

---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO E  
TECNOLOGIAS**

---

**EFEITOS DO TREINAMENTO DE CAMINHADA EM DECLIVE SOBRE ÍNDICES  
DE APTIDÃO AERÓBIA**

**LEONARDO COELHO RABELLO DE LIMA**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Linha de pesquisa – Tecnologias e Desempenho Humano).

**RIO CLARO  
MARÇO - 2013**

---



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



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO E  
TECNOLOGIAS

---

EFEITOS DO TREINAMENTO DE CAMINHADA EM DECLIVE SOBRE ÍNDICES  
DE APTIDÃO AERÓBIA

LEONARDO COELHO RABELLO DE LIMA

Orientador: PROF. DR. BENEDITO SÉRGIO DENADAI

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Linha de Pesquisa – Tecnologias e Desempenho Humano).

RIO CLARO  
MARÇO - 2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – RIO CLARO



LEONARDO COELHO RABELLO DE LIMA

**EFEITOS DO TREINAMENTO DE CAMINHADA EM DECLIVE SOBRE ÍNDICES  
DE APTIDÃO AERÓBIA**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Linha de pesquisa – Tecnologias e Desempenho Humano).

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai  
Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Tiago Rezende Figueira  
Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. Adalgiso Coscrato Cardozo  
Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho

Rio Claro, 04 de Março de 2013.

796.077 Lima, Leonardo Coelho Rabello de  
L732e Efeitos do treinamento de caminhada em declive sobre  
índices de aptidão aeróbia / Leonardo Coelho Rabello de  
Lima. - Rio Claro : [s.n.], 2013  
93 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Biociências de Rio Claro  
Orientador: Benedito Sérgio Denadai

1. Esportes - Treinamento técnico. 2. Economia de  
corrida. 3. Dano muscular. 4. Descida. I. Título.

## DEDICATÓRIA

**À minha tia-avó, Ana Lucia Maia Bonato** (*In Memoriam*),

Que nos deixou durante o processo de elaboração dessa dissertação.

Sou muito grato por tudo e tenho certeza que estaria muito orgulhosa de mim.

## AGRADECIMENTOS

**Aos meus pais, Roberto e Marta**, pela educação, carinho, suporte e por sempre oferecerem um refúgio para a confusão do dia-a-dia.

**Ao meu irmão Henrique**, pela infância compartilhada e pelo companheirismo que prevalece, mesmo depois de adultos.

**À minha avó Anna, tios Sonia, Emilio e Eliane e primo Rafael**, pelo apoio e estrutura familiar e pelos momentos de descontração nos finais de semana.

**Aos meus amigos**, pelos ouvidos, diversão e descontração.

**Aos meus colaboradores Felipe e Thiago**, pela amizade e por enfrentarem esse desafio comigo, superando os obstáculos sempre em conjunto.

**Aos voluntários da pesquisa**, pela confiança e a amizade que acabamos desenvolvendo.

**À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**, pelo financiamento.

**Aos meus colegas de laboratório**, pelos bons momentos e pela ajuda na elaboração dessa dissertação.

**Ao meu orientador, Benedito Sérgio Denadai**, pelos ensinamentos, paciência e compromisso desde a orientação de meu TCC até a elaboração dessa dissertação.

**À minha namorada Sissy**, que esteve ao meu lado durante todo o período de construção deste trabalho. Obrigado pelo incentivo, apoio, carinho, paciência e compreensão. Te amo muito.

## RESUMO

O objetivo do presente estudo foi investigar os efeitos de um protocolo de 28 sessões de treinamento de caminhada em declive (CaED), distribuídas em 4 semanas, sobre índices de aptidão aeróbia. A hipótese testada foi que um protocolo de CaED geraria adaptações importantes em índices de aptidão aeróbia. Participaram do estudo 17 sujeitos aparentemente saudáveis e sem experiência recente (6 meses) com treinamento resistido e/ou aeróbio, que foram divididos entre grupo experimental (DOWN) e controle (CON). O grupo CON realizou sessões de caminhada em esteira sem inclinação na mesma intensidade relativa do grupo DOWN, que caminhou em plano declinado. O volume de treino foi igual para ambos os grupos. Foram coletados e comparados, antes e após as 28 sessões de treino, dados de consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ), a intensidade em que este foi atingido ( $IVO_{2max}$ ), limiar de lactato (LL), economia de corrida (EC), frequência (FP) e amplitude (AP) de passada, pico de torque isométrico (PTI), taxa de desenvolvimento de força relativa (TDFr), raiz quadrada da média do sinal eletromiográfico durante o PTI (RMSpti) dos músculos gastrocnêmio lateral, gastrocnêmio medial, sóleo e tibial anterior, e área de secção transversa músculo-osso (ASTmo) da perna dos voluntários. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de *Shapiro-Wilk*. Para os dados com distribuição normal, foram realizadas análises de variância (ANOVA) de dois caminhos. Quando constatados efeitos significantes, o post hoc de *Bonferroni* foi aplicado. Para os não paramétricos foram aplicados os testes de *Mann-Whitney* e *Wilcoxon*. O nível de significância adotado foi de  $p \leq 0,05$ . Não foram encontradas alterações significantes em nenhum dos índices de aptidão aeróbia coletados após o treinamento. Das variáveis neuromusculares, a única que apresentou alteração em função do treinamento de

CaED foi a ASTmo. Concluimos que os efeitos do treinamento de CaED são os mesmos da caminhada em plano.

**Palavras-chave:** Economia de corrida, dano muscular, declive.

## ABSTRACT

The objective of the present study was to investigate the influence of 28 sessions of downhill walking training (DWT), distributed among 4 weeks, on aerobic fitness. Our hypothesis was that the aforementioned protocol would lead to important adaptations on a number of aerobic fitness markers. Seventeen young male subjects without resistance and/or aerobic training experience on the last 6 months took part on the study. They were divided into either experimental (DOWN) or control (CON) groups. The CON group trained without treadmill inclination, while the DOWN group trained with a -16% grade. The training volumes were equal between groups. Data for maximal oxygen consumption ( $VO_{2max}$ ), its respective velocity ( $IVO_{2max}$ ), lactate threshold (LT), running economy (RE), stride frequency (SF) and length (SL) were collected as aerobic fitness markers. We also collected neuromuscular indexes such as isometric peak torque (IPT), root mean square of the electromyographic signal during the IPT (RMSipt) for the *gastrocnemius lateralis*, *gastrocnemius medialis*, *soleus* and *tibialis anterior* muscles as well as muscle-bone cross sectional area (MBcsa) from the subjects lower legs. Data normality was assessed via the Shapiro-Wilk's test. Parametric data was analyzed by a set two-way analysis of variance (ANOVA). Non-parametric data was analyzed through Mann-Whitney and Wilcoxon's tests. Significance levels were set as  $p \leq 0,05$ . No significant alterations in aerobic fitness indexes were found after the training protocol. The only neuromuscular marker to change after training was the lower leg MBcsa. We concluded that the effects of DWT are the same as those of level walking training.

**Key-words:** Running economy, muscle damage, downhill

**LISTA DE ABREVIATURAS**

**1RM:** Uma repetição máxima

**ANOVA:** Análise de variância

**Amp:** Amplitude de passada

**ASTmo:** Área de secção transversa músculo-osso

**CaED:** Caminhada em declive

**CK:** Creatina Quinase

**CON:** Grupo controle

**CrED:** Corrida em declive

**CVM:** Contração voluntária máxima

**DM:** Dano muscular

**DMIT:** Dor muscular de início tardio

**DOWN:** Grupo que realizará o treinamento em *downhill*

**DP:** Desvio padrão

**EC:** Economia de corrida

**ECR:** Efeito da carga repetida

**EM:** Economia de movimento

**EMG:** Eletromiografia

**FQ:** Frequência de passada

**GL:** Músculo Gastrocnêmio Lateral

**GM:** Músculo Gastrocnêmio Medial

**INT:** Teste de intensidade

**IVO2max:** Intensidade correspondente ao VO2max

**LaF:** Concentração de lactato ao final do exercício

**LAn:** Limiar anaeróbio

**LL:** Limiar de lactato

**PSD:** Percepção subjetiva de dor

**PTI:** Pico de torque isométrico

**R:** Razão de trocas respiratórias

**RMS:** Raiz quadrada da média (*root mean square*) do sinal eletromiográfico

**RMSpt:** RMS do PTI

**RMStdF:** RMS da TDFr

**S1-7:** Sessões semanais de exercício

**SOL:** Músculo Sóleo

**STIFF:** *Stiffness* passivo

**TAa:** Tecido adiposo anterior

**TAp:** Tecido adiposo posterior

**TDF:** Taxa de desenvolvimento de força

**TDFr:** Taxa de desenvolvimento de força relativa

**TF:** Treinamento de força

**TIB:** Músculo Tibial Anterior

**TUG:** Teste de *timed up-and-go*

**US:** Ultrassonografia

**VCO<sub>2</sub>:** Volume de dióxido de carbono

**VO<sub>2</sub>:** Volume de oxigênio

**VO<sub>2</sub>max:** Consumo máximo de oxigênio

**LISTA DE TABELAS**

- Tabela 1.** Características antropométricas dos voluntários do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN). ..... **52**
- Tabela 2.** Valores médios  $\pm$  DP do pico de torque isométrico (PTI) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN). ..... **64**
- Tabela 3.** Valores médios  $\pm$  DP de tempo para o pico de torque (tPTI) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN). ..... **64**
- Tabela 4.** Valores médios  $\pm$  DP de taxa de desenvolvimento de força (TDF) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN). ..... **66**
- Tabela 5.** Valores médios  $\pm$  DP de taxa de desenvolvimento de força relativa (TDFr) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN). ..... **67**
- Tabela 6.** Valores médios  $\pm$  DP de tempo na taxa de desenvolvimento de força (tTDF) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN). ..... **67**

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Delineamento experimental.....	<b>40</b>
<b>Figura 2.</b> Estrutura individual de cada bloco de treinamento .....	<b>40</b>
<b>Figura 3.</b> Curva de torque.....	<b>44</b>
<b>Figura 4.</b> Curva de taxa de desenvolvimento de força.....	<b>45</b>
<b>Figura 5.</b> Curva de STIFF de um dos voluntários .....	<b>48</b>
<b>Figura 6.</b> Consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) dos dois grupos medido na última sessão de cada bloco de treinamento .....	<b>53</b>
<b>Figura 7.</b> Razão de trocas respiratórias (R) dos dois grupos medido na última sessão de cada bloco de treinamento.....	<b>54</b>
<b>Figura 8.</b> Percepção subjetiva de esforço (PSE) dos dois grupos medida na última sessão de cada bloco de treinamento .....	<b>55</b>
<b>Figura 9.</b> Concentração sanguínea do lactato (LaF) dos dois grupos medido na última sessão de cada bloco de treinamento.....	<b>56</b>
<b>Figura 10.</b> Atividade sérica de creatina quinase (CK) nas condições basal (CK0) e ao final dos quatro blocos de treinamento (CK 1-4). .....	<b>57</b>
<b>Figura 11.</b> Percepção subjetiva de dor (PSD) ao longo de todos os dias de treinamento.....	<b>58</b>
<b>Figura 12.</b> Consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) nas duas condições coletadas para os dois grupos. ....	<b>59</b>

- Figura 13.** Intensidade em que o consumo máximo de oxigênio foi atingido ( $IVO_2max$ ) nas duas condições coletadas para os dois grupos..... **60**
- Figura 14.** Consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) referente aos testes de economia de corrida nas duas condições coletadas para os dois grupos. .... **61**
- Figura 15.** Razão de trocas respiratórias (R) referente aos testes de economia de corrida nas duas condições coletadas para os dois grupos. .... **62**
- Figura 16.** Frequência (FQ) de passada durante os testes de economia de corrida nas duas condições coletadas para os dois grupos. .... **63**
- Figura 17.** Amplitude (Amp) de passada durante os testes de economia de corrida nas duas condições coletadas para os dois grupos. .... **63**
- Figura 18.** Raiz quadrada da média (RMS) do sinal eletromiográfico de quatro músculos durante as CVM de flexão plantar nas duas condições coletadas para os dois grupos ..... **65**
- Figura 19.** Raiz quadrada da média (RMS) do sinal eletromiográfico de quatro músculos durante as CVM de dorsiflexão nas duas condições coletadas para os dois grupos. .... **66**
- Figura 20.** *Stiffiness* nas duas condições coletadas para ambos os grupos..... **68**
- Figura 21.** Área de secção transversa músculo-osso (ASTmo) da perna dos voluntários dos dois grupos nas duas condições coletadas. .... **69**

**LISTA DE EQUAÇÕES**

<b>Equação 1.</b> Modelo polinomial de quarta ordem.....	<b>47</b>
<b>Equação 2.</b> Obtenção do valor da primeira derivada.....	<b>48</b>
<b>Equação 3.</b> ASTmo.....	<b>49</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
2.1. Economia de corrida .....	20
2.2. Treinamento de corrida e a economia de corrida.....	21
2.3. Flexibilidade e economia de corrida.....	21
2.4. Força e economia de corrida.....	23
2.5. Dano muscular .....	25
2.6. Corrida e caminhada em declive.....	28
<b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>34</b>
<b>4. OBJETIVO .....</b>	<b>35</b>
4.1. Objetivo geral .....	35
4.2. Objetivos específicos .....	35
<b>5. HIPÓTESE .....</b>	<b>36</b>
<b>6. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
6.1. Sujeitos .....	37
6.2. Adaptações ao protocolo experimental .....	37
6.3. Delineamento experimental.....	38
6.4. Determinação do $VO_2$ max e da resposta lactacidêmica .....	41
6.5. Teste para determinação de economia de corrida (EC) e análise cinemática do movimento .....	42
6.6. Teste de CVM para determinação do PTI, TDF e TDFr.....	42
6.7. Raíz quadrada da média (RMS) do sinal eletromiográfico associado ao PTI (RMSpt).....	45
6.8. Avaliação do STIFF dos flexores plantares .....	46
6.9. Ultrassonografia muscular e circunferência.....	49

6.10. Quantificação da concentração sérica de creatina quinase (CK) e da percepção subjetiva de dor (PSD) .....	49
6.11. Análise estatística .....	51
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
7.1. Grupos .....	52
7.2. Intensidade das sessões de treinamento.....	52
7.3. Dano Muscular.....	56
7.4. Consumo máximo de oxigênio e limiar de lactato .....	59
7.5. Economia de corrida e análise cinemática do movimento .....	60
7.6. Pico de torque isométrico .....	63
7.7. Taxa de desenvolvimento de força e TDFr.....	66
7.8. Stiffness passivo .....	67
7.9. Área de secção transversa músculo-osso.....	68
<b>8. DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
8.1. Sessões de treinamento .....	70
8.2. Efeitos do treinamento sobre a aptidão aeróbia .....	73
8.3. Efeitos do treinamento sobre o sistema neuromuscular .....	77
<b>9. CONCLUSÃO .....</b>	<b>81</b>
<b>10. LIMITAÇÕES .....</b>	<b>83</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>85</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns dos marcadores de desempenho aeróbio mais utilizados na predição da performance em esportes de endurance são o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ), a resposta lactacidêmica ao exercício e a economia de movimento (EM) (DENADAI e BALIKIAN, 1995; BASSET e HOWLEY, 2000). Isoladamente, há evidências de que o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) pode não ser o melhor preditor de performance aeróbia, uma vez que grupos de atletas de endurance que apresentam valores similares de  $VO_{2max}$  podem atingir diferentes níveis de performance (COYLE et al., 1988; COSTILL et al., 1973).

Um dos fatores que podem ser utilizados para a real predição da performance neste caso seria a economia de corrida (EC) (CONLEY e KRAHENBUHL, 1980; MORGAN et al., 1989), que pode ser definida como a quantidade de energia necessária para o sustento da atividade de correr (MORGAN e CRAIB, 1992; DANIELS, 1985). Ou seja, definida uma intensidade sub-máxima comum, o volume de oxigênio consumido para o sustento da mesma determinará a EC.

Por se tratar de um assunto relativamente recente, não se conhece todos os mecanismos relacionados à EC, porém sabe-se que fatores como a idade, sexo, massa corporal, frequência cardíaca, ventilação pulmonar, tipo de fibras musculares recrutadas, estado de treinamento e  $VO_{2max}$  influenciam positiva ou negativamente a EC (DENADAI, 1996). A EC tem sido muito estudada nos últimos anos, por ser um dos principais preditores da performance em provas de longas distâncias (CONLEY e KRAHENBUHL, 1980). Alguns estudos recentes têm investigado a influência de diferentes tipos de estímulos e/ou treinamentos na EC (como treinamento de flexibilidade ou exposição crônica à altitude) (SAUNDERS, et al., 2003; NELSON et al., 2001; MOJOCK et al., 2011), sendo grande parte deles voltada para o

treinamento de força (TURNER et al., 2003; STØREN et al., 2008; MILLET et al., 2002; STANTON et al., 2004) e aeróbio (ORTIZ et al., 2003).

Como já é demonstrado que a força, em suas diversas manifestações, possui grande influência na EC, diversos modelos de estudos vêm investigando mudanças na EC decorrentes de intervenções relacionadas à força. Alguns estudos das últimas décadas investigaram a influência do dano muscular (DM) causado por contrações excêntricas máximas (Paschalis et al., 2005) ou exercícios pliométricos (Marcora & Bosio, 2007) na EC, encontrando diminuição desta em detrimento da perda de força e outros fenômenos que ocorrem em decorrência do DM. Outros estudos recentes investigaram, na EC, os efeitos do DM causado por atividades mais específicas à própria corrida como provas de endurance, onde há um alto volume de contrações excêntricas (Kyröläinen et al., 2000), ou protocolos de corrida em declive (CrED) na esteira (CHEN et al., 2007; CHEN et al.; 2008; CHEN et al., 2009). Em todos esses modelos, os resultados encontrados apontam para uma diminuição na EC após o DM, com recuperação progressiva e retorno a valores basais por volta do quinto dia após as atividades que inicialmente geraram o DM. Também já é conhecido um fenômeno conhecido como efeito da carga repetida (ECR) após sessões de exercício excêntrico, que protege a musculatura afetada pelo DM contra futuras reincidências, diminuindo o tempo de recuperação do tecido e as perdas relacionadas ao DM (McHUGH, 2003; LIMA & DENADAI, 2011).

