

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO
HUMANO

Guilherme Pereira Berriel

**A RELAÇÃO ENTRE A RIGIDEZ DOS MEMBROS INFERIORES E AS
VARIÁVEIS DE DESEMPENHO DE SALTO E FADIGA EM ATLETAS DE
VOLEIBOL**

Porto Alegre

2021

GUILHERME PEREIRA BERRIEL

A RELAÇÃO ENTRE A RIGIDEZ DOS MEMBROS INFERIORES E AS
VARIÁVEIS DE DESEMPENHO DE SALTO E FADIGA EM ATLETAS DE
VOLEIBOL

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento Humano da Escola de educação física Fisioterapia e dança da Universidade federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga

Porto Alegre

2021

CIP - Catalogação na Publicação

Berriel, Guilherme Pereira

A RELAÇÃO ENTRE A RIGIDEZ DOS MEMBROS INFERIORES E AS VARIÁVEIS DE DESEMPENHO DE SALTO E FADIGA EM ATLETAS DE VOLEIBOL / Guilherme Pereira Berriel. -- 2021.

65 f.

Orientador: Leonardo Alexandre Peyre Tartaruga.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Voleibol. 2. Saltos Verticais. 3. Rigidez. 4. Percepção de esforço. I. Tartaruga, Leonardo Alexandre Peyre, orient. II. Título.

Nome: BERRIEL, Guilherme Pereira

Título: A relação entre a rigidez dos membros inferiores e as variáveis de desempenho de salto e fadiga em atletas de voleibol.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento Humano da Escola de educação física Fisioterapia e dança da Universidade federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Movimento Humano.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Lusa Cadore
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Prof. Dr. Luiz Fernando Martins Krueel
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Prof. Dr. Rodrigo Gomes da Rosa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof. Dr. Luca Paolo Ardigò
Universidade de Verona Italia -

Orientador – Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que me ajudaram para a realização deste trabalho:

Especialmente a minha esposa Ana Paula Schu de Souza pela paciência e apoio em todas as fases deste trabalho. Aos meus familiares, especialmente minha mãe Ezoa Pereira Berriel e meu pai Ananias Berriel (*In memorian*), pelo exemplo de vida e amor a família, meus irmãos Gladis Pereira Berriel e Glenio Pereira Berriel (*in memorian*) pela parceria.

Aos membros dos grupos de pesquisa LOCOMOTION e GPAT em especial ao Pero Schons pela parceria e ajuda em todos os momentos deste trabalho. Além disso gostaria de agradecer a grandes amigos que o voleibol me proporcionou Marcelo Fronkowiak e Carlos Augusto (chiquita) pela parceria e ensinamentos ao longo desses anos.

Aos amigos da Confederação Brasileira de Voleibol (CBV) em especial ao Renato Bacchi pelo convite e confiança e por ter me possibilitado poder trabalhar junto a seleção brasileira de voleibol.

Ao meu orientador, Prof Dr. Leonardo Alexandre Peyre Tartaruga pessoa que admiro muito, sou muito grato pela oportunidade de poder cursar o Mestrado e Doutorado pela sua ajuda na construção deste trabalho, Prof Dr Luis Fernando Martins Krueel, pelas discussões sobre treinamento esportivo sempre muito produtivas.

Aos Professores do programa de Pós-graduação que conheci ao longo destes anos e que aprendi muito com todos e aos funcionários da ESEFID, UFRGS pela colaboração sempre que solicitado, o meu muito obrigado a todos.

RESUMO

O Voleibol é uma modalidade esportiva que exige dos atletas, ações motoras, tais como jogadas de ataque, bloqueio e saque. Estes movimentos são realizados por meio de saltos verticais que exigem elevada capacidade física dos jogadores, além de serem decisivos nos resultados dos jogos. A característica dos saltos verticais realizados em treinamento e jogos é baseada na utilização do ciclo alongamento-encurtamento (CAE). Um nível ótimo de produção de potência muscular depende de uma boa relação entre a participação do componente elástico do CAE e dos níveis de força de um indivíduo. CAE envolve duas ações musculares realizadas rapidamente e sucessivamente, de modo que durante a fase excêntrica do movimento a energia elástica é acumulada nas estruturas elásticas, e posteriormente, esta energia acumulada é utilizada na fase concêntrica do movimento, que ocorre imediatamente após o término da ação excêntrica. O acúmulo de energia está diretamente relacionado ao grau de rigidez da estrutura músculo-tendínea, de forma que, quanto maior a rigidez, mais rígida a estrutura, maior será o acúmulo de energia e conseqüentemente maior a produção de potência comparada ao mesmo movimento realizado sem a utilização do CAE. Desta forma, o presente estudo objetivou analisar a associação entre a rigidez músculo-tendínea dos membros inferiores com coeficiente elástico, capacidade de saltos vertical e fadiga em atletas de voleibol. Vinte nove atletas da seleção brasileira sub-19, massa corporal média $87,59 \pm 10,93\text{kg}$; estatura média $195,75 \pm 9,21\text{cm}$ participaram de uma avaliação do nível de rigidez e capacidade de saltos sem contramovimento (SJ) e com contramovimento (CMJ) e saltos realizados durante um treinamento similar a jogo. As avaliações dos saltos SJ, CMJ e nível de rigidez foram realizadas em um tapete de contato, antes do treinamento similar ao jogo. Para o monitoramento dos saltos realizados em situação de jogo foi utilizado um acelerômetro em um cinto acoplado na cintura dos atletas, este acelerômetro transmitiu por bluetooth para um tablet informações referentes a quantidade, altura máxima e % de esforço dos saltos realizado na sessão de treinamento. Para a análise estatística e apresentação dos resultados, os dados estão descritos em média e desvio padrão. A normalidade foi avaliada pelo teste Shapiro-Wilk e, após confirmação de distribuição, os dados que apresentaram distribuição normal foi utilizado o teste de correlação Produto Momento de Pearson e para os dados que não apresentaram distribuição normal foi utilizado o teste de correlação de Rô de Spearman. A classificação adotada para os dados é de 0 - 0,30 pequena correlação, 0,31 - 0,49 moderada correlação, 0,5 - 0,69 grande correlação, 0,7 - 0,89 muito grande correlação e 0,9 - 1 perfeita correlação. Os resultados demonstraram uma associação positiva entre rigidez e Coeficiente elástico com r de 0,905 e p 0,001, altura máxima de salto com r de 0,854 e p 0,001 e associação negativa com % de esforço r de -0,428 e p 0,02 e percepção subjetiva de esforço (PE) r de -0,906 e p 0,001. Assim, conclui-se que maiores níveis de rigidez parecem aumentar a capacidade de armazenamento de energia elástica assim como melhorar o desempenho do salto vertical e diminuir a percepção de fadiga. Estes resultados são compatíveis com o conceito que intervenções que melhorem a rigidez corporal podem impactar positivamente no desempenho de salto e carga de treinamento de atletas de voleibol.

Palavras-Chaves: voleibol; saltos verticais; rigidez; percepção de esforço.

ABSTRACT

Volleyball is a team sport which demands motor actions from the athletes such as attack, block and serve moves. These movements are performed with vertical jumps that demand a high physical capacity from the players, in addition to being decisive when it comes to the outcome of the games. The characteristic of the vertical jumps performed in trainings and games is based on the use of the stretch-shortening cycle (SSC). An optimal level of muscular power production depends on a good relationship between the participation of the elastic components of the SSC and the power levels of the athlete. The SSC involves two muscular actions performed quickly and successively, so that during the eccentric phase of the movement, the elastic energy is stored in the elastic structures and subsequently used in the concentric phase of the movement, which occurs immediately after the end of the eccentric contraction. The energy build-up is directly associated to the degree of stiffness of the tendinous-muscle structure, in a way that, the higher the stiffness, the stiffer is the structure, and the greater will be the energy build-up, consequently, the power production will be greater when compared to the same movement performed without the occurrence of the SSC. The present study is, therefore, to analyze the association between the tendinous-muscle stiffness of the lower limbs with elastic coefficient, vertical jumps capacity and fatigue in volleyball athletes. Twenty-nine athletes from the Brazilian National Team Under 19 – average body mass $87,59 \pm 10,93\text{kg}$; average height $195,75 \pm 9,21\text{cm}$ – took part in an assessment of the stiffness level and the jump capacity without countermovement (Squat Jump – SJ) and with the countermovement (Countermovement Jump – CMJ) in addition to the jumps performed during a training which was similar to a game. The assessments of the SJ, CMJ and the stiffness level took place on a contact mat, before the training similar to the game. In order to monitor the jumps that were performed in the game situation, an accelerometer was used, attached to a belt around the athletes' waist, which transmitted the information regarding the quantity, maximum height and the percentage of exertion of the jumps performed during the training session using the bluetooth signal to a tablet. The data was described using mean and standard deviation for the statistical analysis and the presentation of results. The normality was assessed by the Shapiro-Wilk test and, after confirming the distribution, the Pearson correlation coefficient was used for the data which presented normal distribution, whereas the Spearman's Rho correlation coefficient was used for the data which didn't present normal distribution. The ranking which was adopted for the data is from 0 - 0,30 small correlation; 0,31 – 0,49 moderate correlation; 0,5 – 0,69 – large correlation; 0,7 – 0,89 a very strong correlation and 0,9 – 1 perfect correlation. The results showed a positive association between stiffness and the elastic coefficient with r 0,905 and p 0,001, being r 0,854 and p 0,001 for the jump maximum height; and negative association with exertion percentage being r -0,428 and p 0,02; and subjective perception of effort (SPE) being r -0,906 and p 0,001. Thus, it is possible to conclude that higher levels of stiffness seem to increase the storage capacity of the elastic energy as well as to improve the performance of the vertical jump and to decrease the fatigue perception. The results conform to the idea that interventions to improve body stiffness may have a positive impact on the jump performance and training load of the volleyball athletes.

KeyWords: volleyball; vertical jumps; stiffness; exertion perception.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Componentes da estrutura muscular de Hill (Adaptado de Ugrinowitsch (2007)).....	21
Figura 2 Modelo massa mola usada para calcular a rigidez vertical quando a perna está orientada verticalmente	24
Figura 3 Fluxograma representativo das fases do experimento.....	34
Figura 4 Correlação entre coeficiente de elasticidade no eixo Y, com a rigidez dos MMII no eixo X.	37
Figura 5 Correlação entre altura máxima do salto no eixo Y, com a rigidez dos MMII no eixo X.....	38
Figura 6 Correlação entre %de esforço do salto no eixo Y, com a rigidez dos MMII no eixo X.....	38
Figura 7 Correlação entre PSE no eixo Y, com a rigidez dos MMII no eixo X. .	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Valor médio, desvios padrão e intervalo de confiança de 95% (IC 95%) das variáveis de caracterização da amostra dos 29 atletas de voleibol do sexo masculino convocados para a seleção Brasileira sub -19.	35
Tabela 2 Valor médio, desvios padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança de 95% (IC 95%) da percepção subjetiva de recuperação (PR) dos 29 atletas de voleibol do sexo masculino convocados para a seleção Brasileira sub -19.....	35
Tabela 3 Valor médio, desvios padrão e intervalo de confiança de 95% (IC 95%) das variáveis de desempenho em rigidez de membros inferiores, salto sem contramovimento (SJ), com contramovimento (CMJ), coeficiente de elasticidade (COFE), percepção subjetiva ao esforço (PE), % de esforço e altura máxima dos saltos realizado no treino dos 29 atletas de voleibol do sexo masculino convocados para a seleção Brasileira sub -19.....	36
Tabela 4 Correlação entre Rigidez e percepção subjetiva de recuperação (PR), salto sem contramovimento (SJ), com contramovimento (CMJ), coeficiente de elasticidade (COFE percepção subjetiva ao esforço (PE), % esforço salto e altura máxima do salto realizado no treino dos 29 atletas de voleibol do sexo masculino convocados para a seleção Brasileira sub -19.....	36

LISTA DE ABREVIATURA

CAE	Ciclo Alongamento-Encurtamento
CMJ	Counter Movement Jump
CMT	Complexo músculo-tendíneo
FRS	Força de Reação do Solo
MMII	Membros Inferiores
PE	Percepção subjetiva de esforço
PR	Percepção subjetiva de recuperação
SJ	Squat Jump

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 O PROBLEMA E SUA JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 CARACTERÍSTICAS DO VOLEIBOL	19
2.2 SALTO NO VOLEIBOL	19
2.3 CICLO ALONGAMENTO-ENCURTAMENTO E O SALTO VERTICAL	20
2.4 CONCEITO DE RIGIDEZ	23
2.4.1 rigidez e performance	25
2.4.2 Rigidez e fadiga	27
2.5 AVALIAÇÃO SUBJETIVA DE FADIGA	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO	29
3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA	29
3.3 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	29
3.4 VARIÁVEIS	29
3.4.1 Variáveis dependentes	29
3.4.2 Variável independente	29
3.4.3 Variáveis de caracterização da amostra	30
3.4.4 Variável de controle	30
3.5 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A COLETA DE DADOS	30
3.5.1 Ficha de coleta de dados	30
3.5.2 Balança	30
3.5.3 Estadiômetro	30
3.5.4 Tapete de contato	31
3.5.5 Vert	31
3.5.6 Escala CR-10 de Borg	31
3.5.7 Escala de Recuperação	31
3.6 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS	31
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
3.8 ASPECTOS ÉTICOS	34
4 RESULTADO	35
4.1 DADOS DE CARCTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	35

4.2 DADOS DE CORRELAÇÃO DA RIGIDEZ COM VARIÁVEIS DE DESEMPENHO E FADIGA.....	36
5 DISCUSSÃO	40
5.1 DADOS DESCRITIVOS.....	40
5.2 CORRELAÇÃO ENTRE RIGIDEZ E DESEMPENHO DE SALTOS VERTICAIS.....	44
5.3 CORRELAÇÃO ENTRE RIGIDEZ E FADIGA	48
6 CONCLUSÃO	50
7 APLICAÇÕES PRÁTICAS.....	51
8 REFERÊNCIAS.....	52
9 ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE O DOUTORADO	62
APÊNDICE A	63
APÊNDICE B	65
APÊNDICE C	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 O PROBLEMA E SUA JUSTIFICATIVA

O voleibol é um dos esportes mais populares em todo o mundo [FIVB, 2018], e é jogado por milhões de pessoas com diferentes habilidades e faixas etárias (VERHAGEN. et al., 2004).

