



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - RIO CLARO



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DESENVOLVIMENTO HUMANO E
TECNOLOGIAS
(MESTRADO)**

**EFEITO DO TREINAMENTO RESISTIDO NA TAXA DE DESENVOLVIMENTO DE
FORÇA: REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE**

Pedro de Camargo Guizelini

Orientadora: Profa. Dra. Camila Coelho Greco

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre no Programa de Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Área de Tecnologias e Desempenho Humano).

Março - 2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CAMPUS DE RIO CLARO**

**Efeito do treinamento resistido na taxa de desenvolvimento de força: Revisão
sistemática e meta-análise**

**Pedro de Camargo Guizelini
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Camila Coelho Greco**

**RIO CLARO
Março – 2018**

796.077 Guizelini, Pedro de Camargo
G969e Efeito do treinamento resistido na taxa de desenvolvimento de força: revisão sistemática e meta-análise / Pedro de Camargo Guizelini. - Rio Claro, 2018
69 f. : il., figs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientadora: Camila Coelho Greco

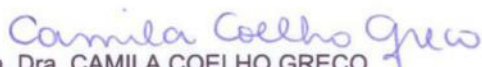
1. Esportes - Treinamento técnico. 2. Taxa de desenvolvimento de força. 3. Neuromuscular. 4. Exercício resistido. 5. Força explosiva. 6. Ação muscular. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

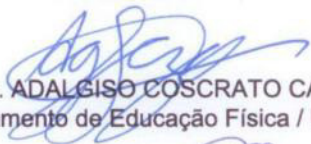
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFÉITO DO TREINAMENTO RESISTIDO NA TAXA DE DESENVOLVIMENTO DE FORÇA: REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE

AUTOR: PEDRO DE CAMARGO GUIZELINI
ORIENTADORA: CAMILA COELHO GRECO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em DESENVOLVIMENTO HUMANO E TECNOLOGIAS, área: TECNOLOGIAS NAS DINÂMICAS CORPORAIS pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. CAMILA COELHO GRECO
Departamento de Educação Física / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP



Prof. Dr. ADALGISO COSCRATO CARDOZO
Departamento de Educação Física / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP



Prof. Dr. RENATO APARECIDO CORRÊA CARITÁ
Departamento de Educação Física / Faculdade de Americana - SP

Rio Claro, 28 de fevereiro de 2018

RESUMO

A inclinação da curva força-tempo, obtida durante contrações voluntárias explosivas é definida como taxa de desenvolvimento de força (TDF). Como a TDF reflete a capacidade de desenvolver rapidamente força muscular, ela tem sido considerada uma importante ferramenta para a análise de performance desportiva, principalmente em esportes onde contrações explosivas e/ou ações funcionais (locomoção e manutenção do equilíbrio) são necessárias. Vários protocolos de treinamento com diferentes características (intensidade, número de series, número de repetições, duração) têm produzido melhora significativa na TDF. Nesses estudos, vários mecanismos fundamentais para a melhora da TDF foram identificados. No entanto, não há clareza sobre os efeitos que diferentes aspectos do treinamento – tais como o tipo de contração, a velocidade da contração, especificidade de posição corporal entre teste e treinamento e a duração do treinamento - têm sobre a melhora da TDF. Sendo assim, esses aspectos continuam elusivos e são necessárias mais evidências. Então, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a influência do treinamento resistido na TDF em adultos. Adicionalmente, o objetivo da presente meta-análise foi investigar, através da meta regressão, os efeitos das variáveis específicas de treinamento: 1) intenção de realizar o movimento de forma explosiva, independente da velocidade; 2) tipo de treinamento; 3) especificidade; 4) duração total do treinamento na TDF. A busca sistemática na literatura foi realizada em bases de dados eletrônicas até Marco de 2017, e os estudos descrevendo o efeito do treinamento resistido na TDF em adultos saudáveis foram considerados elegíveis. Dezoito estudos relevantes foram incluídos após a revisão sistemática, compreendendo um total de 527 indivíduos saudáveis. O treinamento

resistido proporcionou um efeito benéfico moderado na TDF (% mudança = 27,17, 95%LC 18,22 a 36,81, $p < 0,001$). O treinamento resistido realizado com ações musculares explosivas e alta velocidade de contração (i.e., treinamento explosivo) teve um efeito superior na melhora da TDF quando comparado ao treinamento isométrico e de força. No entanto, as contrações musculares explosivas realizadas durante o treinamento de força (i.e., alta carga e baixa velocidade) e o treinamento isométrico não parecem ser capazes de induzir a uma maior melhora de TDF do que o treinamento sem contrações musculares explosivas. Assim, até o momento, ainda não é possível se identificar se a elevada TDF contrátil por si só é o principal estímulo do treinamento para a melhora da TDF na fase inicial da contração (i.e., < 100 ms).

Palavras-chaves: Neuromuscular. Exercício resistido. Força explosiva. Ação muscular.

ABSTRACT

The slope of the moment (force)-time curve recorded during explosive voluntary contractions has been defined as the rate of force development (RFD). Since RFD reflects the capacity to rapidly develop muscle force, it has been considered an important tool for the analysis of sports performance, specifically in explosive-type sports and functional tasks (e.g. locomotion and postural balance). Several training protocols with different characteristics (intensity, number of sets, number of repetitions, duration) have produced significant improvement in RFD. In these studies, mechanisms have been identified that are important for RFD enhancement after different resistance training protocols. However, there is no clarity about the effects of different training variables – such as contraction type, contraction speed, body position specificity between training and testing and training duration – on RFD. Therefore, these aspects remain elusive and more data is needed. Thus, the purpose of the present systematic review and meta-analysis is to determine the general effects of resistance training on RFD in adults. Furthermore, the present meta-analysis, using meta-regression, examines how specific training variables, such as: 1) intention of performing explosive muscle actions irrespective of high velocity movements; 2) training type; 3) specificity; and 4) total training duration affect RFD. A systematic literature search on electronic databases was performed up to March 2017, and the studies describing the resistance training effect on RFD in healthy adults were considered eligible. Eighteen relevant studies were included after systematic review, comprehending a total of 527 healthy individuals. Resistance training yielded a moderate beneficial effect on RFD (% change = 27.17, 95%CI 18.22 to 36.81, $p < 0.001$). Resistance training performed with explosive muscle actions and high

contraction velocity (i.e., explosive training) had a superior effect on RFD improvement, when compared to isometric and strength training. However, explosive muscle contractions performed during strength training (i.e., high loads and low velocity) and isometric training don't seem to be able to induce a higher RFD improvement when compared to training without explosive muscle contractions. Thus, the actual data does not allow identifying the high contractile RFD per se, as the main training stimulus for early RFD enhancement. (i.e., < 100 ms).

Keywords: Neuromuscular. Resisted exercise. Explosive force. Muscle action.

LISTA DE ABREVIATURAS

TDF = taxa de desenvolvimento de força

$\Delta f/\Delta t$ = quociente da variação da força pela variação do tempo

TDFpico = pico da taxa de desenvolvimento de força

RM = repetições máximas

CVM = contração voluntária máxima

EMG = eletromiografia

CON = concêntrica

ECC = excêntrica

SMD = *standardized mean difference*

DMP = Diferença média padronizada

LC = limite de confiança

T = valor real da variação percentual entre os estudos

IC = intervalo de confiança

FM = frequência mediana

HL = Treinamento com altas cargas

HLEA = Treinamento com altas cargas e ação explosiva

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos sujeitos analisando o efeito do treinamento na taxa de desenvolvimento de força, dos estudos selecionados para a meta-análise.....	46
Tabela 2 - Efeito do treinamento na taxa de desenvolvimento de força e força muscular, de acordo com co-variáveis categóricas e contínuas.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma mostrando as diferentes fases da pesquisa e seleção dos estudos a serem incluídos na meta-análise.....	40
Figura 2 - Efeito de diferentes tipos de treinamento de força na taxa de desenvolvimento de força.....	49
Figura 3 - Análise de meta-regressão para o efeito do tipo de treinamento na mudança da taxa de desenvolvimento de força.....	49
Figura 4 - Análise de meta-regressão para o efeito de ação muscular na mudança da taxa de desenvolvimento de força.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	15
2.1 Geral	15
2.2 Específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Aspectos gerais da taxa de desenvolvimento de força	16
3.2 Fases da taxa de desenvolvimento de força	19
3.3 Efeito do treinamento resistido na taxa de desenvolvimento de força	21
<i>3.3.1 Adaptações centrais</i>	21
<u>3.3.1.1 Frequência de disparo das unidades motoras</u>	21
<u>3.3.1.2 Sincronização das unidades motoras</u>	22
<u>3.3.1.3 Reflexo espinhal</u>	23
<i>3.3.2 Adaptações periféricas</i>	24
<u>3.3.2.1 Fibras musculares</u>	24
<u>3.3.2.2 Tamanho muscular</u>	26
<u>3.3.2.3 Stiffness de estruturas tendinosas</u>	27
3.4. Fatores relacionados à resposta da taxa de desenvolvimento de força ao treinamento resistido	28
3.4.1 <i>Idade</i>	28
3.4.2 <i>Experiência prévia com treinamento</i>	29
3.4.3 <i>Intenção de realizar ações musculares explosivas</i>	30
3.4.4 <i>Tipo de contração muscular</i>	31
3.4.5 <i>Duração do treinamento</i>	33
3.4.6 <i>Especificidade de posição corporal</i>	34
3.4.7 <i>Tipo de treinamento</i>	35
4. MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1 Revisão Sistemática	38
4.1.1 <i>Busca na literatura</i>	38
4.1.2 <i>Critérios de inclusão e exclusão</i>	38
4.1.3 <i>Identificação dos estudos</i>	39
4.1.4 <i>Características dos estudos</i>	40
4.2 Meta-Análise	40

<i>4.2.1 Análise e interpretação dos resultados</i>	41
<i>4.2.2 Modelo de efeitos</i>	41
<i>4.2.3 Viés de publicação</i>	42
<i>4.2.4 Heterogeneidade e variância</i>	42
<i>4.2.5 Meta-regressão</i>	43
5 RESULTADOS	45
6 DISCUSSÃO	51
6.1 Ação muscular explosiva	51
6.2 Tipo de treinamento	52
6.3 Especificidade	53
6.4 Duração do treinamento	54
7 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	69

1 INTRODUÇÃO

A taxa de desenvolvimento de força (TDF), definida como a inclinação da curva força-tempo (AAGAARD et al., 2002), expressa a capacidade de desenvolver força muscular rapidamente, e tem sido considerada uma importante ferramenta para a avaliação da performance desportiva, principalmente em esportes onde contrações explosivas são importantes para o rendimento, como também durante ações funcionais nas quais o rápido aumento da força muscular é importante tanto para a locomoção, como também para a manutenção do equilíbrio corporal (TILLIN et al., 2013). Vários protocolos de treinamento resistido, com diferentes características (por exemplo, intensidade, número de séries, número de repetições, duração) têm produzido melhora significativa na TDF. O estudo de Blazevich et al. (2008), por exemplo, avaliou o tipo de contração do treinamento resistido, na TDF dos músculos extensores do joelho. Neste estudo, dois grupos experimentais (treinamento concêntrico e treinamento excêntrico) realizaram os protocolos de treinamento com a utilização da mesma amplitude de movimento, durante 10 semanas e frequência semanal de três sessões. Os dois protocolos de treinamento foram realizados com 4 a 5 séries, 6 repetições cada série, e 1 minuto de descanso entre cada série. Ao fim do estudo, não foram encontradas diferenças estatísticas entre os grupos para a TDF, que aumentou de forma similar em ambos os grupos, nos diferentes intervalos de tempo após o início da contração (30, 50, 100 e 200 ms). Os autores discutem que, de um ponto de vista prático, não há benefícios em se realizar o treinamento de apenas uma fase.

Em outro estudo, Irmischer et al. (2004) investigaram o efeito de um programa de prevenção de lesão ligamentar em forças de impacto, em mulheres. As voluntárias eram ativas, e o treinamento ocorreu ao longo de 9 semanas. Nas primeiras quatro semanas, foram realizados quatro exercícios de baixa intensidade por sessão. Nas cinco semanas seguintes, o volume foi aumentado para seis exercícios de baixa intensidade por sessão. A TDF foi medida em uma plataforma de força. Houve uma redução significativa (26,4%) do pico de impacto de forças na aterrissagem após o período de treinamento. Além disso, a TDF na aterrissagem também aumentou em 27,3%. Os autores sugeriram que o treinamento pliométrico parece auxiliar na redução do risco de lesões, diminuindo as forças de impacto na aterrissagem.

Gruber et al. (2007) investigaram os efeitos de um protocolo de treinamento sensoriomotor em comparação a um protocolo de treino balístico, na TDF. Os exercícios do grupo sensoriomotor eram realizados em plataformas onde o objetivo era manter a maior estabilidade possível. Eram realizadas quatro séries de quatro exercícios diferentes, com 20 s de duração e 40 s de descanso. O grupo de treinamento balístico foi instruído a realizar o movimento da forma mais rápida e forte o possível, nos dois exercícios. O primeiro consistiu de quatro séries de 10 repetições de flexão plantar (carga 30-40% RM). O descanso entre as repetições era de 2 s, e de 3 minutos entre as séries e exercícios. O segundo exercício seguiu os parâmetros do primeiro, e consistia de dorsiflexão. Como resultado, houve aumento significativo na TDF em ambos os grupos, independente da MVC. Porém, esse aumento teve maior magnitude no grupo de treinamento balístico. Através da EMG e estimulação supramáxima do nervo, os autores identificaram diferentes mecanismos relacionados ao aumento da TDF nos diferentes grupos experimentais; o aumento na TDF no grupo de treinamento balístico, foi acompanhado de aumentos na frequência mediana do espectro de potência (FM) e na atividade elétrica. O grupo de treinamento sensório-motor o aumento na TDF acompanhado apenas por aumento na FM. Portanto, as adaptações neurais podem ser influenciadas pelo tipo de treinamento.

Dentre esses e outros estudos, alguns mecanismos foram identificados como impactantes na possível influência de um determinado protocolo de treinamento na TDF, tais como: recrutamento de unidades motoras e taxa de disparo (DESMEDT e GODAUX, 1977; DUCHATEAU e ENOKA, 2011), ativação muscular (DEL BALSIO e CAFARELLI, 2007; BLAZEVIČH et al., 2009), tipo de fibra muscular (ANDERSEN e AAGAARD, 2006; HVID et al., 2010) e *stiffness* músculo-tendíneo (BOJSENMOLLER et al., 2005; KUBO et al., 2000). No entanto, não há clareza sobre o mais eficaz tipo e duração do treinamento para a melhora da TDF, tampouco se os regimes de treinamento utilizados atualmente são os mais eficientes para a melhora dessa variável em indivíduos sem experiência prévia com treinamento de força. Um fator que tem sido considerado importante na resposta da TDF ao treinamento é a intenção de realizar a contração rapidamente, independentemente da velocidade do movimento (BLAZEVIČH, 2012). Além disso, considerando o princípio da especificidade do treinamento também, tem sido proposto também que o aumento na TDF seria maior quando houvesse semelhança na posição do corpo durante as

condições de treinamento e teste. No entanto, esses aspectos continuam elusivos e são necessárias mais evidências.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo desta revisão sistemática com meta-análise foi analisar os efeitos gerais do treinamento resistido na TDF em indivíduos adultos.

2.2 Específicos

O objetivo da presente meta-análise foi investigar, através da meta regressão, os efeitos das seguintes variáveis específicas do treinamento:

- 1) Intenção de realizar o movimento de forma explosiva, independente da velocidade de movimento;
- 2) Tipo de treinamento;
- 3) Especificidade;
- 4) Duração total do treinamento.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais da taxa de desenvolvimento de força

Diversas funções neuromusculares podem ser aprimoradas e avaliadas por uma variedade de métodos. Durante o treinamento, aspectos como por exemplo o modo (concêntrica, excêntrica ou isométrica) e a velocidade de contração podem variar consideravelmente (KNUTTGEN e KRAEMER, 1987; HORTOBAGYI et al., 1989). Esta grande variabilidade de condições e métodos de treinamento e como também os métodos de avaliação das funções neuromusculares levou a muitas discrepâncias na literatura, particularmente na comparação dos efeitos de diferentes tipos de treinamento (KNUTTGEN e KRAEMER, 1987).