Evoluindo da ideia de se utilizar contrações excêntricas por meio de CrED para se causar DM, alguns modelos de estudo investigaram a influência do treinamento de CrED em modelo animal, evidenciando-se que este modelo de treinamento contribui para mudanças significantes em variáveis neuromusculares (LYN & MORGAN, 1994) e metabólicas (HAHN, et al., 2007). Já em modelo

humano, ainda não há publicações de estudos utilizando a CrED como forma de treinamento, talvez pela resposta aguda ao DM causado pela CrED impedir uma sequência adequada de estímulos (CHEN et al., 2009). Porém, há pelo menos duas publicações recentes utilizando modelos de caminhada em declive (CaED) como estímulos para sessões de treinamento, encontrando aumento de força (YANG et al., 2010) e de capacidades funcionais diretamente relacionadas à força (GAULT et al., 2012). Todavia, as populações analisadas nos estudos sobre CaED eram compostas por indivíduos acometidos pela doença de Parkinson e/ou por idosos, não havendo dados publicados sobre este tipo de treinamento em indivíduos jovens.

Deste modo, o objetivo principal do presente estudo foi investigar se o treinamento de CaED também gera adaptações em sujeitos jovens e ativos, principalmente sob a perspectiva de variáveis metabólicas e neuromusculares. Como implicações práticas, pode-se esperar que este tipo de treinamento seja útil para o aumento de variáveis metabólicas e funcionais importantes para a manutenção ou melhora da qualidade de vida dos voluntários, assim como o desempenho atléticos desses.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Economia de corrida

Dentre os fatores que podem afetar o desempenho de um atleta de esportes de endurance, ou mesmo a capacidade de sustento de atividades físicas de longa duração de uma pessoa ativa, pode-se relacionar diversas variáveis metabólicas como o  $VO_2\text{max}$ , a resposta lactacidêmica ao exercício, a termorregulação e a EM, entre outros. Já é consolidado, que mesmo indivíduos com  $VO_2\text{max}$  semelhantes, o desempenho apresentado em atividade de longa duração pode variar (COYLE et al., 1988; COSTILL et al., 1973). Essa diferença de desempenhos frente à igualdade de um marcador considerado como padrão ouro, pode ser justificada em função dos indivíduos possuírem diferentes índices de EM, que pode ser caracterizada como a quantidade ou volume de oxigênio ( $VO_2$ ) necessária para a realização de uma dada atividade submáxima (MORGAN e CRAIB, 1992; DANIELS, 1985). Ou seja, definida uma intensidade comum, o volume de oxigênio consumido para o sustento da mesma determinará a EM.

Na corrida, pela dificuldade de determinação do trabalho externo, se utiliza o termo EC (DENADAI, 1996). Diversos fatores, relacionados ou não ao exercício, podem influenciar na EC, como idade, sexo, massa corporal, frequência cardíaca, ventilação pulmonar, tipo de fibras musculares recrutadas, estado de treinamento e  $VO_2\text{max}$  (DENADAI, 1996). Partindo desses fatores, uma série de estudos investigou a influência de diferentes intervenções agudas ou protocolos de treinamento para algumas capacidades físicas na EC. Abaixo seguem revisados alguns estudos relativos a essas intervenções, separados por capacidade física ou protocolo de treinamento.

## **2.2. Treinamento de corrida e a economia de corrida**

Alguns estudos investigam a influência do treinamento específico de corrida na EC. Em um desses estudos, ORTIZ et al. (2003) dividiram 17 corredores treinados em dois grupos experimentais (G95% e G100%) para realizar 4 semanas de treinamentos de corrida, diferenciando-se apenas em duas sessões de treinamento intervalado nas quais o grupo G95% realizou os tiros em uma intensidade relativa de 95% da intensidade correspondente ao  $VO_2\text{max}$  ( $IVO_2\text{max}$ ) e o grupo G100% os realizou a 100%  $IVO_2\text{max}$ . Após as 4 semanas de treinamento, o grupo G95% apresentou melhora significativa apenas no limiar anaeróbio (LAn), enquanto o G100% apresentou melhora significativa na  $IVO_2\text{max}$ , LAn e EC. Os resultados obtidos indicam que é possível uma melhora no desempenho de corrida com períodos curtos de treinamento, mesmo em corredores experientes, além de evidenciar que a intensidade dos tiros no treinamento intervalado é determinante para a melhora da EC.

MOORE et al. (2012) também realizaram um estudo de treinamento exclusivo de corrida, porém com 10 atletas iniciantes do sexo feminino. Testes de cinemática tridimensional,  $VO_2\text{max}$ , flexibilidade e EC foram realizados antes e após um programa de 10 semanas de treinamento de corrida. Foram encontradas mudanças significantes em 7 variáveis cinemáticas, assim como uma redução na flexibilidade dos flexores plantares e melhora na EC sem apresentar mudanças no  $VO_2\text{max}$ . Os dados apresentados indicam que melhoras na EC não acontecem necessariamente por alterações metabólicas, mas também por mudanças cinemáticas.

## **2.3. Flexibilidade e economia de corrida**

Há uma parcela considerável de estudos publicados relacionando a EC com a flexibilidade, seja por meio de intervenções agudas, crônicas, ou mesmo

correlacionando índices de flexibilidade com a EC. Em um estudo realizado por MOJOCK et al. (2011), foi investigado se uma sessão aguda de exercícios de flexibilidade para os membros inferiores realizada antes de um teste de EC, diminuiria a eficiência de 12 corredores de longa distância quando comparado com um teste de EC sem alongamento prévio. Os resultados indicaram que houve melhora da performance das voluntárias no teste de sentar e alcançar, porém não houve mudança significativa nos dados de EC ou de tempo de exercício até a exaustão voluntária. Em outro modelo de estudo, BEAUDOIN & WHATLEY (2005) realizaram correlação entre os valores encontrados em testes EC e de sentar e alcançar em 17 atletas universitárias de endurance e não encontraram relação estatisticamente significativa entre as variáveis.

Em contraste com os dados citados anteriormente, JONES (2002) encontrou uma relação negativa ( $r = 0,68$ ) entre os valores obtidos no teste de sentar e alcançar e a EC de 34 atletas bem treinados de endurance do sexo masculino, argumentando que quanto menor a rigidez do complexo músculo-tendão, pior seria a eficiência de corrida do atleta. Também seguindo esse modelo de estudo, CRAIB et al. (1996) encontraram correlações significantes entre a flexibilidade do dorsiflexores ( $r = 0,65$ ) e dos rotadores do quadril ( $r = 0,53$ ) em posição em pé com a EC em 19 atletas de sub-elite, também sugerindo que quanto menos flexíveis nessas articulações, mais econômicos seriam os voluntários. Na mesma linha de estudo, porém com uma abordagem diferente, HUNTER et al. (2011) coletaram variáveis como comprimento e espessura dos tendões quadríceps-patela e de Aquiles, por meio de ressonância magnética, comprimento de membros, composição corporal, flexibilidade de diversas articulações dos membros inferiores por meio de goniometria e EC, para realizar testes de correlação. Foram encontradas correlações significantes entre o

comprimento de ambos os tendões medidos ( $r = 0,43$  para o tendão quadríceps-patela e  $r = 0,64$  para o tendão de Aquiles) e flexibilidade dos flexores plantares ( $r = 0,38$ ) e a EC. Os resultados encontrados sugerem que quanto mais longos e menos flexíveis sejam os tendões dos membros inferiores, maior será a EC.

Em um estudo utilizando um modelo de treinamento, realizado por NELSON et al. (2001), estudantes universitários de ambos os sexos envolvidos em um programa de treinamento de corrida foram separados em dois diferentes grupos: controle (CON) e alongamento (AL). Ambos os grupos continuaram com seus programas de treinamento de corrida, porém o grupo AL passou por 3 sessões semanais de alongamento de 15 diferentes grupos musculares utilizados durante a corrida enquanto o grupo CON foi desaconselhado a realizar qualquer tipo de alongamento. O período experimental foi de 10 semanas consecutivas. Ao final do experimento o grupo AL apresentou melhora significativa de desempenho no teste sentar e alcançar, enquanto o grupo CON manteve seu desempenho. Também foi avaliada a EC na intensidade de 70%  $VO_2max$  e nenhum dos grupos apresentou melhora significativa neste parâmetro após o período de treinamento. Esses achados indicam que o treinamento de flexibilidade não afeta a EC de maneira positiva nem negativa, contrariando os dados de correlação já citados.

#### **2.4. Força e economia de corrida**

Por outro lado, diversos estudos têm verificado a melhora da EC após diferentes protocolos de treinamento de força (TF). Em um deles (TURNER et al., 2003), 18 voluntários com experiência no treinamento de corrida foram randomicamente divididos em grupos experimental e controle, continuando ambos os grupos a realizar seus treinamentos de corrida. O grupo experimental realizou também, 6 semanas de treinamento de pliometria. Foi encontrada melhora na EC

em 3 diferentes intensidades apenas no grupo experimental. Nenhuma melhora de desempenho em testes de salto ou no  $VO_2\text{max}$  foi identificada em ambos os grupos. Na discussão os autores ressaltam que o estudo foi realizado com indivíduos moderadamente treinados e que talvez essa melhora não seja expressiva em atletas altamente treinados.

Outro estudo envolvendo treinamento com exercícios pliométricos foi realizado por SAUNDERS et al. (2006), no qual quinze atletas altamente treinados foram divididos entre grupo experimental e controle ativo. Ambos os grupos continuaram com suas rotinas de treinamento de corrida, porém o grupo experimental passava por 3 sessões semanais de 30 minutos de duração nas quais eram realizados exercícios pliométricos ao longo de 9 semanas. Foram coletados valores de  $VO_2\text{max}$ , potência muscular e EC em três diferentes intensidades antes e após o protocolo de treinamento. A única variável a apresentar mudanças significantes foi a EC do grupo experimental, sendo que as variáveis de potência (como a potência em teste de 5 saltos e o tempo para atingir a força máxima dinâmica) apresentaram uma tendência de melhora, indicando um possível mecanismo de melhora de EC relacionado à potência muscular.

Em outro estudo, STØREN et al. (2008) dividiram 17 sujeitos altamente treinados em grupos experimental e controle, sendo que ambos os grupos continuavam com suas rotinas de treinamento de corrida e eram adicionadas 8 semanas de treinamento de força máxima (3 sessões por semana) à rotina de treinamento do grupo experimental. Não foram identificadas diferenças significantes nos parâmetros medidos para o grupo controle. Já o grupo experimental apresentou melhora nos parâmetros de 1 repetição máxima (1RM), taxa de desenvolvimento de força (TDF), EC e tempo de exaustão na máxima velocidade aeróbia (i.e  $IVO_2\text{max}$ ),

mas não no  $VO_2\text{max}$ . Esses resultados sugerem que o treinamento de força máxima realizado 3 vezes por semana é capaz de melhorar a EC em atletas altamente treinados.

Em um modelo similar, MILLET et al. (2002) dividiram 15 triatletas entre dois grupos, um realizando apenas treinamentos de endurance e outro realizando os mesmos treinamentos de endurance com a adição de duas sessões semanais de treinamento de força máxima por 12 semanas. Todos os voluntários realizaram testes de  $VO_2\text{max}$ , EC, força máxima para membros inferiores e saltos verticais. Após o período de treinamento, os valores de força máxima, saltos verticais e EC foram maiores para o grupo que realizou sessões de treinamento de força máxima em relação ao grupo que não as realizou. Esses resultados indicam que um aumento na força máxima e na força explosiva (saltos verticais) pode ter contribuído para uma melhor eficiência no teste de EC.

## **2.5. Dano muscular**

Sabendo que o treinamento de força pode interferir diretamente na EC, passa-se a pensar sobre as intervenções e algumas das adaptações que ocorrem no sistema neuromuscular. Essas adaptações são muito estudadas e podem se dar por resposta hormonal ao exercício (WEST & PHILIPS, 2012), aumento da rigidez do complexo músculo-tendão (SEYNNES et al., 2009; ONAMBELE-PEARSON & PEARSON, 2012), aumento do número de sarcômeros em série nas miofibrilas (LYN & MORGAN, 1994), entre outros fatores. Um dos fenômenos que desencadeia parte dessas adaptações no sistema neuromuscular é conhecido como DM, que geralmente ocorre quando da realização de contrações excêntricas, ocorrendo também, embora em menor magnitude, após contrações concêntricas e isométricas intensas (BRENTANO & KRUEL, 2011).

O DM costuma ser causado quando da realização de contrações excêntricas máximas ou submáximas (estas, em grande volume), causando o rompimento da linha Z, perda de mitocôndrias e rupturas nas miofibrilas e miofilamentos (CLARKSON e HUBAL, 2002). MALM et al. (1999) identificaram que a contração excêntrica do músculo esquelético é a que causa maior DM pois, para a mesma carga de trabalho, as ações excêntricas, quando comparadas às demais, recrutam menor número de unidades motoras. Por conta disto, um estresse mecânico elevado é induzido sobre as unidades recrutadas, havendo maior tensão por área de secção transversa ativa possibilitando, assim, os processos acima citados, que geram microlesões estruturais na fibra muscular.

Diversos fatores podem influenciar na magnitude do DM causado pela contração. É conhecido que contrações excêntricas máximas de maior velocidade angular causam maior DM do que as de baixa velocidade (CHAPMAN et al., 2006). Também há a influência do tempo de recuperação entre séries de contrações excêntricas sendo que quanto maior o tempo de intervalo, menor o DM (MAYHEW et al., 2005) e, por esse motivo, é sabido que provas de corrida de longa duração também induzem DM muscular significativo (KYRÖLÄINEN et al., 2000).

Para a identificação da magnitude do DM, há uma série de índices diretos e indiretos que podem ser mensurados como biópsia muscular e ressonância magnética (diretos), concentração sérica da enzima creatina quinase (CK), diminuição do pico de torque gerado pela musculatura afetada e a dor muscular de início tardio (DMIT) (indiretos) (CLARKSON e HUBAL, 2002; MALM et al., 1999; CHAPMAN et al., 2006; MAYHEW et al., 2005;). Já é conhecido um fenômeno chamado de ECR que ocorre após exercícios que causam DM, que se caracteriza quando da recuperação do sistema neuromuscular (McHUGH, 2003). Esse efeito

confere uma proteção ao músculo contra novas microlesões causadas por contrações excêntricas, diminuindo as alterações nos marcadores e acelerando o processo de recuperação, podendo ainda estar presente de 6 a 9 meses após o DM (NOSAKA et al., 2001).

Diversos estudos foram publicados tratando do ECR e levantando diversas teorias sobre os mecanismos de adaptação por trás desse fenômeno. Em uma revisão publicada em 2003, MCHUGH (2003) fez um levantamento dessas teorias e as dividiu em 3 grandes grupos: neural, mecânica e celular. As teorias que levam em conta o aspecto neural identificam, com o uso de eletromiografia, maior recrutamento de fibras do tipo I e maior sincronização de recrutamento das unidades motoras. As teorias mecânicas afirmam que o *stiffness* causado pelo DM inicial protegeria o músculo de eventuais novas lesões. Também é proposto um aumento do tecido conjuntivo muscular. Por fim, as teorias celulares sugerem que o fator responsável pela proteção contra o DM seja o aumento do número de sarcômeros em série na fibra muscular, dividindo o estresse em um número maior de sarcômeros e, assim, impedindo o rompimento dos mesmos.

Em um modelo experimental visando verificar se as perdas de força e outros marcadores ocasionadas pelo DM afetariam negativamente a EC, PASCHALIS et al. (2005) submeteram 10 voluntários a 12 séries de 10 contrações excêntricas máximas a  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  para os extensores do joelho em um dinamômetro isocinético. A seguir, coletaram dados de consumo de oxigênio em testes de carga constante em duas intensidades para determinar a EC e marcadores de dano muscular antes, 24, 48 e 72 horas após as sessões de exercício excêntrico. Todos os marcadores de DM sofreram alterações significantes em quase todos os momentos de coleta. A EC, porém, não sofreu nenhuma alteração positiva nem negativa em nenhum momento.

Esses resultados sugerem que a especificidade do exercício que gera o DM pode ser um fator importante nas alterações da EC, uma vez que este modelo foi aplicado em um dinamômetro e utilizando exercícios de cadeia cinética aberta.

KYRÖLÄINEN et al. (2000) realizaram um estudo investigando os efeitos agudos de uma maratona em variáveis de DM (CK e percepção subjetiva de dor – PSD) e na EC medida na velocidade média de prova de 7 triatletas experientes. As medidas foram realizadas antes e imediatamente após a prova. Os resultados obtidos demonstraram perda significativa de eficiência após a prova sem demonstrar mudanças cinemáticas no padrão de corrida, além de aumento da PSD e CK. Os autores discutem que a diminuição da eficiência pode ter se dado por fatores relacionados à termorregulação, mudança do tipo de substrato utilizado para sustentar a atividade e dano muscular.

## **2.6. Corrida e caminhada em declive**

Utilizando uma abordagem mais específica à atividade de corrida, alguns autores têm analisado a influência aguda e crônica da CrED e da CaED na EC (CHEN et al., 2008; CHEN et al., 2007; CHEN et al., 2009). Os protocolos de CrED e CaED visam, cada qual com sua magnitude, gerar DM, pois o declínio do plano de corrida/caminhada aumenta a sobrecarga nos músculos extensores do joelho assim como os extensores do quadril tanto na fase concêntrica quanto na excêntrica. Para melhor entender os efeitos do DM na EC, cabe um aprofundamento no assunto.