Esta é uma modalidade que requer repetidos movimentos em potência máxima bem como resposta rápida a estímulos externos incluindo deslocamentos, saltos e corridas rápidas (SETUIAN. Et al., 2020). O desempenho ideal das principais ações de jogo como saque, ataque, bloqueio e levantamento dependem basicamente do salto vertical, que é reflexo da força explosiva dos membros inferiores, ocorre frequentemente em ralis e outras ações durante a competição. Portanto, a força explosiva dos membros inferiores em um salto vertical é um dos movimentos motores mais importantes necessários para o sucesso no voleibol (SATTLER et al., 2012; VOELZKE et al., 2012).

Estima-se que um atleta de elite de voleibol realiza em um ano entre 30,000 e 40,000 saltos verticais em sessões de treino e jogos (BREDEWEG, 2003), Berriel e colaboradores (2004) analisando jogos da superliga Brasileira observaram que são realizados em média 117 saltos por set e o bloqueio é o fundamento responsável pelo maior número de saltos verticais realizados pela equipe em um set, 46 saltos. Esse fato demonstra que, além de possuir excelente rendimento de salto, também é necessária resistência suficiente que possibilite a manutenção da qualidade de salto durante a partida. Basicamente, a característica dos saltos verticais de bloqueio e ataque em treinamento e jogos é baseada na utilização do ciclo alongamento-encurtamento (CAE). O CAE envolve duas ações musculares realizadas rapidamente e sucessivamente, de modo que durante a fase excêntrica do movimento a energia elástica é acumulada nas estruturas elásticas (titina, endomísio, perimísio, epimísio, fáschia e tendão) e posteriormente, esta energia acumulada é utilizada na fase concêntrica do movimento, que ocorre imediatamente após o término da ação excêntrica (ALEXANDER; BENNET-CLARK, 1977; CAVAGNA; DUSMAN; MARGARIA, 1968; CAVAGNA; SAIBENE; MARGARIA,

1964). O CAE é um mecanismo muito importante para o fenômeno de amplificação da potência muscular (RODRIGUES et al., 2008).

A elasticidade tem um papel importante para o incremento da resposta motora dos movimentos desportivos. Se um tendão ou músculo é alongado, devido às suas características visco-elásticas teciduais, a energia elástica é armazenada dentro destas estruturas biológicas. Esses tecidos são, logo após, comprimidos e parte da energia potencial elástica armazenada é utilizada a fim de aumentar o desempenho motor (maior trabalho mecânico e potência mecânica) na fase concêntrica do ciclo de alongamento e encurtamento (ZATSIORSKY; KRAEMER, 1999). A energia elástica é armazenada predominantemente nas estruturas tendíneas e, portanto, poderá ser utilizada com mínima dissipação por meio do encurtamento do tendão durante a fase concêntrica. Deste modo, uma taxa aumentada de alongamento tem o potencial de aumentar o armazenamento e a utilização de energia elástica, durante os movimentos de CAE. O acúmulo de energia está diretamente relacionado ao grau de *stiffness* (rigidez) da estrutura músculo-tendínea, de forma que, quanto maior o *stiffness*, mais rígida a estrutura, maior será o acúmulo de energia e conseqüentemente maior a produção de potência comparada ao mesmo movimento realizado sem a utilização do CAE (CAVAGNA, 1970).

Rigidez é frequentemente definida como a resistência de um objeto ou corpo a uma mudança no comprimento (SEYFARTH et al., 2002; CAVAGNA et al., 1991; MCMAHON; CHENG, 1990;). Acredita-se que a rigidez mecânica nos MMII tenha uma grande influência em várias variáveis atléticas, incluindo: taxa de desenvolvimento de força, armazenamento e utilização de energia elástica e cinemática de *sprint* (ou seja, tempos de contato e de vôo e comprimento e frequência de passada). No entanto, a rigidez mecânica ideal exigida para movimentos como corrida e salto continua sendo um tópico de debate para as comunidades científica e esportiva. Pesquisas acerca deste assunto têm mostrado resultados divergentes. Por exemplo, alguns autores argumentam que uma maior rigidez mecânica seria benéfica para movimentos como corrida e salto (BUTLER; CROWELL; DAVIS, 2003; CHELLY; DENIS, 2001). Esses argumentos foram baseados em estudos que mostraram que a rigidez vertical e articular aumenta com a velocidade de corrida e a altura de salto (CAVAGNA;

LEGRAMANDI; PEYRÉ-TARTARUGA, 2007; FARLEY et al., 1991; HE; KRAM; MCMAHON, 1991; MCMAHON; CHENG, 1990). Por outro lado, um estudo de modelagem mecânica descobriu que há uma rigidez mecânica ótima para saltos em distância e que aumentar esse nível não aumentaria a distância do salto (SEYFARTH; BLICKHAN; VAN LEEUWEN, 2000). Além disso, outros pesquisadores relataram que os saltadores de elite têm menor rigidez de pernas do que os saltadores de não-elite (LAFFAYE; BARDY; DUREY, 2005). Mroczek et al. (2019) em seu estudo com jogadores de voleibol masculino escolar encontraram um aumento na rigidez dos músculos tibial anterior e quadríceps após 6 semanas de treinamento pliométrico e ocorreu uma melhora significativa também no salto vertical SJ e CMJ (MROCZEK et al., 2019).

É necessário verificar o comportamento da rigidez dos membros inferiores dado a importância desse mecanismo na obtenção de potência assim como sua interferência no desempenho do salto vertical em atletas de voleibol profissional. Evidências recentes apontam para adaptações de rigidez associadas a melhoras de potência mecânica em saltos verticais em jogadores de voleibol de nível universitário (MROCZEK et al., 2019). Estas adaptações parecem ser mediadas pelo nível de atletas com maiores adaptações especialmente associadas à rigidez em atletas treinados em potência muscular (CORMIE; MCGUIGAN; NEWTON, 2010).

A partir destas informações, a presente investigação busca responder à seguinte pergunta: Existe associação entre nível de rigidez musculotendínea dos MMII, e o desempenho do salto vertical em atletas profissionais de voleibol?

À hipótese para este estudo é que atletas com maior rigidez dos membros inferiores vão apresentar maior potência muscular obtendo melhor desempenho em saltos de ataque e bloqueio e menor fadiga durante uma sessão de treino similar a jogo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

- Avaliar a relação entre rigidez musculotendínea e desempenho de saltos em atletas de voleibol.

1.2.2 Objetivos específicos

- Examinar a correlação entre rigidez dos MMII e desempenho de salto vertical sem e com contramovimento (SJ e CMJ, respectivamente);

- Examinar a correlação entre a rigidez dos MMII e a escala subjetiva de recuperação (PSR) e a escala subjetiva de esforço (PSE) durante treinamento similar a jogo;

- Examinar a correlação entre a rigidez dos MMII e o desempenho de salto vertical durante treinamento similar a jogo;

- Examinar a correlação entre a rigidez dos MMII e o percentual de contribuição do coeficiente elástico nos saltos verticais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DO VOLEIBOL

O voleibol é um dos esportes mais populares do mundo, é uma modalidade esportiva que exige de seus atletas movimentos tecnicamente complexos (FUCHS et al., 2019) O jogo é caracterizado por padrões de movimento acíclicos, explosivos e de alta intensidade seguidos de momentos de baixa intensidade. Dentre essas ações, os saltos consistem em um grande expoente para esta prática e estão envolvidos em ações ofensivas (ataque) ou defensivas (bloqueios) (SATTLER et al., 2012; SÁEZ-SÁEZ DE VILLARREAL; GONZÁLEZ-BADILLO; IZQUIERDO, 2008)., onde força, potência, agilidade e velocidade são fundamentais para o sucesso (SATTLER et al., 2012; GONZALEZ-RAVE; ARIJA; CLEMENTE-SUAREZ, 2011; LOMBARDI; DA SILVA VIEIRA; DETANICO, 2011; DE ARRUDA; HESPANHOL, 2008;).

Essas Ações de ataque e Bloqueio representam 45% das ações de jogo e também são responsáveis por 80% dos pontos obtidos em partidas de nível internacional.(VOIGT & VETTER., 2003).

O desempenho destas habilidades assim como o saque depende da altura em que essas ações motoras ocorrem em relação à rede e são determinadas pela capacidade do atleta de elevar verticalmente seu centro de gravidade. Assim, ao planejar as práticas de treinamento, um dos principais objetivos é o desenvolvimento da capacidade de salto (BERRIEL, 2004).

2.2 SALTO NO VOLEIBOL

Muitos estudos destacam a importância do salto vertical no voleibol. Isso se deve basicamente à obrigatoriedade do jogo que é desenvolvido em torno de uma rede com o topo de altura em 2,43 metros para homens e 2,24 metros para mulheres, de forma que os jogadores têm que alcançar maiores alturas de salto vertical para a realização dos gestos técnicos, fundamentais para o ataque e bloqueio (SATTLER et al., 2012; GONZALEZ-RAVE; ARIJA; CLEMENTE-SUAREZ, 2011; LOMBARDI; DA SILVA VIEIRA; DETANICO, 2011; DE ARRUDA; HESPANHOL, 2008; CORDEIRO, 2001), sendo que a vitória em uma partida depende de modo importante da capacidade de saltar.

Durante uma partida de voleibol tradicional, na regra nova de *rally point*, Esper (2003) constatou que foram realizados em média 78 saltos por set em partidas do sexo feminino. Berriel (2004), em seu estudo, constatou que na liga brasileira masculina realizam-se em média 117 saltos por set, à ação de bloqueio com 46 saltos é responsável pelo maior quantidade de saltos verticais realizados pela equipe durante um set, assim como o Jogador da posição de meio de rede com 45 saltos é o que mais efetua saltos verticais durante o set, (BERRIEL; FONTOURA; FOPPA, 2004). Esse fato demonstra que os atletas devem possuir um excelente rendimento de salto, pois esse gesto é utilizado frequentemente durante a realização dos fundamentos básicos do voleibol, sendo esses o saque, ataque, bloqueio, finta e levantamento, e também resistência suficiente que possibilite a manutenção da qualidade desses gestos durante a competição (SCHONS e al., 2018). Partindo dessa afirmação, além das capacidades técnico-táticas, o treinamento da qualidade motora salto deve assumir um papel importante na preparação física das equipes, para que possam garantir o rendimento dos atletas durante as competições, determinando a carga de trabalho em relação ao tipo, intensidade e número de repetições dentro da realidade da partida (BERRIEL et al., 2021; BERRIEL; FONTOURA; FOPPA, 2004).

Dada a importância do salto vertical na prática do voleibol, pode-se conceituar o salto como um movimento na projeção do corpo para cima ou para frente, mantendo-o por certo período de tempo suspenso no espaço e percorrendo uma determinada distância (BARBANTI, 1996). É fundamental desenvolver estratégias para avaliação e treinamento da capacidade de produzir potência com os membros inferiores, além de estratégias de transferência para situações esportivas (NEWTON et al., 2006; SZMUCHROWSKI, 2001).

2.3 CICLO ALONGAMENTO-ENCURTAMENTO E O SALTO VERTICAL

Os músculos são os responsáveis pela ação motora onde produzem as forças necessárias para gerar o movimento do corpo. De forma que os músculos podem encurtar para produzir força realizando trabalho mecânico positivo, absorver energia alongando e desenvolvendo trabalho negativo, ou gerar forças isometricamente para estabilizar a articulação ou em conjunto com

os tendões armazenar e restituir energia elástica de deformação (SHENEAU et al., 1997).

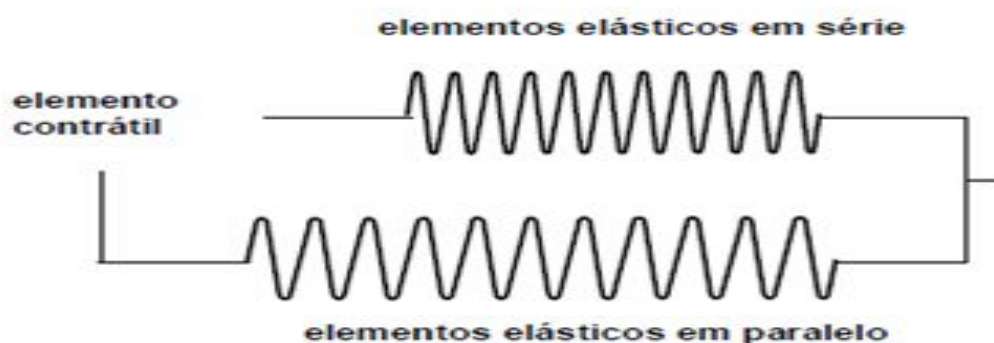
Muitas das ações musculares mais intensas como o salto vertical envolvem um contra-movimento durante o qual os músculos envolvidos alongam inicialmente e depois encurtam para acelerar o corpo. Este tipo de ação muscular é conhecido como ciclo alongamento encurtamento (CAE) e é resultado de um conjunto de complexas interações de processos mecânicos e neurais (ETTEMA et al., 1992).

A melhoria da força devido ao alongamento prévio é um fenômeno bem conhecido e largamente observado (BOBBERT; CASIUS, 2005; BADILLO; AYESTARÁN, 2001; ; HEGLUND; CAVAGNA, 1987; CAVAGNA, 1985).

O modelo que originou a teoria do CAE é advindo do modelo de Hill (1938) em que observou que o músculo esquelético pode ser observado como um sistema de dois componentes, consistindo de um elemento firme puramente elástico em série com um elemento contrátil. Uma modificação subsequente dessa ideia é a introdução de um elemento elástico extra em paralelo com combinação de dois elementos de Hill (HILL, 1938).

Na elaboração do seu conceito Hill (1938) estabeleceu dois componentes básicos, sendo eles: componentes elásticos em série e elásticos em paralelo (Figura 1) (HILL, 1938).

Figura 1 Componentes da estrutura muscular de Hill (Adaptado de Ugrinowitsch (2007)



Fonte: (UGRINOWITSCH et al., 2007).

O composto contrátil é formado pelo complexo de actina-miosina, sendo fonte de força ativa. Os elementos elásticos em serie estão localizados nas

cabeças de miosina e nos tendões, sendo que estas são responsáveis por acumular e liberar energia potencial elástica, atuando como uma fonte de produção de força passiva. E os elementos elásticos em paralelo são formados por tecidos conectivos que fazem a manutenção da estrutura muscular, opondo resistência ao movimento quando ocorre alongamento muscular (UGRINOWITSCH et al., 2007).