Uma variável que tem sido amplamente utilizada para se quantificar a capacidade de produção rápida de força é a taxa de desenvolvimento de força (TDF). Andersen e Aagaard (2006), propõem que a TDF é um parâmetro mecânico muscular influenciado por diversos aspectos, tais como proporção de fibras, área de secção transversa do músculo, propriedades viscoelásticas do complexo músculo-tendinoso e o *drive* neural. A TDF é expressa em $N \cdot s^{-1}$ ou $N \cdot m \cdot s^{-1}$ e obtida através da razão entre a variação da força e a variação do tempo ($\Delta f/\Delta t$). Em ações musculares isoladas, a TDF é calculada por meio da inclinação da curva de força x tempo. A TDF pode ser expressa de forma normalizada, utilizando os valores de força máxima, massa corporal, ou área de secção transversa (AAGAARD et al., 2002; SUETTA et al., 2004; WAUGH et al., 2013).

Tratando-se do meio esportivo, várias modalidades possuem tarefas realizadas em alta velocidade, onde o movimento é finalizado em 50-150 ms após iniciado (um golpe de karatê, um corte no vôlei, um drive no tênis de mesa, etc.), ou seja, em um intervalo no qual a força muscular máxima não pode ser alcançada, pois é necessário um tempo ≥ 300 ms de contração para permitir que a mesma seja atingida (THORSTENSSON et al., 1976). Nessas situações específicas, a produção rápida de força parece ter mais importância do que a força máxima. A fim de elucidar o efeito de diferentes tipos de treinos e a magnitude dos mesmos, sobre a TDF e a performance desportiva, Branislav et al. (2013) analisaram 33 jogadoras de voleibol e as dividiram em grupo controle, treinamento clássico e experimental. Durante as duas primeiras semanas, os grupos realizaram microciclos como forma de preparação específica para as quatro semanas seguintes. O treino do grupo

experimental consistiu de quatro ciclos pré competitivos de sete dias em alta intensidade. O treino consistia de agachamentos e *squat jumps* em intensidades máximas e submáximas, e de salto contra movimento realizado com diferentes alturas, combinados com exercícios de potência dos músculos do *core* (exercícios que envolvem o fortalecimento de regiões espinhal, mais especificamente da região lombopélvica) (RICHARDSON et al., 1995). Neste estudo, o grupo de treinamento clássico não realizou exercícios pliométricos. Para este grupo, o treino era composto por exercícios para melhora da resistência, potência dos músculos do *core*, velocidade e agilidade, utilizando exercícios específicos aos movimentos realizados durante um jogo de voleibol. Encontrou-se, nos resultados, uma correlação significativa do pico de força isométrica e da TDF pico com a performance do salto vertical. O grupo de treinamento experimental também apresentou uma melhora mais acentuada na força explosiva, em relação aos grupos controle e clássico.

A TDF também é de extrema importância em ações funcionais, tal como a manutenção de equilíbrio. De fato, o risco de quedas em idosos é significativamente maior (COMMODORE, 1995), pois neste momento da vida podem haver comprometimentos importantes relacionados à capacidade de produção de força muscular (GRIMBY, 1995). Em um interessante estudo, Moreland et al. (2004) conduziram uma revisão sistemática com meta-análise para investigar a relação entre a fragilidade muscular e quedas em idosos. Em seus resultados, os autores demonstraram que a fraqueza dos músculos dos membros inferiores é estatisticamente significativa para o risco de quedas.

No entanto, tem sido sugerido que a produção de força para manutenção do equilíbrio deve ser realizada de forma rápida (MISZKO et al., 2003). Lopes et al. (2016) conduziram um estudo a fim de comparar os efeitos de treinamento de força e de potência na força de membros inferiores, capacidade funcional e equilíbrio estático e dinâmico, em mulheres idosas. A intervenção durou 12 semanas, e o treinamento de força foi realizado três vezes por semana (36 sessões). O treinamento consistia de cinco minutos de aquecimento na esteira, seguidos de sete exercícios resistidos, e cinco minutos de volta à calma (exercícios de alongamento). O grupo que treinou potência realizou a fase concêntrica dos movimentos o mais rápido possível, com intervalo de três minutos entre as séries. A carga inicial foi de 40% de uma repetição máxima (1RM), aumentando entre 6-8% a cada duas semanas. O grupo de força realizou a fase concêntrica e excêntrica a dois segundos

cada, com um minuto de intervalo entre as séries. A carga inicial foi de 60%1RM, aumentando conforme os participantes conseguissem realizar mais de oito repetições na última série. Houve melhora de variáveis funcionais (locomoção, equilíbrio, agilidade e flexibilidade) apenas no grupo do treinamento de potência. Os testes para avaliação dessas capacidades foram o de endurance aeróbia (teste de andar por 6 minutos), flexibilidade (teste de sentar e alcançar), teste de força dos membros inferiores (teste de sentar e levantar durante 30 s) e teste de equilíbrio dinâmico (*time up and go*). De acordo com os autores, a melhora nestas variáveis pode estar relacionada com a fase preparatória, força muscular e TDF. Além disso, as adaptações nas unidades motoras podem aumentar a produção de força e a TDF, ambas relacionadas à capacidade funcional de idosos (HAKKINEN et al., 2001). Portanto, o treinamento de potência parece ser eficiente quando o objetivo envolver melhoras na capacidade funcional e TDF (LOPES et al., 2016).

Ainda se tratando de aspectos funcionais da TDF, Andersen e Aagaard (2006) investigaram as diferentes fases da TDF e os mecanismos fisiológicos que poderiam influenciar na TDF em diferentes períodos de tempo. Os autores discutem em seu estudo que, ao relacionar a TDF medida isometricamente com a performance, o intervalo de tempo para o início da contração deve ser equivalente à duração do movimento analisado.

Quanto ao efeito do treinamento na TDF, Aagaard et al. (2002) conduziram um estudo onde 15 homens realizaram um treino resistido de alta intensidade durante 14 semanas. Nas últimas quatro semanas de treinamento, a carga e número de séries foram aumentadas (de 10-12 RM para 4-6 RM). A TDF foi medida através da extensão de joelho em isometria, no ângulo de 70°. Os voluntários eram instruídos a realizar a contração da forma mais rápida e forte o possível. Após o período de treinamento, a TDF aumentou em 23-26% quando medida na fase inicial (0-50 ms), e em 17-20% quando medida na fase mais tardia da contração (100-200 ms). Os autores discutem que o aumento do *drive* neural, primariamente, pode resultar em um aumento na frequência de disparo dos neurônios motores, embora o fenômeno não sido abordado diretamente pelo estudo.

Portanto, o treinamento neuromuscular que envolvam estímulos que promovam o aumento da TDF pode contribuir tanto para a melhora na performance desportiva como para uma melhor capacidade funcional.

3.2 Fases da taxa de desenvolvimento de força

Além da determinação da TDF pico, que ocorre entre os intervalos de 50 e 100 ms (BUCKTHORPE et al., 2012), a TDF tem sido analisada também em diferentes momentos após o início da contração muscular. Andersen e Aagaard (2006) sugeriram que a TDF poderia ser influenciada por diferentes mecanismos em diferentes intervalos após o início da contração, e realizaram um estudo para investigar esses mecanismos, pois, de fato, diferentes atividades realizadas de forma explosiva podem possuir diferentes durações (aproximadamente 80 ms para um chute vs. aproximadamente 250 ms para um salto vertical). Neste estudo, participaram vinte e cinco homens saudáveis, e as variáveis TDF e CVM foram obtidas através de contrações isométricas máximas de extensão do joelho a 90°. Para determinação das propriedades contráteis do músculo vasto lateral, foram utilizados eletrodos de estimulação de superfície, com aumento da corrente separadas por períodos de descanso de 30 s, até que houvesse estabilização do valor da amplitude (em graus) da contração. Os parâmetros observados foram a TDF pico (determinada como o ponto mais alto da parte ascendente da curva de torque, derivada em intervalos sucessivos de dois ms), o tempo de contração para a TDF pico, metade do tempo de relaxamento e o pico de torque. Os autores demonstraram que, enquanto a força máxima é responsável por aproximadamente 52-81% da TDF em fases mais tardias (a partir de 90 ms), a TDF numa fase bem inicial (< 40 ms) foi moderadamente relacionada às propriedades evocadas do músculo ($r = 25\%$). Estes resultados confirmam que a TDF pode ser influenciada por diferentes mecanismos em diferentes momentos da contração. Assim, o intervalo de tempo após o início da contração deve ser considerado, ao se analisar as respostas durante uma contração isométrica e a relação com a performance.

Outros estudos foram realizados acerca das diferentes fases da TDF e os mecanismos que as influenciam. Mais recentemente, Andersen et al. (2010) propuseram que a TDF denominada inicial parece estar mais relacionada às características musculares intrínsecas (tais como tipo de fibras e composição da cadeia pesada de miosina), e a TDF classificada como tardia tem maior associação com os fatores que promovem ganhos de força máxima, como o *drive* neural e propriedades musculares periféricas. Neste estudo, os autores verificaram que o aumento na TDF tardia induzido pelo treinamento foi relacionado ao aumento da força máxima. Participaram do estudo, 15 adultos sedentários e saudáveis, que

durante um período de 14 semanas, treinaram aproximadamente 38 vezes (em torno de três vezes/semana. As cargas e volume aumentaram no decorrer do programa de treinamento, e os participantes eram instruídos a levantar os pesos de maneira lenta e controlada. A TDF foi medida no dinamômetro, de forma isométrica, e foram extraídos e analisados os valores em forma de janelamento (0-10 ms, 0-20 ms, 0-20 ms...0-250 ms). Ao fim do programa de treinamento, o grupo de treinamento resistido aumentou em 11% a TDF a 250 ms do início da contração, valor positivamente correlacionado à CVM. A TDF inicial, no entanto, sofreu um decréscimo (0-50 ms), correlacionado à diminuição da área de fibras musculares tipo IIx. Conclui-se, então, que pode haver uma relação importante entre o aumento de força muscular e o decréscimo de proporção de fibras rápidas, tratando-se de mudanças na TDF inicial. Quanto à velocidade de contração, os autores afirmam que o não-aumento da TDF inicial está relacionado à maneira lenta e controlada em que os treinamentos foram conduzidos, e que o aumento da TDF tardia foi relacionado ao aumento da CVM.

Para examinar as mudanças da TDF inicial e tardia ao treinamento resistido de alta velocidade, de Oliveira et al. (2013a) realizaram um estudo onde 18 homens ativos foram divididos entre grupo controle e grupo de treinamento de alta velocidade. O treinamento foi realizado em um dinamômetro, com contrações isocinéticas ($180^{\circ} \cdot s^{-1}$). O grupo que recebeu a intervenção, treinou três vezes por semana durante seis semanas, e os indivíduos do grupo controle mantiveram sua rotina. Os participantes completavam cinco minutos de aquecimento em um ciclo ergômetro estacionário, a 50 e 70 rpm, e os testes neuromusculares eram realizados três minutos depois. O teste isométrico consistia de duas contrações máximas de cinco segundos, de extensão de joelho. O tempo de descanso entre as contrações foi de 30 s, e os participantes eram instruídos a realizar a contração da forma mais rápida e forte possível. Na primeira semana foram realizados três séries de dez repetições. Na segunda semana, o número de repetições aumentou para 12. Da terceira à quinta semana, aumentou-se uma série por semana, mantendo o número de repetições em dez. Na última semana, o volume foi o mesmo da quarta semana (quatro séries de dez repetições). Os indivíduos tinham dois minutos de descanso entre as séries. Foi observado uma mudança significativa na TDF a 0-10 ms, 0-90 ms (39,2 e 71,3%, respectivamente) e na TDF relativa à CVM, a 0-10 ms até 0-70 ms (33,5 e 56,2%, respectivamente), no grupo que realizou o treinamento resistido

de alta velocidade. Em contrapartida, o grupo controle não apresentou mudanças. Esses resultados podem ser explicados pelas diferentes adaptações ao treinamento de força, realizado em alta velocidade, e as respostas a esse tipo de treinamento podem ter influência mais expressiva na fase inicial da TDF.

3.3 Efeito do treinamento resistido na taxa de desenvolvimento de força

3.3.1 Adaptações centrais

Adaptações de mecanismos fisiológicos associados à contração muscular, após o treinamento de força muscular podem estar relacionados ao sistema nervoso central, ou podem estar diretamente ligados à propriedades intrínsecas do músculo (EDGERTON, 1981; KOMI et al., 1978). As adaptações denominadas neurais são essencialmente relacionadas a mudanças na coordenação e aprendizado de certas tarefas, para facilitação e melhora nos padrões de recrutamento de unidades motoras de músculos específicos durante determinadas tarefas que envolvem um nível elevado de aplicação de força muscular. De maneira geral, são classificadas como centrais as mudanças que ocorrem até a junção neuromuscular. Uma adaptação que é bastante importante é o aumento de unidades motoras ativadas gerado pelo aumento no *drive* neural. Interessantemente, em indivíduos com maior TDF é visto uma atividade neuromuscular maior no início da contração (DE RUITER et al., 2004; DEL BALSIO E CAFARELLI, 2007).

3.3.1.1 Frequência de disparo das unidades motoras

A frequência de disparo das unidades motoras é influenciada positivamente pelo treinamento de força muscular. Com o fim de investigar a influência de adaptações relacionadas à idade e treinamento na frequência máxima de disparo das unidades motoras, Christie e Kamen (2010) realizaram um estudo envolvendo 30 indivíduos jovens e 30 indivíduos idosos. A intervenção consistiu de um protocolo de treinamento isométrico de força dos músculos dorsiflexores, 3 vezes por semana, durante 2 semanas, onde os sujeitos realizaram 3 séries de 10 contrações voluntárias máximas (CVMs) de 5 s. Os autores observaram, então, um aumento de 7% e 24% na frequência de disparo (para os grupos jovem e idoso, respectivamente). Esses dados sugerem que a taxa de disparo responde de forma positiva ao treinamento, tendo uma mudança de maior magnitude no grupo com

indivíduos de maior idade. No entanto, a correlação moderada entre a CVM pré-pós e a taxa de disparo ($r = 0,40$) sugere que outros fatores possam também ter contribuído para o aumento da força observado após o período de treinamento.

Em outro estudo, Van Cutsem et al. (1998) analisaram o efeito de um treinamento resistido de alta intensidade (contrações balísticas), de 3 meses, nas adaptações neuromusculares, e sua associação com a TDF durante contrações voluntárias. Verificaram uma ativação de unidades motoras mais precoce, e uma maior taxa de disparo, durante contrações balísticas. Os *doublets* (dois pulsos emitidos a uma frequência regular, em um curto intervalo de tempo), também foram identificados, e variaram de 5,2% (pré-treinamento) até 32,7% (pós-treinamento). Neste estudo, os autores sugeriram que o aumento da CVM e da velocidade da contração voluntária balística foram mediados principalmente por adaptações neurais.

3.3.1.2 Sincronização das unidades motoras

Tem sido proposto na literatura que o treinamento com carga baixa demonstra induzir mudanças no córtex motor relacionadas à organização do movimento. Perez et al. (2004) realizaram um estudo para investigar o efeito de um protocolo de treinamento na excitabilidade cortical motora de músculos da perna. Para o treinamento de habilidade motora, os sujeitos realizavam movimentos de dorsiflexão e flexão plantar, observando na tela do computador, que mostrava aos voluntários figuras relacionadas a esses movimentos. Para o outro grupo que realizou treinamento, os voluntários realizavam esses mesmos movimentos de forma contínua e voluntária. O protocolo passivo era semelhante ao protocolo de habilidade motora, porém o avaliador realizava os movimentos para o sujeito. Neste estudo, foi verificado que a performance motora foi melhorada após o treinamento de habilidade motora, mas permaneceu o mesmo após os outros dois protocolos.

