
EDUCAÇÃO FÍSICA

LEONARDO DE CAIRES PALARO

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO MÁXIMA E DA
SUSTENTABILIDADE DO TORQUE ISOMÉTRICO
EM INDIVÍDUOS TREINADOS E NÃO TREINADOS**



Rio Claro - SP
2025

LEONARDO DE CAIRES PALARO

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO MÁXIMA E DA SUSTENTABILIDADE DO
TORQUE ISOMÉTRICO EM INDIVÍDUOS TREINADOS E NÃO
TREINADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Biociências -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho",
para obtenção do grau de Bacharel em
Educação Física.

Orientador(a): Profa. Dra. Camila Coelho Greco

P154a	<p>Palaro, Leonardo de Caires</p> <p>Análise da produção máxima e da sustentabilidade do torque isométrico em indivíduos treinados e não treinados / Leonardo de Caires Palaro. – Rio Claro, 2025</p> <p>29 p.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Educação Física) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro</p> <p>Orientadora: Camila Coelho Greco</p> <p>1. Força muscular. 2. Endurance muscular. 3. Fadiga. I.</p> <p>Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

LEONARDO DE CAIRES PALARO

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO MÁXIMA E DA SUSTENTABILIDADE
DO TORQUE ISOMÉTRICO EM INDIVÍDUOS TREINADOS E NÃO
TREINADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Bacharel em Educação Física.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Camila Coelho Greco

Prof. Dr. Adalgiso Coscrato Cardozo

Prof. Dr. Flávio Soares Alves

Aprovado em: 04 de novembro de 2025

Assinatura do discente

Assinatura do(a) orientador(a)

RESUMO

AGRADECIMENTOS

Deixo meus agradecimentos a Deus, por me ensinar a manter o controle mesmo nos momentos mais difíceis. À minha mãe, que esteve ao meu lado em todos os instantes, não mediu esforços e com quem compartilhei alegrias e tristezas ao longo dessa trajetória.

Agradeço também ao meu pai e ao meu irmão, que sempre acreditaram em mim e me ofereceram apoio sempre que precisei. Aos amigos da faculdade, pela presença constante nessa caminhada, entre risadas e desafios, sem os quais nada disso seria possível.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Camila Coelho Greco, expresso meus sinceros agradecimentos pela dedicação e contribuição fundamental em todas as etapas deste trabalho. Aos colegas de laboratório, pelo auxílio e companheirismo diante das dúvidas. E, por fim, aos participantes voluntários, sem os quais esta pesquisa não poderia ter sido realizada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2023/17554-0. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar e comparar a força máxima, a força explosiva, a sustentabilidade da força e a fadiga muscular em atletas de *CrossFit*[®] e indivíduos não treinados. Participaram 17 homens saudáveis, com idades entre 18 e 40 anos, divididos em grupo não treinado (GNT, n = 11) e grupo treinado em *CrossFit*[®] (GT, n = 6). Foram realizadas medidas antropométricas, ultrassonográficas, testes de contração voluntária máxima (CVM) e teste de contração voluntária máxima sustentada de 1 min (CVM1min), além de parâmetros eletromiográficos e de fadiga neuromuscular. Os resultados mostraram que o GT apresentou maiores valores de torque pico, impulso total e área de secção transversa do vasto lateral, bem como menor fadigabilidade (Δ CVM1min), em comparação ao GNT ($p < 0,05$). Em ambos os grupos, observou-se redução significativa no torque evocado em repouso, na taxa de desenvolvimento de torque e na frequência mediana após o teste de CVM1min ($p < 0,05$), indicando predominância da fadiga periférica. Não foram observadas diferenças relevantes na ativação voluntária ou nos valores de RMS entre grupos ($p > 0,05$). Conclui-se que o treinamento de *CrossFit*[®] promove adaptações morfológicas e funcionais que favorecem maior produção e manutenção da força muscular, embora não modifique os mecanismos centrais de fadiga. Esses achados mostram que indivíduos treinados em *CrossFit*[®] apresentam maior produção e sustentação do torque durante uma contração máxima isométrica com duração de 1 minuto.

Palavras-chave: força muscular; Endurance muscular; fadiga.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze and compare maximum strength, explosive strength, strength sustainability, and muscle fatigue in *CrossFit*[®] athletes and untrained individuals. Seventeen healthy men aged between 18 and 40 years participated, divided into an untrained group (UTG, n = 11) and a *CrossFit*[®]-trained group (CTG, n = 6). Anthropometric and ultrasonographic measurements were performed, as well as maximum voluntary contraction (MVC) and 1-minute sustained maximum voluntary contraction (MVC1min) tests, in addition to electromyographic and neuromuscular fatigue parameters. The results showed that the TG had higher peak torque, total impulse, and cross-sectional area of the vastus lateralis, as well as lower fatigability (Δ MVC1min), compared to the UTG ($p < 0.05$). In both groups, there was a significant reduction in evoked torque at rest, torque development rate, and median frequency after the MVC1min test ($p < 0.05$), indicating a predominance of peripheral fatigue. No relevant differences were observed in voluntary activation or RMS values between groups ($p > 0.05$). It is concluded that *CrossFit*[®] training promotes morphological and functional adaptations that favor greater production and maintenance of muscle strength, although it does not modify the central mechanisms of fatigue. These findings show that individuals trained in *CrossFit*[®] have greater torque production and maintenance during a 1-min maximum isometric contraction.