Para armazenarmos energia elástica dependemos de um alongamento do músculo (contração excêntrica) (BOSCO; TARKKA; KOMI, 1983), a rápida passagem excêntrica para concêntrica transforma em energia mecânica que é transferida para os membros inferiores em menor custo metabólico e aumenta a força da impulsão, aumentando a eficiência muscular do movimento. (BADILLO; AYESTARÁN, 2001; HEGLUND; CAVAGNA, 1987; CAVAGNA, 1985). Bobbert (2005) afirma que o CAE em velocidade, melhora a capacidade reativa neuromuscular, tornando mais rápido a contração muscular no ato de saltar (BOBBERT; CASIUS, 2005). O autor explica que "a capacidade reativa está relacionada diretamente ao fenômeno de recuperação da energia de deformação elástica dos músculos, ou seja, a utilização da energia elástica acumulada nos músculos durante o estiramento para realizar um trabalho mecânico". Tal ciclo é potencializado nas atividades de salto e corrida devido à intensidade do exercício. Porém, se a passagem da fase excêntrica para concêntrica for lenta, a energia potencial elástica será dissipada sob forma de calor, não sendo convertida em energia cinética (CAVAGNA, 1977). Essa contribuição da energia elástica na resposta da eficiência muscular foi mostrada no estudo de Heglund e Cavagna (1987), que analisou a contração muscular em rãs e ratos, em uma mesma velocidade, com e sem a ação anterior de um pré-alongamento. Onde os resultados mostraram que a contração precedida de um alongamento obteve maiores valores de eficiência muscular, confirmando a premissa da importância da energia elástica para otimização desse retorno. Outro fator importante no funcionamento do CAE é a pré-ativação, onde uma contração isométrica anterior à fase excêntrica torna a efetividade desse mecanismo melhorada, devido ao aumento da rigidez muscular na fase de alongamento devido à essa ativação isométrica prévia (KOMI, 2000).

Alguns pesquisadores tentaram quantificar o nível de contribuição no acúmulo de energia potencial elástica, das duas estruturas que compõem os elementos elásticos em série (CALDWELL, 1995; HOY; ZAJAC; GORDON, 1990; POUSSON; VAN HOECKE; GOUBEL, 1990; ETTEMA; HUIJING, 1989;), sendo que a maioria dos autores encontrou que os tendões eram a estrutura mais importante para tal.

De acordo com Cook e McDonagh (1996) e Ettema e Huijing (1989), os tendões e as cabeças de miosina possuem diferentes graus de rigidez, por causa das diferentes formas de geração de resistência, mas apesar de serem incongruentes, quanto maior o grau de rigidez de ambas, maior o acúmulo de energia potencial elástica que poderá ser liberada na fase concêntrica do movimento.

Os tendões e as cabeças de miosina não são as únicas estruturas responsáveis pelo grau de rigidez, o complexo músculo-tendão (CMT), como um todo, também colabora (BOBBERT, 1990). Ettema e Huijing (1989) citaram que o grau de rigidez das estruturas só se equivale (funcionando como um complexo) quando o movimento provoca pequeno deslocamento angular e é realizado em alta velocidade, o que está de acordo com Bobbert (1990), que acredita que os movimentos com menor deslocamento angular e grande velocidade permitem uma melhor eficiência na utilização da energia potencial elástica (BOBBERT, 1990).

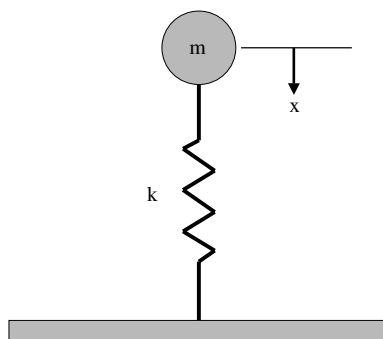
2.4 CONCEITO DE RIGIDEZ

O conceito de rigidez refere-se à capacidade ou propriedade biomecânica do músculo de se opor ao alongamento e ao contrário da complacência ou complacência muscular (ENOKA, 1994). Da mesma forma, devemos diferenciar entre rigidez ou rigidez muscular ativa, e isso é proporcional à ativação mioelétrica e à força gerada pelo músculo, da rigidez ou rigidez muscular passiva, que é dada pelas propriedades elásticas do conjunto muscular na ausência de contração (VANMEERHAEGHE; RODRIGUEZ, 2013).

A rigidez tem origem na física, como parte da Lei de Hooke. Objetos que obedecem a essa lei são corpos deformáveis que armazenam e devolvem energia elástica. A Lei de Hooke, definida como $F=k.\Delta x$, afirma que a força (F)

necessária para deformar um material está relacionada a uma constante de proporcionalidade (k) e a distância (x) ao material é deformada, desde que sua forma seja não permanentemente alterada. A constante de proporcionalidade, k , é referida como a constante de mola, e descreve a rigidez de uma mola ideal e sistema de massa (Figura 2). Uma mola ideal é sem massa, move-se somente em uma direção e tem uma rigidez que é independente do tempo, comprimento ou velocidade. Além disso, presume-se que a massa do sistema esteja concentrada em um ponto em uma extremidade da mola (BUTLER; CROWELL; DAVIS, 2003).

Figura 2 Modelo massa mola usada para calcular a rigidez vertical quando a perna está orientada verticalmente



Fonte: (CAVAGNA, 1985).

Animais e humanos correndo, pulando e trotando saltam ao longo do solo de uma maneira semelhante a uma mola. Durante esses movimentos, as ações dos muitos elementos musculoesqueléticos do corpo, incluindo músculos, tendões e ligamentos, são integradas em conjunto, de modo que o sistema musculoesquelético geral se comporta como uma única mola. Como resultado, esses movimentos podem ser modelados usando um simples sistema de massa de molas, consistindo de uma única "mola de perna" linear e uma massa de ponto igual à massa corporal (CAVAGNA, 1977).

A mola da perna comprime e depois alonga durante a fase de contato com o solo, quando as articulações dos membros se flexionam e se estendem. A rigidez da mola da perna representa a rigidez média do sistema musculoesquelético geral durante a fase de contato com o solo (rigidez das pernas). A rigidez das pernas influencia a mecânica da interação do corpo com o solo. Por exemplo, uma maior rigidez nas pernas leva a um menor tempo de contato com o solo e a uma menor excursão vertical do centro de massa do

corpo durante a fase de contato com o solo e também pode ser ajustada para permitir alterações na frequência da passada ou na rigidez do solo durante o salto no local. Quando um humano usa uma marcha saltitante extremamente simples, pulando no lugar, a rigidez da perna é aumentada para aumentar a frequência de salto ou a altura do salto (FARLEY et al., 1991).

A rigidez vertical é frequentemente usada para descrever movimentos lineares que ocorrem na direção vertical, como saltar, onde geralmente é calculada por um dos três métodos. No primeiro são utilizados dados de força de reação do solo (FRS) e velocidade de deslocamento do centro de massa, no segundo são utilizados dados de FRS, massa do sujeito e período de oscilação já no terceiro modelo é utilizado o tempo de contato e tempo de voo para determinar a rigidez vertical.

2.4.1 rigidez e performance no salto vertical

Em termos de desempenho, algum nível de rigidez é necessário para a utilização ideal do ciclo de alongamento e encurtamento. Isso resulta em uma utilização eficiente da energia elástica armazenada no sistema musculoesquelético que ocorre durante a fase do estiramento pré contração ativa (LATASH; ZATSIORSKY, 1993). À medida que maiores forças são transmitidas ao corpo, maior resistência ao movimento é necessária para produzir movimentos controlados. Foi relatado que a quantidade de rigidez necessária aumenta com as demandas da atividade (GRANATA; PADUA; WILSON, 2002; KUITUNEN; KOMI; KYROLAINEN, 2002; SEYFARTH et al., 2002; ARAMPATZIS; BRUGGEMANN; KLAPSING, 2001; ARAMPATZIS; BRUGGEMANN; METZLER, 1999; STEFANYSHYN NIGG, 1998; FARLEY et al., 1991).

Estudos como o de Farley et al. (1991) e Granata et al. (2002) relataram que a rigidez das pernas aumentou com a frequência de saltos durante o drop jump (GRANATA; PADUA; WILSON, 2002; FARLEY et al., 1991). Arampatzis et al. (2001) estudaram sujeitos que realizaram saltos drop jump e relataram que, à medida que aumentava a velocidade de rebote, foi observado um aumento associado na rigidez da extremidade inferior (ARAMPATZIS; BRUGGEMANN; KLAPSING, 2001). Esses estudos sugerem que a rigidez da extremidade inferior aumenta à medida que a velocidade da

atividade aumenta, o que pode ser necessário para resistir ao colapso da extremidade inferior durante a fase inicial da aterrissagem e permitir o retorno máximo de energia durante a fase propulsora (GRANATA; PADUA; WILSON, 2002; ARAMPATZIS; BRUGGEMANN; KLAPSING, 2001; FARLEY et al., 1991).

Quando comparado a performance do salto vertical (SJ, CMJ) e rigidez em atletas e não atletas o estudo conduzido por Pentidis et al. (2020) não observou diferença significativa nos Saltos SJ, CMJ e rigidez do tornozelo entre atletas de Ginastica artística e não atletas pré-adolescentes, porém quando foi feita a correlação dos dados de salto e rigidez foi observado uma correlação positiva entre salto CMJ e rigidez de tendão em ambos os grupos, o que sugere que a rigidez contribui de forma significativa no desempenho do salto independente do nível de treinamento do atleta.

Em outro estudo conduzido por Hughes; G and Watkins; J (2008) que avaliou por meio de cinética e cinemática os ângulos de flexão do quadril, flexão do joelho e flexão plantar e dorsiflexão do tornozelo assim como a rigidez dos MMII em atletas de voleibol do sexo masculino e feminino durante a aterrissagem em saltos de bloqueio, os autores observaram que os ângulos de flexões das articulações citadas anteriormente foram significativamente maiores nas atletas do sexo feminino em comparação com os atletas do sexo masculino, por sua vez a rigidez do MMII foi significativamente maior nos atletas do sexo masculino, segundo os autores essa característica de maior rigidez com menor amplitude de movimento no momento da aterrissagem favorece uma maior estabilização das articulações do quadril, joelho e tornozelo o que diminui a incidência de lesões com por exemplo ruptura dos ligamentos cruzados.

Podemos concluir a partir disso que a rigidez das extremidades inferiores influencia o desempenho em várias atividades esportivas. A relação entre rigidez dos MMII e desempenho durante movimentos explosivos ainda não foi relatada na literatura, embora em termos de melhoria de desempenho, seja significativa quando se considera como essas informações poderiam ser usadas para otimizar a produção muscular após um alongamento ativo (WALSHE; WILSON; ETTEMA, 1998). Sendo assim, se faz necessário a

mensuração da rigidez dos MMII e o quanto que o desempenho nos saltos verticais em atletas de voleibol é influenciado por este nível de rigidez.

2.4.2 Rigidez e fadiga

Caracteriza-se a fadiga muscular como a falta de capacidade do músculo esquelético produzir força muscular por um determinado tempo (ASCENSÃO et al. 2003). As principais causas da fadiga muscular são alterações nas funções músculo esquelético ou alterações neurais que orientam o músculo, ocasionando em uma perda progressiva da capacidade contrátil. O declínio da força muscular tem sido a principal manifestação de fadiga durante e após exercícios submáximos e máximos (FITTS, 2008).

A fadiga muscular afeta o desempenho reduzindo a capacidade de produzir força, velocidade e potência. Esse comportamento se dá, primeiramente, por desequilíbrios metabólicos, impedindo atividade celular normal, diminuindo a velocidade de contração e reabastecimento de energia e algumas horas ou dias depois pela instalação de um processo inflamatório relacionado à lesão muscular, (CHOI; WIDRICK, 2009).

A rigidez do CMT é capaz de oferecer resistência por meio das suas propriedades elásticas, que por sua vez tem a capacidade de armazenar e conservar energia mecânica elástica durante o alongamento ativo, essa tensão gerada pela energia acumulada é responsável pela retração espontânea do músculo para o comprimento de repouso pela liberação da energia elástica acumulada, do ponto de vista prático, essa capacidade de armazenar e liberar energia elástica significa desempenho realizado sem a necessidade da utilização de energia metabólica. Sendo assim, enquanto em contrações puramente concêntricas ou isométricas o trabalho desenvolvido pelo músculo se deve exclusivamente às pontes cruzadas estabelecidas sendo estas dependentes de ATP (energia metabólica) durante contrações excêntricas ou ciclos alongamento-encurtamento soma-se a energia mecânica elástica e o mesmo trabalho pode ser realizado com menor custo metabólico e possivelmente retardando o surgimento da fadiga (RASSIER et al., 2003; HERZOG; LEONARD, 2002;).

2.5 AVALIAÇÃO SUBJETIVA DE FADIGA

As escalas de percepção subjetivas de esforço (PE) são frequentemente utilizadas em áreas da pesquisa, esporte e atividades físicas para mensurar a percepção do atleta a exigência física ao qual foi submetido. A PE é um método de mensuração e monitoração da intensidade do esforço utilizada em varias áreas do treinamento físico, e é entendida como a integração de sinais periféricos (músculos e articulações) e centrais (ventilação) que, interpretados pelo córtex sensorial, produz a percepção geral ou local do empenho para a realização de uma determinada tarefa (CARDOSO et al., 2021; BORG, 2000; BORG,1982).

A PE, apresentada a partir do mecanismo de retroalimentação (feedback), através principalmente do trabalho muscular intenso, também é capaz de avaliar outras sensações, como: tensão, dores, fadiga dos músculos periféricos e do sistema respiratório, servindo como importante complemento de avaliações físicas (NAKAMURA et al., 2010; BORG,2000; ROBERTSON & NOBLE, 1997; BORG, 1990).

Devido a isto a validação da escala de PE se deu através de variáveis fisiológicas, entre elas a frequência cardíaca e respiratória, consumo de oxigênio, excreção de dióxido de carbono e acidose metabólica (ROBERTSON & NOBLE,1997). Mas outros fatores não fisiológicos também conseguem ser explicados através de variações na PE, pois ela é capaz de integrar múltiplas informações, como estresse, desconforto e fadiga dos sistemas muscular, cardiovascular e respiratório (ROBERTSON & NOBLE, 1997).

Borg (1982) foi o criador da escala de PE com uma escala que variava de 6 a 20, sendo que 6 corresponde à nenhum esforço e 20 o esforço máximo que ficou conhecida como escala de percepção subjetiva de Borg. Borg (1990) sugere uma versão mais simples da sua própria escala, com números de 0 à 10, onde 0 corresponde a nenhum esforço e 10 corresponde à extremamente forte, ou o maior esforço que a pessoa tenha tido experiência e é conhecida como escala CR-10 de Borg (apêndice B) .O autor sugere que esta escala de 0 à 10 melhor define a percepção de esforço ao exercício.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Este estudo se caracteriza como observacional (HECKSTEDEN et al., 2018) e avaliou se existe associação entre a rigidez de MMII sobre variáveis de desempenho, recuperação e fadiga de atletas de voleibol em treinamentos e jogos.