Sabendo que o DM ocorre principalmente em consequência de contrações excêntricas, pode-se dizer que a CrED e a CaED, por apresentarem alto volume de contrações excêntricas de intensidade elevada, com pouco tempo de intervalo entre si são causadoras de DM. Na verdade há uma série de estudos que utilizam protocolos de CrED para induzir DM. Dentro desse conjunto, alguns estudos

investigam a influência de sessões agudas de CrED em variáveis neuromusculares relacionadas ao DM e na EC em humanos. BRAUN & PAULSON (2012) investigaram em 15 corredores a influência de 10 minutos de CrED com inclinação de -10% na EC medida imediatamente após, 24, 48 e 72 horas após o protocolo. Os resultados encontrados não demonstraram diferenças entre os valores de EC pós CrED e o valor basal. O valor encontrado imediatamente após a CrED, no entanto, foi significativamente maior do que os encontrados nos 3 dias seguintes. Os autores concluem que uma sessão de CrED não possui influência na EC. Em contraste com esses dados, CHEN et al. (2007) encontraram alterações significantes tanto na EC quanto em marcadores de DM até 3 dias após 30 minutos de CrED com 15% de declive. Na discussão, os autores afirmam que essa mudança na EC pode estar relacionada à mudança simultânea dos marcadores de DM, que também influenciam na cinemática da corrida. Utilizando o mesmo protocolo de CrED, CHEN et al. (2009) investigaram a influência da CrED na EC em diferentes intensidades, concluindo que a EC é mais afetada pelo DM quando medida em intensidades mais elevadas (80 e 90%  $VO_2max$ ). Também utilizando o mesmo protocolo de CrED, CHEN et al. (2008) investigaram se a realização diária de corridas em diferentes intensidades (40, 50, 60 e 70% do  $VO_2max$ ) atenuaria as perdas em marcadores de DM e na EC ou aceleraria o processo de recuperação. Os resultados obtidos mostraram que nenhuma das intensidades de corrida afetou essas alterações, portanto, atividades submáximas diárias não aceleram ou otimizam o processo de recuperação do DM e suas implicações na EC.

Pouco se estudou sobre os efeitos do treinamento de CrED em humanos, talvez pela magnitude do DM conferido por essa ser elevada (ESTON et al., 1995), impedindo uma sequência de estímulos próprios para adaptações aeróbias. Por

mais que existam estudos já citados utilizando modelos de treinamento com CrED, não há estudos que utilizem seres humanos para este tipo de treinamento. Mesmo em modelo animal, alguns estudos sugerem que o treinamento de CrED pode sobrecarregar demasiadamente a capacidade funcional de ratos (PEREIRA et al., 2012). Outro estudo, também em modelo animal, submeteu ratos a sessões de treinamento de CrED utilizando apenas as patas traseiras, em uma posição ereta similar à de corrida dos seres humanos. Os ratos que integraram esse grupo apresentaram sintomas de tendinite crônica no tendão de Aquiles, sugerindo que a sobrecarga da CrED é muito grande para os membros inferiores quando o peso não é distribuído em quatro membros (GY, et al., 2011). Em mais um estudo realizado em modelo animal, foi demonstrado que o treinamento de CrED foi responsável por aumento considerável do número de sarcômeros em série no músculo vasto intermédio, quando comparada com corrida com inclinação (LYNN e MORGAN, 1994). HAHN et al. (2007), por sua vez, realizaram um estudo em que dividiram 12 ratos em grupo experimental e controle. O grupo controle permaneceu sedentário enquanto o experimental realizou 6 semanas de treinamento de CrED, com frequência de 5 sessões semanais. Após o treino, o grupo experimental apresentou aumento significativo no  $VO_2$ max, assim como na resistência à fadiga (i.e., menor diminuição da força) do músculo trapézio, enquanto os ratos do grupo controle mantiveram esses valores inalterados. Os autores concluíram que o treinamento de CrED pode ser útil para investigar as adaptações microcirculatórias e de força em ratos.

Uma alternativa eficaz para o treinamento de CrED seria o treinamento de CaED, uma vez que o estresse imposto à musculatura por meio de contrações excêntricas pode ser suficiente para o desenvolvimento muscular e, ao mesmo

tempo, permitir a realização de sessões mais próximas umas das outras, valorizando o componente aeróbio do treinamento. Apenas dois estudos de nosso conhecimento investigaram o treinamento sistematizado de CaED. YANG et al. (2010) dividiram 33 pacientes que sofriam da doença de Parkinson em grupos controle e experimental. Ambos os grupos seguiram realizando suas atividades de vida diárias tendo o grupo experimental realizado 3 sessões semanais de CaED por 4 semanas e o grupo controle, terapia convencional. A velocidade da esteira foi estabelecida de acordo com o conforto de cada sujeito e a declinação da esteira começava em 3% e aumentava em 1% a cada sessão até o limite de conforto de cada voluntário ( $8,5 \pm 1,9\%$ ). Foram avaliadas a cifose torácica, estratégia de passada e pico de torque isométrico dos voluntários antes, 7 dias e 1 mês após o período de intervenção. Os resultados obtidos foram melhora significativa na estratégia de caminhada, aumento do pico de torque dos extensores do joelho e manutenção da curvatura torácica para os membros do grupo experimental, enquanto os voluntários do grupo controle apresentaram manutenção ou até pioras nestes parâmetros. Com base nestes resultados, pode-se concluir que a magnitude do DM gerado pela CaED é adequada para promover ganhos de força e ao, mesmo tempo, não gerar processo inflamatório muito intenso, mesmo em pacientes fragilizados por um acometimento.

GAULT et al. (2012) também realizaram modelo similar de estudo no qual 24 idosos foram separados entre grupo controle ativo ( $n = 11$ ) e experimental ( $n = 13$ ). Ambos os grupos realizaram 12 semanas de treinamento com caminhadas de 30 minutos realizadas 3 vezes por semana em velocidade selecionada pelos próprios sujeitos. O grupo controle caminhava sem inclinação enquanto o experimental caminhava em 10% de declive. A velocidade selecionada pelos voluntários foi ajustada a cada 4 semanas e foram medidos, antes e após os protocolos de

treinamento, testes funcionais de 5 repetições de sentar e levantar, velocidade máxima de caminhada e o teste de *timed up-and-go* (TUG), além da força dinâmica. Os resultados encontrados foram melhoras em todos os testes funcionais para ambos os grupos, sem diferenças significantes entre grupos. Nenhum dos grupos apresentou melhora na força dinâmica.

É possível notar que nos dois estudos envolvendo treinamento de CaED, as intensidades foram mantidas de acordo com o conforto e seleção dos voluntários, num esforço para evitar a sobrecarga excessiva, principalmente por se tratar de populações especiais. Por outro lado, há estudos investigando a possibilidade de intervenções um pouco mais intensas envolvendo o DM, mas monitorando seus marcadores, como em um estudo realizado por KAMANDULIS et al. (2011). Participaram deste estudo 8 homens fisicamente ativos sem envolvimento com treinamento resistido nos últimos meses. Todos os voluntários participaram de 3 semanas de treinamento com exercícios pliométricos realizados 5 vezes por semana com aumento progressivo da carga (i.e., número e altura do salto e adição de peso). Marcadores indiretos de DM foram monitorados antes e após cada sessão de exercício sendo que a CK apresentou aumento 24 após a primeira sessão de exercício se mantendo alterada até o final do protocolo. Os valores de força também foram acompanhados durante o protocolo de treinamento, sendo medidos antes e após cada uma das sessões. Os valores de força (voluntária e induzida por estímulo elétrico), não apresentaram diferenças significantes em relação aos valores basais antes de nenhuma sessão de exercício. Porém, houve queda significante da capacidade de produção de força após as sessões de 2 a 10. Com esse tipo de estudo se demonstra a possibilidade de se utilizar exercícios que induzem DM de maior magnitude que a CaED desde que monitorados alguns marcadores,

possibilitando o controle da intensidade do treinamento e evitando o *overtraining* e outros possíveis acometimentos relativos ao DM.

### 3. JUSTIFICATIVA

Como já citado anteriormente, é escasso o número de estudos longitudinais investigando os efeitos do treinamento de CaED (YANG et al., 2010; GAULT et al., 2012). Ainda não há estudos de nosso conhecimento que investigaram os efeitos deste tipo de treinamento sobre variáveis metabólicas em humanos. Porém, há evidências de que a CaED melhora a estratégia de marcha e a força dos membros inferiores (YANG et al., 2010), que conhecidamente afeta de maneira positiva parâmetros determinantes para o desempenho aeróbio como a EC (TURNER et al., 2003; STØREN et al., 2008; MILLET et al., 2002; STANTON et al., 2004). Além disso, protocolos similares de CrED apresentaram incrementos significantes no  $VO_2$ max de animais (HAHN et al., 2007), demonstrando que este tipo de intervenção também pode ser interessante do ponto de vista metabólico/cardiovascular.

Para a prescrição do treinamento que visa a melhora da aptidão física voltada à saúde, muitos estudos têm sugerido a necessidade da manutenção e/ou melhora da aptidão aeróbia e neuromuscular (i.e., força) de modo simultâneo (DAVIS et al., 2008). Estes modelos de treinamento exigem um volume/freqüência de treinamento muito elevados, pois normalmente as adaptações dos treinos aeróbios e de força são específicas. Com este estudo, esperamos encontrar um método de treinamento que consiga desenvolver, ao mesmo tempo, adaptações no sistema cardiorrespiratório e neuromuscular de indivíduos ativos, através de sessões curtas e de baixa intensidade, promovendo a melhora de variáveis importantes para a qualidade de vida.

## **4. OBJETIVO**

### **4.1. Objetivo geral**

O objetivo do presente estudo foi analisar a influência de um protocolo de treinamento periodizado de quatro semanas de caminhada em declive sobre índices de aptidão aeróbia e neuromuscular em indivíduos ativos.

### **4.2. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos do trabalho foram, primeiramente, identificar alterações em marcadores de aptidão cardiorrespiratória como a EC,  $VO_{2max}$  e o limiar de lactato (LL), induzidas pelo treinamento de CaED, assim como em variáveis neuromusculares dos flexores plantares e dorsiflexores como o pico de torque isométrico (PTI), taxa de desenvolvimento de força (TDF), taxa de desenvolvimento de força relativa (TDFr), sinal eletromiográfico (EMG) dos músculos, stiffness passivo (STIFF) e a área de secção transversa músculo-osso (ASTmo). Também foi considerado como objetivo específico descrever a intensidade relativa do ponto de vista metabólico e neuromuscular de sessões de treinamento de CaED realizadas em diferentes velocidades.

## 5. HIPÓTESE

Com este estudo, testamos a hipótese que o treinamento de CaED seria suficiente para promover adaptações no sistema neuromuscular de indivíduos ativos semelhantes às encontradas em populações especiais por YANG et al. (2010) e GAULT et al. (2012). Também levantamos a hipótese de que essas adaptações seriam suficientes para promover melhorias em índices de aptidão aeróbia como o  $VO_2\text{max}$ , LL e, em especial, a EC, comprovadamente relacionada à força dos membros inferiores (STØREN et al., 2008).

## **6. MATERIAL E MÉTODOS**

### **6.1. Sujeitos**

Participaram do estudo 17 voluntários do sexo masculino, ativos e aparentemente saudáveis de idade, massa, estatura e IMC iguais a  $23 \pm 4,6$  anos,  $76,8 \pm 14,6$  kg,  $1,75 \pm 0,08$  m e  $25 \pm 3,9$  kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Todos foram previamente informados sobre seus direitos como voluntários de pesquisa e também sobre o cronograma de atividades a ser cumprido, assim como os possíveis riscos e benefícios inerentes aos procedimentos aplicados, mediante leitura e assinatura de um termo de consentimento escrito e explicado. Quando da aceitação do termo de consentimento, os voluntários receberam recomendações para não se engajarem em nenhum programa de atividade física regular ao longo do período do experimento. O estudo foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética do Instituto de Biociências – UNESP – Rio Claro (protocolo nº 3310).

### **6.2. Adaptações ao protocolo experimental**

Antes do início do período experimental, todos os voluntários compareceram ao laboratório em duas diferentes ocasiões para realizar sessões de adaptação aos equipamentos e protocolos, com a finalidade de diminuir os efeitos de aprendizagem durante os testes que foram realizados ao longo do estudo. Em ambas as sessões, os voluntários realizaram duas contrações voluntárias máximas (CVM) no dinamômetro isocinético que foi utilizado durante o experimento sob as mesmas condições a serem aplicadas. Em uma das visitas, os voluntários também tiveram a oportunidade de se familiarizar com a esteira rolante em uma caminhada de 5 minutos em uma velocidade confortável com declive de 16%.

### 6.3. Delineamento experimental

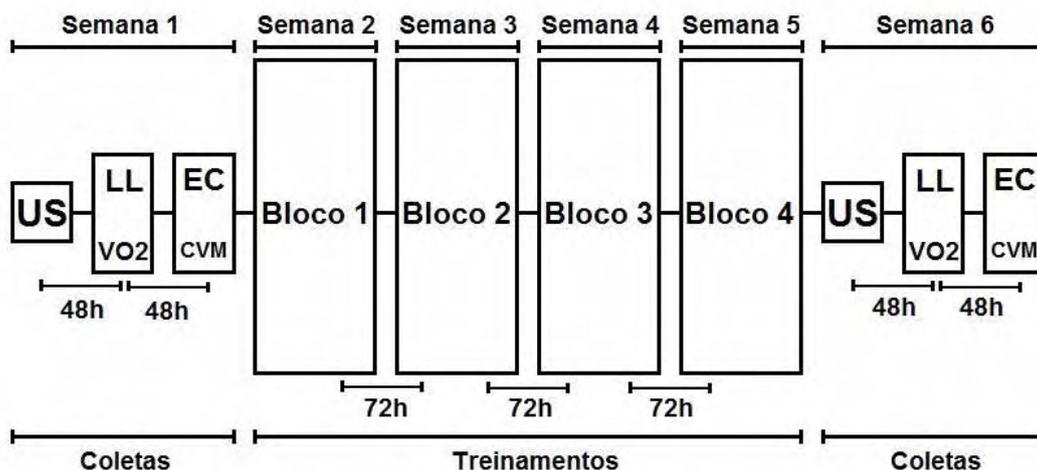
O experimento foi desenvolvido ao longo de 6 semanas sendo a primeira e a última destinadas à aplicação dos testes e as outras 4 à implementação do protocolo de treinamento. A primeira e a sexta semanas do experimento foram utilizadas para a coleta dos dados pré e pós-treinamento, respectivamente. Durante essas semanas a ordem da coleta dos dados foi padronizada conforme descrito abaixo.

No primeiro dia os voluntários tiveram as espessuras das camadas adiposas anterior e posterior da perna medidas por meio de ultrassonografia e foi realizada coleta de sangue para a determinação dos valores basais da atividade sérica de CK. No segundo dia, os voluntários realizaram os testes incrementais para a determinação do  $VO_2\text{max}$  e do limiar de lactato. Dois dias depois, os voluntários voltaram ao laboratório para a realização de um teste de EC, medição da circunferência da perna dominante e realização das coletas de dados relativos à função neuromuscular.

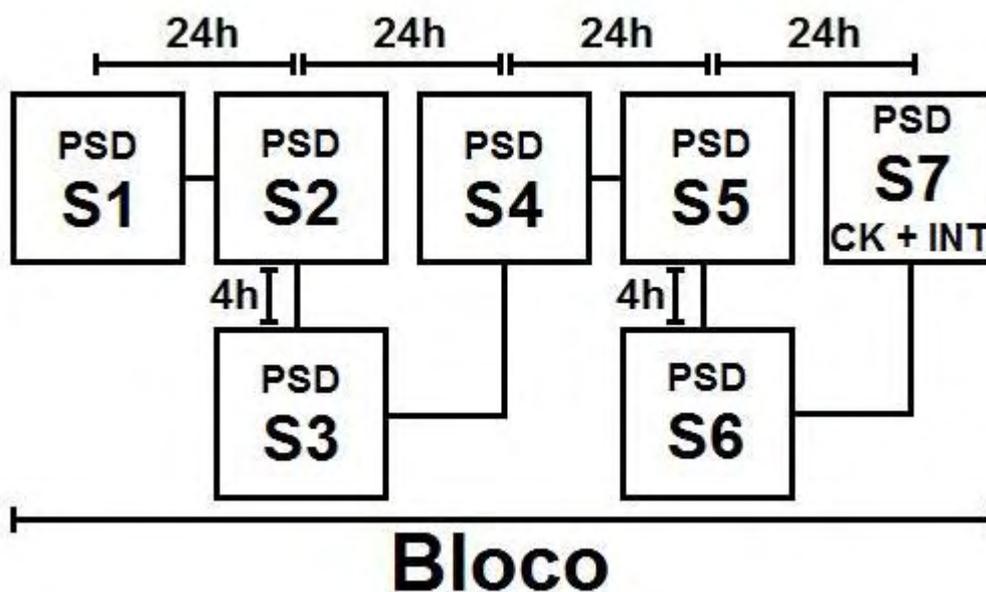
A partir da segunda semana, os sujeitos eram divididos em 2 grupos: Downhill (DOWN) e controle (CON). Ambos os grupos realizaram, ao todo, 28 sessões de caminhada durante as 4 semanas seguintes, resultando em 7 sessões semanais de treinamento ao longo dos cinco dias úteis da semana, sendo que em dois desses dias eram realizadas duas sessões de treinamento. Cada semana foi considerada como um bloco e a intensidade das sessões de treinamento foi aumentada no início de cada bloco em 0,5 km/h, sendo a intensidade inicial de ambos os grupos fixada por volta de 30%  $VO_2\text{max}$ . Durante a última sessão de cada bloco, eram coletados dados referentes ao  $VO_2$ , razão de trocas gasosas ( $R = VCO_2/VO_2$ ), percepção subjetiva de esforço e concentração sanguínea de lactato imediatamente após o exercício. A atividade sérica de CK de todos os voluntários também foi coletada e

analisada após a sétima sessão semanal. Dados de percepção subjetiva de dor foram coletados ao longo dos 5 dias de treinamento de cada um dos blocos. A velocidade inicial de caminhada do grupo DOWN foi fixada em 5 km/h com declive de 16%, enquanto a do grupo CON foi de 4,5 km/h, com 0% de inclinação. Essas intensidades correspondem a cerca de 30 a 40% do  $VO_2\text{max}$ , como investigado em estudo piloto, sendo que ambas estão situadas no domínio moderado de exercício. No início de cada bloco de treinamento, houve reajuste na velocidade de caminhada, aumentando em 0,5 km/h para ambos os grupos. Todas as sessões de treinamento tiveram duração de 20 minutos e o declive da esteira foi mantido em 16% ao longo do estudo para o grupo DOWN. O grupo CON caminhou sempre sem inclinação.