Keywords: muscle strength; muscle endurance; fatigue.

Title in english: ANALYSIS OF MAXIMUM PRODUCTION AND SUSTAINABILITY OF ISOMETRIC TORQUE IN TRAINED AND UNTRAINED INDIVIDUALS

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das variáveis obtidas através da coleta de dados antropométricas.....	21
Tabela 2 - Resultados das variáveis obtidas através das imagens do ultrassom muscular do vasto lateral	23
Tabela 3 - Resultados das variáveis obtidas através do teste de CVM1min	38
Tabela 4 - Valores médios \pm desvio padrão das variáveis neuromusculares antes (pré) e após (pós) o teste de CVM1min nos grupos treinado e não treinado.....	38
Tabela 5 - Valores médios \pm desvio padrão de Root Mean Square (RMS) e Frequência mediana (FM) antes (pré) e após (pós) o teste de CVM1min.....	38
Tabela 6 - Resultados das variáveis de taxa de desenvolvimento de torque (TDT) obtidas antes (pré) e após (pós) o teste de CVM1min.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS

CVM	Contração voluntária máxima
CVM1min	Contração voluntária máxima sustentada de 1 minuto
ΔCVM	Variação da contração voluntária máxima
ΔCVM1min	Variação da contração voluntária máxima durante a CVM1min
1RM	1 Repetição máxima
EMG	Eletromiografia
RMS	Root mean square
FM	Frequência mediana
%AV	Ativação voluntária
TER	Torque evocado em repouso
TDT	Taxa de desenvolvimento de torque
TDTpico	Taxa de desenvolvimento de torque pico
GNT	Grupo não treinado
GT	Grupo treinado
PTI	Pico de torque isométrico
EM	Espessura muscular
AST	Área de secção transversa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivo geral.....	13
1.2 Objetivos específicos	13
2 MATERIAIS E MÉTODOS	14
2.1 Sujeitos.....	14
2.2 Delineamento experimental	14
2.3 Determinação da força máxima e da sustentabilidade da força muscular	15
2.4 Parâmetros de fadiga central e periférica.....	16
2.5 Antropometria	17
2.6 Medidas ultrassonográficas	17
2.7 Eletromiografia.....	18
2.8 Análise estatística	18
3 RESULTADOS	19
3.1 Variáveis antropométricas e ultrassonográficas	19
3.2 Testes de CVM1min	20
4 DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÃO	24

1 INTRODUÇÃO

A fadiga neuromuscular pode ser definida como qualquer diminuição na capacidade de um músculo de produzir, sustentar e desenvolver força ou potência muscular durante o exercício (BIGLAND-RITCHIE, 1984). A fadiga começa a se desenvolver desde os momentos iniciais do exercício, e pode envolver tanto a alterações que ocorrem dentro do músculo, como também mudanças na capacidade do sistema nervoso central de ativar os motoneurônios (GANDEVIA, 2001). Quando as alterações geradas são intramusculares, a fadiga é caracterizada como periférica, e quando há um comprometimento do sistema nervoso central a fadiga é caracterizada como central (BOYAS e GUÉVEL, 2010). Na presença de fadiga central, alguns mecanismos potencialmente podem ser afetados, como: o comando dos motoneurônios pode ser influenciado por atividades reflexas induzidas pelos aferentes musculares, a estimulação dos nervos tipo III e IV (aferentes quimioceptivos e nociceptivos) pode induzir uma queda na taxa de descarga dos motoneurônios e uma inibição do comando do córtex motor e a excitabilidade das células dentro do córtex motor pode variar durante uma tarefa motora sustentada, entre outras. Já a fadiga periférica pode afetar diversos mecanismos em dois locais distintos, o primeiro é o ambiente intracelular: acúmulo de íons lactato e hidrogênio (são parcialmente tamponados pelo bicarbonato) que induz a liberação de dióxido de carbono alterando o quociente respiratório e acúmulo de amônia; Já nas fibras musculares, alguns mecanismos que possivelmente podem ser afetados com a fadiga periférica são: acúmulo de fosfato inorgânico no sarcoplasma (induz queda na força contrátil devido à inibição das interações das pontes cruzadas), acúmulo de íons hidrogênio no sarcoplasma (pode desencadear uma recaptação prejudicada de cálcio pelo retículo sarcoplasmático) e acúmulo de íons magnésio no sarcoplasma (pode limitar a liberação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático), que podem reduzir a capacidade intrínseca do músculo de gerar força (BOYAS e GUÉVEL, 2010).

