima**

A força dinâmica máxima foi avaliada usando o teste de 1-RM na máquina extensão de joelhos, de acordo ao protocolo de Brown e Weir (2001). Inicialmente, os participantes realizaram um aquecimento geral em cicloergômetro a 20 km.h<sup>-1</sup> por 5 min, seguido por duas séries de aquecimento específico. A primeira série consistiu em 8 repetições com 50% do 1-RM estimado, e a segunda série, 3 repetições com 70% do 1-RM estimado com um descanso de 2 min entre as séries de aquecimento. Após o aquecimento, os participantes iniciaram o teste de 1-RM na extensão total dos joelhos (~180°), realizando as fases excêntricas e concêntricas do exercício. Os participantes tiveram até 5 tentativas para atingir seu valor de 1-RM, com um descanso de 3 min entre as tentativas. A maior carga levantada foi considerada o valor de 1-RM. O CV e ET entre duas medidas repetidas realizadas em dias diferentes (72 horas de intervalo) foram de 1,2% e 1,6 kg, respectivamente.

### **Programas de treinamento de força**

Todos os exercícios das sessões de TF foram realizados na seguinte ordem: extensão de joelhos, *leg press* de 45°, flexão de joelhos, supino reto, puxador frontal, extensão de cotovelos, rosca direta e desenvolvimento de ombro na máquina. O protocolo de TF foi realizado com três séries de 9–12 RM com ~80% de 1-RM até a falha muscular. As repetições eram interrompidas sempre que os participantes não conseguiam realizar a amplitude de movimento padronizada previamente. A carga foi aumentada sempre que os participantes realizavam mais de 12-RM e reduzida quando o número de repetições era inferior a 9-RM, a fim de manter a zona-alvo de repetições estipulada. Um intervalo de 2 min de descanso foi realizado entre as séries e exercícios.

O volume total de treinamento (VTT) foi calculado como séries  $\times$  repetições  $\times$  carga (kg). As sessões de treinamento foram realizadas de segunda à sexta-feira. Contudo, o grupo TF-FIX realizou as sessões de treinamento com um intervalo de 48 horas entre as sessões (segunda, quarta e sexta-feira), enquanto o intervalo entre as sessões do grupo TF-IND variou para cada participante de acordo com os valores da RMSSD.

### **Análise Estatística**

Dois participantes abandonaram o estudo por razões pessoais. Assim, as análises estatísticas foram realizadas utilizando 10 participantes para o TF-FIX e 10 para o TF-IND. Após inspeção visual, foi usado um teste de *Shapiro-Wilk* para testar a normalidade dos dados. Uma análise de modelo misto para medidas repetidas, tendo grupos (TF-FIX e TF-IND) e tempo (Pré [Primeira sessão para VTT] e Pós [Última sessão para VTT]) como fatores fixos e participantes como fator aleatório para 1-RM, AST e VTT. No caso de valores *F* significativos, um ajuste de *Tukey* implementado para comparações pareadas. O teste de *Levene* foi usado para testar se a variação das adaptações induzidas pelo TF (i.e., alteração percentual) eram diferentes entre os grupos TF-FIX e TF-IND. Os participantes foram definidos como não-respondedores se a força muscular ou hipertrofia não aumentasse mais do que dois erros típicos (ET) (HOPKINS, 2000).

O coeficiente de correlação de *Pearson* foi usado para determinar a relação entre o número de sessões que os participantes estavam recuperados (i.e., retorno da RMSSD à linha de base) e a porcentagem de aumento da 1-RM, AST e VTT. O *effect size* (ES) foi calculado para 1-RM, AST e VTT, usando as mudanças do pré para o pós-treinamento. ES foram classificados como “pequeno” se menor que 0,2, “médio” se entre 0,2 e 0,5, e “grande” se maior que 0,8 (COHEN, 1988). As análises estatísticas foram realizadas no software SAS 9.2 e valores significativos de *P* foram definidos como  $P < 0,05$ .

## **RESULTADOS**

### **Progressão volume total de treinamento (VTT)**

Ambos os grupos apresentaram aumentos significantes na última sessão em comparação com a primeira sessão de TF para os exercícios extensão de joelhos (TF-FIX: 45,2%, ES: 1,72 (grande); TF-IND: 51,5%, ES: 1,50 (grande);  $P < 0,0001$ ), *leg press* de 45° (TF-FIX: 80,4%, ES: 3,79 (grande); TF-IND: 102,7%, ES: 2,05 (grande);  $P < 0,0001$ ), flexão de joelhos (TF-

FIX: 62,2%, ES: 2,53 (grande); TF-IND: 86,5% (grande), ES: 1,66 (grande);  $P < 0,0001$ ), supino (TF-FIX: 43,5%, ES: 1,74 (grande); TF-IND: 53,1%, ES: 1,10 (grande);  $P < 0,0001$ ), puxador na frente (TF-FIX: 45,3%, ES: 1,51 (grande) e TF-IND: 29,6%, ES: 1,35 (grande);  $P < 0,0001$ ), extensão de tríceps (TF-FIX: 44,3%, ES: 2,41 (grande); TF-IND: 51,0%, ES: 0,82 (grande);  $P < 0,0001$ ), rosca direta (TF-FIX: 61,7%, ES: 1,28 (grande); TF-IND: 33,0%, ES: 0,92 (grande);  $P = 0,0008$ ), desenvolvimento de ombro (TF-FIX: 97,5%, ES: 2,38 (grande); TF-IND: 99,6%, ES: 1,84 (grande);  $P < 0,0001$ ). Não verificamos diferenças significantes entre os grupos para o pós-treinamento ( $P > 0,05$ ) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Volume total de treinamento com intervalo de recuperação fixo (TF-FIX) e intervalo de recuperação individualizada em sessões de (TF-IND) na primeira e última sessão de treino

Exercícios	TF-FIX		TF-IND	
	Primeira Sessão	Última Sessão	Primeira Sessão	Última Sessão
Extensão de Joelhos (kg)	2847,5 ± 520,4	4237,0 ± 794,5*	3097,6 ± 680,3	4417,5 ± 780,2*
Leg Press 45° (kg)	7445,0 ± 1296,0	14896,0 ± 1888,7*	9458,0 ± 2507,6	16677,5 ± 3482,7*
Flex. de Joelhos (kg)	1255,3 ± 292,3	2234,5 ± 311,6*	1456,5 ± 341,7	2362,5 ± 601,2*
Supino Reto (kg)	949,8 ± 209,1	1420,2 ± 209,0*	1195,6 ± 338,7	1674,8 ± 384,9*
Puxador Frontal (kg)	1132,5 ± 145,0	1467,8 ± 214,5*	1203,6 ± 303,1	1707,3 ± 303,6*
Rosca Direta (kg)	503,0 ± 120,0	970,5 ± 209,5*	582,5 ± 1987,0	1095,5 ± 276,5*
Extensão de Cotovelos (kg)	943,0 ± 139,4	1389,0 ± 149,6*	1142,5 ± 385,0	1575,4 ± 505,4*
Desen. de Ombros (kg)	500,8 ± 80,7	656,4 ± 115,2*	483,2 ± 163,8	680,8 ± 195,7*

\*Diferença significativa em comparação com a primeira sessão de treinamento ( $P < 0,0001$ ). Valores apresentados em média ± DP. Desen. = desenvolvimento.

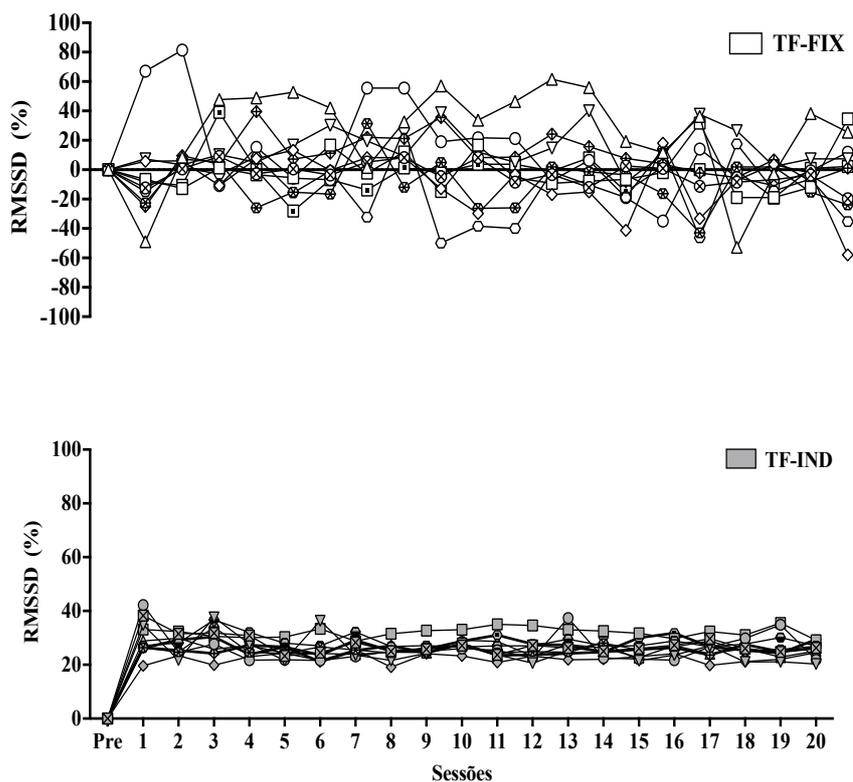
Fonte: Oliveira et al. (2019)

### Recuperação individualizada

Os valores da RMSSD de cada indivíduo antes de cada sessão de TF são mostrados na Figura 1. Importaneamente, a Figura 1 mostra os valores da RMSSD para os dias em que ambos os grupos realizaram as sessões de treinamento. Como o grupo TF-IND só realizava as sessões de treinamento quando os participantes estivessem totalmente recuperados da última sessão realizada, os valores da RMSSD se mostram sempre acima da linha de base. Embora alguns

participantes apresentem os valores da RMSSD acima da linha de base 24h após a sessão de treino (i.e., sugerindo uma recuperação completa), outros não treinaram, uma vez que seus valores da RMSSD estavam abaixo da linha de base (o que ocorreu entre 2 e 11 vezes). Por outro lado, os participantes do grupo TF-FIX realizaram as sessões de treinamento com os valores da RMSSD abaixo da linha de base em várias ocasiões. Enquanto alguns participantes não estavam recuperados somente em uma sessão, outros não apresentaram os valores da RMSSD acima do basal em 15 sessões. Em média, o grupo TF-FIX realizou ~9 das 20 sessões com os valores da RMSSD abaixo a linha de base (i.e não recuperado). Curiosamente, foi possível verificar que, devido à recuperação individualizada, o grupo TF-IND realizou as 20 sessões de TF em um período de 5,1 semanas, enquanto que o grupo TF-FIX precisou de 7 semanas para completar as mesmas 20 sessões de TF.

**Figura 1.** Representa os valores da RMSSD mensurados antes das sessões de TF para os grupos TF-IND e TF-FIX individualmente. Onde o valor da RMSSD basal é representado pelo número zero (Pré), e o número de sessões representam uma porcentagem do valor Pré.

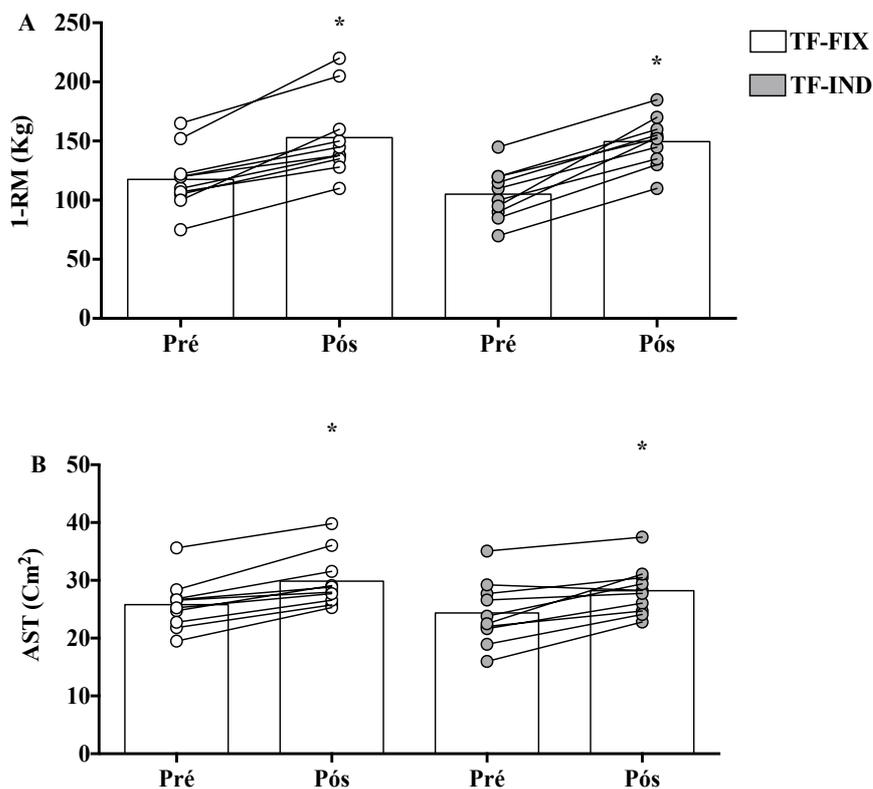


Fonte: Oliveira et al. (2019)

## Força dinâmica máxima e Área de secção transversa muscular (AST)

Ambos os grupos apresentaram aumentos significantes nos valores de 1-RM do pré para pós-treinamento (TF-FIX: 44,8%, ES: 2,03 (grande); TF-IND: 30,8%, ES: 1,00 (grande);  $P < 0,0001$ ) (Figura 2 Painel A). Em relação à AST (Figura 2 Painel B), ambos os grupos também apresentaram aumentos significantes do pré para o pós-treinamento (TF-FIX: 18,2%, ES: 0,59 (meio); TF-IND: 16,2%; ES: 0,73 (meio);  $P < 0,0001$ ). Não houve diferenças significantes entre os grupos para 1-RM e AST ( $P > 0,05$ ).