Ao final dos quatro blocos de treinamento, os voluntários eram orientados a não realizar nenhuma atividade física intensa durante 3 dias para que, na semana seguinte, fosse retomada a rotina de testes executados na primeira semana do experimento com o fim de analisar a influência dos blocos de treinamento nas variáveis já medidas. Todos os testes foram realizados sob temperatura controlada e no mesmo horário do dia para evitar possíveis interferências externas nos resultados. O delineamento experimental e a estrutura geral dos blocos de treinamento seguem representados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.



**Figura 1.** Delineamento experimental. US = ultrassonografia; LL = Teste para a determinação do limiar de lactato; VO<sub>2</sub> = Teste para determinação do consumo máximo de oxigênio; EC = Teste para determinação da economia de corrida; CVM = Contrações voluntárias máximas para determinar as variáveis neuromusculares.



**Figura 2.** Estrutura individual de cada bloco de treinamento. S1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7 = Sessões de treinamento; PSD = Teste de percepção subjetiva de dor; CK = Análise da concentração sérica de creatina quinase; INT = Teste para a determinação da intensidade do treinamento (VO<sub>2</sub> e lactato).

#### **6.4. Determinação do $VO_2$ max e da resposta lactacidêmica**

A resposta lactacidêmica ao exercício foi determinada a partir de um teste incremental em uma esteira rolante (Pulsar – H/P/Cosmos – Nussdorf Traunstein, Alemanha) com velocidade inicial de 6 Km/h e incrementos de 1 Km/h a cada 3 minutos. Entre cada estágio havia um intervalo de 30s para que fossem coletados 25 $\mu$ l de sangue do lóbulo da orelha dos voluntários, para a dosagem da concentração de lactato sanguíneo. Os incrementos foram realizados até que se ultrapassasse o LL de cada voluntário. O LL foi definido como a intensidade de exercício onde ocorre o primeiro e sustentado aumento da concentração de lactato acima das concentrações de repouso (DENADAI, 1999). A concentração de lactato sanguíneo foi determinada por um método eletroquímico em um lactímetro profissional (YSL 2300 STAT). Quando determinado o LL, o teste era encerrado e os voluntários descansavam sentados por 20 minutos. Passado o período de recuperação, os participantes voltavam à esteira para a realização de um protocolo incremental de rampa com incrementos de 1km/h a cada minuto de maneira constante, para a determinação do  $VO_2$ max. O teste incremental era encerrado quando os sujeitos atingissem a exaustão voluntária. Durante este teste, os gases expirados eram registrados respiração a respiração por um analisador de gases (Quark PFT Ergo, Cosmed, Itália) como executado anteriormente no laboratório (Guglielmo et al., 2009). Para a determinação do  $VO_2$ max, foram calculadas as médias dos valores obtidos a cada 15 segundos. O  $VO_2$ max foi definido com o maior valor de  $VO_2$  obtido durante o teste. A  $IVO_2$ max foi considerada como a menor velocidade (em km/h) em que o voluntário atingiu o  $VO_2$ max.

### **6.5. Teste para determinação de economia de corrida (EC) e análise cinemática do movimento**

Antes do teste para a determinação da EC, marcadores foto-reflexivos eram fixados nos maléolos mediais e laterais das pernas dos voluntários. Em seguida, eles corriam por 10 minutos a uma velocidade fixa de 8 km/h. Ao longo dessa corrida, o consumo de oxigênio era medido a cada respiração e a média do oitavo minuto de teste foi considerada para a determinação da EC. O oitavo minuto de todos os testes de EC foi filmado por uma câmera de vídeo (Compact Full HD Memory Camcorder - Samsung) com frequência de amostragem de 60 Hz posicionada a 3 metros do plano sagital da esteira. A partir dessa filmagem, foi determinada a frequência de passada dos voluntários por meio da contagem de passadas ao longo de um minuto utilizando-se um *software* de processamento de vídeos (Virtual Dub). Conhecida a frequência de passada dos voluntários e a velocidade fixa de 8 km/h, calculou-se a amplitude de passada dividindo a distância percorrida ao longo de um minuto a essa velocidade (133,3 metros) pelo número de passadas dos voluntários, resultando na amplitude de passada, como aplicado por CHEN et al. (2007b). Uma vez obtidas a frequência (FQ) e amplitude (Amp) de passada, esses valores foram normalizados pelo tamanho dos membros inferiores dos voluntários a fim de descartar a influência deste nas medidas.

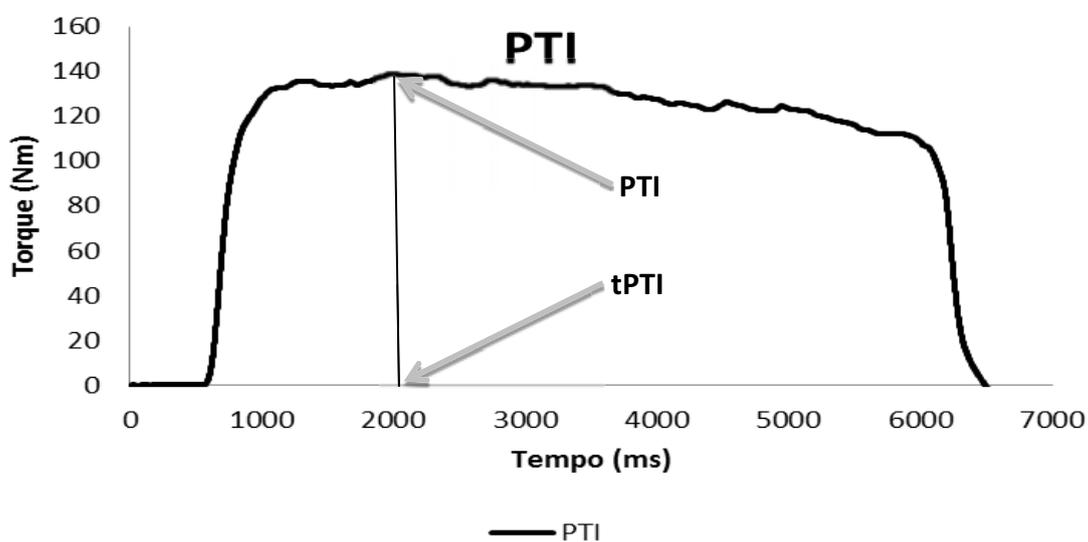
### **6.6. Teste de CVM para determinação do PTI, TDF e TDFr**

Todos os testes de força foram realizados em um dinamômetro isocinético (Biodex System 3, Biodex Medical Systems, Shirley, N.Y.). Para a realização das CVMs dos flexores plantares e dorsiflexores, os voluntários foram posicionados na cadeira do dinamômetro em decúbito dorsal, presos à cadeira por dois cintos cruzados para o tronco a partir do ombro, um cinto na região do quadril e um no

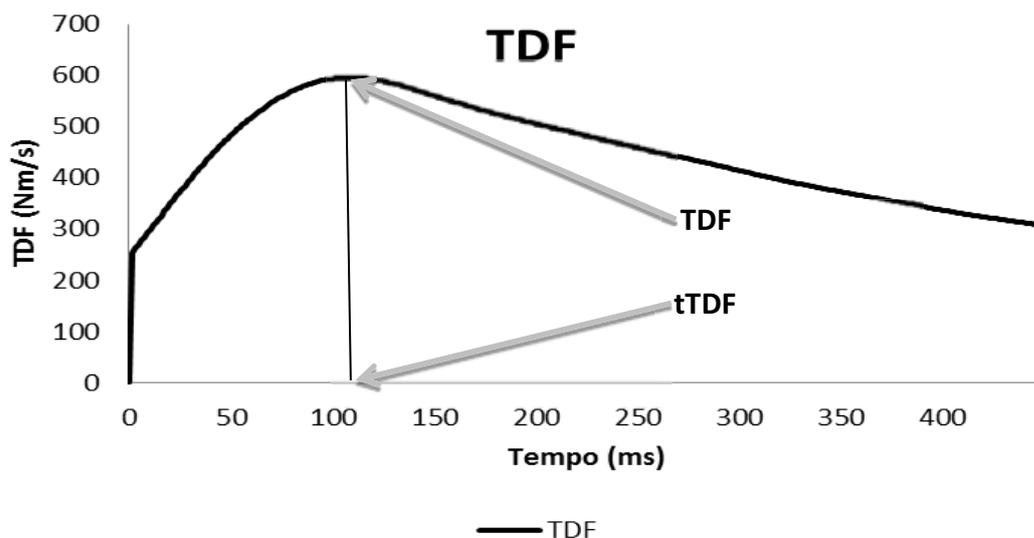
terço distal da coxa. O ângulo entre o tronco e a coxa era de  $0^{\circ}$ , o ângulo entre a coxa e a perna era de  $0^{\circ}$  (extensão total) e a angulação adotada para o tornozelo durante as CVM foi de  $90^{\circ}$  (relação entre tibia e o apoio do pé). O pé dos voluntários era fixado a uma plataforma própria para mensuração da força da articulação do tornozelo, estando o eixo de rotação desta plataforma alinhado com o maléolo lateral. Os testes consistiam de 2 contrações isométricas máximas de flexão plantar e 2 contrações isométricas máximas de dorsiflexão com a perna dominante de duração de 5 segundos e 3 minutos de intervalo entre cada contração.

A instrução dada aos voluntários em todos os testes era para que estivessem completamente relaxados e, ao ouvirem o sinal sonoro do dinamômetro, comesçassem a contração o mais rápido e forte possível, mantendo o esforço até o fim dos 5 segundos. A contração com maior pico de torque, tanto antes quanto após o treinamento, foi utilizada para as análises das variáveis de função neuromuscular. Para uma análise mais precisa da TDF, um módulo de aquisição de sinais biológicos (EMG System<sup>®</sup>) era sincronizado ao dinamômetro com frequência de captura de sinal de 1000 Hz. Os dados de torque obtidos de todas as contrações foram filtrados (filtro Butterworth, passa baixa de quarta ordem, com frequência de corte de 15 Hz) e analisados no *software* MatLab 6.5. O início das contrações foi considerado como o ponto em que o valor de torque ultrapassa 2,5% da diferença entre o PTI e a linha de base da contração (ANDERSEN & AAGAARD, 2006; ANDERSEN et al., 2010). O cálculo da TDF foi obtido pela razão entre a variação de torque (Nm) e a variação do tempo (s) ( $\Delta\text{força}/\Delta\text{tempo} - \text{Nm}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Este cálculo foi realizado para todos os pontos de cada contração, em todos os ms, sendo considerada a TDF o maior valor da inclinação da curva momento-tempo (AAGAARD et al., 2002). Para o cálculo da TDFr, os procedimentos adotados foram os mesmos porém, neste caso, os valores

de torque foram normalizados pelo PTI (%PTI) e o valor da TDFr foi expresso em %PTI.s<sup>-1</sup>. Também foram registrados e analisados os momentos em que os voluntários atingiram o PTI (tPTI) e a TDF (tTDF). As Figuras 3 e 4 exemplificam curvas de torque e TDF, respectivamente, e os pontos nos quais foram identificados o PTI, tPTI, TDF e tTDF.



**Figura 3.** Curva de torque. PTI = pico de torque isométrico; tPTI = tempo em que o pico de torque isométrico foi atingido.



**Figura 4.** Curva de taxa de desenvolvimento de força. TDF = taxa de desenvolvimento de força; tTDF = tempo em que a taxa de desenvolvimento de força foi atingida.

### 6.7. Raiz quadrada da média (RMS) do sinal eletromiográfico associado ao PTI (RMSpt)

Todos os testes feitos no dinamômetro isocinético foram acompanhados por avaliações eletromiográficas. Para a captação dos sinais eletromiográficos foram utilizados eletrodos de superfície descartáveis passivos de contato bipolar de Ag/AgCl conectados a um pré-amplificador de ganho de 100 vezes. Antes da realização das CVM, eletrodos eram posicionados sobre os músculos: sóleo (SOL), gastrocnêmio medial (GM), gastrocnêmio lateral (GL) e tibial anterior (TIB). O posicionamento dos eletrodos foi realizado de acordo com o padrão internacional SENIAM (HERMENS et al., 2000), com distância de 2cm entre os eletrodos. Para evitar possíveis interferências na captação do sinal eletromiográfico, eram realizadas, previamente à colocação dos eletrodos, tricotomia, abrasão com lixa fina e limpeza da pele com álcool no nível dos músculos estudados bem como na região do punho direito. O eletrodo de referência era colocado no processo estilóide da

ulna. Anteriormente ao início das coletas, os valores de atividade eletromiográfica deveriam estar inferiores a 5  $\mu$ V. Foi utilizado um módulo de aquisição de sinais biológicos (EMG System<sup>®</sup>) de quatro canais nos quais os eletrodos eram conectados. O ganho promovido no eletromiógrafo era de 20 vezes (que, juntamente com o pré-amplificador, proporcionava um ganho total de 2000 vezes) e foram aplicados filtros de passa alta (Butterworth, passa alta de 2<sup>a</sup> ordem, frequência de corte de 20Hz) e de passa baixa (Butterworth, passa baixa de 4<sup>a</sup> ordem, frequência de corte de 500Hz) nos sinais obtidos. A conversão dos sinais analógicos para digitais foi realizada por uma placa A/D com faixa de entrada de -5 a +5 V. Para a aquisição dos sinais foi utilizado um software específico com a frequência de amostragem calibrada em 1000 Hz. Os dados obtidos foram todos analisados no *software* MatLab 6.5. Os valores de RMS referentes ao PTI foram obtidos através do cálculo da RMS de um período de um segundo (0,5 s antes e 0,5 s depois) dos valores de PTI. Os valores de RMS de todos os músculos foram, então, normalizados pelos valores máximos de RMS obtidos nas contrações realizadas na condição pré-treinamento em que os músculos em questão eram agonistas. Desta forma, os valores de RMS<sub>pti</sub> estão descritos em função dos valores máximos de RMS (%RMS<sub>máx</sub>) dos músculos estudados.

### **6.8. Avaliação do STIFF dos flexores plantares**

A determinação do STIFF foi realizada por meio de dois procedimentos sequenciais, primeiramente determinando-se a amplitude máxima de alongamento do tornozelo em dorsiflexão e subsequentemente determinando-se o STIFF propriamente dito. O posicionamento no dinamômetro para ambos os procedimentos era o mesmo do teste de CVM para os dorsiflexores e flexores plantares. O ângulo de referência adotado, foi 90° entre a tíbia e o apoio do pé, porém, a posição inicial

do tornozelo foi de 93°, sendo esses 3 graus a mais conferidos para a aceleração do dinamômetro de 0 a 5°/s. Para a determinação da amplitude máxima de alongamento, o voluntário segurava o botão de *comfort stop* (que, quando acionado, interrompe imediatamente o movimento realizado pelo dinamômetro) e um obstáculo era posicionado em sua frente para impedir a visualização do seu tornozelo.

O dinamômetro realizava, passivamente, a dorsiflexão do tornozelo à velocidade angular de 5°/s até o ponto em que o voluntário sentia que atingira a amplitude máxima de sua articulação e apertava o *comfort stop*. Ao apertar o botão o teste era imediatamente interrompido e o pé do voluntário era retirado da plataforma. O valor máximo de amplitude articular de cada voluntário era então calculado para que se pudesse realizar, em outra visita, o procedimento seguinte, de avaliação de STIFF.

Para o teste de STIFF, foi adotada uma amplitude de 80% do alongamento máximo de cada voluntário, pois há evidências de que nessa amplitude o reflexo de estiramento é pouco evidente (McNAIR et al., 2001). Para garantir que não houvesse influência no valor de torque por contração muscular, os valores de produção de torque eram acompanhados na tela de um computador. A qualquer sinal de contração voluntária o teste era interrompido e, se possível, reiniciado.

O protocolo do teste consistia da execução de 5 dorsiflexões passivas consecutivas a 5°·s<sup>-1</sup> partindo da posição inicial de 95° até 80% da amplitude máxima de alongamento de cada voluntário. foi aplicado um modelo polinomial de quarta ordem para cada uma das 5 curvas torque-ângulo (NORDEZ et al., 2006):

**Equação 1.** Modelo polinomial de quarta ordem.

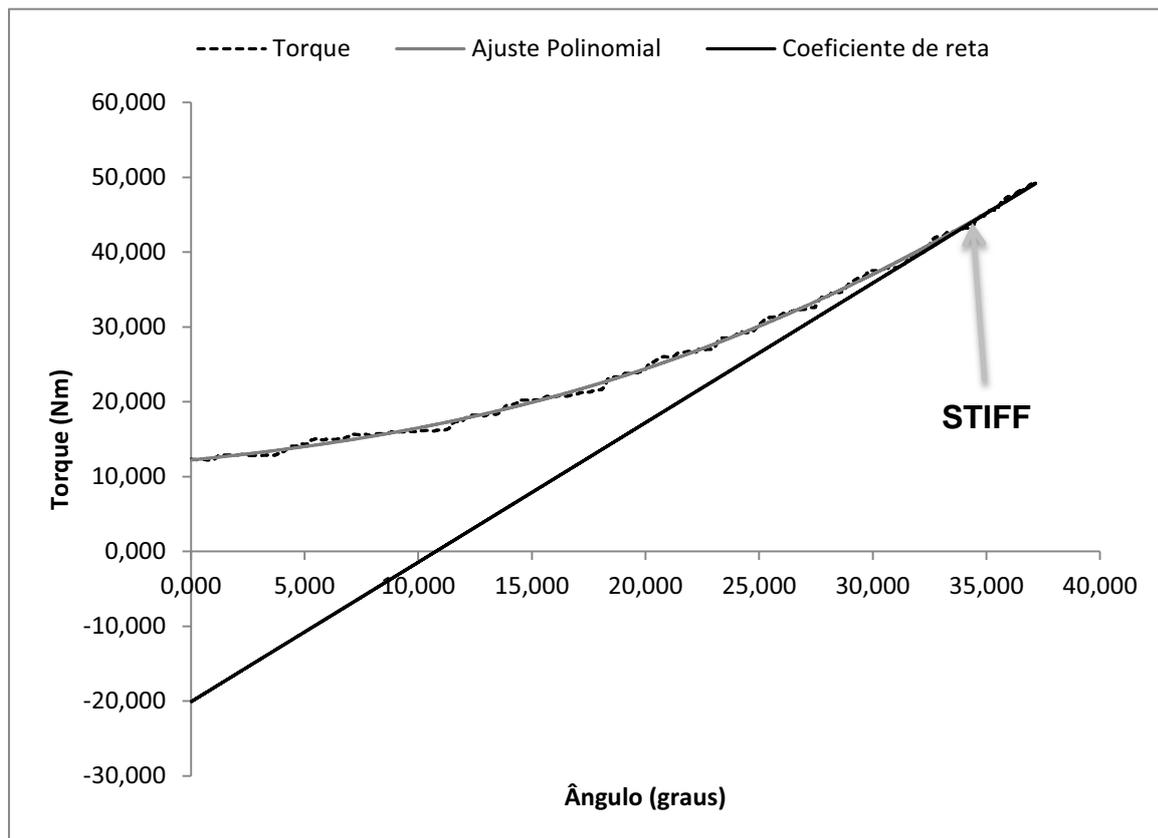
$$T(\theta) = m\theta^4 + n\theta^3 + o\theta^2 + p\theta + q$$

onde:  $T$  é o torque,  $\theta$  é o ângulo e  $m$ ,  $n$ ,  $o$ ,  $p$ ,  $q$  são constantes experimentais. Usando este modelo o STIFF músculo-tendineo foi obtido pelo valor da primeira derivada da equação polinomial de quarta ordem (2):

**Equação 2.** Obtenção do valor da primeira derivada.

$$T'(\theta) = 4m\theta^3 + 3n\theta^2 + 2o\theta + p$$

onde:  $T$  é o torque,  $\theta$  é o ângulo e  $m$ ,  $n$ ,  $o$ ,  $p$ ,  $q$  são constantes experimentais. A média dos valores máximos obtidos em cada uma das 5 curvas pela derivada foi considerada como o valor de STIFF. Uma curva de STIFF de um dos voluntários segue representada na Figura 5.