Entre os métodos mais utilizados para a análise da fadiga central e periférica está a estimulação percutânea no nervo motor (MILLET et al., 2011). Basicamente, são utilizados estímulos elétricos durante uma CVM e no repouso, logo após a CVM, que permitem analisar a contribuição de fatores periféricos e centrais para a queda na capacidade máxima de produção de força (i.e., fadiga). Há na literatura vários testes que podem ser utilizados para quantificar e analisar a força muscular. Tradicionalmente, um protocolo utilizado para a avaliação da capacidade máxima de produção de força muscular envolve contrações isométricas voluntárias máximas (CVM), concomitantemente com a medida da eletromiografia (EMG) (DE LUCA, 1997), que expressa a atividade dos músculos envolvidos no movimento e/ou contração. Estes testes, além de fornecerem dados robustos da capacidade de força máxima, também podem ser utilizados para quantificar a fadiga, ao serem utilizados durante (TAYLOR e GANDEVIA, 2008; BURNLEY et al., 2012), ou antes e após um exercício fatigante (VOLLESTAD, 1997; PLACE e MILLET, 2020). Mais recentemente, a análise da capacidade de manter um determinado nível de força durante uma CVM sustentada tem sido também considerada como um parâmetro de avaliação neuromuscular, pois ela pode expressar a capacidade adaptativa do sistema neuromuscular de manter níveis elevados de produção de força, mesmo com mudanças centrais e/ou periféricas geradas pelo exercício (LEBESQUE et al., 2022).

A força máxima tem sido considerada como um fator determinante do rendimento em diversas ações esportivas (SUCHOMEL et al., 2016, 2018). No entanto, em situações esportivas nas quais várias ações são realizadas em alta intensidade, a capacidade de sustentar níveis elevados de produção de força também possui um papel fundamental para o rendimento. Um teste que tem sido utilizado para se determinar a capacidade máxima de produção de torque e de sustentação do torque muscular (i.e., diferença entre torque final e inicial - Δ CVM), é o teste que consiste em uma contração voluntária máxima isométrica contínua com duração de 1 minuto (CVM1min) (BYRNE e ESTON, 2002; LEBESQUE

et al., 2022). Além das variáveis de produção máxima de torque e sustentabilidade da produção do torque (Δ CVM), é possível também a determinação do impulso total da contração por meio da área abaixo da linha de torque. A duração de 1 minuto está relacionada ao fato de que a maior parte da redução da produção de torque ocorrer do primeiro minuto de exercício (GANDEVIA et al., 1996).

Estudos envolvendo diferentes delineamentos experimentais demonstraram que a força máxima (CVM) e a sustentabilidade (Δ CVM) apresentam diferentes comportamentos, sugerindo que estas podem ser medidas que se complementam entre si. No estudo realizado por Lebesque et al. (2022), o teste de CVM1min foi utilizado para os músculos flexores plantares, antes e após um exercício fatigante, que é composto por 40 contrações voluntárias isométricas intermitentes, com 10 s de duração e 5 s de intervalo entre elas, as intensidades adotadas foram de 20% e 40% da CVM. Houve uma redução similar da CVM nos dois protocolos de exercício. Porém, o Δ CVM1min foi maior após o exercício mais intenso, ou seja, realizado a 40% CVM. Em um estudo mais recente (LEBESQUE et al., 2023), o mesmo grupo de autores analisou a respostas das variáveis do teste de CVM1min antes e após um exercício até a exaustão, a 40% CVM, realizado de forma contínua ou intermitente. Novamente, a redução da CVM foi similar nas duas condições, porém Δ CVM1min apresentou uma maior queda após a contração contínua. Estes dados sugerem que os mecanismos que estas duas variáveis não compartilham necessariamente os mesmos mecanismos. Assim, dependendo de fatores como por exemplo a população e os objetivos e aplicações da avaliação neuromuscular, pode ser interessante que, ao invés de se avaliar somente a CVM como indicador de fadiga, que se analise também a capacidade de sustentar níveis elevados de força muscular.

Entre os programas e tipos de exercícios que têm sido amplamente utilizados para a melhora da aptidão física, está a modalidade de treinamento CrossFit®. Ela é constituída de exercícios com foco na força

e potência muscular, como levantamento de peso, além de exercícios de resistência, como polichinelos e flexões. Essa modalidade tem como propósito melhorar a capacidade respiratória, capacidade de produção de força e capacidade de sustentação da força (resistência) por meio da combinação de variados exercícios executados em alta intensidade. Além deste aspecto, o treinamento tem uma combinação de diferentes elementos na prática: Cardiovascular, ginástica e exercícios de levantamento de peso (GLASSMAN, 2017).

A avaliação para atletas de CrossFit® tem sido realizada utilizando o teste de 1 repetição máxima (1RM) ou de contração voluntária isométrica máxima, para a determinação da capacidade máxima de produção de força, teste de 2 km no remoergômetro para a determinação da aptidão aeróbia e teste de resistência muscular localizada. Recentemente, foi demonstrado que a força máxima e a resistência muscular localizadas foram os índices que melhor predizeram a performance em um campeonato da modalidade (TIBANA et al., 2021).