A sincronização das unidades motoras está relacionada com o tempo dos potenciais de ação descarregados por unidades motoras ativas (FOLLAND e WILLIAMS, 2007). Após analisar esse aspecto em diferentes indivíduos, Milner-Brown et al. (1975) observaram que os indivíduos que realizavam tarefas manuais que exigiam uma grande quantidade de força em pequenos intervalos de tempo (trabalhos em construção e motorista de ônibus, por exemplo), apresentavam maior sincronização das unidades motoras. No entanto, ainda não é conhecido de que

forma a sincronização das unidades motoras pode aumentar a força máxima (RACK e WESTBURY, 1969).

3.3.1.3 Reflexo espinhal

Há mudanças na ativação muscular inicial que podem ser observadas após um período de treinamento, tais como a amplitude da EMG e taxa de aumento e amplitude do reflexo H (ou reflexo de Hoffman), que representa a reação reflexa de músculos após estimulação elétrica de fibras sensoriais, em seus nervos (ZEHR, 2012).

Del Balso e Cafarelli (2007) observaram um aumento de 60% na EMG de superfície e 49% na taxa de ativação elétrica do músculo sóleo, ao longo de 4 semanas de treinamento resistido, onde os voluntários realizaram o treinamento 3 vezes por semana, consistindo de 6 séries de 10 contrações voluntárias máximas (com duração de 3-4 s), com os músculos flexores plantares da perna direita. Para explicar estas adaptações foi sugerido que mudanças no recrutamento de unidades motoras, frequência de disparo, e sincronização dos potenciais de ação das unidades motoras contribuíram para estas respostas. Tratando-se da TDF, Del Balso e Cafarelli (2007) ainda explicam que um aumento na taxa de ativação muscular no início da contração provavelmente contribui para o aumento da TDF.

Mudanças nas frequências de disparo têm grande magnitude no recrutamento de fibras motoras e, conseqüentemente, na produção rápida de força. Em indivíduos não treinados, esta frequência de disparo no início de uma contração rápida atinge valores entre 60-120 Hz. Em indivíduos treinados, essa frequência chega a 200 Hz (DESMEDT e GODAUX, 1978). Esses valores são entre 2 e 6 vezes maiores aos valores de frequência de disparo medidos em contrações isométricas sustentadas (DUCHATEAU e ENOKA, 2011). Portanto, o aumento na frequência de disparo das unidades motoras pode ser um fator importante para o aumento da TDF.

Mais recentemente, Folland et al. (2014) conduziram um estudo a fim de analisar a variabilidade interindividual na produção de força explosiva pelos músculos extensores do joelho, e definir as determinantes neurais e contráteis integrativas da produção de força explosiva, expressas em valores absolutos e relativos à CVM. Neste estudo, 40 participantes (20 homens e 20 mulheres) completaram uma sessão de familiarização e uma de testes, com 7 dias de intervalo. Foram realizadas, nesta ordem, CVMs, contrações explosivas voluntárias, contração

estimulada (torque evocado), e octeto de contrações estimuladas (oito pulsos a 300 Hz que desencadeiam a maior TDF possível). A TDF foi calculada para os intervalos de 0-50, 0-100 e 0-150 ms. Neste estudo, a EMG contribuiu para a variância na força explosiva durante todos os períodos de tempo, com uma maior participação nas fases iniciais (37%). Da mesma forma, uma contribuição importante ocorreu apenas no intervalo de 0-50 ms (37%) para a TDF. Além disso, a força voluntária máxima apresentou correlação significativa com a força explosiva absoluta em diferentes momentos da contração ($r = 0,59-0,95$). A força explosiva foi também correlacionada com a TDF durante os três intervalos ($r = 0,53-0,76$), mas essa contribuição foi modesta à mudança total, na análise de regressão durante o terceiro intervalo (100-150 ms). O valor de variância total na TDF relativa à força máxima, calculada pela análise de regressão, diminuiu de 60% para 31% durante os três intervalos, de forma consecutiva. A EMG dos músculos extensores do joelho foi identificada como maior contribuinte em todos os intervalos analisados (21-51%), mesmo tendo influenciado a TDF apenas no primeiro intervalo.

Nos estudos de Blazevich et al. (2008) e de Ruitter et al. (2012), encontrou-se correlação significativa entre mudanças na TDF induzidas pelo treinamento resistido de alta intensidade (de 4 a 10 semanas), e amplitude eletromiográfica, para os músculos extensores do joelho. Pode-se inferir, então, que adaptações neurais são um fator importante para a melhora na TDF através do treinamento (AAGAARD, 2003).

Assim, aspectos neurais parecem ter uma contribuição proporcionalmente maior na fase inicial da produção de força rápida (TDF inicial, < 100 ms). De qualquer forma, o entendimento da contribuição de mecanismos neurais e musculares na produção rápida de força em diferentes intervalos de tempo, pode ser um importante aspecto na estruturação de métodos de treinamentos específicos aos diferentes momentos da contração.

2.3.2 Adaptações periféricas

2.3.2.1 Fibras musculares

O aumento da área de secção transversa das fibras musculares tem sido considerado uma adaptação primária ao treinamento resistido (JONES et al., 1989). Esse aumento pode ser responsável pelo aumento de pontes transversas

aumentando, assim, a produção de força. De fato, Aagaard et al. (2001) verificaram uma associação entre as mudanças na área das fibras e no volume muscular. No entanto, Narici et al. (1996) não encontraram mudanças na área média das fibras, embora a área de seção transversa muscular ter aumentado em 19%. De acordo com Folland e Williams (2007), estes dados contraditórios da literatura podem ocorrer devido a aspectos como características adaptativas individuais e do protocolo de treinamento, ou em função também da baixa reprodutibilidade das técnicas de biópsia (FOLLAND e WILLIAMS, 2007).

O aumento da área de seção transversa com o treinamento parece ser diferente entre os diferentes tipos de fibra muscular, dependendo do tipo de treinamento. A hipertrofia de fibras do tipo II é mais comumente encontrada após protocolos de treinamento de força, em comparação às alterações em fibras do tipo I, em função da maior elasticidade das primeiras (HAKKINEN et al., 1981). Estudos sugerem que fibras do tipo II têm maior tensão e, combinando com sua maior elasticidade, essas fibras possivelmente contribuem para o aumento da tensão do músculo como um todo (FOLLAND e WILLIAMS, 2007). Ao se analisar o efeito do tipo de treinamento, protocolos que envolvem contrações de maior intensidade tendem a induzir adaptações predominantemente em fibras do tipo II. Já protocolos de resistência muscular, que envolvem menor intensidade e maior duração do exercício, tendem a gerar adaptações predominantemente nas fibras do tipo I.

Além dos efeitos claros do tipo de fibra e da taxa de descarga das unidades motoras – especialmente no início do desenvolvimento de força – especula-se uma possível interação entre essas variáveis. Em fibras do tipo II, a liberação de íons de cálcio é maior; sendo assim, o aumento de força por potencial de ação também é aumentado (LUFF e ATWOOD, 1971; SCHIAFFINO e MARGRETH, 1969). Em seguida, um aumento mais rápido na força do músculo é habilitado pelo fato de unidades motoras que contém fibras do tipo II geralmente possuírem velocidades de contração maiores, ocasionando com que o recrutamento no início da ação seja maior (DESMEDT e GODAUX, 1978). Também, a taxa de formação de pontes transversas é dependente dos íons de cálcio, sendo até 8 vezes mais rápida em fibras do tipo II (METZGER e MOSS, 1990). E, por fim, fibras do tipo II possuem uma maior densidade no canal de sódio, sendo assim mais propícios à condução de potenciais excitatórios resultantes de altas taxas de descarga (SCHIAFFINO e REGGIANI, 2011). Assim, fibras dos tipos IIa e IIx possuem características que as

tornam mais propensas a serem recrutadas através de um exercício de alta intensidade e estímulos mais potentes (SUETTA et al., 2004).

3.3.2.2 Tamanho muscular

Diversos estudos evidenciam que o treinamento resistido pode provocar respostas de hipertrofia – especialmente em indivíduos não treinados (GARFINKEL e CAFARELLI, 1992; HOUSH et al., 1992). No entanto, diversos fatores também podem ter influência nessas respostas.

Ao se analisar a resposta de diferentes grupos musculares ao treinamento, por exemplo, Wilmore (1974) observou uma maior resposta hipertrófica em músculos na parte superior do corpo, em comparação aos músculos localizados na parte inferior do corpo. Isso pode ocorrer em função dos músculos localizados na parte inferior do corpo estarem ativados habitualmente durante atividades de vida diária, assim respondendo em menor magnitude aos estímulos de treinamento (CURETON et al., 1988). Portanto, a resposta hipertrófica parece depender do estado de condicionamento do músculo analisado.

Diferenças de respostas hipertróficas também são observadas, quando a comparação entre os gêneros é feita. A força, tamanho da fibra muscular e tamanho de área de seção transversa muscular nas mulheres têm sido propostos como fatores importantes para explicar as proporções menores de mudanças na força muscular das mulheres (CURETON et al., 1988). No entanto, diversos estudos não encontraram diferenças significantes entre as respostas de hipertrofia e de força, entre homens e mulheres, após a realização do protocolo de treinamento resistido. No estudo de Hubal et al. (2005), por exemplo, o aumento do tamanho muscular (área de secção transversa) foi superior nos homens, em relação às mulheres, nos membros superiores (ganhos relativos na área de seção transversa do bíceps de 20,4% vs. 17,9%, respectivamente), após a realização de um protocolo de treinamento unilateral no braço não-dominante. As cargas foram progressivas e calculadas a partir do teste de 1RM. Em contrapartida, as mulheres obtiveram um ganho de força significativamente superior aos homens (64,1% versus 39,8% de ganho na 1RM, respectivamente). Neste estudo, os autores argumentam que isso pode ser decorrente do fato de que a força muscular em mulheres destreinadas ser relativamente menor do que a de homens destreinados.

Alguns estudos investigaram as respostas de hipertrofia entre jovens adultos e idosos ao treinamento resistido. Welle et al. (1996) analisaram o efeito de um protocolo de treinamento resistido em 9 jovens adultos e 9 idosos, por 3 meses, 3 vezes por semana, com cargas a 80% de 3 RM. Nos músculos flexores de joelho e cotovelo, houve uma resposta de menor magnitude, na hipertrofia em sujeitos idosos. No entanto, esta menor resposta hipertrófica não foi observada nos músculos extensores do joelho. Os autores discutem que, se a carga absoluta fosse semelhante (quantidade de peso levantado por área de secção transversa), talvez as respostas hipertróficas tivessem sido semelhantes. Os autores também afirmam que o efeito da idade na resposta de hipertrofia não deve ser generalizado para todos os grupos musculares. No entanto, é importante destacar que a força muscular pode apresentar aumento sem alteração da área de secção transversa (CAMPBELL et al., 1995).

As adaptações morfológicas também podem ter uma contribuição para o aumento da TDF com o treinamento (CORREA et al., 2012; ANDERSEN et al., 2010). Segundo o estudo de Andersen e Aagaard (2006), o coeficiente de correlação entre a TDF e a CVM aumenta, ao longo da contração. No momento 90 ms após o início da contração, a CVM foi responsável por 52-81% da variância na TDF voluntária. No intervalo de 0-50 ms, no entanto, a CVM apresenta uma correlação de menos de 30% com a TDF. Isso pode explicar algumas discrepâncias em estudos; considerando os resultados encontrados pelos autores, o intervalo de tempo onde a TDF será medida, influenciará significativamente na porcentagem de participação da força máxima.

3.3.2.3 Stiffness de estruturas tendinosas

A força contrátil é transferida por meio de tendões e aponeuroses (elementos do tecido conjuntivo). Portanto, os aspectos mecânicos dessas estruturas parecem ter uma função importante em relação ao armazenamento e liberação de energia elástica (KOMI e BOSCO, 1978; BOJSEN-MØLLER et al., 2005). Alguns estudos na literatura analisaram a relação entre propriedades mecânicas do complexo-músculo aponeurose e a TDF.

Bojsen-Møller et al. (2005) realizaram um estudo para investigar a relação entre as propriedades mecânicas do complexo-músculo aponeurose do quadríceps

e a performance durante ações musculares máximas isométricas e dinâmicas (CVM, TDF e altura de salto). Os sujeitos participavam de protocolos experimentais em 3 diferentes dias, separados entre si em pelo menos 72 h (Familiarização 1, Teste 1 e Teste 2). O protocolo era similar em todos os dias: 1) determinação da TDF e CVM durante a contração isométrica para os músculos extensores do joelho; 2) medidas das propriedades mecânicas do complexo tendão-aponeurose do músculo vasto lateral, e; 3) realização dos saltos *squat* e salto com contra movimento na plataforma de força. Os 16 indivíduos eram saudáveis e altamente treinados. Os autores encontraram uma correlação positiva entre a TDF e o *stiffness* de tecido conjuntivo ($r = 0,54$ e $0,56$). Isso pode indicar que as propriedades mecânicas dos tecidos transmissores de força podem contribuir para a performance em ações musculares explosivas. Em outro estudo, Kubo et al. (2000) investigaram as mudanças nas propriedades elásticas de estruturas tendíneas em 6 homens saudáveis, após ficarem 20 dias acamados. O principal resultado deste estudo foi que o *stiffness*, o volume muscular e a força diminuíram após o período. O *stiffness* sofreu uma queda de aproximadamente 32%, e o *stiffness* normalizado pela massa corporal, em 29%. A TDF também sofreu uma queda significativa (47%). Os autores sugeriram que a queda na TDF após o período de repouso ocorreu devido à diminuição do *stiffness*, como resposta adaptativa ao período de repouso por parte de estruturas tendíneas. Apesar de não haver correlação significativa entre o decréscimo do *stiffness* e a TDF ($r = 0,44$), justifica-se que isso ocorreu devido ao número baixo de participantes ($n = 6$).

3.4 Fatores relacionados à resposta da taxa de desenvolvimento de força ao treinamento resistido

3.4.1 Idade

O aumento da força máxima e potência proveniente do treinamento neuromuscular é fundamental para homens e mulheres em diferentes faixas etárias, tanto no aspecto da saúde e qualidade de vida, quanto no aspecto da performance esportiva. Quando o volume e intensidade dos treinamentos são bem estruturados, a função neuromuscular pode ser mantida ou melhorada, independentemente da idade (HOLVIALA et al., 2014). Matavujl et al. (2001) realizaram um estudo onde 33 jovens atletas de basquetebol (15-16 anos) foram separados em dois grupos

experimentais e um grupo controle. Os indivíduos dos grupos experimentais realizaram, além do treinamento regular de basquetebol, um programa de treinamento pliométrico, 3 vezes por semana, durante 6 semanas. Um dos grupos realizou o treinamento com saltos em profundidade a partir de uma altura de 50 cm, e o outro grupo experimental realizou o mesmo procedimento, utilizando um banco de 100 cm. Os autores observaram um aumento substancial na performance em saltos em jovens atletas, mesmo realizando o protocolo de treinamento pliométrico por um curto período.

Em indivíduos idosos (i.e., mais de 60 anos), Bento e Rodacki (2015) realizaram um estudo utilizando protocolos de treinamento resistido e em meio aquático. Neste estudo foi sugerido que os treinamentos em meio aquático seriam interessantes para geração rápida de força muscular, promovendo maior estabilidade e reduzindo o risco de quedas em idosos. Similarmente, Lopes et al. (2016) conduziram treinamentos em indivíduos de 60 ou mais anos, divididos em dois grupos (treinamento de força e treinamento de potência). Neste estudo, ambos os grupos melhoraram a capacidade de produção de força, porém no grupo que treinou potência (cargas menores e maior velocidade de movimento) foi identificada uma melhora maior na TDF, possivelmente por ter ocorrido um maior aumento na ativação de unidades motoras, que pode exercer grande influência na adaptação de fibras do tipo II.