**Figura 5.** Curva de STIFF de um dos voluntários. STIFF = stiffness passivo.

### **6.9. Ultrassonografia muscular e circunferência**

Um aparelho de ultrassonografia (GE Health Care – Product Technology – Voluson E8) foi utilizado para a determinação da ASTmo. Durante a avaliação da ASTmo, os voluntários permaneceram em decúbito dorsal para que as espessuras dos tecidos adiposos das porções anteriores (TA<sub>A</sub>) da perna fossem mensuradas e, em seguida, em decúbito ventral para a mensuração dos tecidos adiposos das porções posteriores (TA<sub>P</sub>) da mesma. A instrução passada aos voluntários era que permanecessem com o membro inferior estendido e relaxado. Um transdutor era posicionado de forma perpendicular sobre o membro avaliado. Para a aquisição da imagem, foi utilizado um gel à base de água, que promove um contato acústico sem a necessidade de causar pressão sobre a pele. Qualquer tipo de pressão excessiva do transdutor sobre a pele dos sujeitos foi evitado durante os testes. A circunferência total da perna dos voluntários também foi medida. Os dados obtidos foram, então, adicionados à seguinte fórmula antropométrica:

#### **Equação 3. ASTmo**

$$ASTmo = \pi \cdot [r - (TA_A + TA_P)/2]^2$$

Onde  $r$  é o raio calculado a partir da circunferência do membro em questão.

A avaliação da ASTmo foi efetuada nos pontos descritos por ABE et al. (2006), no segmento dominante e todas as medidas foram executadas pelo mesmo avaliador, especialista em ultrassonografia musculoesquelética.

### **6.10. Quantificação da atividade sérica de creatina quinase (CK) e da percepção subjetiva de dor (PSD)**

A atividade sérica da enzima creatina quinase (CK) foi calculada por meio de coleta de 500µl de sangue do lóbulo da orelha dos sujeitos. Para que essa amostra

fosse coletada sem a ocorrência de hemólise, que pode interferir nos resultados, foi utilizada uma pomada vasodilatadora (Finalgon, Pharma GmbH & Co. KG). Depois de obtidas as amostras, o sangue era centrifugado por 10 minutos a 5600 rpm em uma centrífuga (Centrífuga Microhemato Modelo 2410, Fanem, São Paulo, Brasil) e o soro, separado do plasma, analisado em um espectrofotômetro (Bio-2000, Bioplus, São Paulo, Brasil) com a utilização de um kit comercial de análise de CK (CK-NAC UV, Wiener Lab., Rosário, Argentina). A faixa de referência da atividade sérica de CK para homens adultos, utilizando este método, é de 24 a 195 U/l.

Para a quantificação da percepção subjetiva de dor (PSD), os voluntários foram orientados a subir e descer de uma plataforma de 45 cm de altura e preencher uma escala de análogos visuais (EAV) (CHEN et al., 2007). A EAV consiste de uma linha contínua de 100 mm com os dizeres “Sem dor” em um lado (0 mm), e “Muita, muita dor” no outro (100 mm).

### 6.11. Análise estatística

Para testar a normalidade dos dados, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. Os dados paramétricos estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP) e para a análise destes, foram aplicadas análises de variância (ANOVA) de dois caminhos (tempo x grupo). Quando constatado efeito significativo, foi empregado o *post hoc* de *Bonferroni*, para verificar diferenças entre as médias. Os dados não paramétricos estão expressos como mediana, primeiro e terceiro quartis. Para a análise destes foram aplicados os testes não paramétricos de *Wilcoxon* (comparação dentro do grupo) e *Mann-Whitney* (comparação entre grupos). O nível de significância estatística adotado para todos os testes foi de  $\alpha \leq 0,05$ .

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Grupos

Foram coletados, ao todo, 17 voluntários, que foram divididos entre grupo DOWN (n=9) e CON (n=8). As médias e desvios-padrões dos dados antropométricos dos voluntários dos dois grupos seguem representados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características antropométricas dos voluntários do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN). IMC = Índice de massa corpórea.

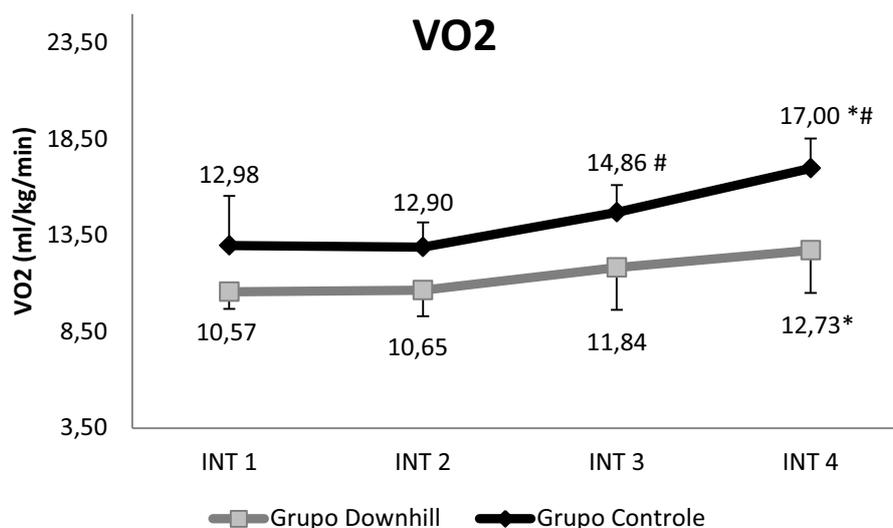
	<b>Idade</b> (anos)	<b>Massa corporal</b> (kg)	<b>Estatura</b> (m)	<b>IMC</b> (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>DOWN</b> <b>n = 9</b>	22,2 (3,4)	80,0 (18,4)	1,74 (0,09)	26,3 (4,5)
<b>CON</b> <b>n = 8</b>	24,3 (5,7)	74,4 (9,5)	1,76 (0,06)	24,1 (3)

### 7.2. Intensidade das sessões de treinamento

As figuras 3, 4, 5 e 6 representam, respectivamente, as intensidades das sessões de treinamento por meio das médias de VO<sub>2</sub>, R, percepção subjetiva de esforço (PSE) e concentração de lactato ao final das sessões (LaF), às quais os voluntários de ambos os grupos foram submetidos como forma de treinamento.

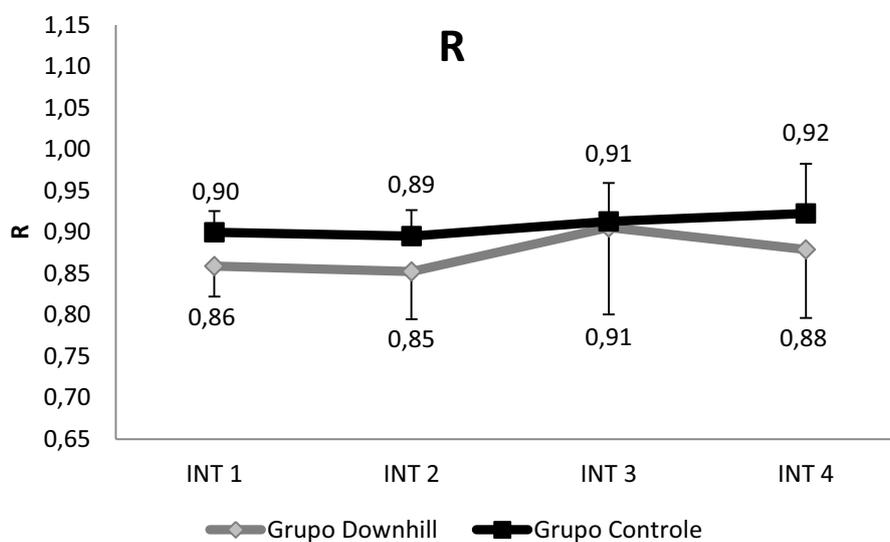
Foi identificado efeito significativo do tempo ( $F = 27,04$ ,  $p = 0,001$ ) para os valores obtidos de VO<sub>2</sub> nas últimas sessões de treinamento dos blocos de exercício. Quando comparadas as médias foram identificadas diferenças significantes, entre os valores de VO<sub>2</sub> obtidos no quarto bloco de treinamento em relação ao primeiro bloco para ambos os grupos (CON:  $p = 0,001$  e DOWN:  $p=0,001$ ). Também foi identificado efeito significativo de tempo ( $F = 17,44$ ;  $p = 0,001$ ), sendo que o VO<sub>2</sub> diferiu de maneira significativa entre os dois grupos no

quarto ( $p = 0,001$ ) bloco de treinamento. Os valores obtidos de  $VO_2$  durante as sessões de treino estão representados na Figura 6.



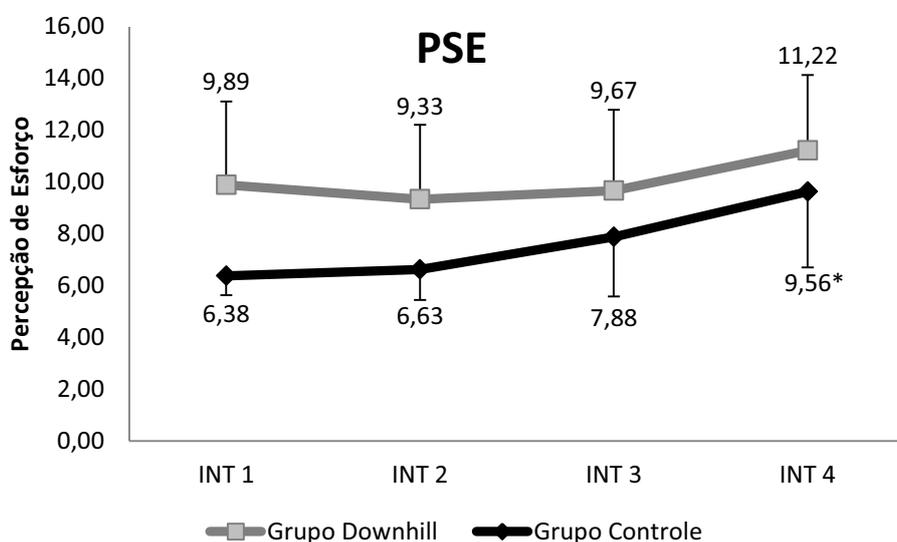
**Figura 6.** Consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) dos dois grupos medido na última sessão de cada bloco de treinamento. Diferenças significantes ( $p < 0,05$ ) entre uma sessão em relação à primeira sessão do mesmo grupo são representadas por \*. Diferenças significantes ( $p < 0,05$ ) entre os valores encontrados na mesma sessão entre grupos são representadas por #. INT 1-4: Semanas de treinamento 1 a 4.

Entretanto, a Figura 7 demonstra não haver diferença significativa entre os valores de R obtidos em todas as intensidades em nenhum dos grupos ( $F = 1,53$ ;  $p > 0,05$ ). Também não há diferença entre os mesmos blocos de treinamento para os dois grupos ( $F = 5,67$ ;  $p > 0,05$ ).



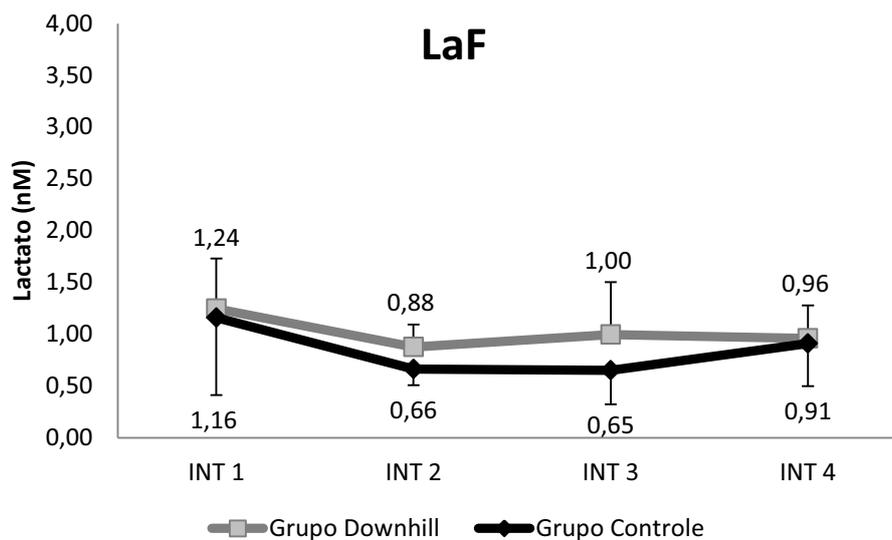
**Figura 7.** Razão de trocas respiratórias (R) dos dois grupos medido na última sessão de cada bloco de treinamento. INT 1-4: Semanas de treinamento 1 a 4.

Como demonstrado na figura 8, também foi identificado efeito significativo de tempo para a PSE ( $F = 10,23$ ;  $p = 0,001$ ). Quando comparadas as médias, foram encontradas diferenças significantes ( $p = 0,001$ ) entre os valores aferidos no primeiro e no quarto bloco de treinamento do grupo CON. O grupo DOWN não apresentou nenhuma alteração significativa da PSE durante a progressão das cargas de treinamento. Também não foram encontradas diferenças significantes entre as PSE dos dois grupos durante nenhum dos blocos de treinamento ( $F = 1,52$ ).



**Figura 8.** Percepção subjetiva de esforço (PSE) dos dois grupos medida na última sessão de cada bloco de treinamento. Diferenças significantes ( $p < 0,05$ ) entre uma sessão em relação à primeira sessão do mesmo grupo são representadas por \*. INT 1-4: Semanas de treinamento 1 a 4.

No que diz respeito à LaF, não foram encontradas diferenças significantes entre os diferentes blocos de nenhum dos dois grupos ( $F = 1,07$ ). Também não foram identificadas diferenças estatísticas entre os mesmos blocos de treinamento dos dois grupos ( $F = 0,38$ ). A LaF segue representada graficamente na Figura 9.



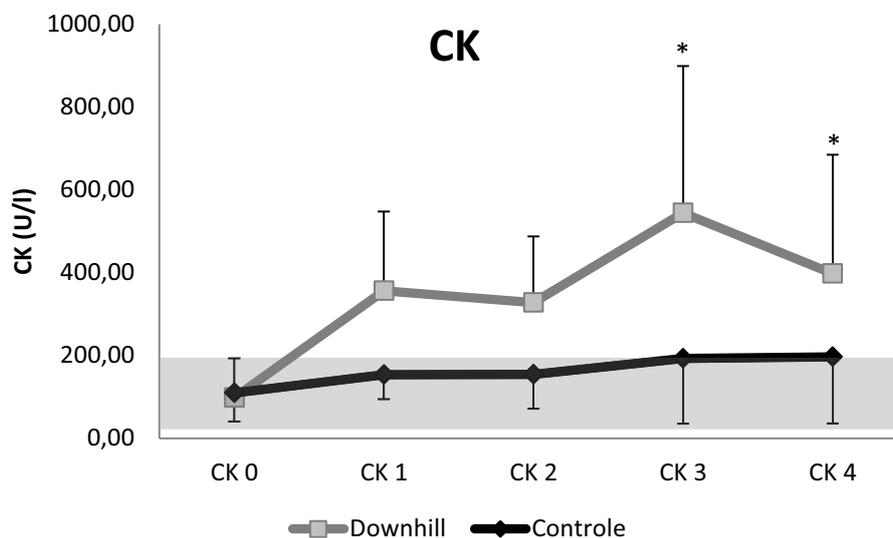
**Figura 9.** Concentração sanguínea do lactato (LaF) dos dois grupos medido na última sessão de cada bloco de treinamento. INT 1-4: Semanas de treinamento 1 a 4. N CON = 5.

### 7.3. Dano Muscular

Assim como a intensidade das sessões, o DM foi monitorado ao longo dos blocos de treinamento por meio de dois diferentes marcadores. As figuras 10 e 11 representam a atividade sérica de CK no sangue e a percepção subjetiva de dor dos voluntários, respectivamente.