3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A amostra foi intencional e constituída por 29 atletas de voleibol homens, integrantes da seleção brasileira de voleibol sub-19. Todos os sujeitos participantes deste estudo foram informados sobre os procedimentos metodológicos desta investigação e aceitaram participar assinando um termo de consentimento livre e esclarecido, onde foi manifestado o conhecimento da abordagem metodológica do projeto e o interesse em fazê-lo (APÊNDICE A).

3.3 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Foram excluídos do estudo aqueles atletas que, por orientação do departamento médico da equipe, não estavam aptos para realizar alguma das atividades propostas.

3.4 VARIÁVEIS

3.4.1 Variáveis de caracterização da amostra

- ⇒ Massa corporal;
- ⇒ Estatura;
- ⇒ Percepção subjetiva de recuperação

3.4.2 Variável independente

- ⇒ nível de rigidez musculotendínea dos membros inferiores.

3.4.3 Variáveis dependentes

Desfechos primários:

- ⇒ Altura do salto vertical sem contramovimento (SJ);
- ⇒ Altura do salto vertical com contramovimento (CMJ);
- ⇒ Coeficiente de elasticidade dos membros inferiores;
- ⇒ Altura máxima dos saltos verticais realizados em treinamento.
- ⇒ Índice de esforço dos saltos verticais realizados em treinamento.

Desfechos secundários:

- ⇒ Percepção de fadiga.

3.4.4 Variável de controle

- ⇒ quantidade de saltos realizados nos treinamento similar a uma partida de voleibol com no máximo 100 saltos por atleta.

3.5 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A COLETA DE DADOS

3.5.1 Ficha de coleta de dados

Para a coleta de dados será utilizada uma ficha individual com os registros das informações referentes aos atletas participantes, como nome, data de nascimento, massa corporal e estatura, rigidez musculotendínea e altura de salto vertical.

3.5.2 Balança

Para a determinação da massa corporal será utilizada uma balança da marca Filizola® (São Bernardo do Campo, BRASIL) com resolução de 100 g.

3.5.3 Estadiômetro

Para a determinação da estatura será utilizado um estadiômetro da marca Sanny® (São Paulo, BRASIL) que é constituído de uma escala métrica com resolução de 1 mm.

3.5.4 Tapete de contato

Para determinar a altura do salto será utilizado um tapete de contato da marca multisprint® (Belo Horizonte, BRASIL).

3.5.5 Vert

Para o monitoramento do número de saltos e altura máxima dos saltos e percentual de esforço dos saltos verticais realizados durante a sessão de treinamento foi utilizado sensor inercial da marca Vert® (CHARLTON et al., 2017).

3.5.6 Escala CR-10 de Borg

Para avaliação da percepção Subjetiva de esforço (PE) foi utilizada a escala CR-10 de Borg (BORG, 2000)(ANEXO B).

3.5.7 Escala de Recuperação

Para avaliação da percepção subjetiva de recuperação (PR) foi utilizada a escala de percepção de recuperação de Laurent et al. (2011) (ANEXO C).

3.6 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

O estudo foi dividido em duas fases. Na primeira fase os sujeitos foram submetidos à avaliação para caracterização da amostra e testes para a mensuração da rigidez dos MMII e desempenho de salto vertical em testes específicos. Estes testes avaliaram a capacidade de rigidez e complacência dos MMII, altura máxima de salto vertical, todas estas avaliações foram executados em um tapete de contato.

Os testes da primeira fase foram divididos na seguinte ordem: 1º) os sujeitos foram avaliados acerca de suas medidas antropométricas (estatura, massa corporal e PR), a fim de caracterizar a amostra. Inicialmente, os sujeitos indicaram seu nível de recuperação através de uma escala de recuperação de 0 a 10 sugerida por Laurent et al. (2011), onde zero é nenhuma recuperação e 10 é totalmente recuperado. Logo após, 2º) o teste de capacidade de rigidez e

complacência de MMII, seguido 3º) do teste de altura máxima no salto vertical sem contra movimento (SJ) e com contramovimento (CMJ) de acordo como protocolo elaborado por Bosco et al. (1983).

Para mensuração da rigidez de MMII foi utilizado o protocolo proposto por Dalleau et al (2004), onde a rigidez foi mensura enquanto o sujeito estiver saltando com ambas as pernas em uma frequência 2,5 Hz. Um metrônomo eletrônico guiou o sujeito a manter a frequência necessária por meio de um sinal auditivo. Os sujeitos saltaram no lugar por 10 segundos, com as mãos nos quadris, em um tapete de contato (Jump Test – Hidrofit, Belo Horizonte, Brasil) que estima o tempo de voo e tempo de contato, através de um programa específico. A rigidez foi calculada para cada salto e a média ao longo dos saltos durante os 10 segundos, por meio da seguinte fórmula:

$$K_N = \frac{M \times \pi(T_f + T_c)}{T_c^2 \left(\frac{T_f + T_c}{\pi} - \frac{T_c}{4} \right)}$$

no qual M = massa corporal, T_f = tempo de voo, T_c = tempo de contato.

Os saltos SJ, CMJ seguiram o protocolo sugerido por Bosco et al. (1983) em um tapete de contato (Jump Test – Hidrofit, Belo Horizonte, Brasil), que estima a altura do salto vertical de acordo com o tempo de voo, através de um software específico, com a seguinte equação: $h = g \cdot t^2 \cdot 8^{-1}$ onde h é a altura, g é o valor da aceleração da gravidade, e t é o tempo de voo. No teste de salto SJ, o indivíduo partiu da posição em pé com o quadril e joelhos flexionados a aproximadamente 90 graus, as mãos ficaram fixadas no quadril. Após o comando sonoro, o indivíduo realizou a extensão do quadril e joelhos de forma rápida para realização do salto sem que ocorra o contra movimento. No teste de salto CMJ, o indivíduo iniciou da posição em pé com as mãos no quadril. Após o comando sonoro, o indivíduo realizou uma flexão (aproximadamente 90 graus) de quadril e joelhos de forma rápida, seguida da extensão dessas articulações para a realização do salto (BERRIEL.,et al 2020a).

Todos os testes acima citados foram antecidos por um aquecimento padrão que consiste em 5 minutos de corrida a 8,5 km.h⁻¹, em uma esteira, seguidos de 15 segundos de alongamento passivo para cada grupo muscular

dos membros inferiores. O tempo de intervalo entre cada teste foi de 15 minutos.

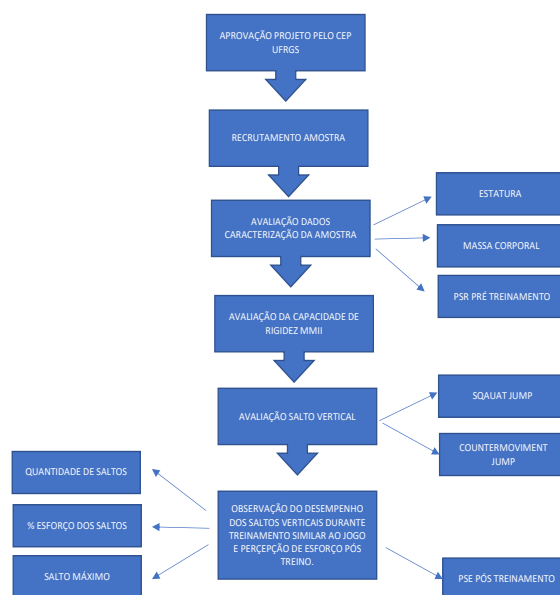
Na segunda fase do experimento, foi realizada com a observação das variáveis de desempenho de saltos e fadiga dos atletas durante uma sessão de treinamento tático que tem como característica principal simular situações de jogo característicos do voleibol.

As coletas das variáveis de desempenho de saltos (número de saltos e altura máxima dos saltos e índice de esforço que é calculado pela altura média de todos os saltos realizados no treino dividido pela altura máxima alcançada no treino) foi realizada durante a sessão de treinamento tático. O acelerômetro utilizado para esta análise foi inserido em uma banda elástica na altura da cintura dos atletas a fim de determinar a altura e quantidade dos saltos verticais. Os dados foram imediatamente enviados para um tablet via Bluetooth para posterior análise (CHARLTON et al., 2017).

A rotina de treinamento nesta fase do experimento consistiu na apresentação dos atletas 45 minutos após os testes acima citados para o treinamento tático. Após, os sujeitos realizaram um aquecimento que consiste de 5 minutos de alongamento e mais 5 minutos de movimentos tipicamente utilizados em partidas de voleibol conforme sugerido por Villareal et al. (2008). Após a realização do aquecimento, os sujeitos participaram do treinamento tático de voleibol por um período de 2 horas aproximadamente onde todos os atletas realizaram 100 saltos controlados pelo acelerômetro citado anteriormente e ao final deste treinamento indicaram o nível de esforço percebido em uma escala de Borg modificada de 0 a 10 onde 0 é nenhum esforço e 10 refere-se a esforço máximo (COUTTS; AOKI, 2009). Todos os testes acima citados foram feitos no primeiro dia de treinamento da semana.

A composição do treinamento tático foi determinada pelo treinador da equipe, e tem como principal característica a simulação das ações de jogo recorrentes em uma partida de voleibol e seu principal objetivo foi melhorar a eficácia dos procedimentos técnicos (saque, ataque, recepção, bloqueio e levantamento), desta forma os atletas foram distribuídos em duas equipes diferentes e foram disputados sets como em uma partida oficial.

Figura 3 Fluxograma representativo das fases do experimento



Fonte: Produzido pelo autor, 2019.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o tratamento dos dados, foi utilizada a estatística descritiva, com a apresentação dos resultados por meio de média e desvio-padrão. A normalidade dos dados foi verificada a partir do teste de Shapiro-Wilk. Para estabelecer as associações entre as variáveis, os dados que apresentaram distribuição normal foi utilizado o teste de correlação Produto Momento de Pearson (1895) e para os dados que não apresentaram distribuição normal foi utilizado o teste de correlação de Rô de Spearman (1904). A classificação adotada para os dados é de 0 - 0,30 pequena correlação, 0,31 - 0,49 moderada correlação, 0,5 - 0,69 grande correlação, 0,7 - 0,89 muito grande correlação, 0,9 - 1 quase perfeita correlação e acima de 1 perfeita correlação como sugerido por Hopking et al (2009). Os testes estatísticos foram realizados no software SPSS versão 22.0 (IBM, Chicago, EUA).

3.8 ASPECTOS ÉTICOS

Este projeto de pesquisa foi previamente submetido e aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da UFRGS com o número 4.129.810.

4 RESULTADO

Conforme descrito anteriormente, o objetivo geral do presente estudo foi verificar a relação entre a rigidez musculotendínea dos MMII e desempenho de salto vertical e fadiga em atletas de voleibol do sexo masculino convocados para a seleção Brasileira sub-19. Os resultados obtidos serão apresentados em dois subcapítulos: Caracterização da amostra e correlações entre rigidez e variáveis de desempenho de salto e fadiga.

4.1 DADOS DE CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A tabela 1 apresenta os dados de caracterização da amostra, constando massa corporal e estatura de todos os atletas participantes do estudo.

Tabela 1 Valor médio, desvios padrão e intervalo de confiança de 95% (IC 95%) das variáveis de caracterização da amostra de massa corporal e estatura dos 29 atletas de voleibol do sexo masculino convocados para a seleção Brasileira sub -19.

	Média (n=29)	± DP	IC 95 %	
			Inferior	Superior
Massa Corporal (kg)	87,59	10,93	83,43	91,75
Estatura (cm)	195,75	9,21	192,25	199,26

A tabela 2 apresenta dados referentes a percepção subjetiva de recuperação, de todos os atletas participantes do estudo.

Tabela 2 Valor médio, desvios padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança de 95% (IC 95%) da percepção subjetiva de recuperação (PR) dos 29 atletas de voleibol do sexo masculino convocados para a seleção Brasileira sub -19.

	Média (n=29)	± DP	CV(%)	IC 95 %	
				Inferior	Superior
PR (u.a)	9	0,85	9,39	8,67	9,32

A tabela 3 apresenta os dados descritivos referentes aos valores médios das variáveis de rigidez de MMII, desempenho de salto (SJ, CMJ, coeficiente de elasticidade, % de esforço e altura máxima do salto em treino) e PSE.

Tabela 3 Valor médio, desvios padrão e intervalo de confiança de 95% (IC 95%) das variáveis de desempenho em rigidez de membros inferiores, salto sem contramovimento (SJ), com contramovimento (CMJ), coeficiente de elasticidade (COFE), percepção subjetiva ao esforço (PE), % de esforço e altura máxima dos saltos realizado no treino dos 29 atletas de voleibol do sexo masculino convocados para a seleção Brasileira sub -19.

	Média (n=29)	± DP	IC 95%	
			Inferior	Superior
Rigidez (N/m)	0,43	0,15	0,37	0,49
Altura SJ (cm)	39,9	5,21	37,91	41,88
Altura CMJ (cm)	41,99	5,7	39,82	44,16
COFE (%)	5,22	3,18	4,01	6,43
PE (A.U.)	6,51	1,35	6	7,03
% esforço no salto (%)	80	0,88	79,66	80,33
Altura máxima dos saltos (cm)	76,34	11,27	72,05	80,63

Fonte: Produzido pelo autor 2021

4.2 DADOS DE CORRELAÇÃO DA RIGIDEZ COM VARIÁVEIS DE DESEMPENHO E FADIGA.

A tabela 4 mostra as correlações testadas da variável de rigidez dos MMII com as variáveis de desempenho de salto vertical (PR, SJ, CMJ, Coeficiente de elasticidade (COFE), altura máxima e % de esforço dos saltos realizados nos treinos) e percepção de fadiga (PE).

Tabela 4 Correlação entre Rigidez e percepção subjetiva de recuperação (PR), salto sem contramovimento (SJ), com contramovimento (CMJ), coeficiente de elasticidade (COFE percepção subjetiva ao esforço (PE), % esforço salto e altura máxima do salto realizado no treino dos 29 atletas de voleibol do sexo masculino convocados para a seleção Brasileira sub -19.