**Figura 2.** Força dinâmica máxima da extensão de joelhos (1-RM, Fig. 2A) e área de secção transversa muscular (AST, Fig. 2B) mensuradas no *baseline* (Pré) e após 20 sessões de TF, com um intervalo de recuperação fixa (TF-FIX) e um intervalo de recuperação individualizada (TF-IND). \*Diferença Significante do pré para o pós teste ( $P < 0,0001$ ). Valores apresentados em média  $\pm$  DP.



Fonte: Oliveira et al. (2019)

## Variação individual nas adaptações neuromusculares

O range de variação nos ganhos de 1-RM e AST foi de 26,6-78,9% (52,3%) e -3,4-42,4% (45,8%), respectivamente para TF-FIX e 15-60% (45%) e 5,3-29,8% (24,5%) para o TF-IND. Os participantes foram classificados como não respondedores se apresentassem uma

mudança menor do que 0,48 cm<sup>2</sup> de AST ( $2 \times$  ET [24 cm<sup>2</sup>]) e 3,2 kg a 1-RM ( $2 \times$  ET [1,6 kg]). Apenas um participante no grupo TF-FIX não mostrou nenhum aumento na AST, enquanto todos os outros participantes nos grupos TF-FIX e TF-IND apresentaram alterações de 1-RM e AST acima de dois ET. No teste de *Levene* não encontramos diferenças significantes entre os grupos para a variabilidade dos ganhos da AST (TF-FIX: IC 95% 1,86-5,30 e TF-IND: IC 95% 1,09-3,72;  $P = 0,13$ ) e 1-RM (TF-FIX: IC 95% 5,86-39,81 e TF-IND: IC 95% 8,41-40,18;  $P = 0,57$ ). Além disso, não foram encontradas correlações significantes entre o número de sessões que os participantes estavam recuperados (i.e., a RMSSD retornou à linha de base) e o percentual de aumento dos valores de 1-RM (TF-FIX:  $r = -0,06$ ,  $P = 0,86$ ; TF-IND:  $r = 0,18$ ,  $P = 0,61$ ), AST (TF-FIX:  $r = -0,02$ ,  $P = 0,94$ ; TF-IND:  $r = 0,04$ ,  $P = 0,90$ ) e VTT (TF-FIX:  $r = -0,02$ ,  $P = 0,94$ ; TF-IND:  $r = 0,35$ ,  $P = 0,31$ ).

## DISCUSSÃO

Os objetivos do presente estudo foram comparar os efeitos de um programa de TF com um intervalo fixo de recuperação (TF-FIX), e um programa de TF com um intervalo de recuperação individualizada (TF-IND) na força e hipertrofia, e investigar se o TF-IND pode reduzir a variabilidade dessas adaptações. Nosso principal achado foi que o intervalo de recuperação individualizado, determinado pelos valores de RMSSD, não promoveu maiores ganhos de força muscular e hipertrofia muscular, e não reduziu a variabilidade dessas adaptações em homens jovens quando comparado com um intervalo fixo de recuperação.

Os ganhos de força e hipertrofia encontrados em nosso estudo estão de acordo com estudos conduzidos com jovens não treinados, o quais não controlaram o intervalo de recuperação entre as sessões de TF de forma individualizada (HUBAL *et al.*, 2005; WERNBOM *et al.*, 2007; HOLM *et al.*, 2008; AGUIAR *et al.*, 2015; AHTIAINEN *et al.*, 2016). Importante destacar que, a variabilidade encontrada nas adaptações neuromusculares foi semelhante entre os grupos (TF-IND vs. TF-FIX), corroborando com estudos que também verificaram uma variabilidade similar nessas adaptações (KIVINIEMI *et al.*, 2010; AHTIAINEN *et al.*, 2016). Além disso, o número de respondedores foi o mesmo entre os grupos para a força muscular e para a hipertrofia, apenas um participante no grupo TF-FIX não apresentou aumento na AST acima de dois ET.

De acordo com nossa hipótese inicial, o grupo TF-IND promoveria maiores ganhos de força e hipertrofia muscular devido a uma maior progressão no VTT quando comparado ao grupo TF-FIX, e reduziria a variabilidade das adaptações devido à recuperação individualizada.

De fato, estudos demonstraram uma relação dose-resposta entre o volume e as adaptações neuromusculares (RHEA *et al.*, 2003; KRIEGER, 2010; RALSTON *et al.*, 2017; SCHOENFELD *et al.*, 2017). Por outro lado, quando o VTT é equalizado, as adaptações neuromusculares são semelhantes, independentemente da manipulação de variáveis de treinamento, tais como intensidade (ANGLERI *et al.*, 2017), ação muscular (RONNESTAD *et al.*, 2007) e frequência semanal (CANDOW e BURKE, 2007; GENTIL *et al.*, 2015), o que pode em partes ajudar a explicar nossos resultados. Curiosamente, mesmo com os valores da RMSSD abaixo da linha de base no grupo TF-FIX (i.e., os que não estavam recuperados), quando a sessão subsequente foi realizada, a progressão do VTT foi semelhante entre grupos ao final das 20 sessões de treinamento.

A mensuração da RMSSD vem sendo muito utilizada para monitorar cargas de treinamento e orientar prescrições (PLEWS, LAURSEN, STANLEY, *et al.*, 2013; SCHMITT, REGNARD, PARMENTIER, *et al.*, 2015; VESTERINEN *et al.*, 2016; DA SILVA *et al.*, 2017). Porém, esse é o primeiro estudo que investigou o uso da RMSSD para monitorar e orientar a prescrição de um programa de TF. Embora a RMSSD tenha sido comumente usado durante o treinamento aeróbio, o TF também altera os índices do sistema parassimpático após uma única sessão por até 72h, conforme verificamos em nosso estudo e em um estudo prévio (CHEN *et al.*, 2011). Embora alguns indivíduos no grupo TF-IND já tinham os valores da RMSSD acima da linha de base 24h após a sessão de treinamento (i.e., recuperação total) outros mantiveram os valores da RMSSD abaixo da linha de base, mesmo após 48h. Curiosamente, a maioria dos participantes estavam recuperados em um período de 24h após a sessão de treinamento, embora às vezes eles foram liberados do treinamento por não apresentarem os valores da RMSSD acima da linha de base, o que ocorreu entre 2 e 11 vezes. Em relação ao TF-FIX, os valores da RMSSD foram monitorados 48h após a última sessão de TF. No entanto, ao contrário do grupo TF-IND, os participantes realizaram a sessão de TF mesmo se não estivessem recuperados (Figura 1), o que ocorreu entre 1 e 15 sessões. Apesar do fato da RMSSD ser sensível ao estresse causado pelas sessões de TF, nenhuma correlação entre o número de vezes em que os participantes estavam recuperados e os aumentos da força e hipertrofia para ambos os grupos. Por outro lado, o controle individualizado da recuperação permitiu que o grupo TF-IND completasse 20 sessões de TF em um período menor de tempo em comparação com o grupo TF-FIX (TF-IND: ~5,1 semanas vs. TF-FIX: 7 semanas), devido à maior frequência semanal de treinamento. Portanto, nossos resultados sugerem que a prescrição do intervalo de recuperação entre as sessões de forma individualizada, por meio da RMSSD permite uma maior frequência semanal de treinamento em comparação com um

intervalo de recuperação tradicionalmente recomendado (ACSM, 2009b), sem comprometer as adaptações neuromusculares. No entanto, esses achados devem ser interpretados com cautela e não pode ser expandido para outras populações. É possível que devido ao processo de envelhecimento ou doenças que afetam o sistema nervoso autônomo, alguns indivíduos podem precisar de maior intervalo de recuperação do que o recomendando tradicionalmente.

Este estudo apresenta algumas limitações. (1) Devido ao monitoramento individualizado do intervalo de recuperação entre as sessões de TF, o grupo TF-IND realizou as 20 sessões de treinamento em menor período de tempo (TF-IND: ~5,1 semanas vs. TF-FIX: 7 semanas), com os ganhos similares de força e hipertrofia em comparação com o grupo TF-FIX. 2) O período de intervenção pode ter sido curto, impossibilitando que as diferenças para os grupos pudessem ser observadas. No entanto, 20 sessões de TF parece ser o suficiente para induzir aumentos na força e hipertrofia sem a influência do edema causado pelo dano muscular induzido nos estágios iniciais do TF (DAMAS *et al.*, 2016). Além disso, esse número de sessões tem sido comumente utilizado em estudos que encontraram diferenças nas adaptações neuromusculares entre os protocolos de TF (CAMPOS *et al.*, 2002; SHEPSTONE *et al.*, 2005; KERKSICK *et al.*, 2009; SCHUENKE *et al.*, 2012; FONSECA *et al.*, 2014; LASEVICIUS *et al.*, 2018); (3) Os nossos resultados de hipertrofia muscular são específicos para o músculo do quadríceps, especificamente para o músculo VL. Mensuramos somente a hipertrofia do músculo VL porque o protocolo usado para determinar a AST por ultrassom foi validado somente para esse músculo (REEVES *et al.*, 2004; LIXANDRÃO *et al.*, 2014). Assim, escolhemos mensurar a força muscular também em exercício com ênfase neste músculo. No entanto, nós mostramos progressão no VTT para todos os exercícios realizados e para ambos os grupos, sugerindo que força muscular pode ter apresentado aumento também para todos os grupos musculares.

Em termos de aplicação prática, nosso estudo sugere que a VFC é uma ferramenta que pode monitorar o intervalo de recuperação individualizado entre sessões de TF. Assim, treinadores e profissionais podem implementar maior frequência semanal de TF quando o intervalo de recuperação entre as sessões de treinamento é determinado pelo retorno dos valores da RMSSD à linha de base. Finalmente, o intervalo de recuperação individualizado pelos valores da RMSSD pode permitir que alguns indivíduos tenham as mesmas adaptações que o grupo de recuperação fixo, em menor período de tempo.

## **CONCLUSÃO**

A recuperação individualizada não promove um maior ganho de força e hipertrofia e não reduz a variabilidade das adaptações quando comparado a um intervalo fixo. Além disso, não houve correlação entre o número de sessões que os participantes estavam recuperados (i.e., RMSSD na linha de base) e as alterações relativas na força, hipertrofia e no volume total de treinamento. Assim, contrariamente ao treinamento aeróbio, a RMSSD não é um bom índice para melhorar as adaptações induzidas pelo TF em homens jovens.

#### 4. MANUSCRITO 2

**Título:** A utilização da variabilidade da frequência cardíaca para prescrição individualizada do treinamento de força em idosos.