3.4.2 Experiência prévia com treinamento

Em indivíduos não treinados, a TDF é dependente da velocidade e do tipo de contração utilizados. Maiores velocidades de contração podem causar uma maior inibição do *drive* neural no início do movimento, portanto os maiores valores de TDF são encontrados em velocidades baixas de contração ou quando não há movimento articular (OLIVEIRA et al., 2016). Vangsgaard et al. (2014) realizaram um estudo em indivíduos inativos, onde os mesmos realizaram treinamentos com contrações excêntricas por cinco semanas. Houve um aumento significativo na TDF medida durante a contração isométrica e na CVM após o treinamento. Neste estudo, esta melhora da TDF foi explicada pelo fato do treinamento excêntrico gerar um recrutamento proporcionalmente maior de fibras do tipo II, do que treinamentos nos quais a ação muscular seja predominantemente concêntrica (HORTOBÁGYI et al., 1996). Em outro estudo, Vila-Chã et al. (2010) estudaram os efeitos de treinamento

de força e de endurance em adultos sedentários. O grupo que realizou o treinamento de endurance apresentou aumento na tolerância ao exercício, porém sem modificação na TDF e CVM. Em contrapartida, os indivíduos que realizaram o treinamento de força não apresentaram modificação na tolerância ao exercício, porém apresentaram aumento na TDF e CVM.

Analisando indivíduos treinados, Joy et al. (2013) avaliaram o efeito do treinamento resistido em atletas de basquetebol da segunda divisão da liga americana (NCAA). Os voluntários foram divididos em dois grupos (grupo controle e grupo de resistência variável – os indivíduos do grupo controle mantiveram suas rotinas de treinamento, e o grupo onde ocorreu a intervenção, adicionou 30% do valor de suas repetições máximas (RMs), como tensão de elástico, 1 vez por semana). A principal mudança encontrada pelo estudo foi na TDF, pois o grupo que recebeu a intervenção apresentou um aumento de 20,5% (Tamanho do efeito = - 0,57).

Portanto, a TDF pode apresentar melhora em indivíduos com diferentes níveis de condicionamento neuromuscular, ou seja, mesmo indivíduos treinados podem apresentar aumento desta variável. No entanto, fatores como o tipo e a carga de treinamento são importantes fatores que podem modular a resposta da TDF ao treinamento.

3.4.3 Intenção de realizar ações musculares explosivas

A intenção de realizar ações musculares explosivas é um fator que também parece estar relacionado ao aumento da TDF. Kawamori e Haff (2004) argumentam que a potência muscular é uma das principais determinantes para a performance em atividades que requerem produção de força rápida. Na literatura, ainda não há um consenso entre os estudos com relação aos efeitos deste aspecto na resposta da TDF ao treinamento. Portanto, a análise da resposta da TDF a protocolos de treinamento que envolvem elevados níveis de potência ou protocolos com elevados níveis de aplicação de força pode auxiliar no maior entendimento dos fatores que são importantes para a promoção de melhora desta variável.

Tschopp et al. (2011) conduziram uma revisão sistemática com meta-análise, com o objetivo de comparar o treinamento resistido com o treinamento de potência, em diversos aspectos funcionais, em idosos. Os autores definiram que a diferença entre os grupos seria a velocidade de realização do movimento. Apenas quatro

estudos continuam diferenças expressivas na carga total de treinamento. No entanto, as amostras limitadas dos estudos inclusos na análise impossibilitaram os autores de elaborar uma conclusão definitiva sobre o assunto. Além disso, os desfechos apresentados pelos artigos selecionados foram variados, o que pode influenciar no impacto dos resultados da meta-análise.

Com o fim de elucidar o efeito da velocidade de contração na resposta da TDF ao treinamento, Young e Bilby (1993) realizaram um estudo no qual 18 homens sem experiência prévia com treinamento de força foram divididos em dois grupos. Ambos os grupos realizaram o treinamento por sete semanas e meia, 3 vezes por semana, sendo que em cada sessão de treinamento eram realizadas 4 séries de agachamento com halteres (ângulo de flexão do joelho em 90°), até a falha (8-12 repetições, 8-12 RM). A carga deveria ser levantada até a posição de extensão completa dos joelhos. Um dos grupos (grupo rápido) foi instruído a agachar de maneira controlada e lenta e, ao atingir o ângulo mínimo, realizar um movimento explosivo de forma a acelerar a carga. O outro grupo (grupo lento) foi instruído a realizar todo o exercício de uma forma lenta e controlada, de forma que a aceleração fosse mínima. Foi demonstrado um aumento na TDF de 68,7% no grupo rápido. O grupo lento, no entanto, apresentou um aumento de 23,5% na mesma variável. Já em outro estudo, Andersen et al. (2010) não encontraram um aumento significativo na TDF inicial após o treinamento, e os autores sugeriram que a não modificação da TDF inicial ocorreu em função dos indivíduos terem sido instruídos para que realizassem o movimento de maneira controlada.

Blazevich (2012), então, questiona a possível necessidade da produção de força de forma rápida e explosiva, na indução e/ou detecção de melhora na TDF. Segundo o autor, a intenção de mover a carga rapidamente pode não ser um fator de grande importância para um maior ganho na TDF, em situações onde há um certo nível de especificidade da posição corporal nas condições de teste e treinamento. No entanto, quando não há especificidade, a intenção de realizar a contração da forma mais rápida e explosiva possível parece ser um fator que influencia o percentual de mudança da TDF, bem como na sua detecção. Esse aspecto, portanto, permanece elusivo, visto que não há evidência clara na literatura quanto ao efeito da intenção de realizar a contração muscular de forma explosiva, e seu impacto no aumento e/ou detecção de mudanças na TDF.

3.4.4 Tipo de contração muscular

Segundo Enoka (1996), contrações musculares concêntricas e excêntricas são fundamentalmente distintas na diferença de aspectos como a atividade neuromuscular, a produção de força e o nível de dano muscular induzido. Essas diferenças podem, portanto, gerar diferentes adaptações neurais e periféricas (e, conseqüentemente, na TDF). Cadore et al. (2014) investigaram então, o efeito agudo (6 semanas) de protocolos de treinamento excêntrico e concêntrico, em adaptações neuromusculares. Vinte e quatro voluntários participaram do estudo, e foram alocados aleatoriamente em dois grupos: concêntrico (CON) e excêntrico (ECC). Os voluntários realizaram os treinamentos duas vezes por semana. Na primeira semana, foram realizadas 2 séries de 8 contrações. Na segunda semana, foram realizadas 3 séries de 8 contrações. Na semana seguinte, 3 séries de 10 contrações. Na quarta semana, 4 séries de 10 contrações. Quatro séries de 12 contrações na quinta semana, e cinco séries de 10 contrações na semana final. Os voluntários foram instruídos a realizar o máximo de força possível durante as sessões de treinamento e teste, e a velocidade angular do treinamento foi de $60^{\circ}.s^{-1}$. Os autores encontraram melhora em todos os intervalos de tempo onde a TDF foi analisada (50 ms, 100 ms e TDF pico), em ambos os grupos. Os autores argumentam que ambos os tipos de treinamentos parecem induzir melhora na TDF em curto prazo, embora o tamanho do efeito tenha sido maior no grupo ECC (ECC: 0,74 a 0,79; CON: 0,45 a 0,56). Em relação ao pico de torque isométrico, observou-se aumento apenas no grupo ECC. A ausência da melhora dessa variável para no grupo CON – onde foi observado aumento na TDF – corrobora com a sugestão de que a melhora na TDF pode ocorrer independentemente de aumento na força máxima.

Outros estudos investigaram o impacto de diferentes tipos de contração muscular na TDF (PRYOR et al., 1994; WILSON et al., 1995; HAFF et al., 1997). Pryor et al. (1994), por exemplo, sugerem que os testes concêntricos de TDF oferecem uma alternativa superior de medida, em relação ao método isométrico tradicional. Isso se deve ao fato das contrações dinâmicas serem mais específicas às condições nas quais são realizados determinados testes de performance, em comparação a contrações isométricas, no que diz respeito às adaptações neurais. Haff et al. (1997) utilizaram oito homens treinados para comparar variáveis de força-tempo dinâmicas e isométricas. O treinamento consistiu de contrações isométricas a 80, 90 e 100% da repetição máxima, no equipamento de *power clean*. A TDF

isométrica apresentou correlação moderada a alta com o pico de força dinâmico durante as contrações a 80, 90 e 100% ($r = 0,65, 0,73$ e $0,75$, respectivamente), e correlação alta com o pico dinâmico da TDF durante as contrações a 80, 90 e 100% ($r = 0,84, 0,88$ e $0,84$, respectivamente), sugerindo que a habilidade de exercer picos de força isométrico e dinâmico têm algumas variáveis estruturais e funcionais em comum com a habilidade de exercer força rapidamente. Wilson et al. (1995), por sua vez, realizaram um estudo com o fim de quantificar a TDF e força máxima em contrações isométricas, concêntricas e durante o ciclo alongamento-encurtamento, e determinar a relação dessas variáveis com a performance. Os voluntários do estudo eram quinze homens treinados em modalidades esportivas cujas ações musculares eram predominantemente dos membros inferiores. Após a coleta dos dados, os autores discutem que a medida de TDF concêntrica apresentou a maior correlação com a performance ($r = -0,616$). Adicionalmente, os autores propuseram que os testes concêntricos foram os únicos que conseguiram, efetivamente, discriminar performances ruins de performances boas. Essas informações, coletivamente, evidenciam a necessidade de investigar o impacto de diferentes modos de contração na TDF.

3.4.5 Duração do treinamento

Para esclarecer as características ideais do treinamento resistido para ganhos na performance de jovens atletas, Lesinski et al. (2016) realizaram uma revisão sistemática com meta-análise que verificou que, entre outros parâmetros, um período longo de treinamento resistido (> 23 semanas) foi o mais eficaz na melhora da força ($SMD_{wm} = 3,40$, SMD sendo a diferença média padronizada entre sujeitos). Em outra revisão sistemática com meta-análise, conduzida por Borde et al. (2015), em idosos (≥ 60 anos) saudáveis, os autores verificaram que, das variáveis do treinamento, apenas a duração do protocolo de treinamento apresentou um efeito significativo na força muscular. No entanto, apesar do estudo com período mais longo de treinamento (50-53 semanas; SMD_{bs} média = $2,34$; 4 estudos) ter sido o mais efetivo, encontrou-se que em protocolos significativamente mais curtos (6-9 semanas), a diferença no ganho de força foi mínima (SMD_{bs} média = $2,27$; 2 estudos). Nesse mesmo contexto, Tillin et al. (2012) conduziram um treinamento de curto período (4 semanas), e analisaram, entre outras medidas, a TDF dos participantes. Os 10 sujeitos treinaram 4 vezes por semana. Após o aquecimento,

eles realizavam 10 contrações isométricas unilaterais (extensão do joelho), separadas por 5 s de repouso. As séries eram separadas por 2 minutos. Eles também foram instruídos a realizar a contração o “mais forte e rápido possível”. Observou-se aumento na força voluntária nos intervalos de 50 (42%), 100 e 150 ms, na perna treinada. Os autores sugeriram que a realização de contrações explosivas (independente da velocidade do movimento ou sequer a presença do mesmo), ao invés de treinamentos onde há sustentação de contrações com altas cargas, é um aspecto importante para o aumento na TDF com o treinamento. Adicionalmente, períodos curtos de treinamento parecem ser suficientes para o aumento da TDF, se os protocolos envolverem contrações explosivas.

3.4.6 Especificidade de posição corporal

Outro aspecto a ser investigado, quanto à influência na resposta da TDF ao treinamento, é a especificidade entre a posição corporal no teste e no treinamento. Diversos estudos reportam aumento na TDF medida através da extensão de joelho isométrica, após treinamento de força tradicional, explosivo ou isométrico dos membros inferiores (AAGAARD et al., 2002; BLAZEVIICH et al., 2009; BLAZEVIICH et al., 2008; DEL BALSIO e CAFARELLI, 2007; HAKKINEN et al., 2003; HAKKINEN et al., 2001; NARICI et al., 1996; REEVES et al., 2003; SUETTA et al., 2004; VILACHA et al., 2010).

O treinamento realizado no estudo de Aagaard et al. (2002), por exemplo, envolveu, entre outros exercícios, *leg press*, extensão de joelho isolada e agachamento no *hack*. A coleta das variáveis de força foi realizada por meio da extensão de joelho isométrica máxima, em um dinamômetro isocinético. Os autores reportaram um aumento de 15% na TDF inicial (indicada pelo momento onde a contração atingia 1/6 da CVM) ($p < 0.05$). Em outro estudo, Blazevich et al. (2008) avaliaram a força muscular de voluntários por meio da extensão de joelho realizada de forma isométrica. Ambos os treinamentos (concêntrico e excêntrico) também envolviam a extensão de joelho, realizada a $30^{\circ}.s^{-1}$. Foi encontrado um aumento de 16% na TDF nos primeiros 30 ms após o início da contração. Hakkinen et al. (2003) realizaram um estudo com o objetivo de investigar os efeitos de treinamentos concorrente e de endurance, comparados com o treinamento de força. Todos os grupos foram testados para força em um dinamômetro, realizando ações de flexão e extensão do joelho. Os autores encontraram um aumento na TDF para o grupo de

treinamento de força concorrente, após o período de treinamento ($p < 0,01$), ao ponto que não foram encontradas mudanças significantes no grupo de treinamento de endurance. Em suma, em todos os estudos citados acima, houve alguma especificidade entre a posição corporal no teste e no treinamento.

Nesse contexto, Blazeovich (2012) explora o aspecto da especificidade do movimento (treinamento vs. teste). Aparentemente, a grande maioria dos estudos mostram um aumento na TDF medida pela extensão do joelho, quando alguma forma de treinamento de extensão do joelho foi utilizada no período proposto. Em adição, 90,9% dos estudos revisados pelo autor reportam um aumento na TDF mensurada em qualquer forma de teste isométrico, onde a posição corporal foi similar às posições utilizadas no treinamento. Então, segundo Blazeovich (2012), é menos provável que se detecte aumentos significantes na TDF quando não há especificidade teste vs. treinamento. Além disso, o autor argumentou que, quando não há intenção de realizar a contração da forma mais forte e explosiva possível, independentemente da velocidade do movimento, a especificidade na posição corporal é um fator crucial no que diz respeito à resposta da TDF ao exercício resistido.

3.4.7 Tipo de treinamento

Diversos autores avaliaram o efeito de diferentes tipos de treinamento na resposta da TDF. Aparentemente, o treinamento com altas cargas proporciona mudanças significantes na CVM, mas mudanças de menor magnitude na TDF. No entanto, o treinamento onde as cargas foram menores e a aceleração maior, parece influenciar menos na CVM e ter efeitos mais expressivos na TDF (DUCHATEAU e HAINAUT, 1984; NEWTON et al., 1999; ANDERSEN et al., 2009)

Behrens et al. (2014), por exemplo, examinaram os efeitos de um regime de treinamento pliométrico na TDF de adultos ativos. O grupo treinou durante 8 semanas, 2 vezes por semana, e o treinamento consistia de saltos contra-movimento, saltos partindo da posição agachada e saltos em profundidade. A medida de TDF foi obtida no dinamômetro, e os mesmos foram instruídos a realizar a contração o mais “rápido e forte” possível. Os autores verificaram um aumento na inclinação da curva momento vs. tempo, no intervalo de 0-50 ms, no grupo experimental (aumento de 308 N.m.s^{-1}).