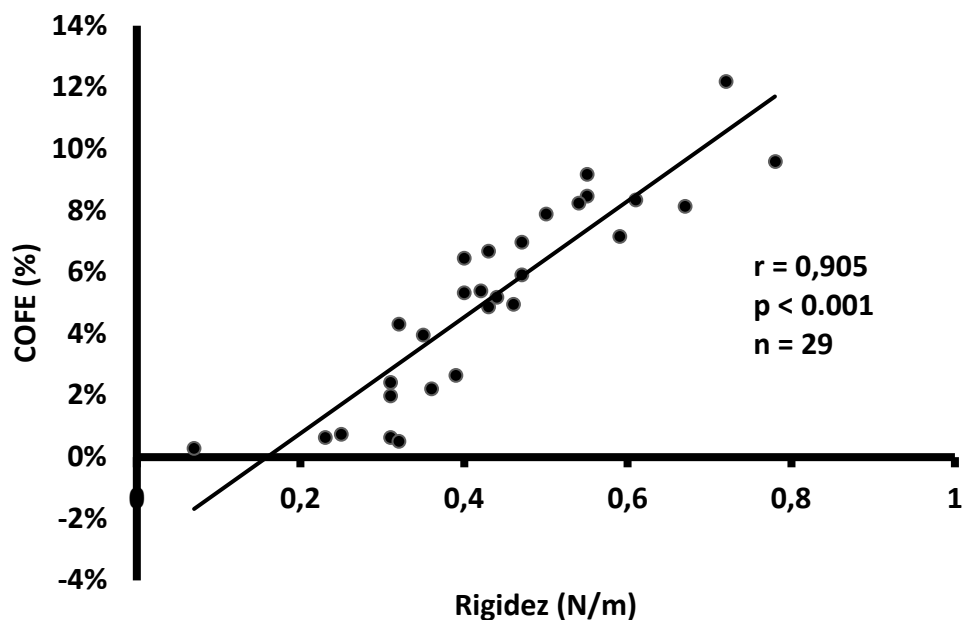
	Rigidez (N/m)	
	<i>r</i>	<i>p</i>
PSR (A.U.)	0,203	0,292
Altura SJ (cm)	0,0091	0,639
Altura CMJ (cm)	0,281	0,14
COFE (%)	0,905	0,001*
PSE (A.U.)	-0,906	0,001*
% esforço no salto (%)	-0,428	0,02**
Altura máxima do saltos (cm)	0,834	0,001*

** correlação significativa para $p=0,02$

* correlação significativa para $p<0,01$

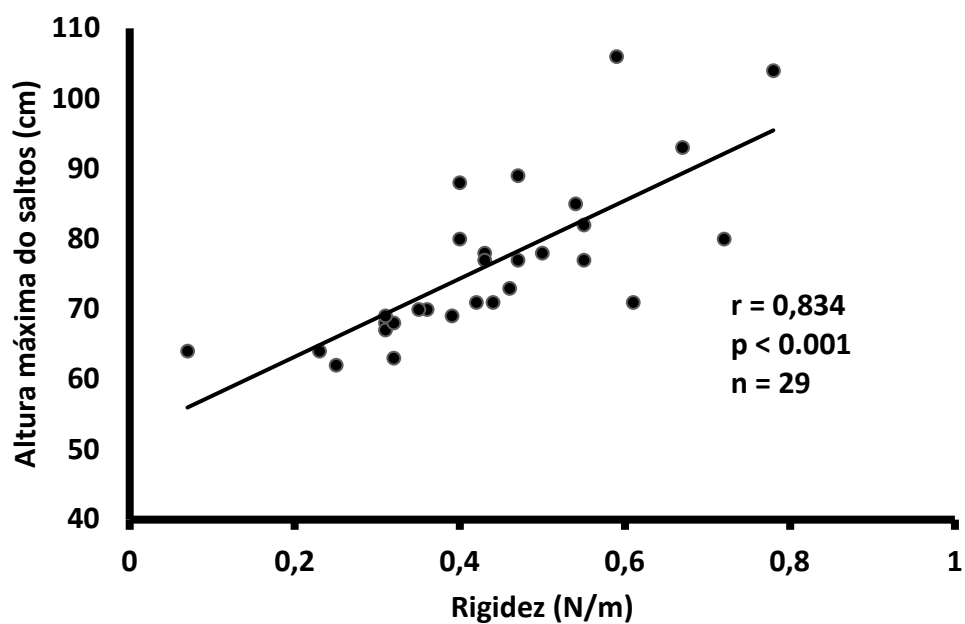
Os testes mostraram que a rigidez dos MMII apresentou quase perfeita correlação positiva com o coeficiente de elasticidade ($r= 0,905$, $p < 0,001$) (Figura 4), muito grande correlação positiva com a altura máxima de treino ($r= 0,834$, $p < 0,001$) (Figura 5), moderada correlação negativa com % de esforço dos saltos realizados no treino ($r= -0,428$, $p=0,021$) (figura 6) e perfeita correlação negativa com PSE ($r= -,906$, $p<0,001$) (Figura 7).

Figura 4 Correlação entre coeficiente de elasticidade no eixo Y, com a rigidez dos MMII no eixo X.



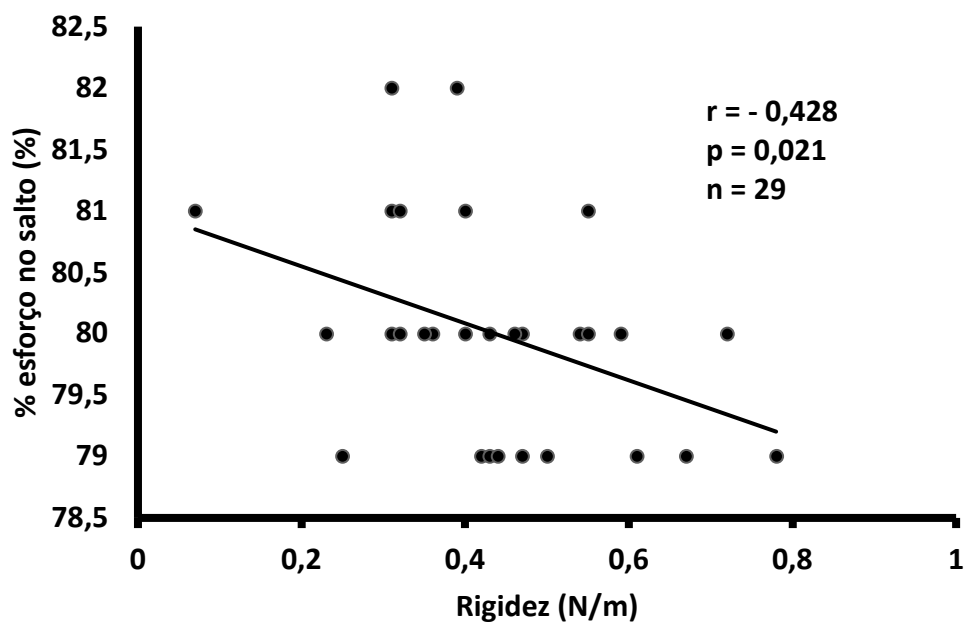
Fonte: Produzido pelo autor

Figura 5 Correlação entre altura máxima do salto no eixo Y, com a rigidez dos MMII no eixo X



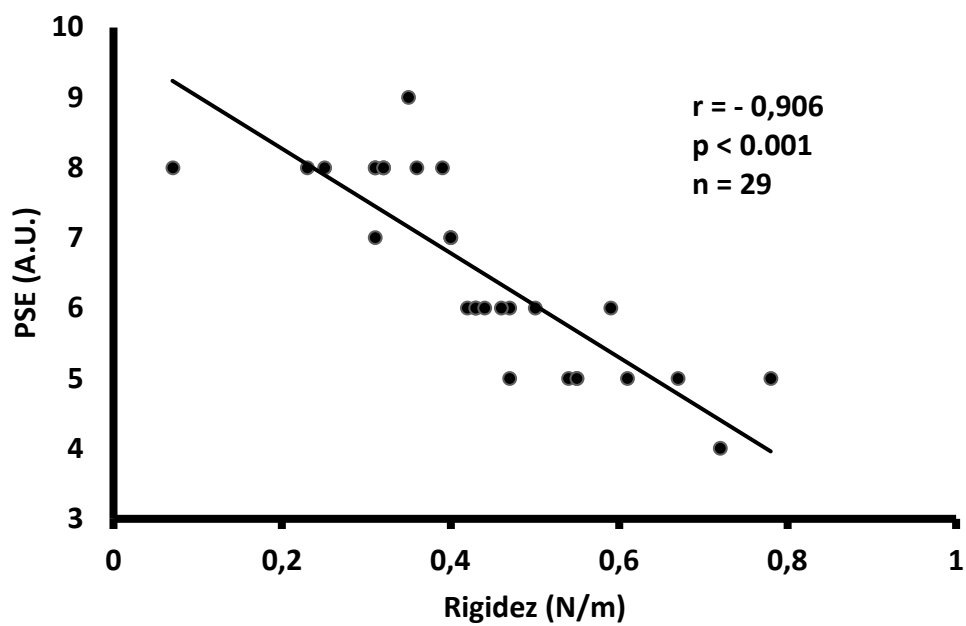
Fonte: Produzido pelo autor

Figura 6 Correlação entre %de esforço do salto no eixo Y, com a rigidez dos MMII no eixo X



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 7 Correlação entre PSE no eixo Y, com a rigidez dos MMII no eixo X.



Fonte: Produzido pelo autor

5 DISCUSSÃO

O principal objetivo desse estudo foi investigar a relação existente entre a rigidez músculo-tendíneo dos MMII com o desempenho de saltos verticais e atletas de voleibol convocados para a seleção Brasileira sub -19. A discussão foi dividida em três subcapítulos: dados descritivos, correlação entre rigidez e desempenho de saltos verticais e rigidez e fadiga.

5.1 DADOS DESCRITIVOS

A análise dos dados descritivos (tabela 1) mostrou que a estatura média dos atletas convocados para a seleção Brasileira sub-19 no ano de 2021 foi de 195,75 cm \pm 9,21 cm e massa corporal 87,59 kg \pm 10,93 kg, Stanguinetti (2008) em seu estudo com atletas da seleção Brasileira sub-19 daquele ano encontrou valores de estatura e massa corporal muito semelhantes ao do presente estudo 198,7 cm e 85,80 kg, da mesma forma Ciccarone (2005) com atletas da seleção italiana sub-19 encontrou 195,4 cm e 83 kg respectivamente o que mostra que apesar da diferença de 13 e 15 anos entre os 2 estudos citados acima com este estudo o perfil antropométrico aparentemente não foi alterado, tendo em vista as características do esporte se faz necessário o recrutamento de atletas com grande estatura, sendo esta a principal característica observada pelos treinadores, ainda mais quando falamos de esporte de alto rendimento. Neste sentido, o corrente estudo e os dois anteriormente citados avaliaram atletas da seleção Brasileira e Italiana sub-19, sendo que estes países estão entre os principais expoentes da modalidade, onde o processo de captação de atletas é bastante rigoroso buscando sempre os atletas com as características mais promissoras para a melhor performance esportiva. Um estudo com jogadores da seleção brasileira sub-19 de voleibol masculino indicou que o perfil antropométrico adequado foi importante para que 26 jogadores integrassem na seleção principal (TEIXEIRA et al, 2016). Em outros países como Austrália e Grécia, a maior estatura parece indicar os jogadores com melhor desempenho (TSOUKOS et al, 2019; GABBETT, AND GEORGIEFF, 2007).

Ao analisarmos os dados descritivos de média para percepção subjetiva de recuperação dos atletas convocados para a seleção brasileira sub-19

(tabela 2), observamos um bom índice de recuperação $9 \pm 0,85$ u.a para os atletas, que foram avaliados pela escala de Laurent et al. (2011) que varia de 0 a 10 sendo o índice 10 a maior recuperação. Estes autores citam que a importância da escala de PR está em identificar decréscimos no desempenho em situações de baixa recuperação, auxiliando profissionais a monitorar níveis individuais de recuperação. Os dados de PR também mostram um baixo coeficiente de variação com valor de 9,39 % o que indica que não houve uma variação muito grande no índice de recuperação entre os atletas o que garantiu que todos estavam em um nível semelhante de recuperação colocando todos os atletas em condições muito semelhantes para a realização dos testes e treinamento avaliados para o presente estudo.

Quando observamos os dados de média para rigidez (tabela 3) dos atletas observamos um valor de rigidez de 0,43 (kN.m-1.kg-1) Hughes; G and Watkins; J(2008) em seu estudo com atletas de voleibol observaram um valor de rigidez 0,21(kN.m-1.kg-1) para homens e 0,17 (kN.m-1.kg-1) para mulheres, outros estudos também apresentam valores diferentes ao presente estudo (MORAN et al, 2021; DELLEAU et al 2004; ARAMPATZIS et al 2001; AVELA AND KOMI, 1998; GOLLHOFER et al, 1992) esta grande disparidade de valores encontrados pode estar relacionado aos mais variados modelos de avaliação da rigidez assim como unidade de medida adotado para mensurar o nível de rigidez além do que o CMT de cada indivíduo tem características próprias de contração muscular, impedindo assim o estabelecimento de normas ou valores padrão, pois o que acontece num indivíduo ou num CMT pode ter consequências inversas em outro indivíduo ou CMT.

Stanguinetti (2008), ao analisar a altura do salto SJ e CMJ em atletas da seleção Brasileira sub-19 do mesmo ano observou valores de 40,5 e 42,8 cm respectivamente valores levemente superiores aos encontrados no presente estudo onde os valores encontrados foram de 39,9 e 41,98 cm para os respectivos saltos em outro estudo com atletas da categoria sub-19 porém da Italia Ciccarone (2005) também encontrou valores bastante semelhantes aos do nosso estudo com salto SJ 37,8 cm levemente mais baixo do que o corrente estudo e CMJ 42,84 cm levemente mais alto que o corrente estudo. A pouca variação encontrada entre os resultados dos estudos citados acima com o corrente estudo sugere que atletas mesmo que ainda não profissionais, mas

fazendo parte das categorias de base das principais seleções em nível mundial, a variação de performance é menor devido ao grau de condicionamento em que estes atletas apresentam.

Porém quando comparamos estes resultados com atletas adultos como os do estudo de Dal Pupo et al., (2012) em atletas de voleibol de alto nível de uma equipe da cidade Florianópolis, com participação nas principais competições nacionais e internacionais, observou altura do salto CMJ 48,38 cm, Berriel et al (2020a) também com atletas profissionais brasileiros participantes das principais competições nacionais e internacionais em seu estudo observou uma altura média dos saltos SJ 42,90 cm e CMJ 51,6 cm, estes resultados mostram que os atletas da seleção sub-19 apresentam uma perspectiva de crescimento de performance até tornarem-se adultos, fatores como maturação, experiência e tempo de treinamento poderão afetar positivamente a performance destes atletas.

A participação do CAE nas ações de saltos dos atletas foi avaliada através do coeficiente elástico (COFE). Este índice representa a diferença entre os saltos SJ e CMJ e permite avaliar indiretamente a capacidade de utilização do CAE em atletas para melhora da altura de saltos (SUCHOMEL; SOLE; STONE, 2016; HAFF et al., 2010). No presente estudo foram verificados valores médios de COFE de 5,22% (tabela 3), Poucos são os estudos que trazem este coeficiente como parâmetro de avaliação da diferença entre um salto oriundo de uma ação predominantemente concêntrica (SJ) e uma ação com o envolvimento do ciclo alongamento-encurtamento (CMJ).