#### RESUMO

O objetivo do presente estudo foi investigar se uma recuperação individualizada entre as sessões de treinamento de força (TF-IND) promove maiores ganhos de força, massa muscular e funcionalidade em idosos, e uma redução da variabilidade em comparação com um protocolo com intervalos fixos de recuperação (TF-FIX). Vinte e quatro sujeitos (21 mulheres e 3 homens) com idade de  $66.2 \pm 4.9$  anos, foram randomizados nos grupos TF-IND e TF-FIX. Antes do início do treinamento, as mensurações da raiz quadrada da média das diferenças dos intervalos R-R (RMSSD) de cada indivíduo foram realizadas durante uma semana (segunda à sexta) para estabelecer os valores basais. Antes de cada sessão de TF, os valores da RMSSD determinaram se os participantes do protocolo TF-IND estavam recuperados da sessão anterior. Os participantes realizaram as sessões de TF somente se os valores da RMSSD retornaram à linha de base, caso contrário eles esperavam por mais 24 h. O TF-FIX realizou uma sessão TF a cada 48h. A força muscular foi medida pelo teste de uma repetição máxima (1-RM) e a área de secção transversa (AST) do músculo vasto lateral por ultrassonografia, a funcionalidade foi mensurada pelos testes de taxa de desenvolvimento de força (TDF), *Time Up and Go* (TUG), *Chair Stand* (CS), Velocidade máxima de marcha e 6 minutos de caminhada, avaliados no pré e pós-treinamento. Os valores de 1-RM, AST muscular, TUG, CS 6 minutos de caminhada aumentaram significativamente do pré para pós-treinamento porém não houve diferenças significantes entre os grupos. Já para a TDF e velocidade máxima de marcha, não foi verificado diferenças significantes para ambos os grupos. Em conclusão, o TF-IND não promoveu maiores aumentos para a força, massa muscular e funcionalidade, e não reduziu a variabilidade dessas adaptações, quando comparado com o grupo TF-FIX após 7 semanas de TF em idosos destreinados

**Palavras-chave:** Hipertrofia, força muscular, funcionalidade, variabilidade da frequência cardíaca e RMSSD

**Title:** The use of heart rate variability for individualized strength training prescription in the elderly.

### ABSTRACT

The aim of the present study was to investigate whether an individualized recovery between resistance training sessions (RT-IND) promotes greater gains in strength, muscle mass and function in the elderly, and a reduction in variability compared with a protocol fixed interval of recovery (RT-FIX). Twenty-four subjects (21 women and 3 men) aged  $66.2 \pm 4.9$  years were randomized into the RT-IND and RT-FIX groups. Before the beginning of the training, the square root mean square of the R-R interval differences (RMSSD) of each individual were performed for one week (Monday to Friday) to establish the baseline values. Before each RT session, the RMSSD values determined whether participants in the RT-IND protocol were recovered from the previous session. Participants performed TF sessions only if the RMSSD values returned to the baseline, otherwise they waited another 24 h. RT-FIX performed a RT session every 48 hours. Muscle strength was measured by the maximal repetition test (1-RM) and the cross-sectional area (CSA) of the vastus lateralis muscle by ultrasonography, the functionality was measured by the Rate Development Force (RDF), Time Up and Go (TUG), Chair Stand (CS), maximum walking speed and 6 minutes of walking, evaluated in pre and post training. The values of 1-RM, CSA muscle, TUG, CS 6 minutes of walking increased significantly from pre to post-training, but there were no significant differences between groups. For RDF and maximum gait velocity, no significant differences were found for both groups. In conclusion, RT-IND did not promote greater increases in strength, muscle mass and functionality, and did not reduce the variability of these adaptations when compared to the RT-FIX group after 7 weeks of RT in untrained elderly

**Keywords:** Muscle mass, muscle strength, functionality, frequency, autonomic nervous system, RMSSD

## INTRODUÇÃO

O treinamento de força (TF), é amplamente recomendado para promover o aumento da força e massa muscular, podendo também promover melhora na funcionalidade de idosos (ACSM, 2009a). Contudo, existe uma grande variabilidade nas adaptações da força e massa muscular (-8% à 50% e -6% à 25%, respectivamente) de idosos submetidos à um mesmo protocolo de TF (CHMELO *et al.*, 2015; AHTIAINEN *et al.*, 2016), dentre os quais, alguns podem ser considerados não respondedores ao TF, por não apresentarem adaptações positivas (CHURCHWARD-VENNE *et al.*, 2015). Pode-se notar que o mesmo comportamento ocorre com relação a funcionalidade, pois alguns idosos apresentam melhoras na funcionalidade após um programa de TF, enquanto que outros não apresentam nenhuma alteração (CHMELO *et al.*, 2015). Apesar de fatores como nível de aptidão física inicial, estado nutricional e fatores genéticos poderem influenciar a variabilidade das respostas adaptativa (AHTIAINEN *et al.*, 2016), o modo com que o TF é prescrito, também pode afetar as respostas individuais. Nesse sentido, nosso laboratório demonstrou que a frequência do TF, a qual possui relação direta com o intervalo de recuperação entre as sessões, pode impactar as respostas individuais relacionadas aos ganhos de força e massa muscular (DAMAS *et al.*, 2018). Por meio de um delineamento experimental intra-sujeitos (i.e., cada membro inferior dos sujeitos treinou com uma determinada frequência semanal), foi possível verificar que alguns indivíduos apresentaram maiores ganhos de força e massa muscular realizando uma maior frequência semanal (5x vezes por semana), enquanto outros apresentaram maiores ganhos com uma menor frequência (2-3x vezes por semana) (DAMAS *et al.*, 2018). Adicionalmente, alguns indivíduos foram considerados não respondedores a uma determinada frequência, mas responderam positivamente a outra (DAMAS *et al.*, 2018). Uma possível explicação para esses achados é que possivelmente alguns indivíduos necessitem de um maior tempo de recuperação entre sessões de TF do que outros, uma vez que uma recuperação inadequada pode acarretar em uma redução no desempenho na sessão subsequente e impactar negativamente as adaptações neuromuscular (XIAO *et al.*, 2012). Dessa forma, é plausível sugerir que protocolos de TF realizados com um intervalo de recuperação entre as sessões de forma individualizado, possibilitem a diminuição na variabilidade das respostas e otimizem as adaptações ao TF.

Uma ferramenta que vem sendo utilizada para monitorar a recuperação após as sessões de treinamento de forma individualizada, é a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) (BUCHHEIT *et al.*, 2010; PLEWS, LAURSEN, STANLEY, *et al.*, 2013). Entre os diversos parâmetros fornecidos pela VFC, a *root mean square of successive R-R intervals* (RMSSD) tem

se mostrado confiável e muito utilizado para o monitoramento do treinamento (PLEWS *et al.*, 2012; PLEWS, LAURSEN, KILDING, *et al.*, 2013; SABOUL *et al.*, 2013; SCHMITT, REGNARD e MILLET, 2015). De fato, Vesterinen *et al.*, (2016) monitoraram a recuperação de sessões de treinamento aeróbio (TA) de forma individualizada por meio dos valores da RMSSD, e verificaram maior aumento no desempenho no teste de 3000 metros em comparação ao grupo de atletas que não realizaram um controle individualizado da recuperação (VESTERINEN *et al.*, 2016). Contudo, não foi verificadas maiores adaptações quando essa estratégia de prescrição foi utilizada para o TF, apesar de uma sessão de exercícios de força ser capaz promover alterações significantes na RMSSD, o que sugere que essa ferramenta poderia ser utilizada na prescrição desse regime de treinamento. No entanto, recentemente nós verificamos em indivíduos jovens não treinados, que a recuperação individualizada entre sessões de TF (TF-IND), apesar de não acarretar em maiores adaptações neuromusculares, possibilitou a realização de uma maior frequência semanal de TF comparado aos indivíduos submetidos ao TF realizado com intervalo fixo de recuperação (TF-FIX), pois a maioria dos sujeitos apresentaram retorno dos valores da RMSSD aos níveis basais 24h após a sessão de TF. Isso possibilitou ao grupo TF-IND, a realização das 20 sessões de TF previstas inicialmente em um menor período de tempo comparado ao grupo TF-FIX (5,1 semanas vs. 7 semanas, respectivamente), sem prejuízos nos ganhos de força e massa muscular (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019). Entretanto, esses resultados não podem ser expandidos para outras populações, como por exemplo idosos, os quais podem apresentar uma retomada vagal (i.e., retorno dos valores da RMSSD a linha de base) mais lenta após o exercício (CHEN *et al.*, 2011; KARAVIRTA *et al.*, 2013; KINGSLEY *et al.*, 2014; SARDELI *et al.*, 2017), o que acarretaria a necessidade de maior intervalo de recuperação entre as sessões de TF comparado à indivíduos jovens. Apesar da necessidade de um período maior de recuperação possivelmente acarretar em uma menor frequência semanal de treinamento comparado ao intervalo de recuperação tradicionalmente recomendado para essa população, é plausível sugerir que a variabilidade das respostas adaptativas sejam menores e os ganhos de força e massa muscular otimizados, devido a uma recuperação adequada dos idosos após as sessões de TF.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi investigar se uma recuperação individualizada entre as sessões de treinamento de força (TF-IND) promove maiores ganhos de força, massa muscular e funcionalidade em idosos, e uma redução da variabilidade em comparação com um protocolo com intervalos de recuperação (TF-FIX).

## MÉTODOS

### Participantes

Foram recrutados 24 indivíduos (21 mulheres e 3 homens) com idade de  $66 \pm 5$  anos, massa corporal de  $71,3 \pm 14,7$  kg e estatura de  $160,2 \pm 6,7$  cm. Os participantes não poderiam ter realizado um programa de TF nos últimos 6 meses antes do início do estudo, não possuir lesões articulares ou musculares, e não fazer uso de anti-inflamatórios, analgésicos, antidepressivos, depressores do sistema nervoso central e cafeína ao longo do período experimental. Este estudo foi aprovado no Comitê de Ética da Universidade (Número 1.945.908). Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

### Desenho experimental

Na primeira semana, todos os participantes realizaram a mensuração da VFC por 5 dias consecutivos (segunda à sexta) para determinar os valores basais da RMSSD de cada sujeito, a qual foi utilizada como parâmetro de recuperação entre as sessões de TF. Ainda na mesma semana, foram mensuradas a área de secção transversa do músculo (AST) vasto lateral (VL), e realizada a familiarização do teste de uma repetição máxima (1-RM). Na segunda semana, todos os participantes realizaram a familiarização com o teste de 1-RM nos exercícios extensão de joelhos e supino vertical. Setenta e duas horas após a familiarização foi realizado um novo teste de 1-RM para ambos os exercícios. Na terceira semana, foi realizado o teste da taxa de desenvolvimento de força (TDF) e logo em seguida, os testes funcionais *Chair Stand* (CS) e *Time Up and Go* (TUG). Após 72h, foram realizados a familiarização do teste de velocidade máxima de marcha seguido do teste de 6 minutos de caminhada e com um intervalo de 24h foi realizado um novo teste. Os valores de AST e 1-RM foram usados para classificar os participantes em quartis, e posteriormente alocá-los de forma aleatória e balanceada nas seguintes condições experimentais: 1) treinamento de força com intervalo de recuperação fixo (TF-FIX;  $n = 12$ ) entre as sessões e frequência fixa em 3 vezes por semana (segunda, quarta e sexta); 2) treinamento de força com intervalo de recuperação individualizado (TF-IND;  $n = 12$ ) à cada 24h (segunda à sexta). Os sábados e domingos foram considerados dias de recuperação para ambos os grupos e todos os participantes foram submetidos a sete semanas de TF. Noventa e seis horas após a última sessão de treinamento, todos os testes foram repetidos na mesma ordem e intervalo de antes do início dos treinamentos.

### **Variabilidade da frequência cardíaca (VFC)**

A mensuração da VFC foi realizada sempre no mesmo horário do dia para cada indivíduo, durante um período de 5 dias (segunda à sexta-feira). O valor médio obtido nos 5 dias de mensuração da VFC foi utilizado para o cálculo da RMSSD de linha de base. Os participantes foram orientados a realizarem refeições leves e terem uma boa noite de sono (pelo menos oito horas). Em uma sala reservada, os participantes deitaram em uma maca na posição supina, e foram instruídos a não dormir, mover-se ou conversar por dez minutos. As gravações dos intervalos R-R foram então obtidas por meio de um transmissor colocado no peitoral do participante, o qual era integrado a um monitor de frequência cardíaca (Polar® S810i; Polar Vantage, Finlândia). Os dados coletados foram posteriormente analisados sempre pelo mesmo avaliador no software *Kubios HRV 2.2* (Finlândia). Após as coletas da variabilidade da frequência cardíaca, os valores basais do índice da RMSSD foram determinados pela média semanal (5 dias) menos um desvio padrão, e os resultados foram utilizados como um índice de recuperação de sessões de treinamento conforme realizado no estudo de (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019). Antes de cada sessão de TF, os valores da RMSSD determinaram se os participantes do protocolo TF-IND estavam recuperados da sessão anterior. Então, os participantes realizavam as sessões de TF caso os valores da RMSSD tivessem retornado à linha de base. Caso a RMSSD se encontrasse abaixo do basal, os participantes eram dispensados da sessão de treinamento daquele dia, e retornavam ao laboratório após 24h, exceto nos finais de semana. O grupo TF-FIX realizou as sessões de TF com um intervalo fixo de 48h entre as sessões (i.e., segunda, quarta e sexta), independente dos valores da RMSSD estar abaixo ou acima dos valores basais.

### **Área de secção transversa muscular (AST)**

A AST do VL da perna dominante foi obtida através de imagens coletadas utilizando ultrassonografia (US) (Samsung, MySono U6, indústria e comércio Ltda. São Paulo, Brasil). O gel de superfície foi aplicado para promover o acoplamento acústico, evitando deformações dérmicas. A AST do VL foi obtida em 50% do comprimento do fêmur, medido manualmente como ponto intermediário entre o trocânter maior e o epicôndilo lateral. Foram realizadas demarcações transversais na pele em intervalos de 2 cm nas direções mediais e laterais da coxa para guiar o deslocamento do probe. O probe foi alinhado com as marcas na pele e as imagens sequenciais foram adquiridas movendo o probe medial-lateralmente na coxa. As imagens foram baixadas no programa Power Point (Microsoft, EUA) na mesma sequência em que foram

adquiridas, e usadas para a construção do VL. A AST do músculo foi então circulada usando a fâscia como referência para os limites musculares, e o valor da AST foi calculado usando planimetria computadorizada de acordo com LIXANDRAO *et al.* (2014). O coeficiente de variação (CV) e erro típico (ET) entre duas medidas repetidas realizadas com 72 horas de intervalo para a AST foram de 1,27% e 0,19 cm<sup>2</sup>, respectivamente.