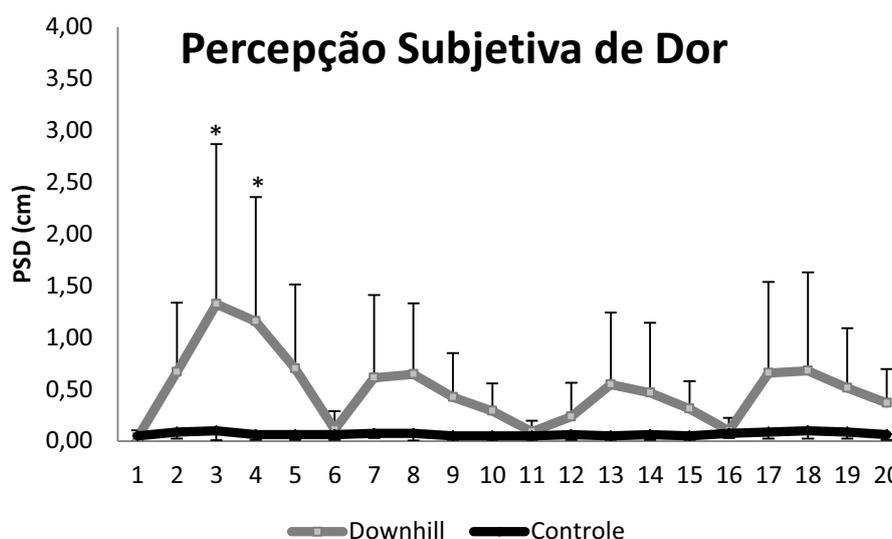
Foi identificado um efeito significativo de tempo ( $F = 3,65$ ;  $p = 0,009$ ) para os valores de CK coletados ao final de cada bloco de treinamento. Ao analisar a Figura 10, é possível notar que o grupo DOWN apresentou aumentos significantes da atividade sérica de CK, em relação ao valor basal, ao final dos terceiro ( $p = 0,001$ ) e

quarto ( $p = 0,02$ ) blocos de treinamento enquanto o grupo CON apresentou valores constantes ao longo dos blocos de treinamento. Não foi identificado efeito de grupos para essa variável ( $F = 0,48$ ;  $p > 0,05$ ). Também na Figura 10, pode-se reparar que, mesmo não sendo apresentando diferenças significantes em todos os pontos, o grupo DOWN apresenta valores de CK acima da faixa de referência, representada por um retângulo cinza, ao final de todos os blocos de treinamento. O grupo CON, porém, não apresenta valores de CK acima da faixa de referência em nenhum dos blocos.



**Figura 10.** Atividade sérica de creatina quinase (CK) nas condições basal (CK0) e ao final dos quatro blocos de treinamento (CK 1-4). O retângulo cinza representa a faixa de referência de valores de CK. CON ( $n = 7$ ); DOWN ( $n = 5$ ). Diferenças significantes entre um valor de CK e o valor basal do mesmo grupo são expressas por \*.

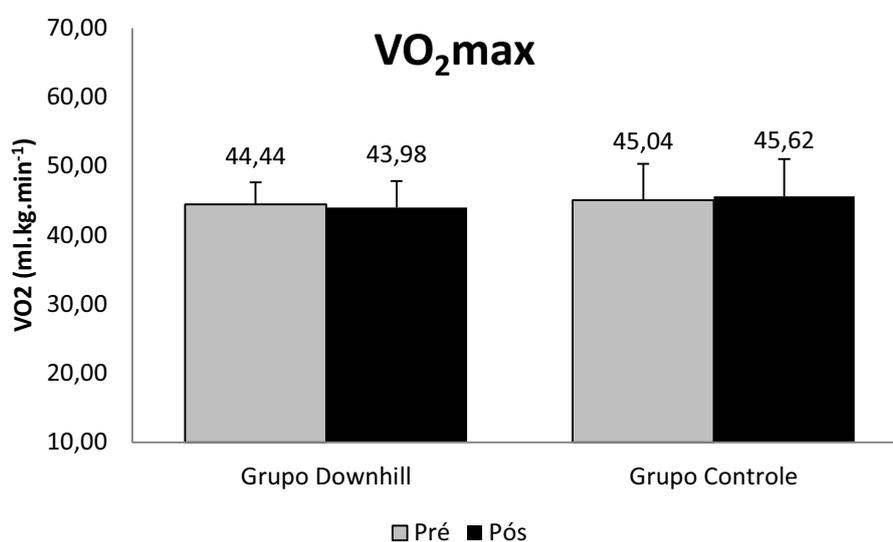
Na Figura 11 estão expressos graficamente os dados referentes à PSD, coletados a cada dia de treinamento. Foi encontrado efeito significativo de tempo ( $F = 3,6$ ;  $p = 0,001$ ) para essa variável. Quando comparadas as médias, identificou-se que o grupo CON não apresentou variações na PSD, mantendo um padrão ao longo de todo o protocolo de treinamento. Já o grupo DOWN apresentou diferença significativa na PSD, em relação ao valor basal (1), no terceiro ( $p = 0,001$ ) e quarto ( $p = 0,001$ ) dias de treinamento, apenas. Também foi identificado significativo de grupos ( $F = 6,13$ ;  $p = 0,02$ ), porém, não foram encontradas diferenças significantes entre as médias dos grupos. Percebe-se, também, que o padrão da resposta de PSD do primeiro bloco de treinamento (1-5) se repete nos blocos seguintes de maneira atenuada, não apresentando diferenças significantes.



**Figura 11.** Percepção subjetiva de dor (PSD) ao longo de todos os dias de treinamento. Diferenças significantes entre um valor de PSD e o valor basal do mesmo grupo são expressas por \*.

#### 7.4. Consumo máximo de oxigênio e limiar de lactato

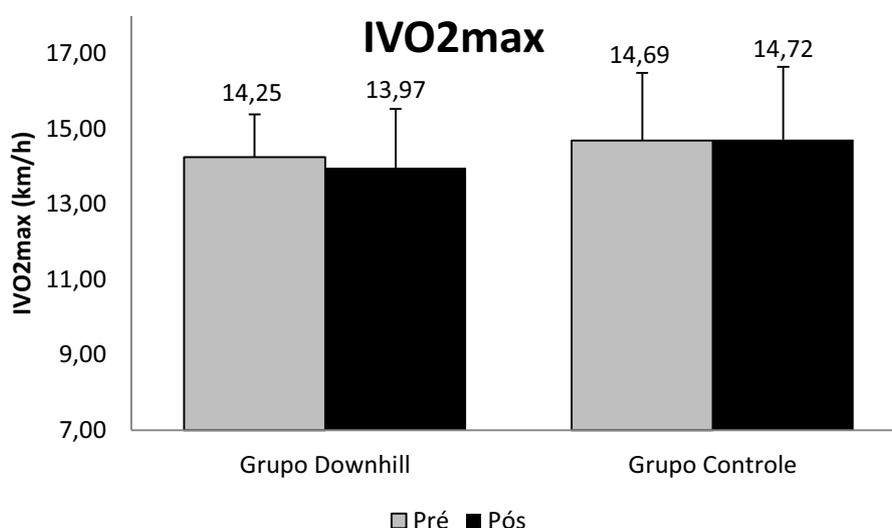
A Figura 12 apresenta os valores de  $VO_{2max}$  dos dois grupos antes e após os blocos de treinamento. Os valores de  $VO_{2max}$  obtidos antes da realização dos treinamentos não diferiram entre os grupos CON e DOWN ( $F = 0,32$ ;  $p > 0,05$ ). Não foram encontradas diferenças significantes entre os valores medidos antes e depois do treinamento para nenhum dos grupos ( $F = 0,07$ ;  $p > 0,05$ ).



**Figura 12.** Consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) nas duas condições coletadas para os dois grupos.

As  $IVO_2\text{max}$  dos grupos não diferiram entre si em nenhum dos momentos coletados ( $F = 0,83$ ;  $p > 0,05$ ). Também não foram identificadas diferenças significantes entre os valores de  $IVO_2\text{max}$  apresentados após o treinamento para nenhum dos grupos em relação aos valores basais ( $F = 0,17$ ;  $p > 0,05$ ). Os dados de  $IVO_2\text{max}$  seguem expressos na Figura 13.

As intensidades em que os voluntários do grupo CON e DOWN atingiram o LL antes do treinamento foram  $7 \pm 1,55$  km/h e  $6 \pm 0$  km/h, respectivamente. Após o treinamento, o grupo CON atingiu o LL a  $6,60 \pm 0,8$  km/h enquanto o grupo DOWN o fez a  $6 \pm 0$  km/h. Não foram encontradas diferenças significantes entre nenhuma das condições para ambos os grupos ( $F = 3,63$ ;  $p > 0,05$ ) nem diferenças entre os grupos ( $F = 1,92$ ;  $p > 0,05$ ).

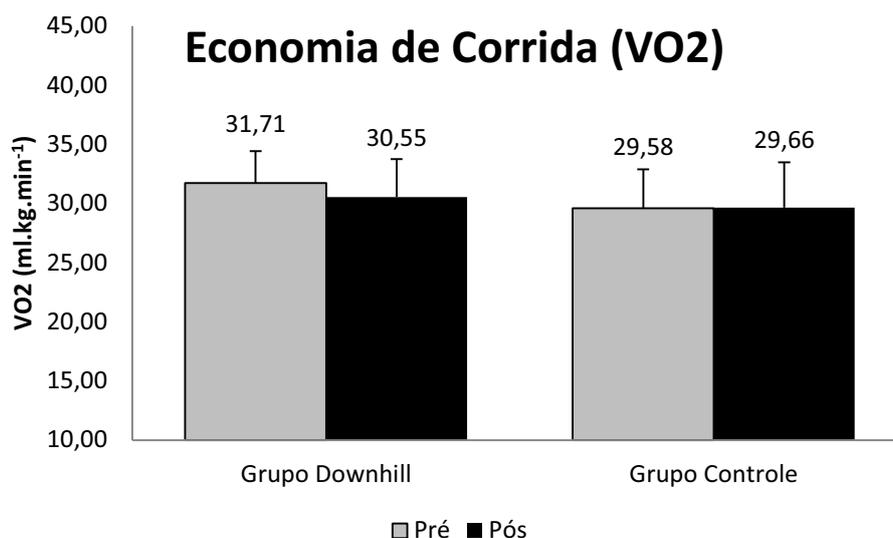


**Figura 13.** Intensidade em que o consumo máximo de oxigênio foi atingido ( $IVO_2\text{max}$ ) nas duas condições coletadas para os dois grupos.

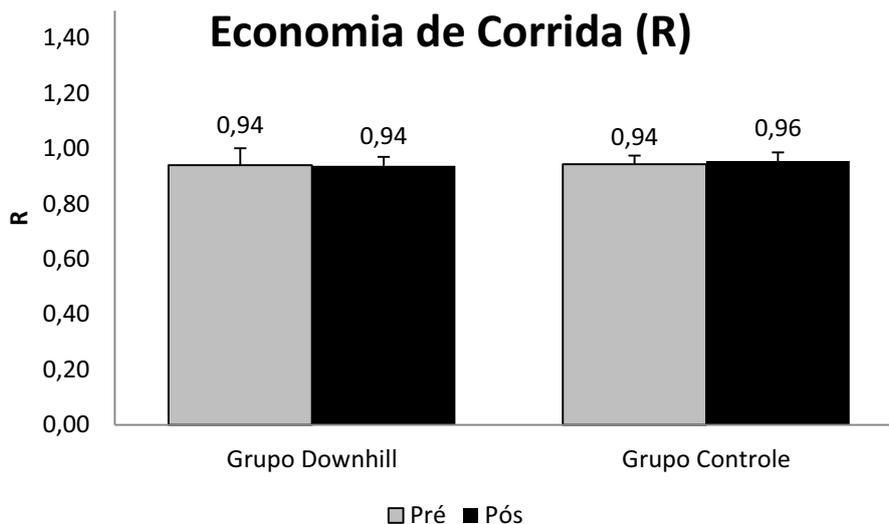
## 7.5. Economia de corrida e análise cinemática do movimento

Conforme descrito nos materiais e métodos, os voluntários realizaram os testes de EC em uma velocidade fixa de 8 km/h. Nenhum dos grupos apresentou

alterações significantes nos valores de  $VO_2$  ( $F = 1,84$ ;  $p > 0,05$ ) e  $R$  ( $F = 1,07$ ;  $p > 0,05$ ) durante os testes de EC após o treinamento. Também não foram identificadas diferenças nos valores de  $VO_2$  ( $F = 1,38$ ;  $p > 0,05$ ) e  $R$  ( $F = 0,85$ ;  $p > 0,05$ ) referentes à EC entre os grupos. Os dados de  $VO_2$  e  $R$  obtidos durante os testes de EC seguem representados nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

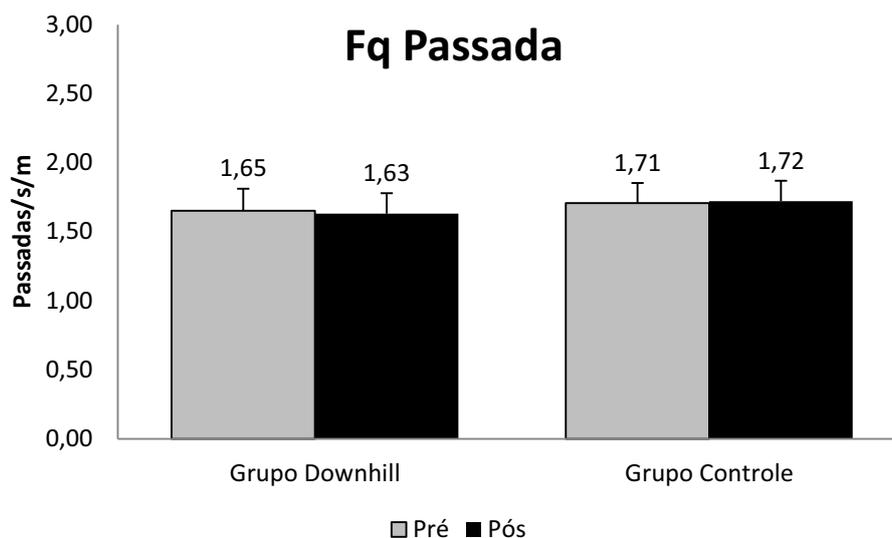


**Figura 14.** Consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) referente aos testes de economia de corrida nas duas condições coletadas para os dois grupos.

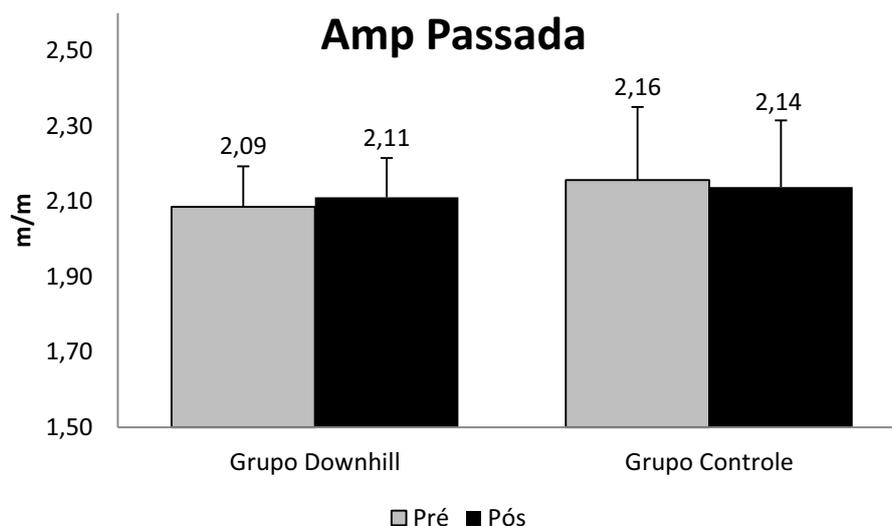


**Figura 15.** Razão de trocas respiratórias (R) referente aos testes de economia de corrida nas duas condições coletadas para os dois grupos.

Assim como com os valores de  $VO_2$  e R referentes à EC, não foram identificadas alterações significantes nos valores de FQ ( $F = 0,95$ ;  $p > 0,05$ ) e Amp ( $F = 0,47$ ;  $p > 0,05$ ) de passada após o treinamento. Também não foram encontradas diferenças significantes entre os valores de FQ ( $F = 0,24$ ;  $p > 0,05$ ) e Amp ( $F = 0,15$ ;  $p > 0,05$ ) de passada entre os grupos em nenhuma das condições. Os valores encontrados de FQ e Amp de passada seguem representados graficamente nas Figuras 16 e 17, respectivamente.



**Figura 16.** Frequência (FQ) de passada durante os testes de economia de corrida nas duas condições coletadas para os dois grupos. Os de FQ obtidos foram normalizados pelo comprimento do membro.



**Figura 17.** Amplitude (Amp) de passada durante os testes de economia de corrida nas duas condições coletadas para os dois grupos. Os valores obtidos de Amp foram normalizados pelo comprimento do membro.

## 7.6. Pico de torque isométrico

Os valores iniciais de PTI, assim como o tempo em que o PTI foi atingido (tPTI) não foram significativamente diferentes entre os grupos em nenhuma das ações musculares coletadas. Também não foram encontradas diferenças

significantes entre os valores de PTI e tPTI obtidos antes e após o treinamento. Os valores obtidos de PTI e tPTI seguem representados nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 2.** Valores médios  $\pm$  DP do pico de torque isométrico (PTI) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN).