Em outro estudo, Gruber et al. (2007) investigaram os diferentes efeitos do treinamento sensoriomotor e o treinamento balístico, na TDF. O treinamento sensoriomotor consistia de exercícios de equilíbrio sobre diferentes plataformas instáveis, e os participantes foram instruídos a manter o equilíbrio sem leves perturbações na superfície. O treinamento balístico consistia de exercícios de dorsiflexão e flexão plantar, onde os indivíduos eram instruídos a realizar as contrações da forma mais rápida e forte possível. Ambos os grupos realizaram seus respectivos protocolos de treinamento durante 4 semanas, com frequência semanal de 4 sessões de treinamento. A medida da TDF foi feita por meio de um sistema isocinético, com contrações voluntárias máximas isométricas de flexão plantar do tornozelo. Em ambos os grupos foi observado um aumento significativo na TDF máxima, sem diferenças significantes na CVM (Grupo balístico: TDF aumentada em 48%; Grupo sensoriomotor: TDF aumentada em 14%). Os autores atribuíram essa diferença de resposta da TDF e da CVM às adaptações induzidas por cada modalidade de treinamento; o aumento na TDF induzido pelo treinamento sensoriomotor, foi acompanhado por um aumento na frequência mediana (FM). Em adição, em relação ao aumento na TDF induzido pelo treinamento balístico, observou-se um aumento na FM e na EMG contrátil absoluta (medida em volts nos intervalos de -30 a 20, 20 a 70, 70 a 120 e 120 a 170 ms relativos ao início do torque). Essa discrepância indicaria claramente diferenças nos mecanismos neurais de adaptação entre os dois protocolos de treinamento, mais provavelmente causadas por diferenças no *input* aferente durante o treinamento.

Utilizando um protocolo de treinamento de força explosiva, Geertsen et al. (2008) realizaram um estudo envolvendo 14 sujeitos (6 homens, 8 mulheres), onde os mesmos realizaram o treinamento durante 4 semanas (3 vezes por semana). O treinamento foi realizado em um dinamômetro, e o *feedback* visual era fornecido através da linha de torque. Os participantes realizavam 3 séries de 16 dorsiflexões, separadas por períodos de descanso de 4 minutos, e o objetivo era “aumentar o torque o mais rápido possível”. A TDF apresentou um aumento significativo para todos os intervalos analisados (0-30 ms em 32%; 0-50 ms em 33%; 0-100 ms em 30%; 0-200 ms em 24%).

Em conjunto, essas informações demonstram que diferentes tipos de treinamento podem induzir aumento na TDF, e este pode ocorrer por meio de diferentes mecanismos, tornando importante o estudo da influência dessa variável

nas respostas da TDF ao treinamento, a fim de esclarecer o impacto de cada tipo de treinamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Revisão Sistemática

A revisão sistemática, diferente da revisão narrativa, tem um protocolo desenvolvido a priori. Trata-se de um estudo secundário, cujo objetivo é identificar todos os estudos de boa qualidade metodológica e relevância de um determinado assunto. Diferente da revisão narrativa – que pode conter viés de seleção de estudo – suas etapas são rigorosamente controladas por critérios estabelecidos previamente à realização das buscas, e todo o processo é realizado de forma transparente. A metodologia deve ser reportada de forma clara e minuciosa. Suas principais características são a transparência e rigor metodológico (UMAN, 2011).

4.1.1 Busca na literatura

A estratégia de busca nas bases de dados deve ter como objetivo incluir todos os estudos possíveis, do tema em questão. Sendo assim, foi realizada uma busca sistemática computadorizada na literatura até março de 2017, nas bases de dados *Pubmed* e *Web of Science*, incluindo todos os estudos longitudinais, revisados por pares, que analisaram os efeitos dos diferentes tipos de treinamento resistido na TDF. A estratégia de pesquisa booleana foi aplicada, utilizando os operadores 'AND' e 'OR', nas seguintes sentenças: '*rate of torque development*', '*rate of force development*', '*strength development rate*', '*weight training*', '*resistance training*', '*weight bearing exercise program*' and '*strength training*'.

A lista de referências dos artigos incluídos após filtragem por resumo foi checada para identificar possíveis estudos a serem incluídos na base de dados. Os autores dos artigos selecionados foram contatados para solicitar qualquer informação relevante que estivesse faltando.

4.1.2 Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de elegibilidade dos estudos foram definidos através dos PICOS. Trata-se de um acrônimo para definição das estratégias de filtragem dos artigos da revisão sistemática, onde o P representa a população, o I representa a intervenção, o C representa o controle realizado no estudo, o O se refere às variáveis de desfecho, e o S representa o desenho experimental. Os critérios que devem ser atendidos, a partir dos PICOS, são os seguintes: 1) População – adultos sem

patologias, não treinados em força; 2) Intervenção – treinamento com exercícios resistidos, com duração ≥ 4 semanas; 3) Controle – foram incluídos apenas os estudos que apresentarem grupo de controle passivo; 4) Desfecho – uma ou mais medidas de TDF; 5) Desenho experimental – ensaio clínico randomizado.

Adicionalmente aos PICOS, os estudos deveriam estar disponíveis em inglês, e o autor deve ter respondido ao requerimento dos dados, quando necessário, para a inclusão de seu estudo na meta-análise.

4.1.3 Identificação dos estudos

Uma busca das bases de dados eletrônicas e uma conferência da lista de referências dos artigos revelou 498 potenciais estudos. Com base na análise do título ou resumo, 202 artigos foram excluídos. Duzentos e noventa e seis artigos foram identificados. Cento e seis estudos foram excluídos por estarem duplicados. Cento e noventa estudos foram avaliados para elegibilidade. Quatro artigos foram recuperados das referências. Cento e setenta e seis artigos foram excluídos por meio dos critérios de exclusão. Portanto, 18 artigos foram selecionados para a realização da meta-análise (Figura 1).

Todos os artigos selecionados para a meta-análise foram avaliados para qualidade por meio da *Physiotherapy Evidence-Based Database Scale (PEDro)*. Trata-se de onze perguntas, quanto ao rigor metodológico do estudo, que devem ser feitas para cada estudo identificado na revisão sistemática. Para cada critério cumprido, o estudo pontua 1. Quando o critério não é atingido, o estudo não pontua. Esta escala possibilita um escore total de 11 pontos, com o número maior de pontos considerado a maior qualidade (MAHER et al., 2003).

Quando um estudo utilizou múltiplos programas de treinamento resistido, os múltiplos efeitos foram calculados e incluídos separadamente. Como a eficiência do treinamento pode ser influenciada por vários fatores, as variáveis independentes foram agrupadas nas seguintes categorias: 1) ações musculares explosivas - exercícios com ou sem a intenção de realizar contrações musculares rápidas; 2) tipo de treinamento (força, explosivo e isométrico). O treinamento de força foi caracterizado como exercícios com ≤ 10 repetições e intensidade $\geq 70\%1RM$; o treinamento explosivo foi caracterizado quando os sujeitos realizaram o exercício o mais rápido possível (i.e., movimentos em alta velocidade); o treinamento isométrico foi definido como exercícios usando contração isométrica; 3) especificidade -

exercícios de teste e treinamento nos quais a posição corporal é similar; e 4) duração total do treinamento - duração do programa de treinamento, em semanas. Todas as etapas da revisão sistemática foram realizadas por dois autores de forma independente, e quaisquer divergências foram resolvidas de forma cega, por um terceiro autor.

4.1.4 Características dos estudos

Os efeitos do treinamento dos estudos selecionados foram coletados e analisados por meio de uma meta-análise. O número total de sujeitos dos grupos experimental e controle foi quantificado, da mesma forma que os efeitos do treinamento de força, explosivo e isométrico.

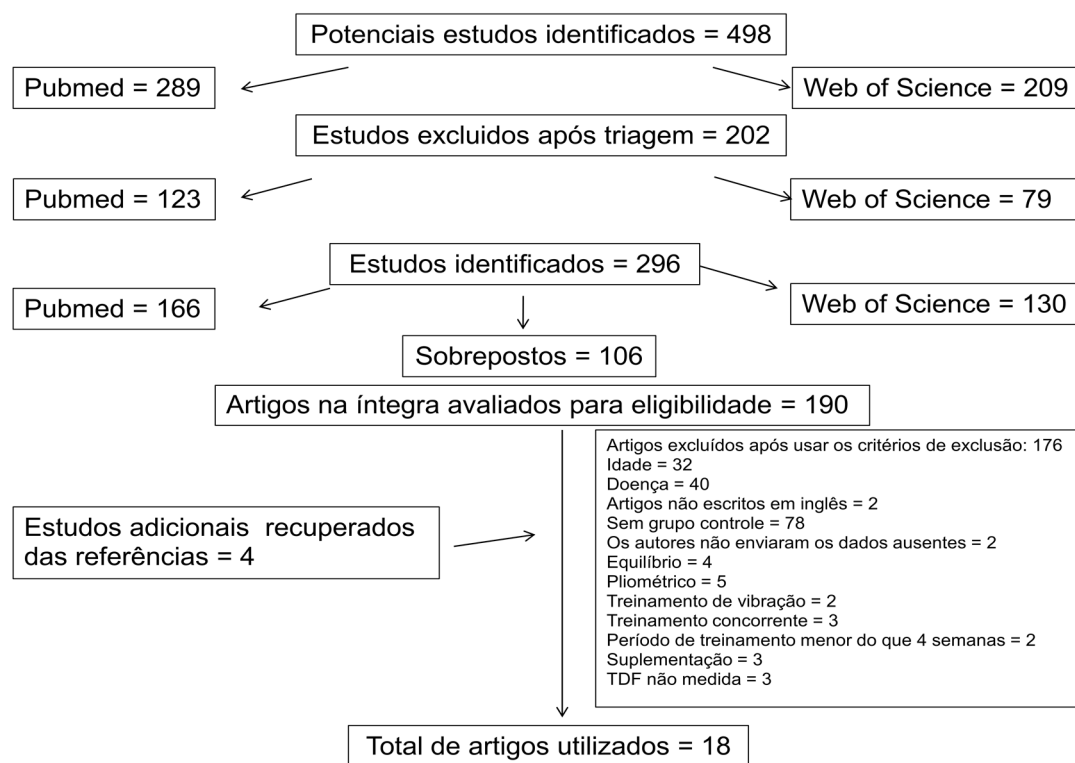


Figura 1. Fluxograma mostrando as diferentes fases da pesquisa e seleção dos estudos a serem incluídos na meta-análise.

4.2 Meta-Análise

A meta-análise pode ser definida como “análise estatística de um grande número de análises de estudos individuais, com o objetivo de integrar as descobertas” (GLASS, 1976). No geral, a meta-análise deve apresentar resultados

de maior validade, em comparação a estudos singulares que foram incluídos na meta-análise (HAIDICH, 2010). Esta ferramenta possibilita estimar o efeito de uma determinada intervenção – no caso, do treinamento resistido – em uma determinada variável de desfecho – a TDF – combinando os resultados de diferentes estudos. Além disso, é possível identificar o impacto de variáveis independentes no efeito total, através das meta-regressões simples e múltiplas.

4.2.1 Análise e interpretação dos resultados

A variável de desfecho, ou seja, a TDF, foi extraída nas condições experimental e controle, da seguinte forma: 1) Valores médios e desvios-padrões (DP) Pré- e pós intervenção; 2) Diferenças nas médias entre as condições pré- e pós treinamento e o DP da diferença das médias; e 3) Tamanhos dos efeitos. O programa Graph digitizer software (Digitizelt, Germany) foi utilizado para a obtenção dos valores dos dados dos estudos nos quais somente os gráficos foram publicados e os autores não enviaram os valores. A precisão foi confirmada pela comparação intraindividual e interindividual da extração dos dados.

Quando os percentuais de efeito foram grandes (>10%), a magnitude do efeito na TDF foi expressa como fator e transformada em logaritmos antes da realização da meta-análise (HOPKINS et al., 2009). Hopkins et al. (2009) propõe essa transformação de percentual para valor absoluto (log), de forma que o efeito possa ser expresso linearmente. Para cada efeito convertido, os erros padrões foram calculados para indicar o nível de imprecisão. Nos estudos nos quais os valores exatos de p foram apresentados (n = 5), os erros padrões foram calculados diretamente pelo valor correspondente de F e seus graus de liberdade. Com base na suposição de que os estudos com protocolos de teste e características dos sujeitos similares possuem erros aleatórios similares, foi realizada uma média dos erros típicos destes estudos (por meio da variância média ponderada) e atribuído aos estudos que não reportaram um valor exato de p. Então, o erro padrão foi calculado pela relação entre o erro típico e o erro padrão.

4.2.2 Modelo de efeitos

As análises estatísticas foram realizadas pelo programa *Comprehensive Meta-Analysis* (CMA) versão 3.0 (Englewood, New Jersey, USA) e com um nível de significância de $p < 0,05$. Os dados foram expressos como média \pm 95% do limite de

confiança (LC). O efeito geral foi calculado com um modelo de efeitos randômicos que considera as variações reais dos efeitos entre os estudos, da mesma forma que os erros randômicos dentro de cada estudo (BORENSTEIN et al., 2009). O modelo de estudo randômico foi escolhido de acordo com a variação nos níveis de acordo com o grau de variação dos níveis dos fatores experimentais dos estudos selecionados. Em meta-análises que envolvem estudos com protocolos de intervenção, o modelo de efeito aleatório é utilizado. Este modelo parte da suposição que os indivíduos respondem diferentemente às mesmas intervenções – mesmo que as características dos sujeitos (tais como: idade, patologia, gênero, etc.) sejam controladas. Após a análise, a estimativa do efeito médio e o 95% LC (todos em unidades de $\log \times 100$) foram convertidos nos percentuais exatos, nos quais x é a mudança na média, ou o limite de confiança.

4.2.3 Viés de publicação

O efeito do viés de publicação na meta-análise primária foi analisado pela combinação de um *funnel plot trim* de Duval e Tweedie's com correção do preenchimento (ROTHSTEIN et al., 2005). O *trim and fill* de Duval e Tweedie no *funnel plot* parte do princípio de que estudos favoráveis ao controle não foram publicados. Então, gera estudos espelhados àqueles que estão à extrema direita do *funnel plot*, para que o efeito dos mesmos seja equilibrado. Dessa forma, os estudos favoráveis ao controle não foram estatisticamente excluídos da análise pelos estudos favoráveis a intervenção, evitando que o viés de publicação se tornasse um aspecto determinante no resultado da meta-análise.

4.2.4 Heterogeneidade e variância

A heterogeneidade estatística, que se refere ao percentual de variância entre os estudos que é dado pela heterogeneidade metodológica e clínica ao invés do erro de medida, foi calculada pela estatística do I^2 (BORENSTEIN et al., 2009). Em suma, a variância é dada pela soma da heterogeneidade e erro aleatório. O cálculo da heterogeneidade se torna fundamental na meta-análise para a escolha do modelo.

O I^2 foi calculado por meio da estatística de qui-quadrado (variância) e os graus de liberdade (número de informações independentes que levam a um determinado resultado). De acordo com Higgins et al. (2003), os valores de 25%,

50%, e 75% de I^2 representam heterogeneidade baixa, média e alta, respectivamente. Além disso, foi calculado o DP do valor real da variação percentual entre os estudos (T).

4.2.5 Meta-regressão

Para determinar a influência das variáveis moderadoras no percentual de mudança na TDF, meta-regressões dos efeitos randômicos foram realizadas utilizando-se uma ou mais variáveis identificadas prioritariamente. Enquanto que uma meta-regressão simples (ou seja, somente uma co-variável) determina os efeitos independentes das variáveis moderadoras na variação do percentual de mudança, as meta-regressões usando mais do que uma co-variável levam a um conjunto de estatísticas para cada co-variável, da mesma forma que um conjunto de estatísticas para o modelo. As estatísticas para cada co-variável refletem o impacto daquela co-variável excluindo os efeitos de todas as outras co-variáveis no modelo. As estatísticas para o % de mudança total refletem o impacto combinado de todas as co-variáveis.

Para analisar a magnitude relativa do percentual de mudança do estudo, foi utilizada uma escala proposta por Hopkins et al. (2009). Assim, nossas inferências foram baseadas em limiares padronizados para pequeno, moderado e grandes mudanças de 0,2, 0,6 e 1,2 DPs, respectivamente, e derivadas da média das variâncias entre os sujeitos para a TDF e a força muscular de base. Deste modo, os limiares para classificação de pequena, média e grande magnitude foram calculados.