### **Força máxima dinâmica**

A força dinâmica máxima foi avaliada por meio do teste de uma repetição máxima (1-RM) nos exercícios extensão de joelhos e supino vertical, de acordo com o protocolo de Brown e Weir, (2001). Inicialmente, os participantes realizaram o aquecimento em um cicloergômetro a velocidade de 20 km.h<sup>-1</sup> por 5 minutos, seguido por duas séries de aquecimento específico. A primeira série consistiu em 8 repetições com 50% do 1-RM estimado, e a segunda série de 3 repetições com 70% do 1-RM estimado com descanso de 2 minutos entre as séries de aquecimento. Após o aquecimento, os participantes tiveram até 5 tentativas para atingir sua 1-RM em cada exercício, com descanso de 3 minutos entre as tentativas. A maior carga levantada foi considerada a 1-RM. O CV e o ET entre duas medidas repetidas realizadas com 72 horas de intervalo e para o 1-RM foram 10,49% e 2,07kg para extensão de joelhos e 5,01% e 1,46kg para supino vertical, respectivamente.

### **Taxa de desenvolvimento de força (TDF)**

A taxa de desenvolvimento de força (TDF) foi mensurada por meio de um dinamômetro isocinético (*Biodex System 3; Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA*). Previamente ao início do teste, os indivíduos realizaram aquecimento em cicloergômetro por 5 minutos à 60 rotações por minuto e 25 watts de potência. Em seguida, cada participante permaneceu sentado verticalmente na cadeira do dinamômetro, com seu corpo estabilizado por duas faixas passadas transversalmente em seus ombros, uma na cintura e a outra na perna que realizou a contração. O centro de rotação do joelhos foi alinhado com o centro de rotação do dinamômetro com a articulação fixada com um ângulo de 60° em relação ao plano horizontal. A distância do acessório do dinamômetro foi ajustada para garantir que o tornozelo estivesse em uma posição confortável. Os torques de extensão de joelhos produzido pelo motor do Biodex foram assumidos para serem iguais, corrigido pelo torque gravitacional na região da canela. Após serem posicionados corretamente na cadeira, foi realizado aquecimento específico que consistiu de 10 contrações isométricas voluntárias submáximas com duração de 2 segundos (seg.),

separadas por um intervalo de 20 seg. entre cada repetição. Após completarem o aquecimento, foram realizadas 4 tentativas de contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM) de 2 seg., separadas por 3 minutos de descanso entre cada tentativa. Os participantes foram instruídos a produzir torque o mais rápido e manter o máximo de possível por 2 seg., e a relaxarem o mais rápido possível ao final do tempo de manutenção da força. A curva de produção de torque deveria seguir um ‘padrão retangular’ (i.e., crescimento de torque mais rápido possível, manutenção de torque máximo e decaimento de torque mais rápido possível), e sempre que o padrão fosse diferente disto, a tentativa era descartada. Forte encorajamento verbal foi realizado em todas as tentativas. Por fim, a taxa de desenvolvimento de força (TDF) foi calculada a partir da fórmula  $\Delta T \cdot \Delta t^{-1}$  (LIBARDI, 2016), e realizada por meio de rotina escrita em linguagem *MATLAB* (versão 7.0 - Math Works Inc.).

### ***Chair stand (CS)***

Os participantes iniciaram o teste sentados em uma cadeira de 43 cm de altura com o quadril e costas completamente apoiados no encosto, joelhos flexionados em 90° e pés posicionados sobre uma plataforma de força (*AccuGait, Advance Mechanical Technology Inc. - AMTI, Boston, USA*). Então foram instruídos a cruzar os braços em frente ao tórax, de forma que suas mãos tocassem os ombros contralaterais. Em seguida, foram orientados a levantar-se até atingir posição completamente ereta e sentar-se até que suas costas tocassem o encosto da cadeira por cinco vezes consecutivas no menor tempo possível de maneira com que seus pés estivessem sempre em contato com a plataforma de força (JONES *et al.*, 1999). O tempo foi registrado por meio de um software (*Balance Clinic, AMTI, Boston, USA*) e analisado posteriormente por meio de rotina escrita em linguagem *MATLAB* (versão 7.0 - Math Works Inc.). O CV e o ET foram de 3,84 % e 0,45 seg., respectivamente.

### **Velocidade máxima de marcha**

Os participantes foram instruídos a percorrer uma distância de 15 m por duas vezes em velocidade máxima porém, foram orientados a não correr. Os tempos foram registrados por meio de uma fotocélula (*Speed Test Fit, Cefise Biotecnologia Esportiva, São Paulo, Brasil*). Os primeiros e os últimos 2,5 m não foram computados a fim de descartar os períodos de aceleração e desaceleração. Os resultados foram obtidos pela média das duas tentativas (PASMA *et al.*, 2014). O CV e o ET entre os testes foram de 3,53 % e 0,07 m/s respectivamente.

### **Timed Up and Go (TUG)**

Os participantes iniciaram o teste sentado em uma cadeira de 43 cm de altura com suportes laterais, e apoiaram os pés sobre uma plataforma de força. Assim, foram instruídos a levantar-se com ajuda dos suportes laterais e caminhar uma distância de 3 metros e, em seguida, retornar a mesma distância e sentar-se novamente na cadeira (PODSIADLO e RICHARDSON, 1991). O tempo foi registrado da mesma forma descrita no teste CS, o CV e ET entre os testes foram de 3,69 % e 0,31 seg., respectivamente.

### **6 Minutos de caminhada**

Os participantes foram instruídos e encorajados verbalmente a caminharem o mais rápido possível e não poderiam correr, e caso fosse necessário, poderiam realizar algumas paradas para um descanso durante os 6 minutos. Caso os participantes sentissem algum desconforto ou fadiga, o teste era interrompido de forma voluntária. O teste foi realizado em terreno plano de 95 metros demarcados por cones, e a distância percorrida nestes 6 minutos foi registrada sempre pelo avaliador (PASMA *et al.*, 2014). O CV e o ET entre os testes foram de 3,8 % e 22,4 m, respectivamente.

### **Programa de treinamento de força**

Os exercícios dos protocolos de TF foram realizados na seguinte ordem: extensão de joelhos, *leg press* 45°, flexão de joelhos, supino reto, puxador frontal, extensão de cotovelos, flexão de cotovelos e desenvolvimento para ombros. Os dois protocolos foram realizados com três séries de 9-12 RM com ~80% de 1-RM até a falha concêntrica. As repetições eram interrompidas se os voluntários não conseguissem manter a amplitude de movimento determinada previamente e considerada como adequada. A carga de treinamento foi ajustada sempre que os participantes realizaram mais de 12-RM ou menos do que 9-RM, a fim de manter o número de repetições na zona-alvo de repetições máximas desejada (9-12 RM). Um intervalo de descanso de 2 min foi adotado entre as séries. O volume total de treinamento (VTT) foi calculado pela multiplicação das séries × repetições × carga (Kg). Para analisarmos a progressão do VTT nós adotamos a somatória do VTT de todos os exercícios da última sessão semanal realizada por cada participante, para posterior comparação entre as sete semanas de TF. Já o VTT acumulado foi realizado a somatória do VTT de todos os exercícios para todas as sessões de TF. As sessões de treinamento foram realizadas de segunda à sexta-feira. No entanto, o grupo

TF-FIX realizou os treinamentos com intervalo de 48h entre as sessões (segunda, quarta e sexta), enquanto o intervalo entre as sessões do grupo TF-IND variou para cada indivíduo, de acordo com o retorno do índice da RMSSD à linha de base.

### **Análise estatística**

Após inspeção visual, o teste de *Shapiro-Wilk* foi usado para testar a normalidade dos dados. Uma análise de modelo misto para medidas repetidas, tendo grupos (TF-FIX e TF-IND) e tempo (Pré e Pós) como fatores fixos e participantes como fator aleatório para 1-RM (extensão de joelhos e supino), AST, progressão do VTT e testes funcionais. No caso de valores *F* significativos, um ajuste de *Tukey* foi implementado para comparações pareadas. Um teste *T Student* foi realizado para comparar o VTT acumulado entre os grupos. O teste de *Levene* foi usado para comparar se a variação das adaptações (i.e., percentual de alteração do Pré para o Pós-treinamento) foram similares entre TF-FIX e TF-IND. Foram definidos como não respondedores ao treinamento os indivíduos que não apresentaram aumentos na força ou hipertrofia muscular maior que duas vezes o erro típico (ET) dessas variáveis (HOPKINS, 2000; DAMAS *et al.*, 2018). O coeficiente de correlação de *Pearson* foi usado para determinar as relações entre o 1) número de sessões que os participantes estavam recuperados para o grupo TF-FIX (i.e., RMSSD retornou à linha de base); 2) o número de sessões realizadas pelo grupo TF-IND (i.e., quando a RMSSD retornou à linha de base) com o percentual do aumento da 1-RM, AST, VTT, TDF, CS, TUG, velocidade máxima de marcha e 6 minutos de caminhada). O *effect size* (ES) foi calculado para 1-RM, AST, TDF e os testes funcionais. ES foi calculado usando as mudanças dos momentos pré para o pós teste. ES foi classificado como “pequeno” se fosse menor do que 0,2, “médio” entre 0,2 à 0,5, e “grande” se maior do que 0,8 (COHEN., 1988). As análises foram realizadas no software SAS 9,2 e valores significativos de *P* foram definidos como  $P < 0,05$ .

## **RESULTADOS**

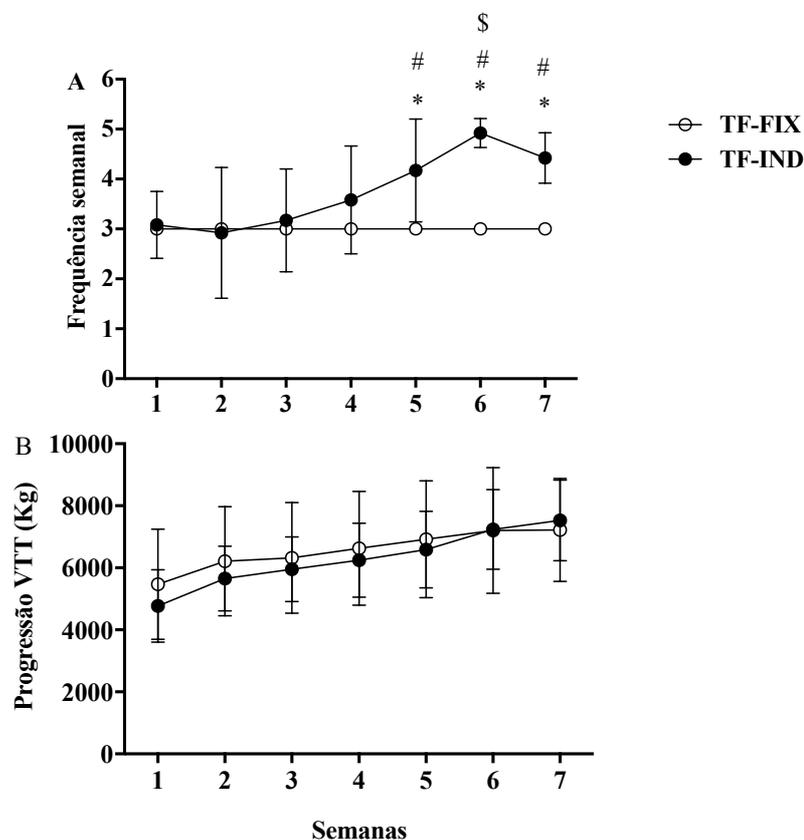
### **Frequência de treinamento e VTT (acumulado e progressão)**

Com relação a frequência semanal média de treinamento, o grupo TF-IND realizou 3,8 sessões, o que totalizou em média 26 sessões ao longo de 7 semanas. No entanto, é importante enfatizar que devido a recuperação individualizada a frequência média nas semanas 5, 6 e 7 foi maior quando comparadas com as semanas 1, 2 e 3 ( $P < 0,0001$ ) (Figura 1A). Adicionalmente

a semana 6 apresentou maior frequência semanal que a semana 4 ( $P = 0,0007$ ). Já o grupo TF-FIX realizou 3 sessões semanais de TF ao longo das 7 semanas de treinamento (i.e., 21 sessões). Na comparação entre grupos, a frequência semanal do grupo TF-IND nas semanas 5 (4,2 sessões;  $P = 0,0013$ ), 6 (4,9 sessões;  $P < 0,0001$ ) e 7 (4,4 sessões;  $P < 0,0001$ ) foram significativamente maiores do que todas as semanas do grupo TF-FIX (Figura 1A).

Para a progressão do VTT semanal (Figura 1B), observamos aumentos significantes dos grupos TF-IND e TF-FIX da semana 1 para as semanas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 ( $P < 0,0001$ ). Foi demonstrado também aumentos significantes da semana 2 para as semanas 3, 4, 5, 6 e 7 ( $P < 0,006$ ), exceto da semana 2 para a semana 3 para o grupo TF-FIX ( $P > 0,05$ ). Houve aumento significativo da semana 3 para as semanas 4, 5, 6 e 7 ( $P = 0,003$ ) somente para o grupo TF-FIX. Ambos os grupos aumentaram da semana 4 para as semanas 5, 6 e 7 ( $P < 0,01$ ), da semana 5 para a semana 6 ( $P < 0,007$ ), mas da semana 5 para a semana 7 somente o grupo TF-IND apresentou um aumento significativo. Para o VTT acumulado, não foram encontradas diferenças significantes entre os grupos ( $P > 0,05$ ).