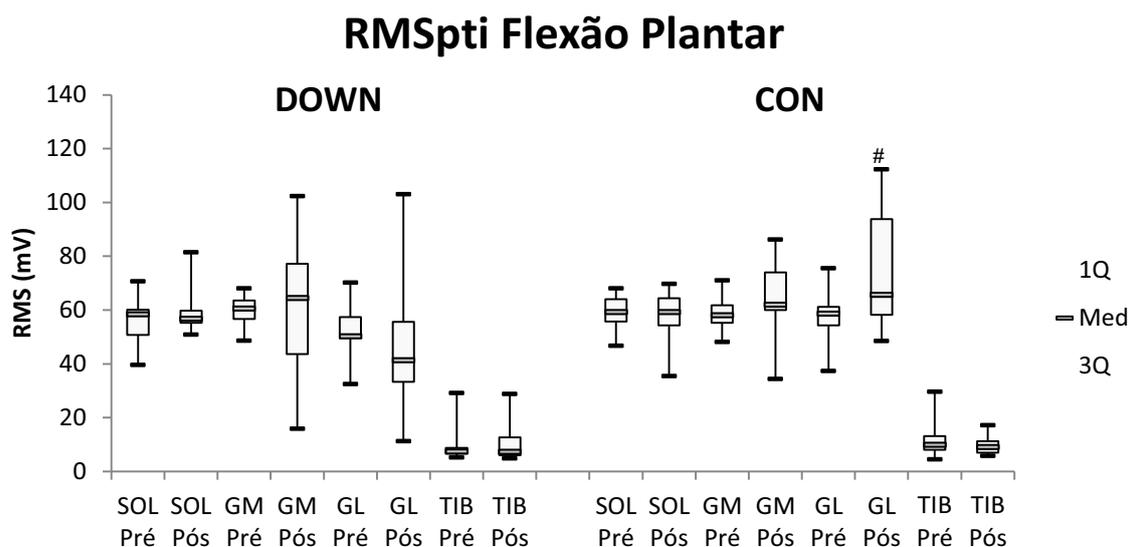
CVM	PTI (Nm)			
	CON		DOWN	
	Pré	Pós	Pré	Pós
<b>Flexão Plantar</b>	131,9 (38,3)	136,41 (34,8)	135,4 (37,8)	136,9 (38,9)
<b>Dorsiflexão</b>	34,5 (2,5)	34,9 (3,6)	38,7 (8,3)	39,5 (11,4)

**Tabela 3.** Valores médios  $\pm$  DP de tempo para o pico de torque (tPTI) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN).

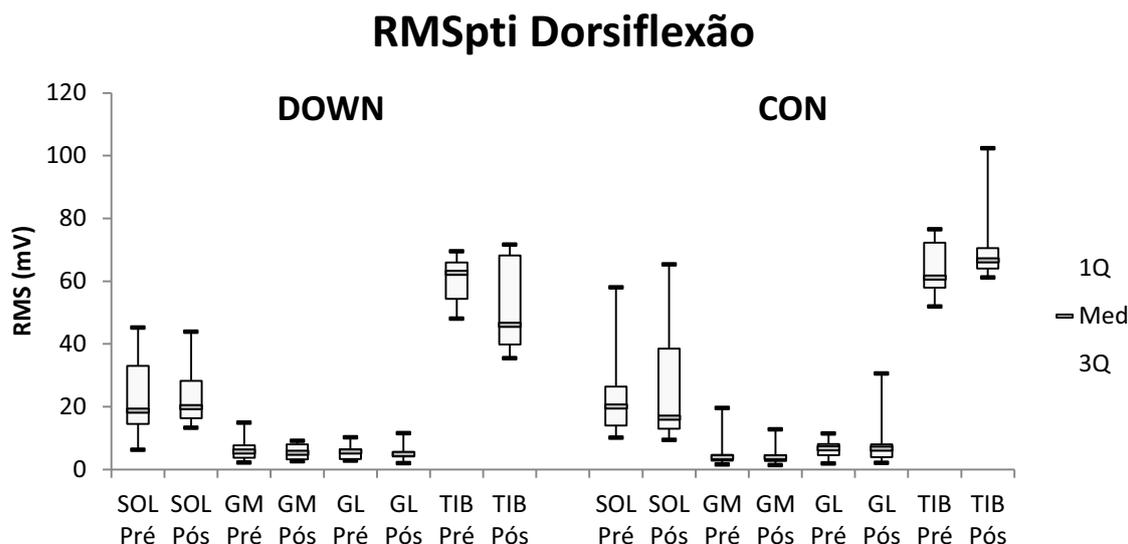
CVM	tPTI (ms)			
	CON		DOWN	
	Pré	Pós	Pré	Pós
-				
<b>Flexão Plantar</b>	3108,8 (1848,6)	3210,0 (1219,4)	3463,6 (1544,8)	3938,5 (929,8)
<b>Dorsiflexão</b>	964,7 (515,1)	806,3 (331,3)	803,1 (463,3)	1327,1 (1324,6)

Os valores de RMSpti obtidos durante as CVM de flexão plantar e de dorsiflexão seguem representados nas Figuras 18 e 19, respectivamente. Não foram identificadas diferenças significantes entre os valores basais de RMSpti de nenhum dos músculos em nenhuma das contrações para ambos os grupos. Também não

foram identificadas alterações significantes nesses valores após o treinamento de nenhum dos grupos. O RMSpti do GL coletado após o treinamento do grupo CON foi estatisticamente diferente ( $p = 0,02$ ) do valor equivalente do grupo DOWN.



**Figura 18.** Raiz quadrada da média (RMS) do sinal eletromiográfico de quatro músculos (SOL = sóleo; GM = gastrocnêmio medial; GL = gastrocnêmio lateral; TIB = tibial anterior) durante as CVM de flexão plantar nas duas condições coletadas para os dois grupos. Diferenças significantes entre os valores obtidos em uma condição em relação à condição equivalente do outro grupo são identificadas por #.



**Figura 19.** Raiz quadrada da média (RMS) do sinal eletromiográfico de quatro músculos (SOL = sóleo; GM = gastrocnêmio medial; GL = gastrocnêmio lateral; TIB = tibial anterior) durante as CVM de dorsiflexão nas duas condições coletadas para os dois grupos.

### 7.7. Taxa de desenvolvimento de força e TDFr

Assim como o PTI, os valores de TDF, TDFr, e o tempo em que esses valores foram atingidos (tTDF) não foram significativamente diferentes entre os grupos em nenhuma das ações musculares coletadas. Nenhum desses valores apresentou qualquer tipo de alteração significativa após o treinamento. As tabelas 4, 5 e 6 representam os valores de TDF, TDFr e tTDF, respectivamente.

**Tabela 4.** Valores médios  $\pm$  DP de taxa de desenvolvimento de força (TDF) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN).

CVM	TDF (Nm/s)			
	Controle		Downhill	
	Pré	Pós	Pré	Pós
-				
<b>Flexão Plantar</b>	411,1 (147,3)	411,1 (199,6)	431,8 (157,4)	442,8 (121,6)
<b>Dorsiflexão</b>	146,7 (33,6)	161,5 (32)	190,0 (63,7)	188,5 (44,8)

**Tabela 5.** Valores médios  $\pm$  DP de taxa de desenvolvimento de força relativa (TDFr) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN).

CVM	TDFr (%PTI/s)			
	Controle		Downhill	
	Pré	Pós	Pré	Pós
-				
<b>Flexão Plantar</b>	320,9 (102,7)	298,5 (108,6)	331,9 (110,0)	326,1 (46,7)
<b>Dorsiflexão</b>	425,4 (93,2)	464,9 (90,1)	486,2 (115,0)	492,4 (109,3)

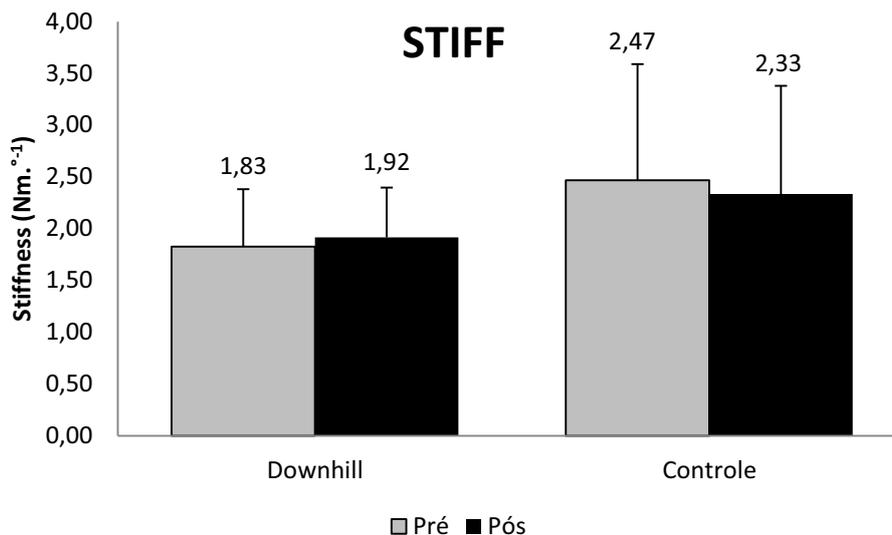
**Tabela 6.** Valores médios  $\pm$  DP de tempo na taxa de desenvolvimento de força (tTDF) das duas ações musculares coletadas nas condições pré e pós-treinamento do grupo controle (CON) e Downhill (DOWN).

CVM	tTDF (ms)			
	Controle		Downhill	
	Pré	Pós	Pré	Pós
-				
<b>Flexão Plantar</b>	108,4 (48,9)	137,2 (69,9)	193,6 (237,0)	111,1 (19,2)
<b>Dorsiflexão</b>	138,2 (87,1)	109,7 (28,4)	89,0 (41,5)	96,8 (33,0)

### 7.8. Stiffness passivo

Durante os testes para a determinação do STIFF, como já mencionado nos materiais e métodos, o sinal de torque foi acompanhado ao longo de todas as repetições passivas do dinamômetro para garantir que o torque coletado não fosse proveniente de contrações voluntárias dos flexores plantares. Nenhum teste necessitou de ser interrompido por tais motivos. Os valores obtidos de STIFF de ambos os grupos não apresentaram diferença significativa entre si após o

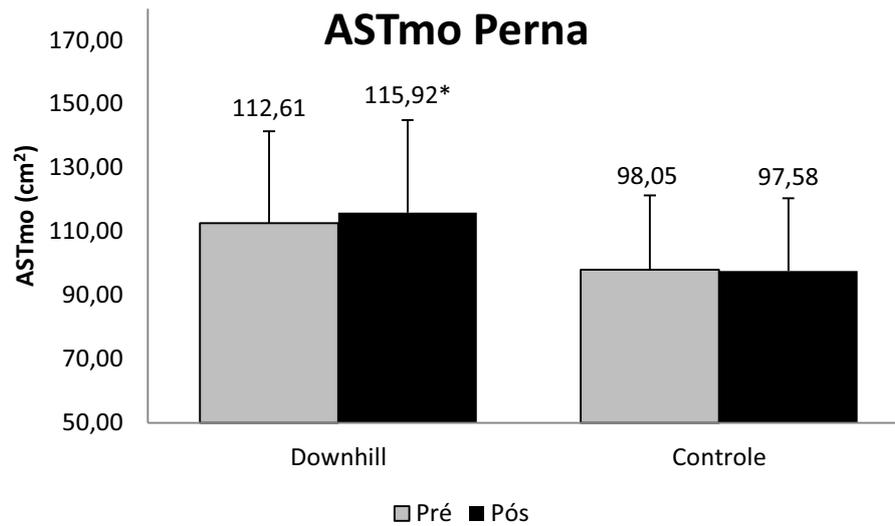
treinamento ( $F = 1,74$ ;  $p > 0,05$ ). Também não foi detectada diferença estatística entre os valores dos dois grupos ( $F = 0,15$ ;  $p > 0,05$ ). A Figura 20 representa os valores obtidos nos testes de STIFF em todas as situações coletadas.



**Figura 20.** *Stiffness* (STIFF) nas duas condições coletadas para ambos os grupos.

### 7.9. Área de secção transversa músculo-osso

Foram medidas as ASTmo da perna dominante dos voluntários dos dois grupos. Foi identificado efeito significativo de tempo para esta medida ( $F = 6,11$ ;  $p = 0,02$ ) sendo que a ASTmo da perna do grupo DOWN apresentou um aumento significativo ( $p = 0,006$ ) em decorrência do treinamento. Já a ASTmo da perna do grupo CON manteve-se igual à condição basal após as sessões de treino e não foram identificadas diferenças significantes ( $F = 3,22$ ;  $p > 0,05$ ) entre os valores dos dois grupos. A Figura 21 demonstra os valores obtidos de ASTmo da perna antes e após o treinamento para os dois grupos.



**Figura 21.** Área de seção transversa músculo-osso (ASTmo) da perna dos voluntários dos dois grupos nas duas condições coletadas. Diferenças significantes entre os valores pós e pré-treinamento são expressas por \*.

## 8. DISCUSSÃO

### 8.1. Sessões de treinamento

A hipótese do presente estudo foi que um programa de quatro blocos de sete sessões semanais de treinamento de CaED seria suficiente para a promoção de adaptações cardiorrespiratórias e neuromusculares em uma população jovem e ativa. As velocidades iniciais e a progressão da carga ao longo dos blocos de treinamento foram estabelecidas baseadas em estudo piloto realizado no laboratório, no qual um indivíduo se exercitou em diferentes intensidades e com diferentes inclinações da esteira enquanto tinha suas trocas gasosas coletadas e analisadas. Dessa maneira, se pressupôs que ambos os grupos se exercitariam na mesma intensidade relativa (i.e., %VO<sub>2</sub>max) no que diz respeito ao sistema cardiorrespiratório.

De maneira paralela, a intensidade dos treinamentos, do ponto de vista do sistema neuromuscular, foi monitorada por meio de medidas diárias da PSD, que é considerada um importante marcador de DM por estar relacionada ao processo inflamatório que ocorre em resposta a este, que gera a conhecida DMIT (CLARKSON E HUBAL, 2002). Além dessa variável, a atividade sérica de CK foi monitorada ao longo dos 4 blocos de treinamento, sendo coletada ao final de cada um deles. Também foi coletada uma amostra de CK referente à condição basal dos voluntários para que se soubesse se o conjunto de sessões de treinamento de um bloco gerou DM significativa, causando o extravasamento da enzima CK para o soro sanguíneo.

Os dados obtidos durante o controle do componente cardiorrespiratório da intensidade das sessões de exercício apontam para intensidades semelhantes entre os grupos ao longo do programa de treinamento. Como se verificou na Figura 6,

houve diferenças significantes entre os valores de  $VO_2$  dos dois grupos nas sessões de treinamento do último bloco. Porém, mesmo com valores de  $VO_2$  diferentes entre si, os dois grupos se exercitaram no mesmo domínio de exercício (moderado – até  $50\%VO_{2máx}$ ), sendo que a intensidade dos treinamentos do grupo DOWN variou entre  $23,7\%$  e  $28,6\% VO_{2max}$ , enquanto a do grupo CON variou entre  $28,6\%$  e  $37,7\% VO_{2max}$ . Além disso, foi caracterizado, para ambos os grupos o aumento da intensidade de treinamento, evidenciado pelas diferenças significantes encontradas nos valores de  $VO_2$  durante as sessões dos primeiros e últimos blocos de treinamento.

Outro fator que pôde confirmar que os dois grupos se exercitaram no mesmo domínio de exercício foi o fato de ambos o R e o LaF terem sido semelhantes para todas as sessões dos dois grupos (Figuras 7 e 9). A PSE se mostrou elevada apenas na última sessão de treinamento do grupo CON (Figura 8), quando comparada à primeira, demonstrando que a última velocidade de caminhada pode ter sido considerada mais intensa pelos voluntários integrantes deste grupo. Porém, acreditamos que essa diferença entre a PSD medida no quarto bloco de treinamento em comparação com o primeiro bloco tenha sido encontrada por causa dos valores extremamente baixos de PSD relatados neste.

Entretanto, no que diz respeito ao DM, houve uma relação diferente à encontrada no monitoramento da intensidade para o sistema cardiorrespiratório. O único grupo a apresentar aumentos significantes na PSD ao longo do treinamento foi o DOWN. Como se pode verificar na Figura 11, houve um aumento significativo na PSD dos voluntários do grupo DOWN no terceiro e quarto dias do primeiro bloco de treinamento, quando comparados ao primeiro dia (condição basal). Acreditamos que este aumento tenha ocorrido devido ao DM causado pelas primeiras sessões de

exercício, em especial à primeira, uma vez que os valores começam a se mostrar alterados dois dias após esta, caracterizando o intervalo comum de manifestação da DMIT.

Por mais que a PSD tenha apresentado aumentos significantes apenas durante o primeiro bloco de treinamento (1-5), ao analisar a Figura 11, pode-se reparar que o padrão de flutuação da PSD se repete ao longo dos demais blocos de treinamento (6-10, bloco 2; 11-15, bloco 3; 16-20, bloco 4), apresentando picos dois dias após a primeira sessão de treinamento (na qual os voluntários voltam a apresentar níveis baixos de PSD). Acreditamos que os valores atenuados de PSD apresentados durante os blocos de treinamento 2, 3 e 4 tenham ocorrido devido a essa medida ser de caráter subjetivo (BYRNES et al., 1985). Sendo assim, os voluntários podem ter se habituado à dor causada pelo processo inflamatório, diminuindo os valores a serem atribuídos nas escalas de PSD, demonstrando a existência do ECR (McHUGH, 2003).

Paralelamente à PSD, os voluntários do grupo DOWN apresentaram valores significativamente diferentes da CK em relação aos valores basais apenas ao final dos dois últimos blocos de treinamento (Figura 10). O aumento significativo da CK ao final do terceiro e quarto blocos aparentemente difere do avaliado pela PSD. Essa discordância entre os marcadores reafirma nossa hipótese de que, ao longo de todos os blocos de treinamento, os voluntários do grupo DOWN sofreram DM, sendo que a intensidade deste pode ter sido mascarada pelo fato da PSD ser uma medida subjetiva. Os voluntários teriam se adaptado à dor nos demais blocos, não a relatando da mesma forma que o fizeram durante o primeiro bloco de treinamento.

O grupo CON não apresentou nenhuma alteração significativa nos valores de CK em nenhum dos blocos coletados. Dessa maneira, podemos considerar que o

protocolo de treinamento ao qual o grupo DOWN foi submetido causou DM significativa, o que não ocorreu com o protocolo do grupo CON. Não é possível comparar os dados das intensidades dos blocos de treinamento de nosso estudo com outros estudos já publicados sobre o assunto (YANG et al., 2010; MOORE et al., 2012) uma vez que estes não avaliaram a intensidade de seus respectivos treinamentos.