Quando um estudo utilizou mais do que um tipo de treinamento resistido, os múltiplos efeitos foram calculados e incluídos separadamente. Como a eficiência do treinamento pode ser influenciada por vários fatores, as variáveis independentes foram agrupadas nas seguintes categorias: 1) ações musculares explosivas - exercícios com ou sem a intenção de realizar contrações musculares rápidas; 2) tipo de treinamento (força, explosivo e isométrico). O treinamento de força foi caracterizado como exercícios com ≤ 10 repetições e intensidade $\geq 70\%1RM$; o treinamento explosivo foi caracterizado quando os sujeitos realizaram o exercício o mais rápido possível (i.e. movimentos em alta velocidade); o treinamento isométrico foi definido como exercícios usando contração isométrica; 3) especificidade -

exercícios de teste e treinamento nos quais a posição corporal foi similar; e 4) duração total do treinamento - duração do programa de treinamento.

5 RESULTADOS

Os estudos incluídos nessa meta-análise analisaram o efeito de um ou mais programas de treinamento neuromuscular na TDF. A escala PEDro (para avaliação metodológica dos estudos) obteve bons e similares resultados, atribuindo scores de 5 a 7 pontos aos registros. A Tabela 1 sumariza as características dos estudos analisando o efeito do treinamento da TDF incluído na meta-análise.

Tabela 1. Características dos sujeitos analisando o efeito do treinamento na taxa de desenvolvimento de força, dos estudos selecionados para a meta-análise.

Estudo	Sujeitos		Treinamento e avaliação							
	Número	Idade	Especificidade	Tipo	Intensidade	Ação muscular explosiva	Duração	Séries	Descanso (min)	Reps
Del Balso e Cafarelli, 2007	T = 10 C = 10	23,8 22,8	Sim	FOR	100	Sim	4	6	2	10
Laroche et al., 2008	T = 12 C = 13	21,4 25,8	Sim	EXP	NR	Sim	8	3	1	8
Alegre et al., 2006	T = 16 C = 14	21 19	Não	EXP	45% 1RM	Sim	13	3,5	3	9
Wirth et al., 2015	T = 16 C = 13	24 25	Não	FOR	NR	Não	3	5	6	3
Lamas et al., 2012	T = 14 T = 14 C = 12	22 24 24	Não Não	FOR EXP	NR 45%	Não Sim	8 8	2,5 3	NR NR	7 5
Oliveira et al., 2013	T = 9 C = 9	25 21	Sim	EXP	NR	Sim	6	4,5	2	11
Oliveira et al., 2013	T = 9 C = 9	NR NR	Sim	FOR	100%	Sim	6	3	2	8
Thompson et al., 2015	T = 34 C = 20	22 22	Não	FOR	NR	Não	10	5	3	5
Vangsgaard et al., 2014	T = 15 C = 14	21 24	Sim	FOR	70% 1RM	Não	5	3	2	8
Gruber et al., 2007	T = 11 C = 11	27 26	Sim	EXP	35%	Sim	4	4	3	10
Lamont et al., 2009	T = 11 C = 6	23 22	Sim	FOR	75%	Sim	6	3,5	4	5,5
Oliveira et al., 2016	T = 12 C = 8	22 23	Sim	EXP	100%	Sim	6	4	1	8
Kemi et al. (2011)	T = 12 C = 11	20 23	Sim	FOR	5 RM	Não	8	5	2,5	5
Mosti et al., 2014	T = 14 C = 15	22 21	Sim	FOR	87.5%	Sim	12	4	2,5	4
Vila-Chã et al., 2010	T = 9 C = 8	25 27	Sim	FOR	72.5%	Não	6	3,5	NR	11,5
Sleivert et al., 1995	T = 8 C = 8	NR NR	Sim	FOR	NR	Não	8	3	1,5	10
Wirth et al. (2016)	T = 40 C = 37	23,8 25,1	Não Sim	FOR FOR	7 RM 7 RM	Não Não	8 8	5 5	5 5	7 7
Balshaw et al. (2016)	T = 13 T = 16 C = 14	25,0 25,0 25,0	Sim Sim	ISO ISO	$\geq 80\%$ CVM 75%CVM	Sim Não	12 12	4 4	2 2	10 10

T = grupo experimental; C = grupo controle; 1RM = uma repetição máxima; TDF = taxa de desenvolvimento de força; CVM = contração voluntária máxima; NR = não reportado; FOR = Força; EXP = Explosivo; ISO = Isométrico; Reps = repetições.

Os efeitos do treinamento, após transformação de log para percentual variaram de -7,69 para 78,85% para TDF, e os 21 efeitos de treino mostraram um aumento de 27,17 (95%LC 18,22 para 36,81, $p < 0,001$) na TDF após conversão

para %. O *funnel plot* posicionou um número desproporcional de estudos à direita do modelo (efeito geral de mudança). Utilizando a correção *trim and fill* de Duval e Tweedie, foram imputados ao modelo de *funnel plot* oito estudos, para produzir simetria na mudança % média. Os resultados dessa correção produziram um efeito geral % de mudança de 12,68% (95%LC 3,43 a 22,76, $p = 0,001$) após transformação para percentual, o que representa um efeito benéfico pequeno e significativo. O aumento significativo na TDF após o período de treinamento foi heterogêneo ($Q = 63,76$, $p < 0,001$) com alta inconsistência de efeitos ($I^2 = 68,63\%$; $T = 14,81\%$). Isso demonstra que os protocolos de treinamento analisados geraram um efeito combinado positivo sobre a TDF em adultos.

A meta-regressão simples não foi significativa quando moderando pela especificidade e duração de treinamento ($p > 0,3$). Isso significa que ambas as variáveis independentes não tiveram impacto no % de mudança total sobre a TDF. No entanto, a análise foi significativa quando moderada pelo tipo de treinamento e pela intenção de realizar ações musculares explosivas, independente de velocidades de movimento altas. Enquanto que os treinamentos explosivo e de força induziram um aumento na TDF, o treinamento isométrico apresentou apenas uma tendência estatística (Tabela 2). Adicionalmente, o treinamento explosivo induziu um aumento de maior magnitude na TDF, comparado ao isométrico (26,7%, 95%LC 1,95 a 57,47, $p = 0,03$) e de força (19,61%, 95%LC 0,57 a 42,25, $p = 0,04$). No entanto, não foram encontradas diferenças significantes, quando comparando o treinamento isométrico e de força (5,93%, 95%LC -13,08 a 29,1, $p = 0,568$) (Figura 3). Em relação ao treinamento com altas cargas, em ambos os treinamentos realizados com ou sem ações explosivas, a intenção de realizar contrações musculares explosivas induziram significantes aumentos na TDF (Tabela 2). Adicionalmente, embora não tenha sido encontrada diferença significativa entre o treinamento explosivo e o treinamento explosivo com altas cargas (15,25%, 95%LC -7,98 a 44,34, $p = 0,22$), apenas o treinamento explosivo apresentou % de mudança maior que o treinamento com altas cargas [treinamento explosivo vs. treinamento com altas cargas sem ação muscular explosiva (24%, 95%LC 44,96 a 6,07, $p = 0,007$), HLEA vs. HL (7,32%, 95%LC -12,12 a 31,74, $p = 0,48$), Figura 4].

Tabela 2. Efeito do treinamento na taxa de desenvolvimento de força e força muscular, de acordo com co-variáveis categóricas e contínuas.

Moderador	n	% Mudança	95%LC	p
Variáveis Categóricas				
Tipo de treinamento				
Treinamento explosivo*#	6	45,91	27,61 a 66,84	< 0,001
Treinamento de Força	11	20,72	10,12 a 32,35	< 0,001
Treinamento Isométrico	4	15,09	-2,19 a 35,43	0,090
Ação Muscular Explosiva				
Com intenção*	9	39,11	24,97 a 54,84	< 0,001
Sem intenção	12	17,71	7,96 a 28,34	< 0,001
Especificidade				
Sim	15	23,85	12,47 a 36,38	< 0,001
Não	6	32,29	14,24 a 53,19	< 0,001
Variáveis Contínuas				
Duração do Treinamento	21	-1,48	-4,58 a 1,73	0,362

Dados retroextrapolados. * Diferença significante de outros grupos. # Diferença significante do treino com baixa velocidade ou sem movimento realizado sem a intenção de realizar ação muscular explosiva.

Figura 2. Efeito de diferentes tipos de treinamento de força na taxa de desenvolvimento de força. 95% LC – 95% Intervalo de confiança (IC). Dados não retro-extrapolados.

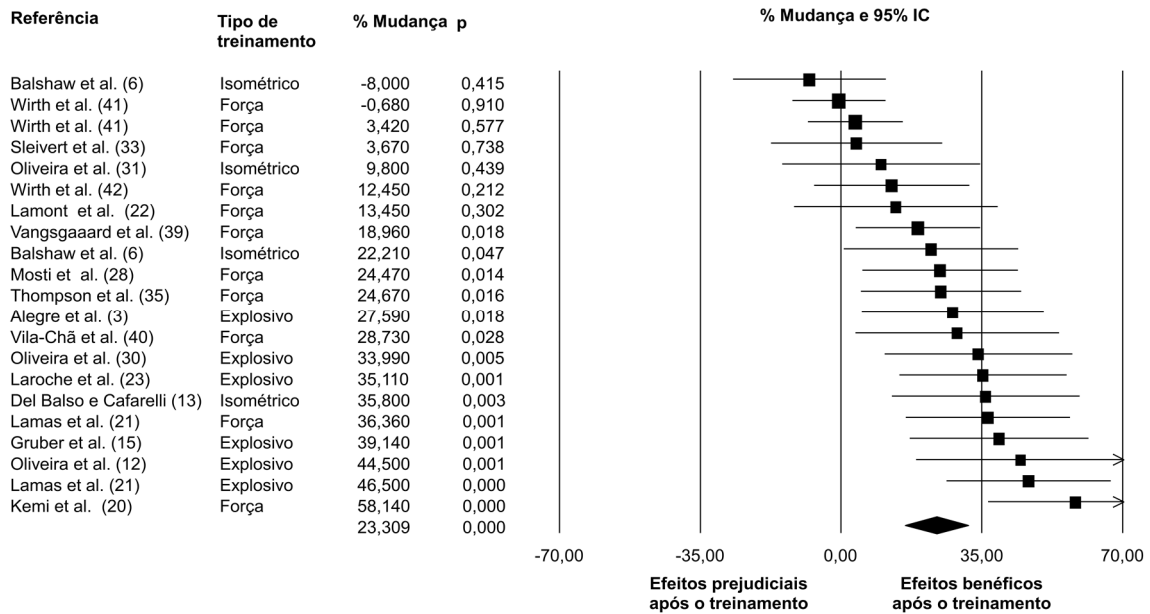


Figura 3. Análise de meta-regressão para o efeito do tipo de treinamento na mudança da taxa de desenvolvimento de força. Dados não retro-extrapolados.

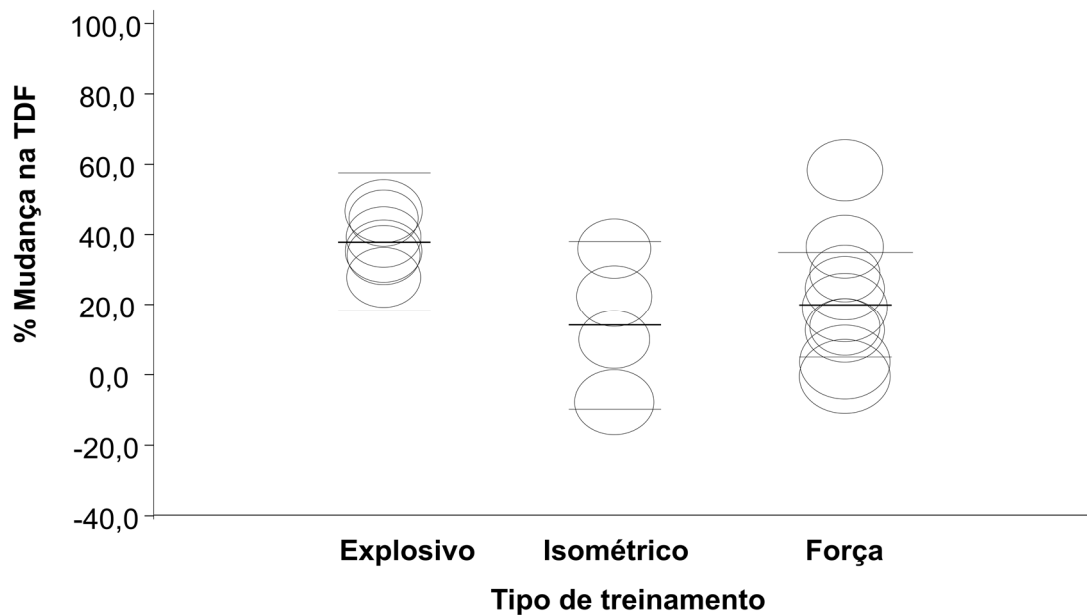
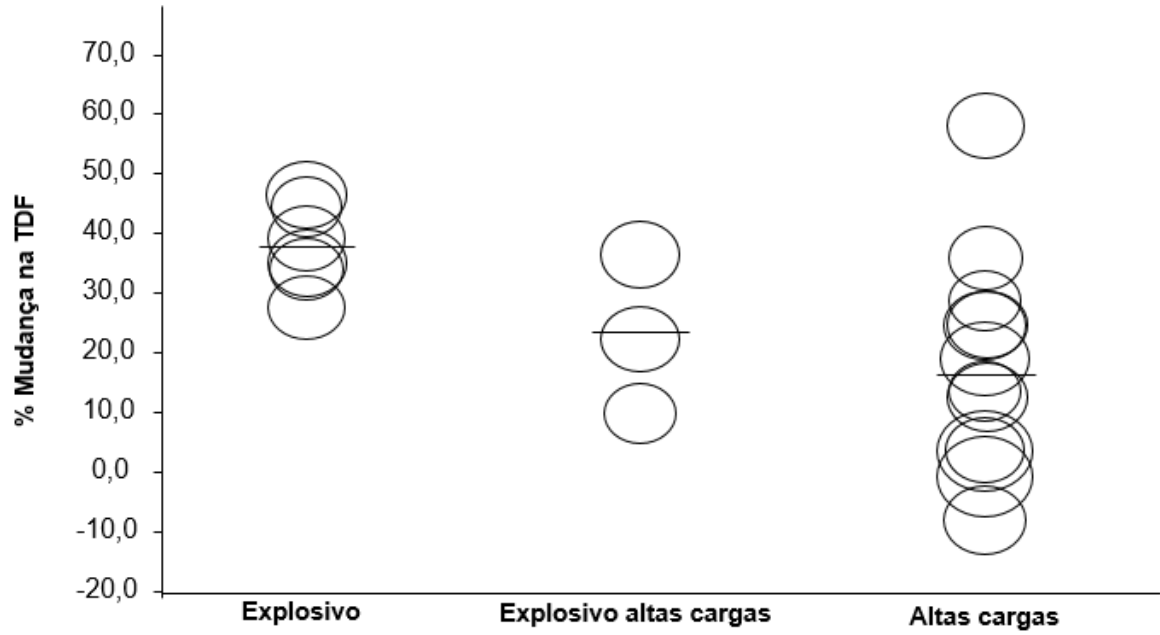


Figura 4. Análise de meta-regressão para o efeito de ação muscular na mudança da taxa de desenvolvimento de força. Dados não retro-extrapolados.