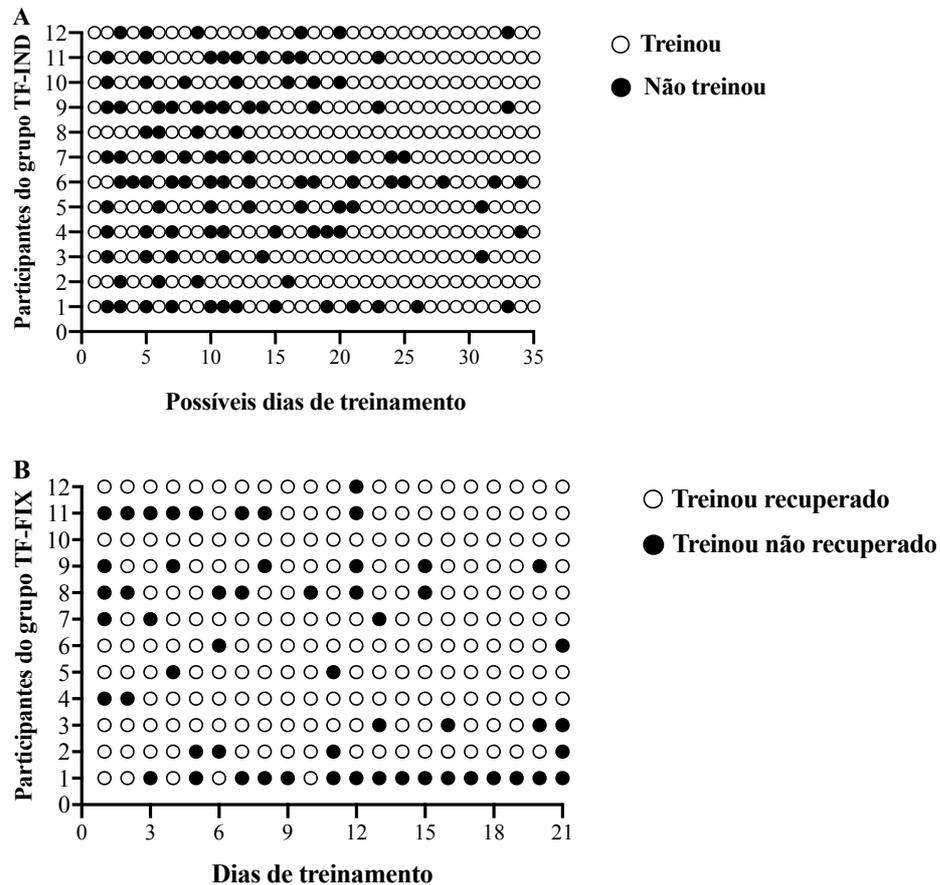
**Figura 3. A)** Representa a frequência média semanal dos grupos ao longo de sete semanas de treinamento. \*Diferença significativa para as semanas 1, 2, 3 no grupo TF-IND. <sup>§</sup>Diferença significativa para a semana 4 no grupo TF-IND. #Diferença significativa para as 7 semanas de TF do grupo TF-FIX. **B)** Representa a progressão do VTT semanal dos grupos ao longo de sete semanas de treinamento.



### **Frequência de treinamento individualizada**

Para a frequência semanal individual, verificamos que dois indivíduos do grupo TF-IND (sujeitos 2 e 8 da figura 2A) realizaram mais sessões de TF pois se recuperavam após um intervalo de 24h para a maioria das sessões, e com isso realizaram 31 sessões das 35 possíveis (i.e., não estavam recuperados somente em 4 visitas ao laboratório) (Figura 2A). Com relação ao menor número de sessões realizadas, um único indivíduo (sujeito 6 da figura 2A) do TF-IND necessitou de períodos maiores do que 48h de recuperação. Esse indivíduo realizou somente 19 sessões das 35 possíveis (i.e., não estava recuperado em 16 oportunidades) (Figura 2A). Com relação aos demais participantes do estudo, foi possível verificar uma frequência semanal de 3 vezes por semana nas 3 primeiras semanas, e uma frequência de até 5 vezes semanal a partir da 4ª semana de treinamento (Figura 2A). Já para o grupo TF-FIX, foi possível verificar que somente um indivíduo não estava com os valores da RMSSD acima do basal apenas em 1 das 21 sessões realizadas pelo grupo TF-FIX (i.e., realizou o maior número de sessões recuperado). Por outro lado, um outro sujeito realizou 16 das 21 sessões de TF com os valores da RMSSD abaixo da linha de base (i.e., realizou quase todas as sessões sem estar recuperado). No entanto, verificamos que a maioria dos sujeitos do grupo TF-FIX apresentaram os valores da RMSSD acima do basal em um período de até 48h (Figura 2B).

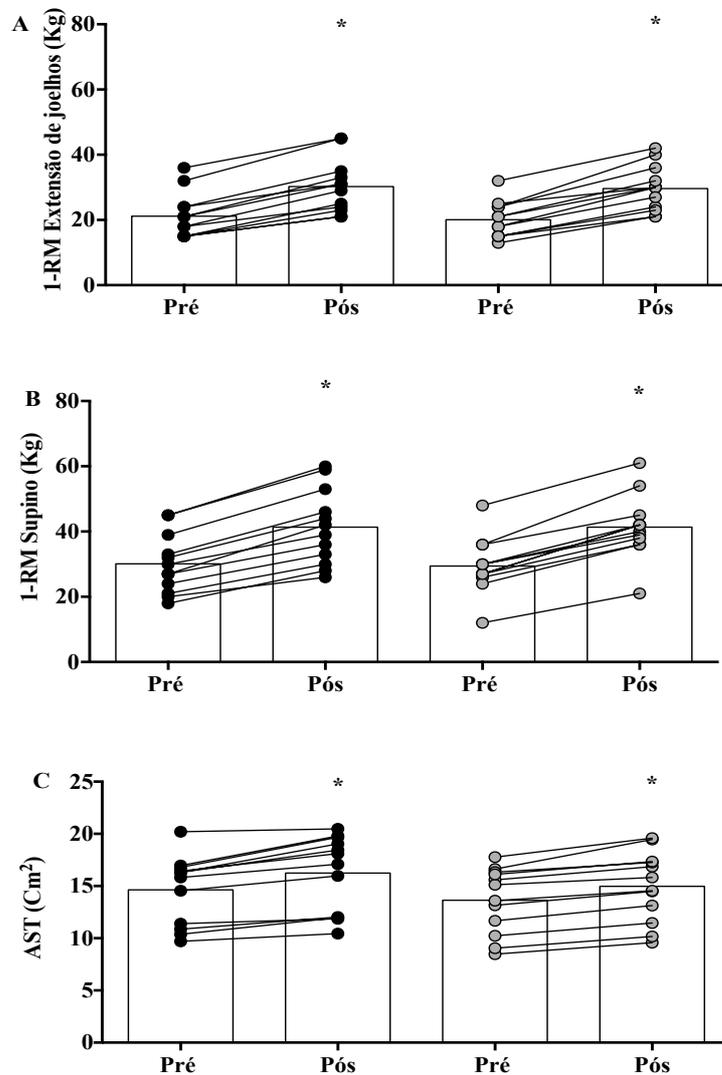
**Figura 4.** **A)** Representa os valores da RMSSD mensurados individualmente, antes de cada possível dia de treinamento para o grupo TF-IND (segunda à sexta ao longo de 7 semanas). Onde o círculo branco representa os valores da RMSSD quando estavam acima da linha de base (i.e. realizou as sessões de TF), e o círculo preto representa os dias que os valores da RMSSD estavam abaixo da linha de base (i.e. não realizou as sessões de TF). **B)** Representa os valores da RMSSD mensurados individualmente antes de cada sessão de TF para o grupo TF-FIX (segunda, quarta e sexta), onde o círculo branco representa os valores da RMSSD quando estavam acima da linha de base (i.e. treinou recuperado), e o círculo preto representa os dias que os valores da RMSSD estavam abaixo da linha de base (i.e. treinou não estando recuperado).



### Força máxima dinâmica (1-RM) e área de secção transversa muscular (AST)

Verificamos que ambos os grupos apresentaram aumentos significantes no teste de 1-RM do pré para pós treinamento, nos exercícios extensão de joelhos (TF-FIX: ES = 1,00 [Grande] e TF-IND: ES = 1,29 [Grande]) e supino (TF-FIX: ES = 0,91 [Grande] e TF-IND: ES = 1,22 [Grande];  $P < 0,0001$  (Figura 3A e 3B respectivamente)). Com relação a AST (Figura 3C), ambos os grupos aumentaram significantemente do pré para o pós treinamento (TF-FIX: ES = 0,38 [Médio] e TF-IND: ES = 0,33 [Médio];  $P < 0,0001$ ). No entanto, não foi encontrado diferenças significantes entre os grupos para ambos os testes de 1-RM e AST no período pós treinamento ( $P > 0,05$ ).

**Figura 5.** **A)** Teste de força dinâmica máxima (1-RM) para o exercício extensão de joelhos, **B)** teste de força dinâmica máxima (1-RM) para o exercício supino reto, **C)** área de secção transversa (AST) do músculo vasto lateral (VL) nos momentos pré e pós intervenção de 7 semanas de TF. \*Diferença significativa de Pré e Pós treinamento ( $P < 0,005$ ). Valores expressos em média e desvio padrão.

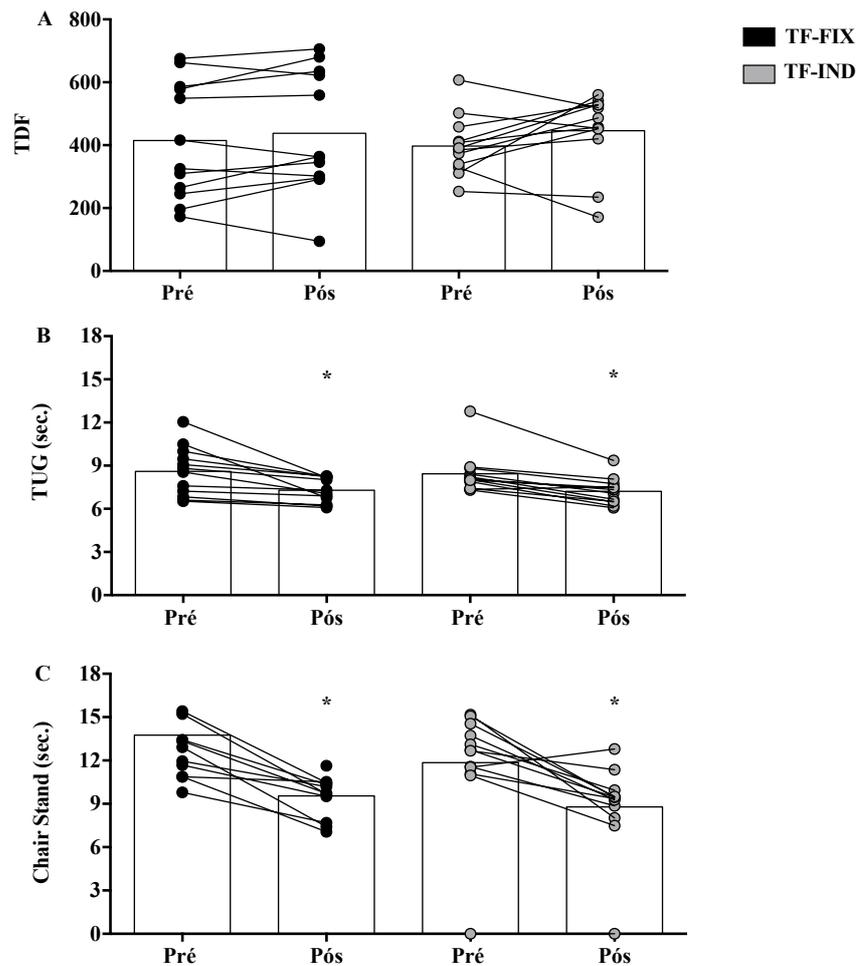


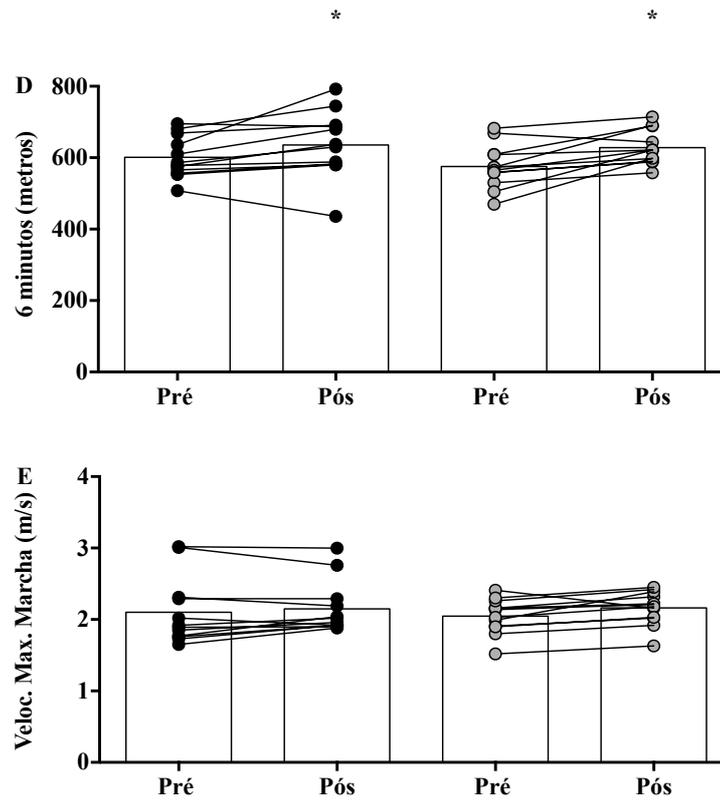
### Taxa de desenvolvimento de força e testes funcionais

Para a TDF não verificamos aumentos significantes (TF-IND: ES= 0,38 (Médio);  $P = 0,860$ ; TF-FIX: ES = 0,09 (Pequeno);  $P = 0,980$ ; Figura 3A). Por outro lado, ambos os grupos reduziram significativamente o tempo no teste de TUG (TF-IND: ES = 0,75 [Médio]; TF-FIX: ES = 0,71 [Médio];  $P = 0,007$ ; Figura 3B), e CS (TF-IND: ES = 1,79 [Grande]; TF-FIX: ES = 1,22 [Grande];  $P = 0,0003$ ; Figura 3B) do pré para o pós treinamento. Foi demonstrado um aumento significativo da distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos para ambos os grupos (TF-IND: ES = 0,75 [médio]; TF-FIX = ES: 0,39 [Pequeno];  $P = 0,03$ ; Figura 3D). E para o teste de velocidade de marcha, não verificamos diferenças significantes do pré para o

pós treinamento (TF-IND: ES = 0,34 [Pequeno]; TF-FIX: ES = 0,18 [Pequeno];  $P = 0,263$ ; Figura 3E). Com relação a comparação entre grupos, não houve diferenças significantes entre os TF-IND e TF-FIX para nenhum dos testes funcionais realizados ( $P > 0,05$ ).