Walshe, Wilson e Murphy (1996), um estudo clássico, reporta o COFE como modelo de análise pela primeira vez na literatura. Foi analisada a rigidez músculo-tendínea em praticantes de treinamento de força com no mínimo um ano de experiência. Neste caso, o COFE médio foi de 13,9%, uma diferença bastante relevante a que foi encontrada no presente estudo, da mesma forma ao confrontarmos nossos dados com outros estudos que avaliaram atletas esportivos essa diferença também foi observada.

Suchomel et al. (2016) traz em seu estudo uma análise de diferentes grupos de atletas de diferentes modalidades esportivas. Neste estudo, atletas de voleibol feminino de alto rendimento apresentaram um valor médio de 17%. Outro estudo que reportou esta variável dentro do contexto do alto rendimento

foi Hébert-losier, Supej e Holmberg (2014). Em seu estudo, o COFE foi reportando a fim de analisar a participação do CAE em atletas de elite, em comparação a atletas amadores. Os atletas de alto nível apresentaram um valor médio de $9,2 \pm 13,3\%$, enquanto que os amadores apresentaram $-0,3 \pm 9,0\%$. Neste sentido, o último estudo citado mostrou que há uma diferença de COFE entre atletas de alto nível e amadores e a amostra do presente estudo apesar de serem atletas que pertencem a uma elite do esporte ainda são atletas jovens com menos de 19 anos e ainda não estão no ápice de seu desenvolvimento físico, técnico além de comportarem outras atividades cotidianas além daquelas que envolvem o treinamento esportivo, como acontece com atletas profissionais avaliados nos estudos acima citados.

Os valores médios apresentados pelos atletas para PE foi de 6,5 para a escala utilizada (CR-10 de Borg) que varia de 0 a 10 sendo 10 a maior percepção de esforço. O estudo de Cardoso et al. (2021) observou uma PE de 5,47 para treino e 5,51 para jogo enquanto o estudo de Setuian et al (2021) observou uma PE de 5,4 os dois estudos acima citados foram realizados com atletas de voleibol profissionais de equipes brasileiras. O valor encontrado em nosso estudo foi maior dos que os valores encontrados no estudo acima citados e podem ter como principal justificativa a variação da carga de treinamento de cada estudo e o próprio nível de competitividade entre os atletas dos respectivos estudos. É importante salientar que o corrente estudo avaliou atletas convocados para a seleção brasileira sub 19, e neste grupo estão os melhores jogadores do país para esta idade o que ocasiona um nível de competitividade muito grande entre os atletas o que pode ter ocasionado um maior desgaste físico. Além do mais este estudo avaliou os atletas na fase pré-competitiva, que volta seus treinos para a melhora das capacidades físicas e aperfeiçoamento das habilidades esportivas específicas, enquanto a fase competitiva tem seus treinos visando a manutenção das habilidades desenvolvidas (TURNER, 2011) o que também pode trazer diferenças na manipulação das cargas de treino e conseqüentemente a percepção de esforço dos atletas.

Para altura máxima de salto realizado em treinamento e % de esforço de salto no treino. A ferramenta utilizada para avaliação dos saltos em nosso estudo (VERT) que capta todos os saltos verticais realizados acima de 15 cm,

e o valor atribuído ao % de esforço é resultado da divisão da altura máxima atingida no treino pela altura média de todos os saltos realizados no treino, os valores médios encontrados para % de esforço foi 80% enquanto a média para altura máxima foi de 76,84 cms, o VERT enquanto uma nova tecnologia permitiu avaliar os saltos realizados durante os treinos e jogos trazendo uma nova perspectiva para os valores observados da altura dos saltos e suas variações como por exemplo (%de esforço), esses valores não necessariamente são representativos da capacidade máxima de altura que estes atletas podem apresentar mas sim a necessidade para o contexto do treino ou jogo. Vale também salientar que estas variáveis de desempenho variam conforme as posições que os atletas assumem em quadra (HORTA et al., 2017). Devido ao recente surgimento deste equipamento no contexto de avaliação de saltos em atletas de voleibol não encontramos na literatura dados nos quais poderíamos comparar nossos resultados a literatura até o presente momento que estudaram o VERT como equipamento de avaliação, embora o equipamento tenha sido validado em termos de confiabilidade dos dados conforme demonstrado nas seções de revisão de literatura e materiais e métodos da presente Tese.

5.2 CORRELAÇÃO ENTRE RIGIDEZ E DESEMPENHO DE SALTOS VERTICAIS

O principal objetivo do nosso estudo era observar se haveria alguma correlação entre a rigidez CMT e variáveis relacionadas ao salto vertical. As correlações que ocorreram foram da rigidez com coeficiente elástico apresentando uma correlação perfeita positiva, rigidez e altura máxima de salto com correlação muito grande positiva e rigidez e %de esforço de salto mostrando uma correlação moderada negativa.

A correlação de rigidez com coeficiente elástico ainda não está bem esclarecida tendo em vista que a literatura traz estudos que sugerem que o músculo deve ter um alto grau de rigidez para efetivamente utilizar energia elástica (AVELA AND KOMI, 1998; GOLLHOFER et al, 1992). Em outros estudos foi observado que a fadiga do CAE e a diminuição da utilização da energia elástica causa mudanças na rigidez do joelho e na velocidade de decolagem durante *drop jumps* (HORITA et al, 1999; HORITA et al, 1996). A

explicação proposta é simples. A rigidez dos CMT aumenta a capacidade de transmitir a força contráctil com eficácia por meio da energia elástica acumulada. Assim, numa estrutura CMT complacente, mais lento será o CAE, reduzindo a tensão oriunda da energia elástica armazenada devido a deformação do CMT e conseqüentemente diminuindo a produção de força na fase concêntrica (BOSCO et al. 1982; BOSCO et al. 1981; CAVAGNA et al, 1965), estes achados estão de acordo com os encontrados no presente estudo (FIGURA 4) que indicam que atletas que apresentaram maior rigidez obtiveram melhores índice de coeficiente elástico que é um indicativo de aproveitamento oriundo da energia elástica armazenada no CMT.

Em outro sentido alguns pesquisadores indicam que a rigidez muscular aparece positivamente associada à produção de força concêntrica e isométrica (WILSON et al, 1994). Da mesma forma, alguns investigadores relacionaram também a taxa de produção de força (potência) com o índice de rigidez muscular (BJOSEN- MOLLER et al, 2005). Por outro lado, a razão entre esta característica muscular e a força excêntrica esta inversamente relacionada (WILSON et al, 1994). Seguindo o mesmo raciocínio, uma estrutura complacente permitirá maior absorção de energia durante contração excêntrica, e com isso permitirá maiores performances na realização de contrações em alongamento. Sendo assim a capacidade para armazenar e utilizar energia potencial elástica está associada à complacência dos CMT envolvidos no movimento, Ettema, (2001) em seu estudo simulando vários modelos de CAE em gastrocnemicos de ratos mostrou que tanto um músculo com maior complacência ou maior rigidez foram semelhantes na eficiência em contrações concentricas ou ou com utilização do CAE.

Estudos que se propuseram a avaliar rigidez CMT “in vivo” permitiu aos investigadores estimar a complacência dos CMTs em determinadas posições de corrida ou salto, permitindo ainda relacioná-los com a performance de contrações concêntricas, isométricas, excêntricas ou em regime de CAE (WALSHE et al, 1996). Walshe & Wilson (1997) confirmaram que os indivíduos mais complacentes obtinham melhores performances na execução de DJs, especialmente nas mais elevadas alturas de queda (maior tempo de transição entre fase excêntrica e concêntrica, CAE longo). Ou seja, uma relação inversa

entre rigidez muscular e o desempenho muscular em CAE curto (pouco tempo de transição entre fase excêntrica e concêntrica).

No entanto, os estudos que abordam o CMJ apresentam resultados diferentes. Segundo estes (BOJSEN MOLLER et al, 2005; KUBO et al, 1999;) a rigidez influencia positivamente a performance de um CMJ, revelando que a taxa de produção de força tem um papel mais importante que a retenção e reutilização de energia potencial elástica nos CMTs. Estes estudos relacionam a rigidez muscular com a performance do salto CMJ e SJ. Embora ambos se relacionem positivamente com a rigidez, o SJ apresenta uma relação mais significativa, visto que baseia a sua performance exclusivamente na taxa de produção de força. Kubo et al (1999) explicam que embora haja uma associação, não existe uma razão clara entre o índice de rigidez e a performance de um CMJ, levando a crer que este é influenciado majoritariamente pela capacidade contrátil mas não exclusivamente como acontece no SJ. Estes resultados divergem do presente estudo que não observou correlação entre os saltos SJ e CMJ com a rigidez muscular.

Para melhorar a compreensão deste fenômeno, os mesmos autores relacionaram a diferença de performance entre o SJ e o CMJ (coeficiente elástico) com rigidez. Este autor encontrou assim uma relação inversa, isto é, quanto maior a rigidez muscular menor a vantagem da execução de um CMJ (coeficiente elástico) face ao SJ (força explosiva simples). Estes resultados apesar de diferente do presente estudo (FIGURA 4) que encontrou uma relação positiva entre coeficiente elástico e rigidez, confirmam a ideia de pequena, mas relevante utilização de energia elástica armazenada nos CMTs durante a execução de um CMJ.

Dados apresentados por Bojsen-Moller et al (2005), também interessantes quando relacionam a rigidez com a diferença entre o SJ e o CMJ. Estes autores verificaram que a maior diferença entre as duas performances (coeficiente de elasticidade) se encontra em valores médios de rigidez. Estes dados sugerem que haverá um “ponto ótimo” de rigidez muscular que beneficia a performance do CAE.

A rigidez ocupa um papel fundamental como principal explicação para a grande disparidade de valores encontrados nesta área de estudo, visto que esta característica apresenta uma enorme variabilidade não apenas ao nível

inter-individual, mas também em nível inter CMT (ETTEMA, 2001). Esta propriedade muscular leva a que cada indivíduo tenha características próprias de contração muscular, impedindo assim o estabelecimento de normas ou valores padrão, pois o que acontece num indivíduo ou num CMT pode ter consequências inversas em outro indivíduo ou CMT.

Ao analisarmos os dados da figura 5 podemos observar uma forte correlação positiva entre a rigidez de MMII e desempenho de salto vertical em treinamento similar ao de uma partida de voleibol, este resultado vai ao encontro de estudos que indicam que a rigidez de MMII influencia a performance atlética de esportes onde movimentos como corrida saltos e troca de direção são fundamentais (MORAN et al, 2021). Como no estudo de Arampatzis et al (2001) com atletas de *decatlo* que observou que níveis altos de rigidez dos MMII ocasionaram uma maior força de reação do solo vertical e consequentemente maior altura de salto vertical. No mesmo sentido Kealkahoven & Watsford (2018) com jogadores de futebol que apresentaram melhores índices de rigidez tiveram melhores desempenhos em saltos verticais CMJ e DJ, que sugere que além do papel da rigidez na força de reação do solo e armazenamento e liberação da energia elástica, a rigidez também pode ter implicações significativas para a produção de força dentro do músculo fazendo com que este trabalhe em uma faixa ótima de força-velocidade. Outros estudos também tem relatado que o melhor desempenho de salto é fortemente associado a uma maior rigidez (BOJSEN-MOLLER et al., 2005; NARICI, & REEVES, 2004; MAGANARIS,; MAGNUSSON et al., 2003; LIEBER, LEONARD & BROWN-MAUPIN, 2000). Na sua maioria estes estudos utilizaram salto CMJ para avaliar a relação com rigidez. Porém, o presente estudo não encontrou uma associação entre o salto CMJ e rigidez e sim com o salto mais alto realizado durante uma sessão de treinamento similar a uma partida de voleibol. Normalmente os saltos mais altos realizados durante uma partida de voleibol é o salto de ataque que por questões biomecânicas ele é precedido por uma corrida em alta velocidade de três passadas que faz com que o atleta consiga saltar verticalmente mais alto, e nesse sentido o estudo de Berriel et al (2020b) encontrou uma forte correlação entre o desempenho de salto de ataque e o salto CMJ.

Tais valores de correlação observados nos saltos usando CAE pode ser explicado pelo fato de que a fase de propulsão do ataque, o salto é realizado com a transição rápida do joelho e quadril flexão de joelho e extensão de quadril, semelhante a CMJ que avalia a altura do salto com a contribuição da energia armazenada a partir dos componentes elásticos, a influência do nível de rigidez na capacidade de armazenamento de energia elástica já foi descrita anteriormente (BOSCO et al. 1982; BOSCO et al. 1981; CAVAGNA et al, 1965;). O que pode explicar o resultado da associação entre rigidez e altura máxima de salto vertical realizado em uma sessão de treino.

A figura 6 apresenta o resultado referente à associação da rigidez com o percentual de esforço no treino (determinada pela divisão da altura máxima de salto pela altura média de todos os saltos realizado no treino). Foi observada uma associação moderada negativa entre as duas variáveis, indicando que quanto maior o nível de rigidez, menor é o percentual de esforço. Uma possível explicação para este resultado, diz respeito ao baixo grau de variação (~1% de coeficiente de variação e intervalo de confiança entre 79,88% e 80,33%) para um número igual de 100 saltos para todos os atletas. Deste modo, a baixa correlação se deve provavelmente ao fato que os atletas avaliados no presente estudo apesar de serem jovens, pertencem a uma elite que tem uma rotina de treinamento muito similar aos atletas profissionais o que faz com que a variação no desempenho de salto não seja grande, ou seja, pouco relacionado ao desempenho físico.

5.3 CORRELAÇÃO ENTRE RIGIDEZ E FADIGA

Quando observamos o resultado da figura 6 constatamos uma associação muito forte entre rigidez e PE, esse comportamento pode ser explicado pela melhor efetividade do movimento provocado pelo CAE onde a utilização da energia elástica armazenada no pré-estiramento do salto vertical é adicionada a força desenvolvida pela ação contrátil na fase positiva do salto. Cavagna (1977,1970,1964) realizou extensas investigações acerca do armazenamento e reutilização de energia elástica durante o CAE, observando que o trabalho positivo durante a corrida era consideravelmente elevado para a energia consumida (Cavagna et al., 1964). Sugerindo então, que o trabalho positivo do CAE, na fase propulsiva da corrida, é sustentado principalmente

pela ação dos elementos elásticos e em menor grau pela atividade de encurtamento ativo dos músculos. Em um estudo de 1983, Fukashiro et al referem que durante os saltos verticais repetidos, os componentes elásticos são responsáveis por metade a dois terços do trabalho positivo total. Desde então a elasticidade muscular tem sido compreendida como um dos mais relevantes fatores de potenciação do Ciclo Alongamento-Encurtamento. Deste modo, o CAE é habitualmente compreendido como um mecanismo primário de armazenamento e reutilização de energia potencial. Essa reutilização da energia potencial caracteriza-se também por uma maior eficiência comparativamente com ações musculares puramente concêntricas (Komi, 1992; Aura & Komi, 1986; Cavagna et al., 1968;).