A prática do CrossFit® utiliza grande parte dos grupos musculares do corpo humano e pode proporcionar benefícios relacionados à aptidão funcional e à saúde, pois permite o desenvolvimento de diferentes capacidades físicas. Além disso, o treinamento desta modalidade parece proporcionar aumento na área de secção transversa do músculo vasto lateral (MANGINE et al., 2020). Os exercícios que constituem a modalidade têm a demanda de grupos musculares requisitados bem variada, porém há uma participação importante dos membros inferiores. Portanto, a avaliação da capacidade máxima de produção de força, como também da sustentabilidade dos músculos extensores de joelho em apenas um teste pode ser muito interessante. Recentemente, observou-se que a fadiga neuromuscular foi maior após um período de treinamento que consistiu em contrações voluntárias máximas isométricas (BASSAN et al., 2019). Portanto, é possível hipotetizar que:

- a) Indivíduos treinados em CrossFit® apresentarão maiores valores de pico de torque durante uma contração voluntária máxima;

- b) Indivíduos treinados em CrossFit® apresentarão maiores valores de pico de torque e impulso total, e menor valor de $\Delta\text{CVM1min}$ do que indivíduos não treinados, e;
- c) Indivíduos treinados em CrossFit® apresentarão maior fadiga neuromuscular comparados a indivíduos não treinados.

1.1 Objetivo geral

Analisar e comparar a força máxima, força explosiva, sustentabilidade da força e a fadiga muscular em atletas de CrossFit® e indivíduos não treinados.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram analisar e comparar os seguintes parâmetros em atletas de CrossFit® e indivíduos não treinados:

- a) Pico de torque isométrico (CVM) e taxa de desenvolvimento de torque (TDT);
- b) Pico de torque, sustentabilidade do torque (ΔCVM) e impulso total do teste de contração isométrica máxima sustentada de 1 min (CVM1min);
- c) Taxa de desenvolvimento de torque (TDT);
- d) *Root mean square* (RMS) e frequência mediana (FM) antes e após o teste de CVM1min;
- e) Ativação voluntária (%AV) e torque evocado em repouso (TER) antes e após o teste de CVM1min.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Sujeitos

Participaram do estudo 17 participantes do sexo masculino, com 18 a 40 anos de idade, que foram divididos em 2 grupos: 1) Não-treinados (GNT) - indivíduos com pelo menos 6 meses sem exercício regular (n=11), e; 2) Treinados em CrossFit® (GT) - atletas de CrossFit®, com experiência de pelo menos 3 anos (n=6).

2.2. Delineamento Experimental

O presente projeto de pesquisa foi realizado em forma de estudo clínico controlado e randomizado. Todos os participantes presentes no estudo compareceram três vezes ao laboratório. Na primeira visita, além do reconhecimento do laboratório foi feita a familiarização aos equipamentos, medidas e procedimentos a serem realizados no estudo. Foram realizadas as medidas antropométricas (massa corporal, estatura e dobras cutâneas), imagens ultrassonográficas do músculo vasto lateral do membro dominante do indivíduo, teste incremental de eletroestimulação, além da familiarização ao protocolo da CVM_{1min}. Na segunda e na terceira visitas os indivíduos realizaram o protocolo de CVMs para avaliação da fadiga, juntamente com o teste de CVM_{1min}, que foram repetidos nas duas últimas visitas, para a análise da reprodutibilidade. O projeto foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa, para apreciação.

2.3. Determinação da força máxima e da sustentabilidade da força muscular

Após todas as instruções serem passadas ao participante e a visita de familiarização ter sido concluída, o protocolo de CVM_{1min} (System 3, Biodex System, EUA) conta com o seguinte aquecimento prévio ao teste: primeiramente o indivíduo executa 5 minutos de pedalada em um cicloergômetro a 50 W de potência, logo após é posicionado na cadeira do Biodex e realiza 5 contrações com 5 s de duração, na intensidade de 75% CVM, as contrações tem 5 s de intervalos entre elas. Entre o aquecimento e o início do protocolo tem 5 minutos de intervalo, logo após foram feitas duas CVMs com duração de 5s. Depois de executadas as duas primeiras CVMs, houve 5 minutos de recuperação e logo após a CVM_{1min} que consiste em 1 minuto de esforço contínuo e máximo foi realizada, o participante foi orientado a começar o teste o mais forte e mais rápido possível, além de desenvolver e sustentar o torque máximo ao longo da CVM com incentivo verbal. O teste conta com algumas informações antes de ser começado, previamente foi dito ao participante o tempo total (1 min) para que não haja a adoção de uma estratégia de ritmo (HALPERIN et al., 2014). Esse teste é idêntico ao utilizado pelo Lebesque et al. (2022). As variáveis coletadas durante o teste foram: pico de torque isométrico (PTI), Δ CVM 1min e impulso da CVM_{1min}. O PTI foi determinado de acordo com o torque máximo alcançado pelo participante, é avaliado nos primeiros segundos da CVM_{1min}. O Δ CVM_{1min} corresponde à variação percentual do torque medido nos primeiros e últimos 5 s do teste de CVM_{1min}. Já o impulso total corresponde à área abaixo da linha do torque.