**Figura 6.** **A)** Representa os valores do teste de taxa de desenvolvimento de força (TDF), **B)** do teste de *Time Up and Go* (TUG), **C)** do teste de *Chair Stand* (CS), **D)** do teste de 6 minutos de caminhada e **E)** do teste de velocidade máxima de marcha mensurados nos momentos Pré e Pós nos momentos Pré e Pós. \*Diferença significativa ( $P < 0,005$ ). Valores expressos em média e desvio padrão.





### Variabilidade das respostas individuais e responsividade ao treinamento de força

Com relação aos resultados da variabilidade individual, não encontramos diferenças significantes quando comparamos a igualdade de variação das adaptações (i.e., percentual de alteração do Pré para o Pós-treinamento) entre os grupos TF-IND e TF-FIX conforme dados demonstrado na Tabela 01.

**Tabela 02.** Resultado do range percentual de mudança (% mudança) e teste de igualdade de variâncias pelo intervalo de confiança de 95% (IC 95%) para as avaliações pré e pós no período de 7 semanas de TF entre os grupos TF-IND e TF-FIX.

Avaliações	TF-FIX		TF-IND		Valor de <i>P</i>
	% Mudança	IC 95%	% Mudança	IC 95%	
1-RM Ext. de joelhos (kg)	25,0 - 66,7	8,84 - 22,87	20,0 - 67,0	8,27 - 29,80	<i>P</i> = 0,94
1-RM Supino (kg)	30,0 - 55,6	4,39 - 21,92	25,0 - 75,0	8,46 - 30,50	<i>P</i> = 0,14
AST (cm <sup>2</sup> )	1,34 - 17,21	3,40 - 9,50	4,63 - 17,12	2,32 - 6,76	<i>P</i> = 0,24
TDF	-45,38 - 48,72	13,98 - 52,15	- 48,02 - 80,23	18,53 - 69,13	<i>P</i> = 0,42
TUG (seg.)	4,08 - 35,52	5,04 - 26,81	-2,31 - 21,32	4,55 - 15,98	<i>P</i> = 0,65
CS (seg.)	3,22 - 48,82	8,36 - 24,87	10,41 - 47,17	7,52 - 40,55	<i>P</i> = 0,90
6 Min. (metros)	-16,68 - 19,65	4,00 - 22,45	-3,87 - 21,58	4,83 - 14,42	<i>P</i> = 0,98
Vel. Max. Marcha (m/s)	-0,23 - 15,31	5,61 - 13,23	10,56 - 20,05	2,94 - 18,82	<i>P</i> = 0,13

Legenda: Testes de força dinâmica máxima (1-RM) para o exercício extensão de joelhos e supino, área de secção transversa (AST) do músculo vasto lateral, taxa de desenvolvimento de força (TDF), *Time Up and Go* (TUG), *Chair Stand* (CS), 6 minutos de caminhada e velocidade máxima de marcha. Valor de *P* adotado (*P* < 0,005).

Além disso, não foram encontradas correlações significantes entre o número de sessões em que os participantes estavam recuperados (i. e., RMSSD retornou à linha de base) para o grupo TF-FIX, e o número de sessões realizadas para o grupo TF-IND com o percentual de aumento nos valores de 1-RM para extensão de joelhos (TF-FIX:  $r = 0,0005$ ,  $P = 0,99$ ; TF-IND:  $r = -0,28$ ,  $P = 0,37$ ), para o supino (TF-FIX:  $r = -0,30$ ,  $P = 0,33$ ; TF-IND:  $r = 0,41$ ,  $P = 0,17$ ), a AST (TF-FIX:  $r = 0,14$ ,  $P = 0,64$ ; TF-IND:  $r = -0,25$ ,  $P = 0,41$ ), para a TDF (TF-FIX:  $r = 0,11$ ,  $P = 0,73$ ; TF-IND:  $r = 0,26$ ,  $P = 0,40$ ) para o VTT (TF-FIX:  $r = 0,19$ ,  $P = 0,55$ ; TF-IND:  $r = -0,40$ ,  $P = 0,68$ ), TUG (TF-FIX:  $r = 0,35$ ,  $P = 0,26$ ; TF-IND:  $r = -0,13$ ,  $P = 0,66$ ), o CS (TF-FIX:  $r = 0,28$ ,  $P = 0,36$ ; TF-IND:  $r = 0,32$ ,  $P = 0,31$ ), a velocidade máxima de marcha (TF-FIX:  $r = 0,54$ ,  $P = 0,06$ ; TF-IND:  $r = -0,12$ ,  $P = 0,19$ ), no teste de 6 minutos de caminhada para o grupo TF-IND ( $r = -0,33$ ,  $P = 0,28$ ), e para o grupo TF-FIX ( $r = 0,60$ ,  $P = 0,03$ ) verificamos uma correlação significantes.

Os participantes foram classificados como não respondedores se eles apresentassem ganhos menores do que 0,38 cm<sup>2</sup> de AST (2 x ET [0,19 cm<sup>2</sup>]), 4,14 kg para extensão de joelhos (2 x ET [2,07 kg]), 2,92 kg para supino (2x ET [1,46 kg]), 0,62 seg. para o TUG (2 x ET [0,31 seg.]), 0,90 seg. para o CS (2 x ET [0,45 seg.]), 0,14 m/s. para o teste de velocidade máxima de marcha (2 x ET [0,07 m/s]) e 44,8 metros para 6 minutos de caminhada (2x ET [22,4 metros.]). Para o grupo TF-FIX, não verificamos mudanças de mais de 2 ET para somente 1 participante

na AST, 8 participantes no CS, 4 participantes no TUG e 7 participantes na caminhada de 6 minutos. Para o grupo TF-IND, 7 participantes no CS, apenas 2 participantes no TUG e 7 no teste de caminhada de 6 minutos não apresentaram mudanças de mais de 2 ET.

## **DISCUSSÃO**

O objetivo do presente estudo foi comparar os efeitos de um programa de TF com um intervalo de recuperação individualizado (TF-IND), determinado pelos valores da RMSSD, com um programa de TF com um intervalo de recuperação fixo (TF-FIX), na força muscular, hipertrofia, funcionalidade e na variabilidade das adaptações em idosos. Nossos achados mostraram que o TF-IND não promoveu maiores ganhos de força, hipertrofia e funcionalidade, e tão pouco reduziu a variabilidade dessas adaptações quando comparado ao TF-FIX.

### **Comparação das respostas adaptativas entre grupos**

Recentemente nós demonstramos que alguns indivíduos apresentam maiores ganhos de força e hipertrofia com a realização de maiores frequências de treinamento (i.e., maior volume semanal), enquanto que outros podem apresentar maiores adaptações com uma menor frequência de TF (DAMAS *et al.*, 2018). Possivelmente isso se dê pelo fato de alguns indivíduos necessitarem de um maior período de recuperação que outros. Portanto, individualizar o período de recuperação após uma sessão de TF pode evitar que alguns indivíduos tenham uma queda no desempenho da sessão subsequente (e.g., número de repetições ou carga levantada) e que poderia acarretar em um possível prejuízo nas adaptações neuromusculares (XIAO *et al.*, 2012). Entretanto, essa hipótese não foi confirmada pelo presente estudo, uma vez que a individualização do intervalo de recuperação não garantiu maiores adaptações neuromusculares assim como observado previamente em jovens (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019). Também ao contrário do que hipotetizamos inicialmente, os idosos apresentaram uma rápida recuperação, o que acarretou em maior frequência de TF entre as semanas 5 e 7 (Figura 1A). No entanto, a maior frequência de treinamento não foi suficiente para promover uma maior progressão do VTT e tão pouco um maior VTT acumulado comparado ao grupo TF-FIX ao final das 7 semanas do período de treinamento (Figura 1B). Nesse sentido, estudos prévios mostraram que quando a progressão e o VTT acumulado são similares entre protocolos de TF, os ganhos de força e a hipertrofia muscular também apresentam um mesmo comportamento, independentemente da manipulação das variáveis do

TF (CANDOW e BURKE, 2007; ANGLERI *et al.*, 2017; BARCELOS *et al.*, 2018; NOBREGA *et al.*, 2018; RALSTON *et al.*, 2018; SCHOENFELD *et al.*, 2018). Dessa forma, nossos resultados estão em concordância com recente metanálise que mostra que uma maior frequência semanal de TF, não possibilita maiores ganhos de força e hipertrofia quando o VTT é equalizado (SCHOENFELD *et al.*, 2018). Por outro lado, é possível especular que se o período de treinamento fosse maior que 7 semanas, a maior frequência semanal do grupo TF-IND acarretaria em um maior VTT e, possivelmente, maiores ganhos de força e hipertrofia muscular. Assim, nós sugerimos que futuros estudo realizem períodos maiores de TF com uma recuperação individualizada para verificar se essa hipótese é confirmada.

Tem sido sugerido que o declínio da força e massa muscular durante o envelhecimento pode levar a diminuições na funcionalidade e conseqüentemente reduzir as atividades de vida diárias (AVDs) (JANSSEN *et al.*, 2002; FARINATTI *et al.*, 2013). Portanto, programas de treinamento que preservem ou aumentem a força e a massa muscular, são altamente recomendados para idosos, pois parecem ser capazes de melhorar a funcionalidade (JANSSEN *et al.*, 2002; VAN ROIE *et al.*, 2013; TIGGEMANN *et al.*, 2016). Nesse sentido, nós demonstramos que os ganhos similares de força e hipertrofia muscular entre os grupos TF-IND e TF-FIX, foram acompanhados por resultados similares nos testes de CS, TUG e 6 minutos de caminhada. Corroborando com nossos achados, Farinatti *et al.*, (2013) embora não tenham individualizado o intervalo de recuperações entre as sessões, também verificaram melhoras na funcionalidade após a um programa de TF realizado com cargas moderadas para altas (i.e., entre 8-12 repetições máximas) e frequência semanal de três vezes por semana. Assim como o CS, TUG e 6 minutos de caminhada, a TDF e a velocidade máxima de marcha estão relacionadas as atividades de vida diárias (JANSSEN *et al.*, 2002; FARINATTI *et al.*, 2013). Entretanto, essas duas últimas não apresentaram melhora para nenhum dos grupos investigados. No que diz respeito a TDF, nossos resultados não são surpreendentes, uma vez que recente meta-análise demonstrou que os ganhos de força muscular não influenciam nas respostas da TDF (GUIZELINI *et al.*, 2018). Com relação a velocidade máxima de marcha, esse teste está diretamente relacionado a capacidade de contrações rápidas em idosos (BUCHNER *et al.*, 1996). Nesse sentido, programas de TF realizados com repetições em alta velocidade de execução (i.e., < 1 seg.), os quais são capazes de melhorar velocidade máxima de marcha em idosos (RAMIREZ-CAMPILLO *et al.*, 2014), parecem mais indicados quando o objetivo é melhorar as AVDs que exigem maior velocidade.