O resultado desta melhor eficiência se traduz em um maior trabalho positivo com um menor custo energético (PEYRÉ-TARTARUGA et al., 2021; PEYRÉ-TARTARUGA e COERTJENS, 2018), o que resulta em uma menor percepção de esforço da tarefa, confirmado também pela forte associação positiva entre o coeficiente elástico e a rigidez de membros inferiores. Ou seja, atletas com maior nível de rigidez, apresentaram melhores coeficientes de elasticidade resultando em um maior armazenamento de energia potencial para ser utilizado no salto. Essa possibilidade de maior armazenamento de energia elástica ocasionou nestes atletas uma fase positiva mais efetiva com um menor gasto energético que resultou em uma menor percepção de esforço. Para nosso conhecimento, este é o primeiro estudo que encontrou associações entre determinantes do mecanismo elástico, desempenho de salto e percepção de esforço em uma modalidade esportiva com alta demanda bioenergética anaeróbica. De fato, estas relações são bem determinadas em exercícios de longa duração (Peyré-Tartaruga et al., 2021; Cavagna et al., 1977) e com os achados da presente Tese, investigações futuras serão necessárias a fim de compreender por um lado os mecanismos envolvidos nestas intrigantes relações, e por outro lado compreender como diferentes delineamentos de treinamento de potência (e.g., complex vs. cluster set training) podem interferir nessas relações de modo a otimizar o planejamento de treinamento de atletas de alto nível de voleibol.

6 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo indicam que ha uma associação entre a capacidade de rigidez do CMT dos MMII de atletas de voleibol com o coeficiente elástico e capacidade de salto, sendo que atletas com maior rigidez parecem ter maior capacidade de armazenamento de energia elástica que adiciona mais força no momento da contração ativa melhorando o desempenho do salto vertical em um treinamento similar a uma partida de voleibol, sem um aumento no custo metabólico ocasionando uma menor percepção de esforço como indicam os resultados da associação negativa do nível de rigidez e PE, indicando que quanto maior o nível de rigidez menor é a percepção de fadiga.

7 APLICAÇÕES PRÁTICAS

O nível de rigidez parece ter grande influencia sobre o mecanismo do CAE que por sua vez, bem desenvolvido, aumenta a capacidade dos sistemas neural e músculo tendíneo resultando em uma maior produção de força máxima em um curto espaço de tempo, com um menor custo metabólico. Deste modo, estratégias que aumentem o nível de rigidez se fazem necessárias para potencializar a utilização do CAE, sendo o treinamento pliométrico uma alternativa extremamente importante para o aperfeiçoamento dos níveis de rigidez em atletas de alto rendimento (CHMIELEWSKI et al., 2006).

8 REFERÊNCIAS

ALEXANDER, R. M.; BENNET-CLARK, H. C. Storage of elastic strain energy in muscle and other tissues. **Nature**, Londres , v. 265, p. 114–117, 1977.

AURA, O.; KOMI, P.V. Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work on elastic behaviour of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercises. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 7, n.3, p.137-43, jun. 1986.

ARAMPATZIS, A.; BRUGGEMANN, G. P.; KLAPSING, G. M. Leg stiffness and mechanical energetic processes during jumping on a sprung surface. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 33, n. 6, p. 923–931, 2001.

ARAMPATZIS, A.; BRUGGEMANN, G. P.; METZLER, V. The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 32, n. 12, p. 1349–1353, 1999.

BADILLO, J.; AYESTARÁN, E. **Fundamentos do treinamento de força**. Porto Alegre: Artmed, 2001.

BARBANTI, V. J. **Treinamento físico: bases científicas**. São Paulo: Baliero, 1996.

BERRIEL, G. P.; FONTOURA, A.; FOPPA, G. Avaliação quantitativa de saltos verticais em atletas de voleibol masculino na Superliga 2002/2003. **Revista Digital EFD Esportes**, Buenos Aires, v. 73, jun. 2004. Disponível em: <https://www.efdeportes.com/efd73/volei.htm>. Acesso em: 20 nov. 2021.

BERRIEL, G. P., COSTA, R. R.; SILVA, E. S.; et al. Stress and recovery perception, creatine kinase levels, and performance parameters of male volleyball athletes in a preseason for a championship. **Sports Medicine**, California, v.6, n.1, p. 26, 2020a.

BERRIEL, G. P.; SCHONS, P; COSTA, R. R; et al. Correlations Between Jump Performance in Block and Attack and the Performance in Official Games, Squat Jumps, and Countermovement Jumps of Professional Volleyball Players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v.1, n.1, 2020b.

BERRIEL, G. P.; TARTARUGA, L. A. P.; LOPES, T. R; et al. Relationship between vertical jumping ability and endurance capacity with internal training loads in professional volleyball players during preseason. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, v. 1, p. 00, 2021.

BOJSEN-MOLLER, J.; MAGNUSSON, S.P.; RASMUSSEN, L.R.; et al. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is

influenced by the stiffness of the tendinous structures. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v.99, n.3, p.986-94, apr. 28 2005.

BOBBERT, M. F. Drop jumping as a training method for jumping ability. **Sports Medicine**, Califórnia, v. 9, n. 1, p. 7–22, 1990.

BOBBERT, Maarten F.; CASIUS, L. J. Richard. Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.37, n.3, p. 440–446, 2005.

BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.14, n.5, p. 377-381, 1982.

BORG, G. A. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. **Scandinavian journal of work, environment and health**, Helsinki, v.16, n.1, p. 55-58, 1990.

BORG, G. **Escalas de Borg para a dor e o esforço percebido**. São Paulo: Manole, 2000.

BOSCO, C.; KOMI, P.; ITO, A. Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. **Acta Physiologica Scandinava**, Oxford, n.11, p.135-140, 1981.

BOSCO, C.; ITO, A.; KOMI, P.; et al. Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. **Acta Physiologica Scandinava**, Oxford, n.114, p. 443-550, 1982.

BOSCO, C.; TARKKA, I.; KOMI, P. V. Effect of elastic energy and myoelectrical potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 3, n. 3, p. 137–140, 1983.

BREDEWEG, S. The elite volleyball athlete. In: Volleyball: **Handbook of Sports Medicine and Science**. Reeser JC and Bahr R, eds. Malden, MA: Blackwell Science Ltd, pp. 183–191.

BUTLER, R.J.; CROWELL 3rd, H.P.; DAVIS, I.M. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. **Clinical Biomechanics**, Londres, v. 18, n. 6, p. 511–517, 2003.

CALDWELL, G. E. Tendon elasticity and relative length: effects on the hill two-component muscle model. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 11, n. 1, p. 1–24, 1995.

CARDOSO, A.S; BERRIEL, G.P; SCHONS, P; et al. Recovery behavior after matches for returning to training in volleyball athletes. **Arch Med Deporte**, Pamplona, v.38, n.5, 2020.

CAVAGNA, G. A.; SAIBENE, F. P.; MARGARIA, R. Mechanical work in running. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v. 19, p. 249–256, 1964.

CAVAGNA, G.; SAIBENE, F.; MARGARIA, R. Effects of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. **Journal of Physiologie**, Paris, n. 239, p. 1-14, 1965.

CAVAGNA, G. A.; DUSMAN, B.; MARGARIA, R. Positive work done by a previously stretched muscle. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v. 24, p. 21–32, 1968.

CAVAGNA, G. A. Elastic bounce of the body. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v. 29, p. 279–282, 1970.

CAVAGNA, G. A. Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, Nova York, v. 5, p. 89–129, 1977.

CAVAGNA, G. A. Force platforms as ergometers. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v. 39, n. 1, p. 174–179, 1985.

CAVAGNA, G. A. et al. The two power limits conditioning step frequency in human running. **The Journal of Physiology**, Bathesda, v. 437, p. 95–108, 1991.

CAVAGNA, G. A.; LEGRAMANDI, M. A.; PEYRÉ-TARTARUGA, L. A. Old men running: mechanical work and elastic bounce. **Proceedings Biological Sciences**, Londres, v. 275, p. 411–418, 2007.

CICCARONE, G.; FONTANI, G.; ALBERT, A.; et al. Analisi delle caratteristiche antropometriche e delle capacità di salto di giovani pallavolisti di alto livello. **Medicine and Sport**, Basel, n.58, p. 1–15, 2005.

CHARLTON, P. C.; et al. A simple method for quantifying jump loads in volleyball athletes. **Journal of Science and Medicine in Sport**, Belconsen, v. 20, n. 3, p. 241–245, 2017.

CHELLY, S. M.; DENIS, C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 33, n. 2, p. 326–333, 2001.

CHMIELEWSKI, T.L.; MYER, G.D.; KAUFFMAN, D.; et al. Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, LaCrosse, v. 36, n. 5, p. 308–319, 2006.

- CHOI, S. J.; WIDRICK, J. J. Combined effects of fatigue and eccentric damage on muscle power. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.107, p. 1156-1164, 2009.
- COOK, C. S.; MCDONAGH, M. J. Measurement of muscle and tendon stiffness in man. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 72, n. 4, p. 380–382, 1996.
- CORDEIRO, C. **Apostila do curso de treinamento técnico de voleibol: curso nacional para técnicos nível II**. Joenvile: Confederação Brasileira de Voleibol, 2001.
- CORMIE, P.; MCGUIGAN, M.; NEWTON, R. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. **Medicine Science in sports exercise**, Madison, v. 42, 2010.
- COUTTS, A. J.; AOKI, M. S. Monitoring training in team sports. **Olympic Laboratory: technical scientific bulletin of the brazilian olympic committee**, v.9, n.2, p. 1–3, 2009.
- DALLEAU, G. et al. A simple method for field measurements of leg stiffness in hopping. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 25, n. 3, p. 170–176, 2004.
- DAL PUPO, J.; DETANICO, D.; SANTOS, J. G. Parâmetros cinéticos determinantes do desempenho nos saltos verticais. **Revista Brasileira de Cineantropometria humana**, Florianópolis, v.14, n.1, p. 41-51, 2012.
- DAVIS, D. Scott et al. The relationship of body segment length and vertical jump displacement in recreational athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 20, n. 1, p. 136–140, 2006.
- DEL ARRUDA, M.; HESPANHOL, J.E. **Fisiologia do voleibol**. [s.l.] : Phorte, 2008.
- DEL VILLARREAL, E. S.; GONZALEZ-BADILLO, J.J.; IZQUIERDO, M. Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 22, n. 3, p. 715–725, 2008.
- ENOKA, R. M. **Neuromechanical basis of kinesiology**. [s.l.]: ERIC, 1994.
- ESPER, A. Tiempos de juego y pausa en el voleibol femenino y masculino. **Lecturas: educación física y deportes**, Buenos Aires, v. 64, n. 9, p. 15, 2003.
- ETTEMA, G. J.; HUIJING, P. A. Properties of the tendinous structures and series elastic component of EDL muscle-tendon complex of the rat. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 22, n. 11–12, p. 1209–1215, 1989.

ETTEMA, G.J., HUIJING, P.A.; HAAN, A. The potentiating effect of prestretch on the contractile performance of rat gastrocnemius medialis muscle during subsequent shortening and isometric contractions. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v.165, n.1, p. 121-136, 1992.

ETTEMA, G. Muscle efficiency: the controversial role of elasticity and mechanical energy conversion in stretch-shortening cycles. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, n.85, p. 457-465, 2001.

FARLEY, C. T. et al. Hopping frequency in humans: a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v. 71, n. 6, p. 2127–2132, 1991.

FUKASHIRO, S.; OHMACHI, H.; KANEHISA, H.; et. al. Utilization of stored elastic energy in leg extensors In: Matsuie, H.; Koboyaski, K. (ed.). **Biomechanics VIII-A**. Human Kinetics. Champaign, 1983. P. 253-263.

GABBETT, T, et al. Changes in skill and physical fitness following training in talent-identified volleyball players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 20, n. 1, p. 29–35, 2006.

GABBETT, T; GEORGIEFF, B. Physiological and anthropometric characteristics of Australian junior national, state, and novice volleyball players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v 21: 902–908, 2007.

GONZALEZ-RAVE, J. M.; ARIJA, A.; CLEMENTE-SUAREZ, V. Seasonal changes in jump performance and body composition in women volleyball players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 25, n. 6, p. 1492–1501, 2011.

GRANATA, K. P.; PADUA, D. A.; WILSON, S. E. Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part II. Quantification of leg stiffness during functional hopping tasks. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, Londres, v. 12, n. 2, p. 127–135, 2002.

HAFF, G.; et al. The relationship between the eccentric utilization ratio, reactive strength, and pre-stretch augmentation and selected dynamic and isometric muscle actions. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 24, p. 1, 2010.

HE, J. P.; KRAM, R.; MCMAHON, T. A. Mechanics of running under simulated low gravity. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v. 71, n. 3, p. 863–870, 1991.

HÉBERT-LOSIER, K.; SUPEJ, M.; HOLMBERG, H.C. Biomechanical factors influencing the performance of elite alpine ski racers. **Sports Medicine**, Califórnia, v. 44, n. 4, p. 519–533, 2014.

HECKSTEDEN, A.; et al. How to construct, conduct and analyze an exercise training study? **Frontiers in Physiology**, Lausanne, v. 9, p. 1007, 2018.

HEGLUND, N. C.; CAVAGNA, G. A. Mechanical work, oxygen consumption, and efficiency in isolated frog and rat muscle. **The American Journal of Physiology**, Bathesda, v. 253, n.1, pt 1, p. C22-9, 1987.

HERZOG, W.; LEONARD, T. R. Force enhancement following stretching of skeletal muscle: a new mechanism. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 205, p. 1275-1283, 2002.

HILL, A. V. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. **Proceedings Biological Sciences**, Londres, v. 126, n. 843, p. 136–195, 1938.

HOPKINS WG, MARSHALL SW, BATTERHAM AM, HANIN J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Med Sci Sports Exerc** 41:3–12, 2009.

HOY, M. G.; ZAJAC, F. E.; GORDON, M. E. A musculoskeletal model of the human lower extremity: the effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment-angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee, and ankle. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 23, n. 2, p. 157–169, 1990.