Durante a CVM de 5 s, é determinada a taxa de desenvolvimento de torque pico (TDTpico), por meio da inclinação da curva torque vs. tempo (i.e., Δ torque/ Δ tempo) (AAGAARD et al., 2002), para a análise da força explosiva. A TDT também foi determinada nos intervalos de 0-30, 0-50, 0-100, 0-150, e 0-250 ms a partir do início da contração, que é considerado quando o valor de torque exceder 2,5% da diferença entre os valores basal e

pico. A TDT foi determinada por rotinas específicas de análise de dados desenvolvidas no software MatLab 7.0 (MathWorks Inc., Natick, MA, U.S.A).

2.4. Parâmetros de fadiga central e periférica

Foram realizadas contrações transcutâneas eletricamente evocadas, induzidas por um estimulador de corrente constante de alta voltagem (DS7AH, Digitimer, Welwyn Garden City, Reino Unido). O estímulo dado foi de onda quadrada de 1 milissegundo de duração, com voltagem máxima de 400V para os músculos extensores de joelho. Foi posicionado um cátodo monopolar (0,5 cm de diâmetro, Dermatode, American Imex, CA, EUA) sobre o nervo femoral no nível do triângulo femoral, abaixo do ligamento inguinal. O ânodo (5 x 10 cm, Compex, Ecublens, Suíça) foi colocado na parte inferior da prega glútea oposta ao cátodo (NEYROUD et al., 2012). A intensidade dos estímulos elétricos foi determinada conforme o incremento da intensidade da corrente, quando o aumento na intensidade não provoca um aumento na amplitude da contração, o teste é cessado. A intensidade máxima foi aumentada em 30% para garantir que as eletroestimulações fossem supramáximas.

Para a mensuração da fadiga central e periférica antes e após o teste de CVM1min, foram realizadas duas CVMs de 5s separadas por 2 minutos de recuperação. Dentre elas, somente a segunda teve eletroestimulações, um estímulo foi dado 1,5s após o início da contração para coincidir com o torque máximo, e o outro 1,5s após a cessação da contração para fornecer uma potenciação evocada em repouso, de acordo com o proposto por Burnley et al. (2012). Logo após a CVM1min, foi feita outra CVM de 5 s com eletroestimulações iguais as realizadas anteriormente, não teve intervalo de recuperação entre uma contração e outra. Foram determinadas as seguintes variáveis: torque evocado em repouso (TER) e ativação voluntária (%AV), durante uma CVM realizada antes e imediatamente após o teste de CVM1min.

A %AV e o TER foram calculados utilizando a seguinte equação:

$$1) \%AV = (\text{torque superimposto} / \text{torque evocado em repouso}) \times 100$$

2.5. Antropometria

Além das medidas de massa corporal e estatura, foram obtidas as medidas das dobras cutâneas peito, axila, tríceps, subescapular, abdominal, supra-ílica e coxa, para o cálculo da composição corporal dos participantes (JACKSON e POLLOCK, 1978; SIRI, 1961).

2.6. Medidas ultrassonográficas

As medidas ultrassonográficas foram realizadas em um o aparelho (ProSound 2, ALOKA, Japão), que possibilita a mensuração da espessura muscular (EM) e da área de secção transversa (AST) do músculo vasto lateral. Para mensurar a EM primeiramente foi identificado o local do epicôndilo lateral do fêmur, um paquímetro foi posicionado no local e a outra parte movida para o ponto que corresponde a 50% da distância entre o trocânter maior e o epicôndilo lateral do fêmur. Esse ponto foi marcado com uma caneta semipermanente e utilizado como referência para as mensurações. Para realizar o cálculo da EM, foi medida a distância entre a parte inferior da camada adiposa (início do tecido muscular) e a aponeurose que separa os músculos vasto lateral e vasto intermédio, que é determinada por meio de um computador, utilizando o software ImageJ 1.42q (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland). Para mensurar a AST, foram feitas marcações transversais a cada 2 cm no ponto de referência em direção as faces medial e lateral da coxa para facilitar o posicionamento do probe. Já o cálculo AST, foi determinado pela montagem das imagens retiradas posteriormente, são sobrepostas umas sobre as outras até obterem a forma total do músculo vasto lateral, semelhante ao proposto por Abe et al. (1997).

2.7. Eletromiografia

O sinal de eletromiografia (EMG) foi utilizado durante todos os seguintes protocolos: incremental de electroestimulação, teste de força máxima e protocolo de CVM1min, eles foram avaliados por meio da utilização de eletrodos de superfície bipolares Ag-AgCl. Os eletrodos foram posicionados no músculo vasto lateral com base no SENIAM (HERMENS et al., 2000), com distância de 2 cm entre os eletrodos, a pele foi raspada, levemente lixada e limpa com álcool antes do posicionamento dos eletrodos para evitar possíveis interferências no sinal EMG. O eletrodo de referência foi colocado sobre a patela. Antes de iniciar a coleta foi verificado se os valores da atividade EMG estão abaixo de $5 \mu V$. A atividade foi registrada a 2.000 Hz (Miotool, Miotec, Porto Alegre, Brasil) com amplificação de sinal de 2.000x. Os dados foram filtrados (filtro *Butterworth*, quarta ordem com corte de frequência de 20Hz) (WINTER, 1990) e analisados no software MatLab 7.0. A *root mean square* (RMS) foi determinada durante um período de intervalo de 1 s (i.e período entre 0,5 s antes e 0,5 s depois do pico de torque), e os valores foram normalizados pelo valor máximo na CVM (%RMS). A RMS e a frequência mediana (FM) foram obtidas por meio de rotinas específicas de análise de dados desenvolvidas no software MatLab.