6 DISCUSSÃO

O principal objetivo desse estudo foi revisar sistematicamente a literatura e fazer uma meta-análise de estudos que analisaram o efeito de diferentes programas de treinamento resistido na resposta da TDF. O principal resultado deste estudo foi que o treinamento resistido possui um efeito benéfico moderado (~27 %) na TDF em indivíduos adultos. A especificidade, no que diz respeito à posição corporal, dos exercícios utilizados nas condições de teste e treinamento, não apresentou contribuição significativa para a resposta da TDF ao treinamento, rejeitando a hipótese inicial do estudo. O treinamento explosivo, que envolve contrações musculares realizadas de forma explosiva e em alta velocidade de movimento, induziu uma maior magnitude de aumento na TDF, em comparação aos tipos de treinamento isométrico e de força. Além disso, uma alta TDF contrátil, ou seja, o movimento realizado com intenção de produzir alta velocidade de contração, não induziu aumentos maiores na TDF do que realizar o treinamento com altas cargas mas sem contrações de natureza balística. No entanto, poucos estudos investigaram o efeito de treinamento com contrações lentas ($n = 2$) ou sem movimento ($n = 1$), realizados de forma balística. Portanto, a hipótese de que o aumento na TDF inicial é influenciado principalmente por exercícios resistidos com alta TDF contrátil, independentemente da velocidade real do movimento, não pôde ser apropriadamente testada. Finalmente, a duração do programa de treinamento não apresentou influencia significativa no aumento da TDF após períodos curtos a médios (4-13 semanas) de treinamento resistido.

6.1 Ação muscular explosiva

Tem sido sugerido na literatura, que os exercícios mais eficientes para indução de ganhos na TDF são aqueles que envolvem contrações musculares explosivas, independentemente da velocidade do movimento (AAGAARD et al., 2002). Portanto, o exercício resistido realizado com alta TDF contrátil deveria induzir mudanças similares ao se considerar o treinamento estático ou dinâmico. Para se analisar o papel do desenvolvimento de ações explosivas repetidas independentemente destas estarem associadas ou não a altas velocidades de

movimento, foi realizada nesta meta-análise uma comparação do treinamento com altas cargas realizado com e sem contrações musculares explosivas. Na presente meta-análise, ambos os modelos de treinamento induziram ganhos similares na TDF, sugerindo que apenas a intenção de realizar os movimentos rapidamente talvez não seja estímulo suficiente para gerar uma maior adaptação funcional de alta velocidade. No entanto, isto não deve ser considerado como evidência definitiva, pois o número de estudos utilizando contrações musculares explosivas foi bem limitado ($n = 3$). Estudos futuros que analisem a resposta da TDF a treinamentos realizados com e sem a intenção de realizar contrações musculares explosivas poderão proporcionar um maior esclarecimento desta questão.

6.2 Tipo de treinamento

Em uma recente revisão sistemática recente, Maffiuletti et al. (2016) explicam que a TDF, sendo influenciada por diferentes parâmetros neurais e periféricos, pode responder com melhora após diferentes tipos de treinamento, que podem induzir diferentes tipos de adaptações fisiológicas. Na presente meta-análise, o efeito padronizado do treinamento explosivo na TDF foi maior do que o proporcionado pelos treinamentos de força e isométrico. Adicionalmente, apesar do treinamento explosivo ter apresentado ganhos similares quando comparado à HLEA (treinamento explosivo com altas cargas), apenas o treinamento explosivo apresentou ganhos superiores quando comparado ao treinamento realizado sem a realização de alta TDF contrátil. Portanto, esses dados sugerem que a velocidade do movimento, combinada à intenção de realizar as contrações musculares de forma explosiva, pode proporcionar um estímulo maior de treinamento para o aumento da TDF em adultos.

O tipo de contração influencia na TDF e suas determinantes (TILLIN et al., 2013), possivelmente modulando o aumento da TDF após diferentes tipos de treinamento de força realizados com ações explosivas (isométrico vs. explosivo, por exemplo). Os autores discutem que, em contrações concêntricas explosivas, a capacidade de atingir o torque máximo voluntário, é maior, em comparação a outros tipos de contração (isométrica, excêntrica ou concêntrica lenta). Isso aparentemente ocorre por consequência de uma estratégia neural mais efetiva. Foi sugerido que a

TDF normalizada pelo torque produzido durante a CVM é maior durante contrações concêntricas, a contrações excêntricas e isométricas, com o torque máximo sendo atingido mais rápido do que em condições isométricas (AAGAARD et al., 2002; THORSTENSSON et al., 1976). Em adição, Tillin et al. (2013) mostraram que a velocidade contrátil influencia positivamente na habilidade de utilizar o torque da CVM disponível em ações explosivas. Esse efeito pode ocorrer como resultado de um mecanismo neural de proteção, que inibe a ativação do músculo em condições propícias a desencadear altas cargas, tais como as contrações excêntricas, isométricas e contrações concêntricas lentas. Portanto, exercícios explosivos podem permitir o desenvolvimento de uma maior TDF contrátil e, conseqüentemente, um maior aumento na TDF, em comparação aos treinamentos isométricos e de força.

6.3 Especificidade

A especificidade entre treinamento e teste também tem sido considerada uma variável de confusão para o controle das respostas da TDF ao treinamento (BLAZEVICH, 2012). O autor comenta que, de todos os estudos revisados em seu artigo, 83,3% dos estudos apresentam um aumento na TDF, medida isometricamente na extensão do joelho, quando alguma forma de extensão do joelho foi realizada no protocolo de treinamento. Adicionalmente, 90,9% dos estudos mostraram um aumento na TDF medida em qualquer forma de teste isométrico, quando a posição corporal foi similar entre teste e treinamento. Nesse contexto, nossa meta-análise mostrou que as mudanças na TDF induzidas pelo treinamento parecem ser independentes à especificidade entre as tarefas de teste e treinamento, em respeito à posição corporal. Apesar disso, duas variáveis de possível confusão devem ser frizadas para discutir a influência da especificidade das adaptações ao treinamento de força. Primeiramente, a maioria dos estudos analisados na presente meta-análise utilizaram contrações dinâmicas para induzir adaptações neuromusculares. No entanto, as variáveis da TDF foram tipicamente medidas em tarefas monoarticulares isoladas, sob condições isométricas. Apesar dessas características fornecerem uma situação experimental controlada, o princípio da especificidade também pode ter sido potencialmente violado. Em adição, indivíduos menos experientes, como os analisados no presente estudo, são mais responsivos

que atletas altamente treinados (com base no curso de tempo das adaptações fisiológicas, Buckner et al. sugerem que 8-12 semanas de treinamento resistido são o suficiente para enquadrar um indivíduo com o critério “treinado”, tratando-se de força e crescimento muscular), em relação à adaptações neuromusculares, após um programa de treinamento similar (BUCKNER et al., 2017). Nessa condição, a influência da especificidade entre treinamento e teste poderia ser atenuada. Claramente, estudos melhor controlados são ideais, para elucidar o efeito real da especificidade entre tarefas de teste e treinamento nas adaptações da TDF, induzidas pelo treinamento resistido.

6.4 Duração do treinamento

Meta-análises anteriores consistentemente produziram evidência de que o aumento da força muscular é positivamente influenciado pela duração do treinamento, indicando que a mudança na força foi maior durante períodos mais longos de treinamento (LESINSKI et al., 2016; BORDE et al., 2015). O trabalho de Lesinski et al. (2016), por exemplo, mostrou que, em relação a ganhos de força, protocolos convencionais de treinamento resistido de longa duração (≥ 24 semanas) foram mais efetivos em atletas jovens, em comparação à protocolos de menor duração (Diferença media padronizada = 3,40 para o grupo de longo período de treinamento, DMP = 0,61-1,24 para menores durações). Borde et al. (2015) encontra resultados similares em sua meta-análise, onde avalia relações de dose e resposta de treinamento resistido em idosos saudáveis. De todas as co-variáveis analisadas independentemente através das meta-regressões, o período de treinamento foi o único a ter influência significativa na força muscular (DMP entre sujeitos = 2,34; 50-53 semanas). O aumento da força muscular após treinamento resistido é explicada por adaptações neurais e morfológicas (MORITANI e DEVRIES, 1979), com a anterior ocorrendo principalmente durante a fase inicial do período de treinamento. As adaptações dos fatores músculo-tendíneos (hipertrofia e *stiffness* muscular, por exemplo) são mais prováveis de ocorrer em resposta à protocolos prolongados de treinamento de força. Essa diferença no curso de tempo pode contribuir para explicar, pelo menos parcialmente, a influência da duração do treinamento no aumento de força muscular.

Hipoteticamente, um cenário diferente seria encontrado em relação à TDF, visto que ambos os mecanismos e a resposta adaptativa ao treinamento resistido parecem ser diferentes entre a TDF inicial e a força muscular (ANDERSEN e AAGAARD, 2006). Enquanto a TDF inicial é influenciada pela ativação muscular e propriedades musculares contráteis, a TDF tardia é associada à força muscular, tamanho e stiffness musculotendíneo. Andersen e Aagaard (2006) encontraram, por exemplo, que a CVM é responsável por 18-21% da variância na TDF voluntária na fase inicial da contração (< 40ms). Em contrapartida, a CVM apresentou-se fortemente relacionada à TDF em fases mais tardias da contração (52-81% a >90 ms). De fato, nossa meta-análise revelou que as mudanças induzidas por treinamento na TDF inicial não foram moderadas pela duração do treinamento. Há diversas linhas de evidência que mostram que as adaptações neurais são as variáveis mais contribuintes para o ganho na TDF induzida por programas de treinamento de curto prazo (2-8 semanas) (TILLIN et al., 2012; HOLTERMANN et al., 2007). No estudo de Tillin et al. (2012), por exemplo, foi identificado um aumento na produção de força explosiva em todos os intervalos de tempo avaliados (50, 100 e 150 ms), após uma intervenção com treinamento de força explosiva, por 4 semanas. Os autores discutem, então, que o aumento na variável nos intervalos de 100 e 150 ms ocorreu primariamente pelo aumento proporcional da força máxima. O aumento no intervalo de 50 ms, por sua vez, parece ter ocorrido primariamente graças ao aumento no neural drive agonista. Holtermann et al. (2007) encontraram resultados similares; após um protocolo de treinamento de força de apenas 3 semanas, encontraram um aumento na amplitude do reflexo-H. Esse ganho estava relacionado positivamente com o aumento na TDF, mas não com o aumento da força máxima. No entanto, isoformas IIX de cadeia pesada de miosina (importante determinante de propriedades contráteis do músculo) provavelmente serão reduzidas (50-90%) durante protocolos prolongados de treinamento resistido de alta intensidade. Nesse contexto, Andersen et al. (2010) encontraram que um decréscimo na TDF relativa (normalizada pela CVM) na fase inicial (0-50 ms relativo ao início da contração) estava correlacionada com o decréscimo na proporção relativa de fibras do tipo IIX ($r^2 = 0,37$). Adicionalmente, mudanças induzidas por treinamento na hipertrofia de fibras do tipo II e stiffness muscular provavelmente não contribuem no aumento da TDF durante a fase inicial da contração (ANDERSEN e AAGAARD, 2006). Portanto, interações entre mecanismos neurais e musculares

podem explicar uma menor adaptação (OGASAWARA et al., 2012) ou até uma TDF diminuída (HAKKINEN et al., 1985) após períodos longos de treinamento de força.

7 CONCLUSÃO

A presente meta-análise mostra que o treinamento resistido tem um efeito benéfico significativo na TDF de adultos e que esse efeito não é moderado pelo período de treinamento após períodos de curto a médio (4-13 semanas, por exemplo). O treinamento resistido realizado com contrações musculares explosivas e altas velocidades de contração (i.e., treinamento explosivo) tem um efeito superior na melhoria da TDF quando comparado à protocolos de treinamento isométricos e de força. No entanto, treinar realizando ações explosivas repetidamente, sem movimento ou com movimentos lentos parece não ser capaz de induzir maior aumento na TDF, em comparação ao treinamento realizado sem contrações balísticas. Portanto, os dados presentes não permitem identificar a TDF contrátil, por si só, como o principal estímulo de treinamento para aumento da TDF inicial.

REFERÊNCIAS

- AAGAARD, P. et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: Changes in muscle architecture. *J Physiol, Oxford*, 534: 613-23, 2001
- AAGAARD, P. et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol, Washington*, Vol. 93 no. 4, 2002
- AAGAARD, P. Training-induced changes in neural function. *Exerc Sport Sci Ver, New York* 31:61–67, 2003
- ALEGRE, L. M. et al. Effects of dynamic resistance training on fascicle length and isometric training. *J Sports Sci, London*, 24(5):501-8, 2006
- ANDERSEN, L.L.; ANDERSEN, J.L.; ZEBIS, M. K.; AAGAARD, P. Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *Scand J Med Sci Sports, Copenhagen*, 20(1):162-9, 2010
- ANDERSEN, L. L. et al. Effect of contrasting physical exercise interventions on rapid force capacity of chronically painful muscles. *J Appl Physiol, Washington*, 107: 1413–1419, 2009
- ANDERSEN, L.L; AAGAARD, P. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol, Berlin*, 96(1): 46-52. 2006
- BALSHAW, T. G. et al. Training-specific functional, neural and hypertrophic adaptations to explosive- vs. sustained-contraction strength training. *J Appl Physiol, Washington*, 120(11):1364-73, 2016
- BEHRENS, M.; MAU-MOELLER, A; BRUHN, S.; Effect of plyometric training on neural and mechanical properties of the knee extensor muscles. *Int J Sports Med, Stuttgart*, 35(2):101-19, Fev 2014
- BENTO, P. C.; RODACKI, A. L. Muscle function in aged women in response to a water-based exercises program and progressive resistance training. *Geriatr Gerontol Int, Tokyo*, 15(11):1193-200, 2015

BLAZEVIČH, A. Are training velocity and movement pattern important determinants of muscular rate of force development enhancement? *Eur J Appl Physiol*, Berlin, 112: 3689, 2012

BLAZEVIČH, A. J. et al. Effect of contraction mode of slow-speed resistance training on the maximum rate of force development in the human quadriceps. *Muscle Nerve*, New York, 38(3):1133–46, 2008

BLAZEVIČH, A. J. et al. Changes in muscle force-length properties affect the early rise of force in vivo. *Muscle Nerve*, New York, 39:512-520, 2009

BOJSEN-MOLLER, S. et al. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol*, Washington, v99(3), 986-994, 2005

BORDE, R.; HORTOBÁGYI, T.; GRANACHER, U. Dose-Response Relationships of Resistance Training in Healthy Old Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, Auckland, 45(12):1693-720, 2015

BORENSTEIN, M. et al. Introduction to Meta-Analysis. West Sussex: Wiley; 2009

BOSCO, C.; KOMI, P. V. Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, Berlin, 45(2-3):209-19, 1980

BRANISLAV, R. et al. Effects of combined and classic training on different isometric rate of force development parameters of leg extensors in female volleyball players: Discriminative analysis approach. *J Res Med Sci*, S.I., 18(10): 840–847, 2013

BUCKNER, S. L. et al. What does individual strength say about resistance training status? *Muscle Nerve*, New York, 55(4):455-7, 2017

BUCKTHORPE, M. W. et al. Reliability of neuromuscular measurements during explosive isometric contractions, with special reference to electromyography normalization techniques. *Muscle Nerve*, New York, 46(4):566-76, 2012

CADORE, E. L. et al. Muscle conduction velocity, strength, neural activity, and morphological changes after eccentric and concentric training. *Scand J Med Sci Sports*, Copenhagen, 24(5):e343-52, 2014

CAMPBELL, W.W. et al. Effects of resistance training and dietary protein intake on protein metabolism in older adults. *Am J Physiol*, Washington, 268:E1143-53, 1995

CHRISTIE, A.; KAMEN, G. Short-term training adaptations in motor unit firing rates and afterhyperpolarization duration. *Muscle Nerve*, New York, 41:651-60, 2010

COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associate, 1988

COMMODORE, D. I. Falls in the elderly population: a look at incidence, risks, healthcare costs, and preventive strategies. *Rehabil Nurs*, Philadelphia, 20(2):84-89, 1995

CORREA, C.S. et al. 3 Different types of strength training in older women. *Int J Sports Med*, Stuttgart, 33(12):962-9, Dec 2012