### Comparação entre as respostas adaptativas individuais

A RMSSD tem sido utilizado para monitorar e orientar a prescrição do treinamento de forma individualizada (PLEWS, LAURSEN, STANLEY, *et al.*, 2013; SCHMITT, REGNARD e MILLET, 2015; VESTERINEN *et al.*, 2016; DA SILVA *et al.*, 2017). Inclusive, no treinamento aeróbio, a realização de uma prescrição individualizada por meio da VFC, proporcionou uma maior adaptação comparado a uma prescrição não individualizada (KIVINIEMI *et al.*, 2007; VESTERINEN *et al.*, 2016). Embora os indicadores parassimpáticos (e.g., RMSSD) sejam utilizados para a prescrição do treinamento aeróbio, somente um estudo realizado pelo nosso laboratório investigou esses indicadores na prescrição no TF (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019). De Oliveira *et al.* (2019) mostraram que para a maioria dos jovens participantes do estudo, os valores da RMSSD retornaram aos níveis basais 24h após uma sessão de TF (3 x 8-12 repetições até a falha concêntrica com exercícios para o corpo todo). No entanto, alguns deles precisaram de até 96h para que os valores da RMSSD retornassem a linha de base (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019). Comportamento similar foi observado com 2 idosos do grupo TF-IND do presente estudo, pois quase sempre apresentavam os valores da RMSSD nos níveis basais em 24h após as sessões. Por outro lado, um dos indivíduos necessitou de um maior intervalo entre as sessões (48h à 72h) para que a RMSSD retornasse aos níveis basais. Dessa forma, os indivíduos que se recuperavam mais rápido realizaram 31 sessões de TF durante as 7 semanas do estudo (~4,4 sessões por semana), enquanto que o indivíduo que apresentou uma recuperação mais tardia realizou apenas 19 sessões (~2,8 sessões por semana). Esse último, inclusive, foi o único do grupo TF-IND que não realizou mais sessões que os indivíduos do grupo TF-FIX. Interessantemente, verificamos a realização de uma maior frequência semanal de alguns sujeitos do grupo TF-IND a partir da quinta semana de TF (FIGURA 2A), isso foi possível devido a um retorno mais rápido dos valores da RMSSD em comparação com as semanas iniciais. Possivelmente, esse retorno mais rápido dos valores da RMSSD aos níveis basais ocorreu devido os efeitos crônicos do exercício no aumento da atividade parassimpática (BUCHHEIT *et al.*, 2007; STANLEY *et al.*, 2013). De qualquer forma, não houve uma correlação significativa entre o número de sessões realizadas e os ganhos de força (extensão de joelhos:  $r = -0,28$ ;  $P = 0,37$ ; supino reto:  $r = 0,41$ ;  $P = 0,17$ ) e hipertrofia muscular ( $r = -0,25$ ;  $P = 0,41$ ). Portanto, pode-se sugerir que ao menos nas fases iniciais de TF, o aumento da frequência semanal de TF não promove maiores adaptações, mesmo que os idosos estejam recuperados das sessões anteriores. Com relação ao grupo TF-FIX, a maioria dos sujeitos (~8 indivíduos) sempre apresentavam os valores da RMSSD nos níveis basais para a próxima sessão

(i.e., em 48h), enquanto que outros 4 indivíduos não se apresentaram recuperados nesse mesmo intervalo, ou seja, eles realizaram a maior parte das sessões de treinamento não recuperados. Esses resultados sugerem que de modo geral, um intervalo de recuperação de 48h entre as sessões de TF, o qual tem sido preconizado (ACSM, 2009b) parece adequado para uma grande parte dos idosos.

Com relação a variabilidade das adaptações morfofuncionais, o percentual de sujeitos não responsivos do grupo TF-IND foi similar o TF-FIX e ao observado em outros estudos que realizaram protocolos com intervalos fixos de recuperação entre as sessões de TF em idosos (CHMELO *et al.*, 2015; CHURCHWARD-VENNE *et al.*, 2015; AHTIAINEN *et al.*, 2016). Embora a variabilidade das respostas adaptativas ocorra independente da idade e gênero, alguns fatores como o nível de atividade física, genética, estado nutricional de cada sujeito, e também da forma de como os protocolos de TF são prescritos (i.e., não individualizados) podem influenciar essas respostas (CHMELO *et al.*, 2015; AHTIAINEN *et al.*, 2016). Especificamente com relação a prescrição do TF, uma recuperação não individualizada do TF pode ocasionar uma ótima recuperação para alguns idosos, mas não para outros, podendo prejudicar as adaptações após um período de treinamento. Assim é plausível sugerir que a compreensão das diferenças individuais nas respostas neuromusculares e funcionais precisam ser melhor investigadas (CHMELO *et al.*, 2015; AHTIAINEN *et al.*, 2016), e talvez outras variáveis do TF (e.g., intensidade e volume) podem ter uma maior influência na variabilidade das adaptações do que a manipulação da recuperação individualizada das sessões de TF (i.e. frequência de TF).

Finalmente, o retorno ou não dos valores da RMSSD aos níveis basais não influenciaram as adaptações morfofuncionais para ambos os grupos. Apesar de agudamente a RMSSD ser alterada após sessões de TF (CHEN *et al.* 2011; DE OLIVEIRA *et al.* 2019), diferentemente do treinamento aeróbio, o controle individualizado do treinamento por meio da VFC não influenciou as respostas adaptativas ao TF. Nós sugerimos que futuros estudos investiguem os mecanismos da VFC e sua relação com as adaptações ao treinamento de força e aeróbio para tentar elucidar esses diferentes resultados.

## CONCLUSÃO

Um programa de TF realizado com recuperação individualizada por meio da RMSSD não promove maiores ganhos de força, hipertrofia e funcionalidade, e uma redução da variabilidade das adaptações quando comparados a um programa de TF com um intervalo fixo de recuperação em idosos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, a presente tese apresentou resultados de dois estudos que investigaram se a utilização da variabilidade da frequência cardíaca para a prescrição individualizada do intervalo de recuperação entre as sessões de TF promoveria maiores ganhos de força e massa muscular, e uma possível redução na variabilidade dessas adaptações em diferentes populações. E em especial nos idosos, foi verificado também se a prescrição individualizada do intervalo de recuperação entre as sessões promoveria maiores ganhos na funcionalidade, quando comparado com um intervalo fixo de recuperação.

Em ambos os estudos não verificamos maiores adaptações, e nem uma redução da variabilidade dessas adaptações quando realizamos um intervalo de recuperação individualizada utilizando a RMSSD. No entanto, interessante foi possível verificar que em sujeitos jovens, a VFC é uma ferramenta que pode monitorar o intervalo de recuperação individualizado entre sessões de TF ocasionando uma maior frequência semanal de TF, o que permitiu que alguns indivíduos tenham as mesmas adaptações que o grupo de recuperação fixo, porém em um menor período de tempo.

Especificamente com relação aos sujeitos idosos, pode-se sugerir que ao menos nas fases iniciais de TF, o intervalo de recuperação individualizado entre sessões de TF ocasionou uma maior frequência semanal de TF, porém essa maior frequência semanal de TF não promoveu maiores adaptações. Portanto, nossos resultados sugerem que de modo geral, um intervalo de recuperação de 48h entre as sessões de TF, o qual tem sido preconizado (ACSM, 2009b) parece adequado para uma grande parte dos idosos.

Sendo assim, é plausível sugerir que a compreensão das diferenças individuais nas respostas neuromusculares e funcionais precisam ser melhor investigadas, e talvez outras variáveis do TF (e.g., intensidade e volume) podem ter uma maior influência na variabilidade das adaptações do que a manipulação da recuperação individualizada das sessões de TF (i.e. frequência de TF).

## 6. REFERÊNCIAS

ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 7, p. 1510-30, Jul 2009a. ISSN 1530-0315 (Electronic) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19516148> >.

ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 3, p. 687-708, Mar 2009b. ISSN 0195-9131.

AGUIAR, A. F. et al. A single set of exhaustive exercise before resistance training improves muscular performance in young men. **Eur J Appl Physiol**, v. 115, n. 7, p. 1589-99, Jul 2015. ISSN 1439-6327 (Electronic) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25753776> >.

AHTIAINEN, J. P. et al. Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages. **Age (Dordr)**, v. 38, n. 1, p. 10, Feb 2016. ISSN 1574-4647 (Electronic) 0161-9152 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26767377> >.

ANGLERI, V.; UGRINOWITSCH, C.; LIBARDI, C. A. Crescent pyramid and drop-set systems do not promote greater strength gains, muscle hypertrophy, and changes on muscle architecture compared with traditional resistance training in well-trained men. **Eur J Appl Physiol**, v. 117, n. 2, p. 359-369, Feb 2017. ISSN 1439-6319.

AUBERT, A. E.; SEPS, B.; BECKERS, F. Heart rate variability in athletes. **Sports Med**, v. 33, n. 12, p. 889-919, 2003. ISSN 0112-1642 (Print) 0112-1642.

BARCELOS, C. et al. High-frequency resistance training does not promote greater muscular adaptations compared to low frequencies in young untrained men. **Eur J Sport Sci**, p. 1-6, May 31 2018. ISSN 1536-7290.

BELLENGER, C. R. et al. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Med**, v. 46, n. 10, p. 1461-86, Oct 2016. ISSN 0112-1642.

BORRESEN, J.; LAMBERT, M. I. Autonomic control of heart rate during and after exercise : measurements and implications for monitoring training status. **Sports Med**, v. 38, n. 8, p. 633-46, 2008. ISSN 0112-1642 (Print) 0112-1642.

BROWN, L. E.; WEIR, J. P. Accurate Assessment of Muscular Strength and Power JEPonline Journal of Exercise Physiologyonline ASEP Procedures Recommendation ASEP PROCEDURES RECOMMENDATION I: ACCURATE ASSESSMENT OF MUSCULAR STRENGTH AND POWER. **An International Electronic Journal**, v. 4, n. 3, p. 1-21, 2001. ISSN 10979751.

BROWN, L. E.; WEIR, J. P. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. **J of Exerc. Phys. Online**, v. 4, n. 3, 2001. ISSN 1097-9751.

BUCHHEIT, M. et al. Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. **Eur J Appl Physiol**, v. 108, n. 6, p. 1153-67, Apr 2010. ISSN 1439-6327 (Electronic) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20033207> >.

BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B.; AHMAIDI, S. Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 293, n. 1, p. H133-41, Jul 2007. ISSN 0363-6135 (Print) 0363-6135 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17337589> >.

BUCHNER, D. M. et al. Evidence for a non-linear relationship between leg strength and gait speed. **Age Ageing**, v. 25, n. 5, p. 386-91, Sep 1996. ISSN 0002-0729 (Print) 0002-0729.

CAMPOS, G. E. et al. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 1-2, p. 50-60, Nov 2002. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319.

CANDOW, D. G.; BURKE, D. G. Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 1, p. 204-7, Feb 2007. ISSN 1064-8011 (Print) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17313289> >.

CHEN, J. L. et al. Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. **J Strength Cond Res**, v. 25, n. 6, p. 1546-52, Jun 2011. ISSN 1533-4287 (Electronic) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21273908> >.

CHMELO, E. A. et al. Heterogeneity of physical function responses to exercise training in older adults. **J Am Geriatr Soc**, v. 63, n. 3, p. 462-9, Mar 2015. ISSN 0002-8614.

CHURCHWARD-VENNE, T. A. et al. There Are No Nonresponders to Resistance-Type Exercise Training in Older Men and Women. **J Am Med Dir Assoc**, v. 16, n. 5, p. 400-11, May 01 2015. ISSN 1538-9375 (Electronic) 1525-8610 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25717010> >.

COHEN, J. C. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. New York, NY: Routledge Academic. **New York, NY: Routledge Academic**, 1988.

DA SILVA, D. F. et al. Endurance Running Training Individually-Guided By Hrv In Untrained Women. **J Strength Cond Res**, May 30 2017. ISSN 1064-8011.

DAMAS, F. et al. Individual Muscle Hypertrophy and Strength Responses to High vs. Low Resistance Training Frequencies. **J Strength Cond Res**, Oct 4 2018. ISSN 1064-8011.

DAMAS, F. et al. 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 2016. ISSN 1439-6319.

DE OLIVEIRA, R. M. et al. Effect of individualized resistance training prescription with heart rate variability on individual muscle hypertrophy and strength responses. **Eur J Sport Sci**, p. 1-9, Jan 31 2019. ISSN 1536-7290.

FARINATTI, P. T. et al. Effects of different resistance training frequencies on the muscle strength and functional performance of active women older than 60 years. **J Strength Cond Res**, v. 27, n. 8, p. 2225-34, Aug 2013. ISSN 1064-8011.

FONSECA, R. M. et al. Changes in exercises are more effective than in loading schemes to improve muscle strength. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 11, p. 3085-92, Nov 2014. ISSN 1064-8011.

GENTIL, P. et al. Effects of equal-volume resistance training performed one or two times a week in upper body muscle size and strength of untrained young men. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 55, n. 3, p. 144-9, Mar 2015. ISSN 0022-4707 (Print) 0022-4707.

GUIZELINI, P. C. et al. Effect of resistance training on muscle strength and rate of force development in healthy older adults: A systematic review and meta-analysis. **Exp Gerontol**, v. 102, p. 51-58, Feb 2018. ISSN 0531-5565.

HAUTALA, A. et al. Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. **Clin Physiol**, v. 21, n. 2, p. 238-45, Mar 2001. ISSN 0144-5979 (Print) 0144-5979.

HEFFERNAN, K. S. et al. Heart rate recovery and heart rate complexity following resistance exercise training and detraining in young men. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 293, n. 5, p. H3180-6, Nov 2007. ISSN 0363-6135 (Print) 0363-6135 (Linking). Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17890428>>.