2.8. Análise estatística

Os dados foram expressos em média \pm DP. A existência de normalidade dos dados foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk. A comparação das variáveis entre os grupos treinado e não treinado foi realizada pelo teste *t Student* para dados não pareados. Em cada grupo, a comparação das variáveis obtida nos dois testes de CVM1min foi realizada pelo teste *t Student* para dados pareados. A comparação da mudança percentual das variáveis antes e após o teste de CVM1min, como também do Δ CVM1min entre os grupos foi realizada pelo teste de Kruskal-Wallis.

3 RESULTADOS

3.1. Variáveis antropométricas e ultrassonográficas

Foram realizados testes em um total de 17 participantes do grupo não treinado (n = 11), e do grupo treinado (n = 6). Todos os dados foram expressos em Média \pm DP. A Tabela 1 apresenta as características antropométricas dos participantes. Não houve diferença nas variáveis entre os grupos ($p > 0,05$).

Tabela 1. Resultados das variáveis obtidas através da coleta de dados antropométricas.

	Grupo treinado (n=6)	Grupo não treinado (n=11)
Idade (anos)	28,3 \pm 9,6	22,3 \pm 2,8
Massa corporal (kg)	85,3 \pm 21,5	85 \pm 17,2
Estatuta (cm)	174,3 \pm 7,34	175,4 \pm 4,62
Gordura corporal (%)	19,1 \pm 10,6	20,9 \pm 10,4

A Tabela 2 apresenta as variáveis ultrassonográficas espessura muscular e área de secção transversa do músculo vasto lateral obtidas por meio do ultrassom. O grupo não treinado apresentou uma área de secção transversa significativamente menor do que o grupo treinado ($p < 0,05$).

Tabela 2. Resultados das variáveis obtidas através das imagens do ultrassom muscular do músculo vasto lateral.

Variáveis	Grupo treinado (n=6)	Grupo não treinado (n=11)
Espessura Muscular (mm)	29,4 \pm 6,58	27,9 \pm 5,48
Área de Secção Transversa (mm ²)	273,4 \pm 32,9	226,2 \pm 45,9*

* $p < 0,05$ em relação ao grupo treinado.

3.2. Testes de CVM1min

A Tabela 3 apresenta os valores de torque pico, impulso da contração e variação da contração voluntária máxima, obtidos no teste de CVM de 1 min. O grupo não treinado apresentou impulso total significativamente menor do que o grupo treinado ($p < 0,05$), e fadigabilidade significativamente maior do que o grupo treinado ($p < 0,05$).

Tabela 3. Resultados das variáveis obtidas através do teste de CVM1min.

	Grupo treinado (n=6)	Grupo não treinado (n=11)
Torque pico (N·m)	365,8 81,6	306,8 35,7*
Impulso (N·m·s)	1886,1 603,4	1333,5 251,6*
Δ CVM (%)	61,3 20,5	74,2 8,1*

* $p < 0,05$ em relação ao grupo treinado.

A Tabela 4 apresenta os valores de pico de torque, torque evocado em repouso e ativação voluntária antes (pré) e após (pós) o teste de CVM de 1 min. Houve redução significativa do torque pico e torque evocado em repouso nos dois grupos após a CVM1min ($p < 0,05$).

Tabela 4. Valores médios \pm desvio padrão das variáveis neuromusculares antes (pré) e após (pós) o teste de CVM1min nos grupos treinado e não treinado.

	Grupo treinado (n=6)		Grupo não treinado (n=11)	
	CVM pré	CVM pós	CVM pré	CVM pós
Torque pico (N·m)	375,6 57,6	318,6 89,4*	310,7 43,2	240,1 41,4*
Torque evocado em repouso (N·m)	77,5 22,6	46,3 21,3*	73,9 17,7	35,5 24,1*
Ativação Voluntária (%)	87,4 3,7	81,1 8,9	83,5 7,2	85,6 7

* $p < 0,05$ em relação ao pré.

A Tabela 5 apresenta os valores de *root mean square* (RMS) e frequência mediana (FM) antes (pré) e após (pós) o teste de CVM de 1 min. Não houve alteração significativa da RMS após o teste ($p > 0,05$). No entanto, houve redução significativa da FM em ambos os grupos após a CVM1min ($p < 0,05$).

	Grupo treinado (n=6)		Grupo não treinado (n=11)	
	CVM pré	CVM pós	CVM pré	CVM pós
RMS (μV)	202,4 75,2	201,4 72,7	167,2 61,6	178 44,4
Frequência Mediana (Hz)	97 9,9	84,1 10,3*	98,5 15,4	83,2 12,9*

Tabela 5. Valores médios \pm desvio padrão de Root Mean Square (RMS) e Frequência mediana (FM) antes (pré) e após (pós) o teste de CVM1min.