CURETON, K.J. et al. Muscle hypertrophy in men and women. *Med Sci Sports Exerc*, Madison, 20: 338-344, 1988

DE RUITER, C. J. et al. The effects of imagery training on fast isometric knee extensor torque development. *J Sports Sci*, London, 30:166–174, 2012

DE RUITER, C. J., et al. Initial phase of maximal voluntary and electrically stimulated knee extension torque development at different knee angles. *J Appl Physiol*, Washington, 97:1693–1701, 2004

DEL BALSIO, C.; CAFARELLI, E. Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. *J Appl Physiol*, Washington, 103:402–411, 2007

DESMEDT, J. E.; GODAUX, E. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol*, Oxford, 264: 673-693, 1977

DESMEDT, J. E.; GODAUX, E. Ballistic contractions in fast or slow human muscles: discharge patterns of single motor units. *J Physiol*, Oxford 285:185–196, 1978

DUCHATEAU, J.; ENOKA, R. M. Human motor unit recordings: origins and insight into the integrated motor system. *Brain Res*, Amsterdam, 29;1409:42-61, 2011

DUCHATEAU, J.; HAINAUT, K. Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, Bethesda, 56(2):296-301, 1984

EDGERTON, V. R.; CREMER, S. Motor unit plasticity and possible mechanisms. *Progress Clinical Neurophysiology*, S.I., v. 9, p. 220-240, 1981

ENOKA, R. M. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol*, Washington, 81(6):2339-46, 1996

FOLLAND J. P.; WILLIAMS, A. G. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*, Auckland, 37(2):145-168, 2007

FOLLAND, J. P.; BUCKTHORPE, M. W.; HANNAH, R. Human capacity for explosive force production: neural and contractile determinants. *Scand J Med Sci Sports*, Copenhagen, 24(6):894-906, 2014

GARFINKEL, S.; CAFARELLI, E. Relative changes in maximal force, emg, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Med Sci Sports Exerc*, Madison, 24: 1220-1227, 1992

GEERTSEN, S. S.; LUNDBYE-JENSEN, J.; NIELSEN, J.B. Increased central facilitation of antagonist reciprocal inhibition at the onset of dorsiflexion following explosive strength training. *J Appl Physiol*, Washington, 105(3), 915-922, 2008

GLASS, G. V. Primary, secondary and Meta-Analysis of Research. *Educ Res*, S.I., 5(10): 3-8, 1976

GRIMBY, G. Muscle performance and structure in the elderly as studied crosssectionally and longitudinally. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, Washington, 50A:17-22, 1995

GRUBER, M. et al. Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. *J Strength Cond Res*, Champaign, 21(1):274-282, 2007

HAFF, G. G. et al. Forcetime dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *J Strength Cond Res*, Champaign, 11: 269–272, 1997

HAIDICH, A. B. Meta-analysis in medical research. *Hippokratia*, Thessalonike, 14(1): 29-37, 2010

HAKKINEN, K.; KOMI, P.; TESCH, P. Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand J Sports Sci*, Copenhagen, 3:50-58, 1981

HAKKINEN, K.; KOMI, P. V.; ALEN, M. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand*, Oxford, 125(4): 587-600, 1985.

HAKKINEN, K. et al. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J Appl Physiol*, Washington, 91: 569-580, 2001

HAKKINEN, K. et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol*, Berlin, 89:42–52, 2003

HIGGINS, J. P. et al. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*, London, 327(7414):557-60, 2003

HIGGINS J. P. T. (Ed); GREEN, S (Ed). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions v5.1.0*. The Cochrane Collaboration, 2011. Disponível em <www.cochrane-handbook.org>. Acessado em 20 dez. 2017

HOLVIALA, J. et al. Effects of prolonged and maintenance strength training on force production, walking, and balance in aging women and men. *Scand J Med Sci Sports*, Copenhagen, 24(1):224-233, 2014

HOLTERMANN, A. et al. Enhanced H-reflex with resistance training is related to increased rate of force development. *Eur J Appl Physiol*, Berlin, 101(3):301-312, 2007

HOPKINS, W. G. et al. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, Madison, 41(1):3-13, 2009

HORTOBAGYI, T.; KATCH, F.; LACHANCE, P. Interrelationships among various measures of upper body strength assessed by different contraction modes. *Eur J Appl Physiol*, Berlin, 58: 749-755, 1989

HORTOBÁGYI, T. et al. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol*, Washington, 80: 765–772, 1996

HOUSH, D. J. et al. Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *J Appl Physiol*, Washington, 73: 65-70, 1992

HUBAL, M. J. et al. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, Madison, 37(6):964-972, 2005

HVID, L. et al. Effects of aging on muscle mechanical function and muscle fiber morphology during shortterm immobilization and subsequent retraining. *J Appl Physiol*, Washington, 109: 1628-1634, 2010.

IRMISCHER, B. S. et al. Effects of a knee ligament injury prevention exercise program on impact forces in women. *J Strength Cond Res*, Champaign, 18(4): 703-707, 2004

JONES, D. A.; RUTHERFORD, O. M.; PARKER, D. F. Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Q J Exp Physiol Cogn Med Sci*, Edinburgh, 74: 233-256, 1989

JOY, J. M. et al. Elastic Bands as a Component of Periodized Resistance Training. *J Strength Cond Res*, Champaign, 30(8):2100-2106, 2013

KAWAMORI, N.; HAFF, G. G. The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res*, Champaign, 18(3):675-684, 2004

KEMI, O. K. et al. One-arm maximal strength training improves work economy and endurance capacity but not skeletal muscle blood flow. *J Sports Sci*, London, 29(2):161-170, 2011

KNUTTGEN, N. H.; KRAEMER, W. J. Terminology and measurement in exercise performance. *J Appl Sport Sci Res*, Lincoln, v. 1, p.1-10, 1987

KOMI, P. V.; BOSCO, C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports Exerc*, Madison, 10: 261–265, 1978

KOMI, P. V.; VIITASALO, J. T.; RAURAMA, R.; VIHKO, V. Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, Berlin, 40: 45-55, 1978

KUBO, K. et al. Changes in the elastic properties of tendon structures following 20 days bed-rest in humans. *Eur J Appl Physiol*, Berlin, 83(6), 463-468, 2000

LAMAS, L. et al. Effects of strength and power training on neuromuscular adaptations and jumping movement pattern and performance. *J Strength Cond Res*, Champaign, 26(12):3335-3344, 2012

LAMONT, H. S. et al. Effects of adding whole body vibration to squat training on isometric force/time characteristics. *J Strength Cond Res*, Champaign, 24(1):171-83, 2010

LAMONT, H. S. et al. Effects of a 6-week periodized squat training program with or without whole-body vibration on jump height and power output following acute vibration exposure. *J Strength Cond Res*, Champaign, 23(8): 2317-25, 2009

LAROCHE, D. P. et al. Elderly women have blunted response to resistance training despite reduced antagonist coactivation. *Med Sci Sports Exercise*, Madison, 40(9):1660-1668, 2008

LESINSKI, M.; PRIESKE, O.; GRANACHER, U. Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*, Loughborough, 50(13):781-795, 2016

LOPES, P. B. et al. Strength and power training effects on lower limb force, functional capacity, and static and dynamic balance in older female adults. *Rejuvenation Res*, Larchmont, 2016

LUFF, A. R.; ATWOOD, H. L. Changes in the sarcoplasmic reticulum and transverse tubular system of fast and slow skeletal muscles of the mouse during postnatal development. *J Cell Biol*, New York, 51:369–383, 1971

MAFFIULETTI, N. A. et al. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol*, Berlin, 116: 1091-1116, 2016

MAHER, C. G. et al. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*, Alexandria, 83(8):713-721, 2003

MATAVULJ, D. et al. Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*, Torino, 41(2):159-64, Jun 2001

METZGER, J. M.; MOSS, R. L. Calcium-sensitive cross-bridge transitions in mammalian fast and slow skeletal muscle fibers. *Science*, New York, 247:1088–1090, 1990

MILNER-BROWN, H. S.; STEIN, R. B.; LEE, R. G. Synchronization of human motor units: Possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, Amsterdam, 38: 245-254, 1975.

MISZKO, T. A. et al. Effect of strength and power training on physical function in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, Washington, 58(2):171-175, 2003

MORELAND, J. D. et al. Muscle Weakness and Falls in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Geriatr Soc*, S.I. 52(7):1121-1129, 2004

MORITANI, T.; DEVRIES, H. A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med*, Baltimore, 58(3):115-130, 1979

MOSTI, M. P. et al. Maximal strength training improves bone mineral density and neuromuscular performance in young adult women. *J Strength Cond Res*, Champaign, 28(10):2935-2945, 2014

NARICI, M. et al. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand*, Oxford, 157: 175-186, 1996

NEWTON, R. U.; KRAEMER, W. J.; HAKKINEN, K. Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Med Sci Sports Exerc*, Madison, 31(2), 323-330, 1999

OGASAWARA, R. et al. Comparison of muscle hypertrophy following 6-month of continuous and periodic strength training. *Eur J Appl Physiol*, Berlin, 113(4): 975-85, 2013

OLIVEIRA; F. B.; RIZATTO, G. F.; DENADAI, B. S. Are early and late rate of force development differently influenced by fast-velocity resistance training? *Clin Physiol Funct Imaging*, Oxford, 33(4), 282-287, 2013a

OLIVEIRA, F. B. D. et al. Resistance training for explosive and maximal strength: Effects on early and late rate of force development. *J Sports Sci Med*, Bursa, v.12(3), 2013b

OLIVEIRA, A. S. et al. Effects of fast-velocity eccentric resistance training on early and late rate of force development. *Eur J Sport Sci*, Abingdon, 16(2):199-205, 2016

PALMIERI, R. M.; INGERSOLL, C. D.; HOFFMAN, M. A. The Hoffmann Reflex: Methodologic Considerations and Applications for Use in Sports Medicine and Athletic Training Research. *J Athl Train*, Dallas, v39(3), 2004

PEREZ, M. A. et al. Motor skill training induces changes in the excitability of the leg cortical area in healthy humans. *Exp Brain Res*, Berlin, 159: 197-205, 2004

PRYOR, J. F.; WILSON, G. J.; MURPHY, A. J. The effectiveness of eccentric, concentric and isometric rate of force development test. *J Hum Mov Stud*, S.I., 27: 153–172, 1994

RACK, P. M.; WESTBURY, D. R. The effect of length and stimulus rate on tension in the isometric cat soleus muscle. *J Physiol*, Oxford, 204: 443-460, 1969

REEVES, N. D.; MAGANARIS, C. N.; NARICI, M.V. Effect of strength training on human patella tendon mechanical properties of older individuals. *J Physiol*, Oxford, 548: 971–981, 2003

ROTHSTEIN, H.; SUTTON, A.; BORENSTEIN, M. Publication bias in meta-analysis. The trim and fill method. West Sussex: Wiley; 2005

SCHIAFFINO, S.; MARGRETH, A. Coordinated development of the sarcoplasmic reticulum and T system during postnatal differentiation of rat skeletal muscle. *J Cell Biol*, New York, 41:855–875, 1969

SCHIAFFINO, S.; REGGIANI, C. Fiber types in mammalian skeletal muscles. *Physiol Ver*, Bethesda, 91:1447–1531, 2011

SLEIVERT, G. G.; BACKUS, R.D.; WENGER, H. A. The influence of a strength-sprint training sequence on multi-joint power output. *Med Sci Sports Exerc*, Madison, 27(12):1655-1665, 1995

STONE, M. H. et al. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res*, Champaign, 17: 140–147, 2003

SUETTA C., et al. Training-induced changes in muscle CSA, muscle strength, EMG, and rate of force development in elderly subjects after long-term unilateral disuse. *J Appl Physiol*, Washington, 97(5):1954-61, 2004

THOMPSON, B. J. et al. Barbell deadlift training increases the rate of torque development and vertical jump performance in novices. *J Strength Cond Res*, Champaign, 29(1):1-10, 2015

THORSTENSSON, A. et al. Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, Oxford, 98: 232-236, 1976

TILLIN, N. A.; PAIN, M. T.; FOLLAND, J. P. Short-term training for explosive strength causes neural and mechanical adaptations. *Exp Physiol*, Cambridge 97(5):630-41, 2012

TILLIN, N. A. et al. The human capacity to produce explosive torque is influenced by contraction type and acceleration. XXIV Congress of the International Society of Biomechanics, Natal; Brazil, Aug 4th–9th, 2013

TSCHOPP, M.; SATTELMAYER, M. K.; HILFIKER, R. Is power training or conventional resistance training better for function in elderly persons? A meta-analysis. *Age Ageing*, Oxford, 40(5):549-56, 2011

UMAN, L. S. Systematic reviews and meta-analyses. *J Can Acad Child Adolesc Psychiatry*, Ottawa, 20(1): 57-59, 2011

VAN CUTSEM, M.; DUCHATEAU, J.; HAINAUT, K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*, Oxford, 513(1): 295-305, 1998

VANGSGAARD, S. et al. Changes in H reflex and neuromechanical properties of the trapezius muscle after 5 weeks of eccentric training: a randomized controlled trial. *J Appl Physiol*, Washington, 116(12):1623-1631, 2014

VILA-CHÃ, C.; FALLA, D.; FARINA, D. Motor unit behavior during submaximal contractions following six weeks of either endurance or strength training. *J Appl Physiol*, Washington, 109(5):1455-1466, 2010

WAUGH, C. M. et al. Rapid force production in children and adults: mechanical and neural contributions. *Med Sci Sports Exerc*, Madison, 45: 762-771, 2013

WELLE, S.; TOTTERMAN, S.; THORNTON, C. Effect of age on muscle hypertrophy induced by resistance training. *J Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci*, Washington, 51: M270-M275, 1996

WILMORE, J. H. Alterations in strength, body composition and anthropometric measurements consequent to a 10-week weight training-program. *Med Sci Sports Exerc*, Madison, 6: 133-138, 1974

WILSON, G. J. et al. Assessing dynamic performance: a comparison of rate of force development tests. *J Strength Cond Res*, Champaign, 9: 176–181, 1995

WIRTH, K. et al. Effects of eccentric strength training on different maximal strength and speed-strength parameters of the lower extremity. *J Strength Cond Res*, Champaign, 29(7):1837-1845, 2015

WIRTH, K. et al. The impact of back squat and leg-press exercise on maximal strength and speed-strength parameters. *J Strength Cond Res*, Champaign, 30(5): 1205-12, 2016.

YOUNG, W.B.; BILBY, G. E. The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *J Strength Cond Res*, Champaign, 7: 172-178, 1993

ANEXOS

ANEXO A – ESCALA PEDro

Escala de PEDro – Português (Brasil)

- | | |
|--|---|
| 1. Os critérios de elegibilidade foram especificados | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 2. Os sujeitos foram aleatoriamente distribuídos por grupos (num estudo cruzado, os sujeitos foram colocados em grupos de forma aleatória de acordo com o tratamento recebido) | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 3. A alocação dos sujeitos foi secreta | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 4. Inicialmente, os grupos eram semelhantes no que diz respeito aos indicadores de prognóstico mais importantes | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 5. Todos os sujeitos participaram de forma cega no estudo | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 6. Todos os terapeutas que administraram a terapia fizeram-no de forma cega | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 7. Todos os avaliadores que mediram pelo menos um resultado-chave, fizeram-no de forma cega | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 8. Mensurações de pelo menos um resultado-chave foram obtidas em mais de 85% dos sujeitos inicialmente distribuídos pelos grupos | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 9. Todos os sujeitos a partir dos quais se apresentaram mensurações de resultados receberam o tratamento ou a condição de controle conforme a alocação ou, quando não foi esse o caso, fez-se a análise dos dados para pelo menos um dos resultados-chave por “intenção de tratamento” | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 10. Os resultados das comparações estatísticas inter-grupos foram descritos para pelo menos um resultado-chave | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |
| 11. O estudo apresenta tanto medidas de precisão como medidas de variabilidade para pelo menos um resultado-chave | não <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> onde: |