HOLM, L. et al. Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. **J Appl Physiol (1985)**, v. 105, n. 5, p. 1454-61, Nov 2008. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567 (Linking). Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18787090>>.

HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Med**, v. 30, n. 1, p. 1-15, Jul 2000. ISSN 0112-1642 (Print) 0112-1642.

HUBAL, M. J. et al. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. **Med Sci Sports Exerc**, v. 37, n. 6, p. 964-72, Jun 2005. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15947721> >.

JANSSEN, I.; HEYMSFIELD, S. B.; ROSS, R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. **J Am Geriatr Soc**, v. 50, n. 5, p. 889-96, May 2002. ISSN 0002-8614 (Print) 0002-8614.

JONES, C. J.; RIKLI, R. E.; BEAM, W. C. A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. **Res Q Exerc Sport**, v. 70, n. 2, p. 113-9, Jun 1999. ISSN 0270-1367 (Print) 0270-1367.

KARAVIRTA, L. et al. Heart rate dynamics after combined strength and endurance training in middle-aged women: heterogeneity of responses. **PLoS One**, v. 8, n. 8, p. e72664, 2013. ISSN 1932-6203.

KERKSICK, C. M. et al. Early-phase adaptations to a split-body, linear periodization resistance training program in college-aged and middle-aged men. **J Strength Cond Res**, v. 23, n. 3, p. 962-71, May 2009. ISSN 1064-8011.

KINGSLEY, J. D. et al. Autonomic modulation in resistance-trained individuals after acute resistance exercise. **Int J Sports Med**, v. 35, n. 10, p. 851-6, Sep 2014. ISSN 1439-3964 (Electronic) 0172-4622 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24816889> >.

KIVINIEMI, A. M. et al. Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. **Med Sci Sports Exerc**, v. 42, n. 7, p. 1355-63, Jul 2010. ISSN 0195-9131.

KIVINIEMI, A. M. et al. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. **Eur J Appl Physiol**, v. 101, n. 6, p. 743-51, Dec 2007. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319.

KRIEGER, J. W. Single vs. multiple sets of resistance exercise for muscle hypertrophy: a meta-analysis. **J Strength Cond Res**, v. 24, n. 4, p. 1150-9, Apr 2010. ISSN 1533-4287 (Electronic) 1064-8011 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20300012> >.

LASEVICIUS, T. et al. Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. **Eur J Sport Sci**, v. 18, n. 6, p. 772-780, Jul 2018. ISSN 1536-7290.

LIBARDI, C. A. The number of sessions required to stabilize peak torque and rate of torque development in isometric contractions in young, middle-age and older individuals. **Isokinetics and Exercise Science**, v. 24, p. 165-170, 2016.

LIXANDRAO, M. E. et al. Vastus lateralis muscle cross-sectional area ultrasonography validity for image fitting in humans. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 11, p. 3293-7, Nov 2014. ISSN 1064-8011.

NAKAMURA, F. Y. et al. Ultra-short-term heart rate variability is sensitive to training effects in team sports players. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 14, n. 3, p. 602-605, 2015. ISSN 1303-2968 (Electronic)\r1303-2968 (Linking).

NOBREGA, S. R. et al. Effect of Resistance Training to Muscle Failure vs. Volitional Interruption at High- and Low-Intensities on Muscle Mass and Strength. **J Strength Cond Res**, v. 32, n. 1, p. 162-169, Jan 2018. ISSN 1064-8011.

PASMA, J. H. et al. Walking speed in elderly outpatients depends on the assessment method. **Age (Dordr)**, v. 36, n. 6, p. 9736, 2014. ISSN 0161-9152.

PENTTILA, J. et al. Spontaneous baroreflex sensitivity as a dynamic measure of cardiac anticholinergic drug effect. **J Auton Pharmacol**, v. 21, n. 2, p. 71-8, Apr 2001. ISSN 0144-1795 (Print) 0144-1795.

PLEWS, D. J. et al. Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 11, p. 3729-41, Nov 2012. ISSN 1439-6319.

PLEWS, D. J. et al. Evaluating training adaptation with heart-rate measures: a methodological comparison. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 8, n. 6, p. 688-91, Nov 2013. ISSN 1555-0265 (Print) 1555-0265.

PLEWS, D. J. et al. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. **Sports Med**, v. 43, n. 9, p. 773-81, Sep 2013. ISSN 1179-2035 (Electronic) 0112-1642 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23852425> >.

PODSIADLO, D.; RICHARDSON, S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. **J Am Geriatr Soc**, v. 39, n. 2, p. 142-8, Feb 1991. ISSN 0002-8614 (Print) 0002-8614.

RALSTON, G. W. et al. The Effect of Weekly Set Volume on Strength Gain: A Meta-Analysis. **Sports Med**, Jul 28 2017. ISSN 0112-1642.

RALSTON, G. W. et al. Weekly Training Frequency Effects on Strength Gain: A Meta-Analysis. **Sports Med Open**, v. 4, n. 1, p. 36, Aug 3 2018. ISSN 2199-1170 (Print) 2198-9761.

RAMIREZ-CAMPILLO, R. et al. High-speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women. **Exp Gerontol**, v. 58, p. 51-7, Oct 2014. ISSN 0531-5565.

REEVES, N. D.; MAGANARIS, C. N.; NARICI, M. V. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. **Eur J Appl Physiol**, v. 91, n. 1, p. 116-8, Jan 2004. ISSN 1439-6319 (Print) 1439-6319 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14639480> >.

RHEA, M. R. et al. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. **Med Sci Sports Exerc**, v. 35, n. 3, p. 456-64, Mar 2003. ISSN 0195-9131 (Print) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12618576> >.

RONNESTAD, B. R. et al. Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 1, p. 157-63, Feb 2007. ISSN 1064-8011 (Print) 1064-8011.

SABOUL, D. et al. A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. **Eur J Sport Sci**, v. 16, n. 2, p. 172-81, 2016. ISSN 1536-7290 (Electronic) 1536-7290 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25657120> >.

SABOUL, D.; PIALOUX, V.; HAUTIER, C. The impact of breathing on HRV measurements: implications for the longitudinal follow-up of athletes. **Eur J Sport Sci**, v. 13, n. 5, p. 534-42, 2013. ISSN 1536-7290.

SARDELI, A. V. et al. Cardiovascular Responses to Different Resistance Exercise Protocols in Elderly. **Int J Sports Med**, v. 38, n. 12, p. 928-936, Nov 2017. ISSN 0172-4622.

SCHMITT, L.; REGNARD, J.; MILLET, G. P. Monitoring Fatigue Status with HRV Measures in Elite Athletes: An Avenue Beyond RMSSD? **Front Physiol**, v. 6, p. 343, 2015. ISSN 1664-042X (Print) 1664-042X (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26635629> >.

SCHMITT, L. et al. Typology of "Fatigue" by Heart Rate Variability Analysis in Elite Nordic-skiers. **Int J Sports Med**, v. 36, n. 12, p. 999-1007, Nov 2015. ISSN 1439-3964 (Electronic) 0172-4622 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26252552> >.

SCHOENFELD, B. J.; GRGIC, J.; KRIEGER, J. How many times per week should a muscle be trained to maximize muscle hypertrophy? A systematic review and meta-analysis of studies examining the effects of resistance training frequency. **J Sports Sci**, p. 1-10, Dec 17 2018. ISSN 0264-0414.

SCHOENFELD, B. J.; OGBORN, D.; KRIEGER, J. W. Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. **J Sports Sci**, v. 35, n. 11, p. 1073-1082, Jun 2017. ISSN 1466-447X (Electronic) 0264-0414 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27433992> >.

SCHUENKE, M. D. et al. Early-phase muscular adaptations in response to slow-speed versus traditional resistance-training regimens. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 10, p. 3585-95, Oct 2012. ISSN 1439-6319.

SHEPSTONE, T. N. et al. Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. **J Appl Physiol (1985)**, v. 98, n. 5, p. 1768-76, May 2005. ISSN 8750-7587 (Print) 0161-7567.

STANLEY, J.; PEAKE, J. M.; BUCHHEIT, M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. **Sports Med**, v. 43, n. 12, p. 1259-77, Dec 2013. ISSN 0112-1642.

TIGGEMANN, C. L. et al. Effect of traditional resistance and power training using rated perceived exertion for enhancement of muscle strength, power, and functional performance. **Age (Dordr)**, v. 38, n. 2, p. 42, Apr 2016. ISSN 0161-9152.

VAN ROIE, E. et al. Strength training at high versus low external resistance in older adults: effects on muscle volume, muscle strength, and force-velocity characteristics. **Exp Gerontol**, v. 48, n. 11, p. 1351-61, Nov 2013. ISSN 0531-5565.

VELLERS, H. L.; KLEEBERGER, S. R.; LIGHTFOOT, J. T. Inter-individual variation in adaptations to endurance and resistance exercise training: genetic approaches towards understanding a complex phenotype. **Mamm Genome**, Jan 22 2018. ISSN 0938-8990.

VESTERINEN, V. et al. Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 7, p. 1347-54, Jul 2016. ISSN 1530-0315 (Electronic) 0195-9131 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26909534> >.

WERNBOM, M.; AUGUSTSSON, J.; THOME, R. The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. **Sports Med**, v. 37, n. 3, p. 225-64, 2007. ISSN 0112-1642 (Print) 0112-1642 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17326698> >.

XIAO, W.; CHEN, P.; DONG, J. Effects of overtraining on skeletal muscle growth and gene expression. **Int J Sports Med**, v. 33, n. 10, p. 846-53, Oct 2012. ISSN 0172-4622.

## 7. ANEXOS

## Certificados do comitê de ética dos manuscritos 1 e 2



**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Efeito da manipulação individualizada do intervalo de recuperação entre as sessões de treinamento de força na força e hipertrofia muscular

**Pesquisador:** Ramon Martins de Oliveira

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 56626816.5.0000.5504

**Instituição Proponente:** Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 1.602.561

UFSCAR - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** EFEITOS DA RECUPERAÇÃO INDIVIDUALIZADA EM SESSÕES DE TREINAMENTO CONCORRENTE NA FORÇA E HIPERTROFIA MUSCULAR EM IDOSOS

**Pesquisador:** Ramon Martins de Oliveira

**Área Temática:**

**Versão:** 3

**CAAE:** 62381316.2.0000.5504

**Instituição Proponente:** Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 1.945.908

Manuscrito 1 publicado no periódico EUROPEAN JOURNAL OF SPORTS  
SCIENCE



European Journal of Sport Science



ISSN: 1746-1391 (Print) 1536-7290 (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/tejs20>

## Effect of individualized resistance training prescription with heart rate variability on individual muscle hypertrophy and strength responses

Ramon Martins de Oliveira, Carlos Ugrinowitsch, James Derek Kingsley, Deivid Gomes da Silva, Diego Bittencourt, Flávia Rossi Caruso, Audrey Borghi-Silva & Cleiton Augusto Libardi

To cite this article: Ramon Martins de Oliveira, Carlos Ugrinowitsch, James Derek Kingsley, Deivid Gomes da Silva, Diego Bittencourt, Flávia Rossi Caruso, Audrey Borghi-Silva & Cleiton Augusto Libardi (2019): Effect of individualized resistance training prescription with heart rate variability on individual muscle hypertrophy and strength responses, European Journal of Sport Science, DOI: [10.1080/17461391.2019.1572227](https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1572227)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1572227>



Published online: 31 Jan 2019.



Submit your article to this journal [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

## 8. RELATÓRIO DE ATIVIDADES

Colaborador nas coletas, análises dos resultados e escrita do projeto crônico intitulado **“Efeito agudo e crônico da hipóxia local durante o treinamento de força de alta e baixa intensidade na ativação, força e massa muscular em indivíduos jovens** Publicado na revista revista *Frontiers Physiology*.

Colaborador nas coletas e análises dos resultados do projeto agudo intitulado **“Efeitos de sistemas de treinamento de resistência drop-set e piramidal na hipóxia muscular”**. Submetido para a revista *European Journal of Sport Science*.

Coordenador das coletas, análises de resultados e escrita do projeto crônico intitulado **“Efeito da prescrição individualizada com o uso da variabilidade da frequência cardíaca no treinamento de força em respostas individuais da força muscular e hipertrofia”**. Publicado na revista *European Journal of Sport Science*. **Manuscrito 1 da tese**.

Coordenador das coletas, análises de resultados e escrita do projeto crônico intitulado **“A utilização da variabilidade da frequência cardíaca para prescrição individualizada do treinamento de força em idosos”** Em fase final de escrita. **Manuscrito 2 da tese**.

Colaborador nas coletas, análises de resultados do projeto crônico intitulado **“Low-intensity resistance training performed to failure or near muscle failure do not promote additional gains in strength, hypertrophy and functionality of elderly”**. Em fase final de escrita.

Estágio sanduiche (PDSE) na Kent State University (Ohio – USA) no período de 6 meses, sob a supervisão do prof. Dr. James Derek Kingsley.

Colaborador nas coletas, análises de resultados e publicação do artigo intitulado **“Autonomic modulation and baroreflex sensitivity after acute resistance exercise: responses between sexes”** em parceria com a Kent State University. Publicado na *The Journal of sports medicine and physical fitness*.

Apresentação Oral dos dados parciais do manuscrito 2 no CONBRAMANE – Londrina - PR.