* $p < 0,05$ em relação ao pré.

A Tabela 6 apresenta os valores de TDT 0 - 30ms, 0 - 50ms, 0 - 100ms, 0 - 150ms, 0 - 250ms e TDT pico antes (pré) e após (pós) o teste de CVM de 1 min. Houve redução significativa na TDT 0 - 30ms, 0 - 50ms, 0 - 100ms, 0 - 150ms, 0 - 250ms e TDT pico em ambos os grupos após a CVM1min ($p < 0,05$).

Tabela 6. Resultados das variáveis de taxa de desenvolvimento de torque (TDT) obtidas antes (pré) e após (pós) o teste de CVM1min.

	Grupo treinado (n=6)		Grupo não treinado (n=11)	
	CVM pré	CVM pós	CVM pré	CVM pós
TDT 0 - 30ms	851,9 472,3	574,5 208,9*	799,2 336,6	582,4 229,6*
TDT 0 - 50ms	984,5 530,9	682,8 270,5*	920,9 356,6	683,9 264,2*
TDT 0 - 100ms	1144,9 530,8	841,3 353,2*	1085,7 348,2	805,5 304,3*
TDT 0 - 150ms	1125,2 459,4	870,7 348,7*	1114,9 301,4	808,8 297*
TDT 0 - 250ms	1016,9 361,5	818,9 343,4*	1004,4 205	748 243,2*
TDT Pico	1194,8 538,3	914,2 396,7*	1151,3 314	843,6 300,9*

* $p < 0,05$ em relação ao pré.

4 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar e comparar a força máxima, a força explosiva, a sustentabilidade da força e a fadiga muscular em indivíduos treinados em *CrossFit*[®] e não treinados. Os principais achados indicaram que o grupo treinado apresentou maiores valores de torque pico, impulso total e área de secção transversa do músculo vasto lateral, além de menor fadigabilidade durante o teste de CVM1min em comparação ao grupo não treinado. Em contrapartida, ambos os grupos apresentaram reduções significativas na produção máxima de torque, no torque evocado em repouso, na taxa de desenvolvimento de torque e na frequência mediana após o protocolo fatigante, mostrando a presença de fadiga central e periférica. Esses resultados confirmam parcialmente as hipóteses iniciais do estudo, sugerindo que o treinamento de *CrossFit*[®] está associado a adaptações morfológicas e funcionais que favorecem maior produção e manutenção da força, ainda que os mecanismos centrais de fadiga não tenham se diferenciado substancialmente entre os grupos.

A área de secção transversa do músculo vasto lateral, se mostrou significativamente menor no grupo não treinado. De todo modo, a maior AST no grupo treinado pode estar associada a maiores valores de torque pico observados, reforçando a relação entre adaptação morfológica e desempenho de força. O grupo treinado demonstrou maior valor na produção máxima de força, porém o desempenho no teste não depende unicamente de uma variável. Portanto, a capacidade de sustentação da força impacta diretamente no impulso total da contração, assim como o valor máximo também. Os valores do impulso total foram significativamente maiores no grupo treinado, dessa forma, um menor impulso total reflete na menor capacidade de manter a produção de torque ao longo do tempo. Isso complementa diretamente o Δ CVM, que demonstra a fadigabilidade do indivíduo durante o teste. Os indivíduos não treinados apresentaram valores significativamente maiores de Δ CVM, ou seja, maior fadigabilidade em comparação ao grupo treinado. Isso pode estar relacionado principalmente por diferenças estruturais, sugerindo que são variáveis associadas ao torque evocado em repouso e ativação voluntária.

Ambos os grupos apresentaram redução significativa do torque evocado em repouso após a CVM1min, o que indica a presença de fadiga periférica. Já a ativação voluntária não apresentou diferenças significantes entre os grupos, sugerindo que a contribuição da fadiga central foi limitada. Após a CVM1min ambos os grupos apresentaram redução significativa da frequência mediana, que está associada a fadiga periférica, refletindo ao acúmulo de metabólitos nas fibras musculares (BOYAS e GUÉVEL, 2010). Tanto a TDT inicial (até 100ms) quanto a TDT tardia (acima de 100ms) caíram significativamente após o teste em ambos os grupos. Segundo Aagard et al. (2002) a fase inicial da TDT está muito ligada ao drive neural, a queda nessa fase sugere que a fadiga prejudicou os mecanismos neurais responsáveis pela força explosiva; A fase tardia envolve predominantemente os aspectos morfológicos musculares, a queda mostra que houve fadiga periférica, reduzindo a capacidade de sustentar a aceleração do torque.

5 CONCLUSÃO

Em síntese, o presente estudo demonstrou que indivíduos treinados em *CrossFit*[®] apresentam maiores valores de torque máximo, impulso total e área de secção transversa do vasto lateral, além de menor fadigabilidade, em comparação a indivíduos não treinados. Apesar disso, ambos os grupos exibiram reduções semelhantes em variáveis associadas à fadiga neuromuscular, evidenciando que o protocolo de CVM1min induziu fadiga principalmente periférica. Esses achados sugerem que o treinamento de *CrossFit*[®] promove adaptações morfológicas e funcionais relevantes para a produção e manutenção da força.