HUGHES; G.; WATKINS, J. Lower limb coordination and stiffness during landing from volleyball block jumps. **Research in Sports Medicine**, Filadélfia, n.16, p.138–154, 2008.

KALKHOVEN, J.T; WATSFORD, M.L. The relationship between mechanical stiffness and athletic performance markers in sub-elite footballers. **Journal of Sports Science**, Londres, n.36, p.1022–1029, 2018.

KOMI, P. Strengh and power in Sport. In: **Encyclopedia of sports and medicine**. Oxford: IOC Medical Comission Publication, 1992. V. III.

KOMI, P.V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v.33, n.10, p.1197-1206, 2000.

KUBO K.; KAWAKAMI, Y.; FUKUNAGA, T. Influence of elastic proprieties of tendon structures on jump performance in humans. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v.87, n.6, p. 2090 - 2107, 1999.

KUITUNEN, S.; KOMI, P.V; KYROLAINEN, H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 34, n. 1, p. 166–173, 2002.

LAFFAYE, G.; BARDY, B.G.; DUREY, A. Leg stiffness and expertise in men jumping. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 37, n. 4, p. 536–543, 2005.

LATASH, M.L.; ZATSIORSKY, V.M. Joint stiffness: myth or reality? **Human Movement Science**, Amsterdam, v. 12, n. 6, p. 653–692, 1993.

LAURENT, C. M.; et al. A practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 25, n. 3, p. 620–628, 2011.

LIEBER, R. L., LEONARD, M. E.; BROWN-MAUPIN, C. G. Effects of muscle contraction on the load-strain properties of frog aponeurosis and tendon. **Cells tissues organs**, Basel, v.166, n.1, p. 48–54, 2000.

LOMBARDI, G.; VIEIRA, N.D.S.; DETANICO, D. Efeito de dois tipos de treinamento de potência no desempenho do salto vertical em atletas de voleibol. **Brazilian Journal of Biomotricity**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 4, 2011.

MAGANARIS, C. N.; NARICI, M. V.; REEVES, N. D. In vivo human tendon mechanical properties: Effect of resistance training in old age. **Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions**, Kifissia, v.4, n.2, p. 204–208, 2004.

MAGNUSSON, S. P.; AAGAARD, P.; HANSEN, J.; et al. Preconditioning of human tendon-aponeurosis, in vivo. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.35, n.5, S81. 2003.

MCCMAHON, T. A.; CHENG, G. C. The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 23, S.1, p. 65–78, 1990.

MORAN, J; LIEW, B; RAMIREZ-CAMPILLO, R; et al. The effects of plyometric jump training on lower-limb stiffness in healthy individuals: a meta-analytical comparison. **Journal of Sport and Health Science**, Shanghai, p.1-10, 2021.

MROCZEK, D. et al. Effects of plyometrics training on muscle stiffness changes in male volleyball players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 33, p. 910–921, 2019.

NAKAMURA, F. Y.; MOREIRA, A.; AOKI, M. S. Monitoramento da carga de treinamento: a percepção subjetiva do esforço da sessão é um método confiável? **Revista da Educação Física**, Pelotas, v. 21, n.1, p.1-11, 2010.

NEWTON, R.U.; et al. Four weeks of optimal load ballistic resistance training at the end of season attenuates declining jump performance of women volleyball players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 20, n. 4, p. 955–961, 2006.

PENTIDIS, N.; MERSMANN, F.; BOHM, S.; et al. Effects of long-term athletic training on muscle morphology and tendon stiffness in preadolescence: association with jump performance. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, n. 120, p.2715–2727, 2020.

PEYRÉ-TARTARUGA, L. A.; COERTJENS, M. Locomotion as a powerful model to study integrative physiology: efficiency, economy, and power relationship. **Frontiers in Physiology, Lausanne**, v. 9, p. 1789, 2018.

PEYRÉ-TARTARUGA, L.A.; DEWOLF, A.H.; PRAMPERO, E. P.; et al. Mechanical work as a (key) determinant of energy cost in human locomotion: recent findings and future directions. **Experimental Physiology**, Cambridge, v. 1, p. EP089313, 2021.

POUSSON, M.; VAN HOECKE, J.; GOUBEL, F. Changes in elastic characteristics of human muscle induced by eccentric exercise. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 23, n. 4, p. 343–348, 1990.

RASSIER, D. E; et al. Stretch-induced, steady-state force enhancement in single skeletal muscle fibres exceed the isometric force at optimum fiber length. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 36, p. 1309-1316, 2003.

ROBERTSON, R. J.; NOBLE, B. J. Perception of physical exertion: methods, mediators, and applications. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, Nova York, v. 25, p.407-552,1997.

RODRIGUES, L.R.; et al. Comparação entre três diferentes métodos de treinamento para aprimoramento do salto vertical de jogadoras de voleibol. **Revista Digital EFD Esportes**, Buenos Aires, v. 12, n. 118, 2008. Disponível em: <https://www.efdeportes.com/efd118/aprimoramento-do-salto-vertical-de-jogadoras-de-voleibol.htm>. Acesso em: 20 nov. 2021.

SATTLER, T.; et al. Vertical jumping tests in volleyball: reliability, validity, and playing-position specifics. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 26, n. 6, p. 1532–1538, 2012.

SETRUIAN, I.; BERRIEL, G.P; LANZ, D.; et al. Jump performance and mechanics after a regular training bout in elite volleyball players. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, 21 set. 2021.

SEYFARTH, A.; BLICKHAN, R.; VAN LEEUWEN, J. L. Optimum take-off techniques and muscle design for long jump. **The Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 203, pt 4, p. 741–750, 2000.

SEYFARTH, A.; et al. A movement criterion for running. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 35, n. 5, p. 649–655, 2002.

SCHENAU, I.G.J, BOBBERT, M.F., HAAN, A. Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v.13, p.389- 415, 1997.

SCHONS, P.; ROSA, G.R.; FISCHER, G. The relationship between strength asymmetries and jumping performance in professional volleyball players. **Sports Biomechanics**, Londres, v. 00, p. 1-12, 2018.

SUCHOMEL, T. J.; SOLE, C. J.; STONE, M. H. Comparison of methods that assess lower-body stretch-shortening cycle utilization. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, Lincoln, v. 30, n. 2, p. 547–554, 2016.

STANGANELLI, L. C. R. et al. Adaptations on jump capacity in Brazilian volleyball players prior to the under-19 World Championship. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, Lincoln, v. 22, n. 3, p. 741–749, 2008.

STEFANYSHYN, D.J.; NIGG, B.M. Dynamic angular stiffness of the ankle joint during running and sprinting. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 14, n. 3, p. 292–299, 1998.

SZMUCHROWSKI, L. **Manual do usuário: sistema de avaliação física através de saltos – jump test**. Belo Horizonte: [s.n.], 2001.

TEIXEIRA, D.; FRARO, J.D.; SOARES, F.; et al. Características antropométricas em atletas de elite das seleções brasileiras juvenil e adulta de voleibol. **Revista Andaluza de Medicina del Deporte**, Sevilla, n.9, p. 160–165, 2016.

TURNER A. The science and practice of periodization: a brief review. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, Lincoln, v.33, n.1, p. 34–46, 2011.

TSOUKOS, A.; DRIKOS, S.; BROWN, L.E.; et al. Upper and lower body power are strong predictors for selection of male junior national volleyball team players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, Lincoln, n.33, p. 1, 2019.

UGRINOWITSCH, C. et al. Influence of training background on jumping height. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 21, n. 3, p. 848–852, 2007.

VANMEERHAEGHE, A.F.; RODRIGUEZ, D.R. Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas. **Apunts. Medicina de l'Esport**, v. 48, n. 179, p. 109–120, 2013.

VOELZKE, M.; et al. Promoting lower extremity strength in elite volleyball players: effects of two combined training methods. **Journal of Science and Medicine in Sport**, Belconsen, v. 15, n. 5, p. 457–462, 2012.

VOIGT, H; VETTER, K. The value of strength-diagnostic for the structure of jump training in volleyball. **Eur J Sport Sci** 3: 1–10, 2003.

WALSHE, A. D.; WILSON, G. J.; MURPHY, A. J. The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, Berlin, v. 73, n. 3–4, p. 332, 1996.

WALSHE, A.; WILSON, G. The influence of musculotendinous stiffness on Drop Jump Performance. **Canadian Journal Applied Physiology**, Bathesda, v.22, n.2, p. 117-132, 1997.

WALSHE, A. D.; WILSON, G. J.; ETTEMA, G. J. Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v. 84, n. 1, p. 97–106, 1998.

WILSON, G.; MURPHY, A.; PRYOR, J. Musculotendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. **Journal of Applied Physiology**, Bathesda, v.76, n.6, p. 2714- 2719, 1994.

ZATSIORSKY, V. M.; KRAEMER, W. J. **Ciência e prática do treinamento de força**. [s.l.] : Phorte São Paulo, 1999. v. 1.

9 ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE O DOUTORADO

BERRIEL, G. P., COSTA, R. R.; SILVA, E. S.; et al. Stress and recovery perception, creatine kinase levels, and performance parameters of male volleyball athletes in a preseason for a championship. **Sports Medicine**, California, v.6, n.1, p. 26, 2020.

BERRIEL, G. P.; SCHONS, P; COSTA, R. R; et al. Correlations Between Jump Performance in Block and Attack and the Performance in Official Games, Squat Jumps, and Countermovement Jumps of Professional Volleyball Players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v.1, n.1, 2020.

BERRIEL, G. P.; TARTARUGA, L. A. P.; LOPES, T. R; et al. Relationship between vertical jumping ability and endurance capacity with internal training loads in professional volleyball players during preseason. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, v. 1, p. 00, 2021.

CARDOSO, A.S; BERRIEL, G.P; SCHONS, P; et al. Recovery behavior after matches for returning to training in volleyball athletes. **Arch Med Deporte**, Pamplona, v.38, n.5, 2020.

SETRUIAN, I.; BERRIEL, G.P; LANZ, D.; et al. Jump performance and mechanics after a regular training bout in elite volleyball players. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, 21 set. 2021

SCHONS, P.; ROSA, G.R.; FISCHER, G. The relationship between strength asymmetries and jumping performance in professional volleyball players. **Sports Biomechanics**, Londres, v. 00, p. 1-12, 2018.

SCHONS, P.; SILVA, E.S.D.; BERRIEL, G. P.; et al. Desempenho de saltos verticais em atletas de futebol feminino defensivas e ofensivas. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, São Paulo, v.15, p. 29, 2021.

APÊNDICE A

Termo de consentimento livre e esclarecido

Você está sendo convidado a participar do projeto de pesquisa intitulado: “A RELAÇÃO ENTRE A RIGIDEZ DOS MEMBROS INFERIORES E VARIÁVEIS DE DESEMPENHO DE SALTO, RECUPERAÇÃO E FADIGA EM ATLETAS DE VOLEIBOL.” que tem como objetivo analisar a relação existente entre a rigidez dos membros inferiores e variáveis de desempenho de salto, recuperação e fadiga durante as sessões de treinamento em um período de 4 semanas em atletas de voleibol.

Este estudo irá avaliar atletas masculinos de voleibol que não tenham nenhum tipo de restrição médica para este tipo de treinamento físico.

Serão necessários vinte e cinco encontros com os voluntários para sessões de coleta de dados. As sessões de coleta de dados terão um tempo aproximado de 30 minutos e as sessões de treinamento terão duração aproximada de 90 minutos.

Nos vinte e cinco encontros de coleta de dados serão realizadas as seguintes atividades:

- Dia 1: Apresentação dos objetivos e procedimentos metodológicos do projeto, assinatura do termo de consentimento livre esclarecido, medições antropométricas, estatura, massa corporal e percentual de gordura, teste de carga máxima 3RM, testes para melhor aplicação de PPA.
- Dia 2: Teste de avaliação do nível de rigidez em um tapete de contato.
- Dia 3: Teste de salto vertical SJ e CMJ em um tapete de contato.
- Dia 4 até o dia 25: coleta dos dados referentes a desempenho de salto durante treinamento coleta de percepção de recuperação e esforço.

Caso seja do seu interesse participar desse estudo, é fundamental o seu entendimento sobre esse termo de consentimento livre e esclarecido e sua assinatura nesse documento, concordando com os termos abaixo:

Autorizo o Prof Dr Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga e o pesquisador Guilherme Pereira Berriel e demais envolvidos no estudo a realizarem os seguintes procedimentos:

- a) Fazer-me medidas antropométricas (massa corporal, estatura e percentual de gordura).
- b) Fazer-me testes de nível de rigidez, salto vertical.
- c) Coletar dados referentes a desempenho de salto vertical nível de recuperação e fadiga durante as sessões de treinamento.
- d) Filmagens e fotografias durante a execução dos testes e treinamento.

1. Estão envolvidos riscos e desconfortos, tais como dor e cansaço muscular temporário. Poderão ocorrer alterações das variáveis analisadas durante a execução dos exercícios, porém, os riscos são mínimos, sendo os testes muito seguros. Serão realizadas vinte e duas sessões de treinamento e mais 3 de coletas de dados, e poderei abandonar a pesquisa em qualquer fase, caso sinta ne-cessidade ou desconforto para a realização dos testes e treinamentos.

2. Os procedimentos expostos acima têm sido explicados para mim pelo prof Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga e o pesquisador Guilherme Pereira Berriel e demais participantes do projeto. Eu entendo que eles irão responder às dúvidas relativas a esses procedimentos que porventura possam surgir. Essas questões serão esclarecidas sempre que eu solicitar. Entendo que todos os dados relativos à minha pessoa serão confidenciais e disponíveis somente sob minha solicitação escrita. Além disso, eu entendo que, no momento da publicação, os dados não serão atribuídos à minha pessoa. Eu entendo que não haverá compensação financeira pela minha participação no estudo.

Eu entendo que posso realizar contato com o Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga e Guilherme Pereira Berriel para quaisquer problemas referentes à minha participação no estudo, ou se perceber que haja violação dos meus direitos, através do telefone (0xx51) 981517215, (0xx51)37850611.

Porto Alegre, ____ de _____ de 2019 .

Assinatura: _____

APÊNDICE B

TAXA	Descrição
0	Nenhum esforço (Repouso)
1	Muito Fraco
2	Fraco
3	Moderado
4	Um Pouco Forte
5	Forte
6	
7	Muito Forte
8	
9	
10	Esforço Máximo

APÊNDICE C

TAXA	Descrição
0	Nenhuma recuperação
1	Muito pouca recuperação
2	Pouca recuperação
3	Recuperação Moderada
4	B oa Recuperação
5	Muito boa recuperação
6	
7	Muito, muito boa recuperação
8	
9	
10	Totalmente recuperado