REFERÊNCIAS

- AAGAARD, Per et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of applied physiology**, v. 93, n. 4, p. 1318-1326, 2002.
- ABE, K. et al. Improved measurement of the left-right z cross section asymmetry. **Physical Review Letters**, v. 78, n. 11, p. 2075, 1997.
- BASSAN, N.M.; DENADAI, B.S.; LIMA, L.C.R. et al. Effects of resistance training on impulse above end-test torque and muscle fatigue. **Experimental Physiology**, v. 104, p. 1115-1125, 2019.
- BIGLAND-RITCHIE, B. Muscle fatigue and the influence of changing neural drive. **Clinics in Chest Medicine**, v. 5, p. 21-34, 1984.
- BORG, G.A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, p. 377-381, 1982.
- BOYAS, S.; GUÉVEL, A. Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. **Annals of Physical and Rehabilitation Medicine**, v. 54, p. 88-108, 2011.
- BROXTERMAN, R.M.; CRAIG, J.C.; SMITH, J.R. et al. Influence of blood flow occlusion on the development of peripheral and central fatigue during small muscle mass handgrip exercise. **Journal of Physiology**, v. 593, p. 4043-4054, 2015.
- BURNLEY, M.; VANHATALO, A.; JONES, A.M. Distinct profiles of neuromuscular fatigue during muscle contractions below and above the critical torque in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 113, p. 215-223, 2012.
- BYRNE, C.; ESTON, R. Maximal-intensity isometric and dynamic exercise performance after eccentric muscle actions. **Journal Sports Sciences**, v. 20, p. 951-959, 2000.
- DE LUCA, C.J. The use of surface electromyography in biomechanics. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 13, p. 135-163, 1997.
- GANDEVIA, S.C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiological Reviews**, v. 81, p 1725-1789, 2001.
- GANDEVIA, S.C.; ALLEN, G.M.; BUTLER, J.E. et al. Supraspinal factors in human muscle fatigue: evidence for suboptimal output from the motor cortex. **Journal of Physiology**, v. 490, p. 529-536, 1996.
- GASTIN, P.B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. **Sports Medicine**, v.31, p. 725-741, 2001.
- GLASSMAN, G. (2017). Level 1 Training Guide. CrossFit Inc. Available online. at:

http://library.crossfit.com/free/pdf/CFJ_English_Level1_TrainingGuide.pdf

HALPERIN, I.; ABOODARDA, S.J.; BASSET, F.A. et al. Pacing strategies during repeated maximal voluntary contractions. **European Journal of Applied Physiology**, v. 14, p. 1413-1420, 2014.

HERMENS, H.J. et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 10, p. 361-374, 2000.

HOPKINS, W. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Medicine**, v. 30, p. 1-15, 2000.

JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, v. 40, p. 497-504, 1978.

LEBESQUE, L.; SCAGLIONI, G.; MARTIN, A. The impact of submaximal fatiguing exercises on the ability to generate and sustain the maximal voluntary contraction. **Frontiers in Physiology**, v. 13, p. 13:970917, 2022.

LEBESQUE, L.; SCAGLIONI, G.; MANCKOUNDIA, P. et al. Neuromuscular fatigability of plantar flexors following continuous and intermittent contractions. **Journal of Applied Physiology**, v. 134, p. 1093-1104, 2023.

MILLET, G. Can neuromuscular fatigue explain running strategies and performance in ultra-marathons?: the flush model. **Sports Medicine**, v. 41, p. 489- 506, 2011.

NEYROUD, D.; MAFFIULETTI, N.A.; KAYSER, B. et al. Mechanisms of fatigue and task failure induced by sustained submaximal contractions. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 44, 1243-1251, 2012.

PLACE, N.; MILLET, G.Y. Quantification of neuromuscular fatigue: what do we do wrong and why? **Sports Medicine**, v. 50, p. 439-447, 2020.

SIRI, W.E. Body composition from fluid space and density. In: J. BROZEK & A. HANSCHERL (Eds). *Techniques for measuring body composition*. Washington D.C., **National Academy of Science**, 1961.

SUCHOMEL, T.J.; NIMPHIUS, S.; BELLON, C.R. et al. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. **Sports Medicine**, v. 48, p. 765-785, 2018.

SUCHOMEL, T.J.; NIMPHIUS, S.; STONE, M.H. The importance of muscular strength in athletic performance. **Sports Medicine**, v. 46, p. 1419-1449, 2016.

TAYLOR, J.L.; GANDEVIA, S.C. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. **Journal of Applied Physiology**, v. 104, p. 542-550, 2008.

TIBANA, R.A.; NETO, I.V.S.; SOUSA, N.M.F. et al. Local muscle endurance and strength had strong relationship with CrossFit® open 2020 in amateur athletes. **Sports**, v. 9, n. 7, p. 98, 2021.

VØLLESTAD, N.K. Measurement of human muscle fatigue. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 74, p. 219-227, 1997.

WINTER, D. A. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. New York, NY. **John Wiley & Sons**, (2nd ed), p. 277, 1990.