## **8.2. Efeitos do treinamento sobre a aptidão aeróbia**

Uma série de variáveis cardiorrespiratórias foram coletadas e analisadas antes e após a implementação dos protocolos de treinamento para que fosse verificado se esse tipo de programa de exercícios promoveria mudanças positivas nesses sistemas. O Colégio Americano de Medicina Esportiva (*American College of Sports Medicine – ACSM*) sugere, em seu posicionamento oficial (AHA/ACSM), que, para a melhora da aptidão cardiorrespiratória em adultos saudáveis, é recomendável um volume de exercício equivalente a 1000 quilocalorias (Kcal) semanais. Esses exercícios podem ser realizados variando entre intensidades moderada e pesada. Em unidades mais diretas, a ACSM sugere que essa quantidade de exercício pode ser dividida ao longo de 3 sessões semanais de exercício com duração igual ou superior a 20 minutos em intensidade pesada, ou com frequência diária (sete dias por semana) e com alternância entre intensidade moderada e pesada. Entretanto, o órgão também sugere que metade dessa carga semanal (i.e., 500 Kcal) também pode levar a benefícios significantes na aptidão cardiorrespiratória de indivíduos ativos, principalmente no que diz respeito a fatores de risco cardiovascular. Dessa forma, podemos afirmar que o protocolo de CaED utilizado em nosso estudo apresentou volume condizente com as recomendações da ACSM para a melhora da

aptidão cardiovascular (sete sessões semanais). Porém, a intensidade em que as sessões de treinamento foram realizadas (i.e., moderada) pode ser considerada como insuficiente, uma vez que o órgão sugere a alternância entre intensidade moderada e pesada ao longo das sessões semanais de treinamento.

No que diz respeito ao  $VO_2\text{max}$ , nenhum dos dois grupos apresentou alterações significantes após o treinamento, como se poder conferir na Figura 12. Também não foram identificadas alterações no LL e na  $IVO_2\text{max}$  (Figura 13) em decorrência do treinamento de CaED. Por mais que o protocolo de treinamento de CaED aplicado não tenha apresentado melhoras nesses marcadores de aptidão aeróbia, há evidências de que, em modelo animal, o treinamento de CrED de 6 semanas de duração induz aumentos significantes no  $VO_2\text{max}$  e no conteúdo total da enzima citrato sintase nos músculos trabalhados (HAHN et al., 2007). Esses incrementos podem ser dar por meio de adaptações que ocorrem, também, com o treinamento clássico de resistência aeróbia, como aumento da capilarização dos músculos utilizados e da capacidade de vasodilatação dos mesmos. Também há evidências apontando aumento da vascularização e oxigenação do tecido muscular acometido pelo DM, após uma sessão de CaED (AHMADI et al., 2008). Essas alterações agudas ocorrem em resposta às micro lesões causadas para que o tecido danificado seja reparado e se reestabelecem 24 horas após a sessão de CaED.

Treinamentos de caminhada em plano, como o do grupo CON, dificilmente influenciariam índices de aptidão aeróbia como o  $VO_2\text{max}$ ,  $IVO_2\text{max}$  e o LL em indivíduos jovens e ativos, justamente por se tratar de um exercício de intensidade muito baixa. Nossa hipótese, porém, era que o programa de treinamento de CaED beneficiaria os índices de aptidão aeróbia coletados neste estudo, o que não ocorreu. Uma das justificativas para a não existência de adaptações

cardiorrespiratórias pode ser a baixa sobrecarga nos sistemas cardiovascular e respiratório conferida pela caminhada em declive. Entretanto, se a velocidade da CaED fosse aumentada, os voluntários entrariam em uma fase de transição da marcha para a corrida e, como já foi amplamente registrado, a CrED costuma gerar altas magnitudes de DM, acometendo o sistema neuromuscular e impedindo um intervalo ótimo de estímulos para o sistema cardiorrespiratório (BYRNES et al., 1985; ESTON et al., 1995; CHEN et al., 2007; CHEN et al., 2009; BRAUN e PAULSON, 2012). Encarando esses dados, acreditamos ser improvável uma combinação de sessões de CaED que consiga impor estímulos ideais ao sistema cardiorrespiratório sem comprometer o sistema neuromuscular em humanos. Cabe ressaltar que o estudo de nosso conhecimento que identifica alterações em índices de aptidão aeróbia após treinamento em declive foi realizado em modelo animal, no qual a caminhada/corrida é realizada sobre 4 apoios e não 2, como em humanos (HAHN et al., 2007).

Em se tratando da EC, também não foram identificadas alterações significantes em nenhuma das variáveis coletadas (i.e.,  $VO_2$ , R, FQ e Amp de passada – Figuras 14 a 17). Um dos principais objetivos do presente estudo foi investigar a influência do treinamento de CaED na EC, uma vez que dados de estudos anteriores demonstram que esta modalidade de treinamento induz melhoras significantes na produção de força máxima (YANG et al., 2010) e em testes funcionais relacionados à força (GAULT et al., 2012) em populações especiais (parkinsonianos e idosos, respectivamente). A hipótese que investigamos, baseada nestes dados, é a de que melhoras na função neuromuscular (i.e. PTI, TDF, EMG, etc.) poderiam influenciar na EC, uma vez que há numerosas evidências de que a EC está relacionada à capacidade de produção força (MILLET et al., 2002; TURNER

et al., 2003; SAUNDERS et al., 2006; ALBRACHT & ARAMPATZIS, 2013). Algumas das variáveis coletadas em nosso estudo dariam suporte específico para tal hipótese, como a TDF, a qual possui influência direta na EC (STØREN et al., 2008). Portanto, se o treinamento de CaED incrementasse a TDF dos músculos estudados, acreditamos que poderia, também, influenciar a EC. Porém, esse tipo de alteração não ocorreu após a aplicação do protocolo de treinamento em nosso estudo.

Outra medida realizada em nosso estudo que, se alterada, poderia induzir melhoras na EC é o STIFF. ARAMPATZIS et al. (2006) demonstraram que indivíduos com maior capacidade de produção de força nos flexores plantares e maior STIFF (medido via ultrassonografia muscular) dos músculos do quadríceps são mais econômicos em 3 diferentes intensidades. Mais recentemente, ALBRACHT & ARAMPATZIS (2013) demonstraram que, após um protocolo de treinamento com duração de 14 semanas, houve aumentos significantes no PTI e STIFF dos flexores plantares que levaram a melhoras também significantes da EC medida em duas diferentes intensidades (10,8 e 12,6 km/h). Baseados em evidências como essas, levantamos a hipótese de que, havendo aumento do STIFF em decorrência do treinamento, os voluntários passariam a ser mais econômicos. A expectativa desse aumento do STIFF foi baseada na teoria da adaptação mecânica do tecido muscular em resposta ao DM, gerando o ECR, como proposto por McHUGH (2003). Todavia, como discutiremos mais a diante, esse fenômeno também não ocorreu.

Por fim, outras medidas que consideramos que poderiam ser alteradas com o treinamento de CaED, influenciando na EC, foram a FQ e Amp de passada. Há evidências na literatura da existência de correlação entre essas (e outras) variáveis biomecânicas com a EC (TARTARUGA et al., 2012). No estudo realizado por YANG et al. (2010), os voluntários apresentaram melhoras significantes da Amp de

passada após o treinamento de CaED. Porém, neste estudo, além de os voluntários serem parkinsonianos, as medidas de cinemática foram realizadas durante a caminhada. Em nosso estudo, a FQ e Amp de passada não foram afetadas após o protocolo de treinamento de CaED. Acreditamos que não houveram alterações nesses marcadores pelo fato do protocolo de treinamento ser baseado na caminhada e não na corrida. A ausência da fase aérea da corrida durante o treinamento pode ter sido um fator importante para a não ocorrência de adaptações nestes marcadores, que se correlacionam positivamente com a EC.

Tendo em vista a manutenção dos valores de EC dos voluntários após o treinamento de CaED, podemos sugerir que este método de treinamento pode não ter modificado variáveis de grande influência neste índice. A maior parte das variáveis neuromusculares, por exemplo, se manteve inalterada. Também não foram encontradas alterações nas outras variáveis relativas ao sistema cardiorrespiratório ( $VO_2\text{max}$  e LL). Portanto, acreditamos que o treinamento de CaED pode ser considerado ineficaz para a melhora de índices de aptidão aeróbia por apresentar estímulos insuficientes para a adaptação do sistema cardiorrespiratório, assim como falta de especificidade às medidas coletadas em teste de EC (i.e., ausência da fase aérea durante o treinamento).

### **8.3. Efeitos do treinamento sobre o sistema neuromuscular**

Não foram identificadas alterações significantes nas variáveis relacionadas à produção de força (PTI, tPTI, TDF, TDFr, tTDF – Tabelas 2 a 6) e sinal eletromiográfico (RMSpti – Figuras 18 e 19) após o protocolo de treinamento. Cabe ressaltar que os outros dois estudos que investigaram os efeitos do treinamento de CaED em humanos, o fizeram em populações especiais. YANG et al. (2010), por

exemplo, utilizaram apenas voluntários portadores da síndrome de Parkinson, que treinaram com assistência de um mecanismo de suspensão que diminuía em 40% o peso corporal. Claramente, esse tipo de população possui níveis baixos de aptidão física, sendo que estímulos de menor intensidade podem ser suficientes para a melhora ou manutenção da força (i.e., PTI). GAULT et al. (2012), por sua vez, investigaram os efeitos da CaED em idosos, que também apresentam menor aptidão física, adaptando-se mesmo a estímulos menos intensos. Porém, mesmo investigando uma população especial, foram encontradas melhoras apenas em testes funcionais de força. A força dinâmica medida por célula de carga se manteve inalterada após o treinamento nos idosos que caminharam em declive.

Não há evidências na literatura que indiquem um possível efeito benéfico da CaED na TDF, TDFr e os tempos em que elas são atingidas. Isso se justifica pelos estudos que utilizaram a caminhada em declive serem realizados em populações especiais com focos mais voltados a alternativas terapêuticas para a manutenção da aptidão física. Em nosso estudo, investigamos a influência da CaED na TDF por essa medida representar uma variável importante dentre os marcadores de aptidão neuromuscular e, principalmente, pelo efeito benéfico que a melhora dessa variável pode causar na EC (STØREN et al., 2008). Como os estudos já existentes envolvendo CaED demonstraram melhoras significantes em valores de produção de força (PTI ou testes funcionais), consideramos importante avaliar se essa modalidade de treinamento também influenciaria uma medida relacionada ao desenvolvimento da mesma, que pode ser importante tanto para a qualidade de vida quanto para a performance (FRANCESCA et al., 2012; MOSTI et al., 2013). Baseado em nossos resultados, não conseguimos identificar alterações em variáveis relacionadas à TDF. Porém, acreditamos ser importante, em futuros estudos,

investigar este tipo de variáveis nas populações especiais que respondem positivamente com o treinamento de CaED.

As medidas realizadas de SITFF também se mantiveram inalteradas após o treinamento, como demonstrado na Figura 20. Houve uma leve variação dos valores de STIFF de ambos os grupos após o treinamento, porém esta diferença não foi significativa. Pode-se considerar o STIFF como um bom marcador de DM em intervenções agudas, uma vez que, depois de danificado, o músculo passa por um processo inflamatório, gerando edema e enrijecimento. Uma das teorias propostas para justificar o ECR leva em conta a proteção mecânica do músculo após o dano muscular, com o aumento do STIFF e do acúmulo de colágeno no músculo afetado (McHUGH, 2003). Todavia, não há estudos de nosso conhecimento que investiguem o efeito crônico do DM induzido pela CaED no STIFF. Acreditamos que um dos motivos de não termos identificado aumentos no STIFF esteja relacionado ao grupo muscular em que essa variável foi coletada. Sabe-se que a CaED e a CrED costumam induzir DM principalmente nos grupos musculares responsáveis pela extensão de joelho e dorsiflexão (ESTON et al., 1995). Entretanto, os protocolos de mensuração de STIFF *in vivo* mais validados e utilizados foram elaborados para avaliar os flexores plantares (ARAMPATZIS et al., 2006; ALBRACHT & ARAMPATZIS, 2013). A dificuldade de avaliar o STIFF dos extensores do joelho e dorsiflexores se dá pela limitação das amplitudes máximas dessas articulações serem limitadas principalmente por estruturas articulares e/ou outras porções do corpo (como a musculatura posterior da coxa, no caso dos extensores do joelho e o calcâneo, no caso dos dorsiflexores). Portanto, acreditamos que possa haver alguma alteração nos valores de STIFF dos grupos musculares citados, porém não temos disponíveis os recursos necessários para avaliá-las.

Além das variáveis referentes à produção de força, sinal eletromiográfico e rigidez do complexo musculo-tendão, foram coletados dados referentes à área de secção transversa. Como se pode notar, ao analisar a Figura 21, o treinamento proporcionou um aumento significativo na ASTmo da perna dos voluntários do grupo DOWN. Assume-se, então, que este tipo de programa de treinamento é capaz de promover aumentos significantes da área de secção transversa da perna. Podemos sugerir que esse aumento significativo da ASTmo encontrado na perna esteja relacionado com o trabalho constante, por meio de contrações excêntricas, da musculatura responsável pela dorsiflexão (SCHOENFELD, 2012). Acreditamos que, por os dorsiflexores serem um grupo muscular pouco sobrecarregado em atividades cotidianos, quando exercitado por meio da CaED, é acometido pelo DM, e pode apresentar uma resposta adaptativa (neste caso, hipertrófica) acentuada. Outra possibilidade, frente ao aumento encontrado na ASTmo dos dorsiflexores, seria a não recuperação total do DM causado pelas últimas sessões de treinamento quando essa medida foi avaliada. Essa possibilidade justificaria não só o aumento da ASTmo (ocorrido devido ao edema resultante do processo inflamatório causado pelo DM) como a manutenção da força muscular após o protocolo de treinamento, considerando que o grupo muscular (não recuperado do DM) ainda não seja capaz de exercer sua tensão máxima durante a avaliação.

## 9. CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi investigar a influência de um protocolo de treinamento de CaED de curta duração em índices de aptidão aeróbia e neuromuscular, testando a hipótese que este protocolo seria suficiente para gerar melhorias nas variáveis coletadas em voluntários jovens e ativos. Os dados obtidos durante as sessões de treinamento indicaram que os grupos CON e DOWN se exercitaram em domínios de intensidade de exercício similares ao longo das semanas de treinamento (i.e., moderado). Todavia, considerando a sobrecarga sobre o sistema neuromuscular, nossos dados apontam para a existência de DM durante o treinamento apenas para o grupo DOWN.

Nenhum dos índices de aptidão aeróbia coletados neste estudo foram influenciados pelo treinamento de CaED. Acreditamos que a manutenção desses índices se justifique pela insuficiência dos estímulos para o sistema cardiorrespiratório, uma vez que a intensidade do exercício, quando medida pelo  $VO_2$  e outras variáveis relacionadas, foi igual à do grupo controle. Baseados nisso, podemos concluir que a CaED não pode ser considerada como uma alternativa eficaz para a melhoria de índices de aptidão aeróbia em indivíduos jovens e ativos.

Dos índices de aptidão neuromuscular coletados, apenas a ASTmo da perna dos voluntários do grupo DOWN apresentou um aumento significativo após o treinamento. Consideramos que essas adaptações tenham ocorrido em função da ocorrência do DM nos membros inferiores dos voluntários do grupo DOWN e, especificamente, nos músculos responsáveis pelo dorsiflexão, levando em conta as características biomecânicas da CaED. As alterações encontradas na ASTmo da perna dos voluntários do grupo DOWN indicam que o treinamento de CaED pode apresentar uma resposta hipertrófica mesmo quando realizado em períodos curtos.

Portanto, uma recomendação para futuros trabalhos seria testar protocolos mais longos de treinamento, investigando não apenas a ASTmo, mas também outras variáveis relacionadas ao sistema neuromuscular.

## 10. LIMITAÇÕES

Como limitação do estudo, acreditamos que o fato de haver aumento da sobrecarga a cada semana pode ter interferido no treinamento, uma vez que as intensidades adotadas nos primeiros blocos de treinamento podem ter representado estímulos insuficientes para os sistemas cardiovascular e neuromuscular. Dessa forma, sugerimos que, em próximos estudos, se adote velocidade inicial de 6 km/h para o grupo de CaED, pois a essa velocidade foram encontradas alterações significantes em marcadores de DM.

Outra limitação identificada em nosso estudo foi a avaliação do STIFF em apenas um grupo muscular (os flexores plantares). Há a possibilidade da avaliação dessa variável em diversos outros grupos musculares, porém essa técnica exige o uso de aparelhos como um ultrassom portátil. Quando da disponibilidade deste tipo de tecnologia, acreditamos que a avaliação do STIFF dos dorsiflexores seria importante após um protocolo de CaED, uma vez que há sobrecarga considerável sobre este grupo muscular durante essa modalidade de treinamento.

Também consideramos como uma limitação do estudo o não monitoramento da produção de força como indicador de DM ao longo das sessões de treinamento, como foi feito com a CK e PSD. O PTI ou isocinético concêntrico pode ser considerado como um dos principais e mais confiáveis marcadores de DM, porém, se coletado muito frequentemente, pode servir como estímulo de treinamento, enviesando a avaliação final de produção de força. Da mesma forma, consideramos que o monitoramento de marcadores de DM durante semana de coletas pós-treinamento seria útil para garantir a não existência de efeitos residuais do DM, comprometendo as avaliações.

Por fim, a duração do protocolo de treinamento pode ser considerada como uma limitação. Acreditamos que um período de treinamento mais longo levaria a resultados mais definidos, independente da eficácia do treinamento. A não concordância de alguns resultados entre si e com a literatura pode ter ocorrido devido ao curto de período de treinamento. Dessa forma, acreditamos que 6 a 8 semanas de treinamento sejam suficientes para a elaboração de protocolos de treinamento de CaED em futuros estudos.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, P. et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J. Appl. Physiol*, Bethesda, v.93, p.1318–1326, 2002.

ABE, T.; KEARNS, C. F.; SATO Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J. Appl. Physiol.*, Bethesda, v.100, p.1460–1466, 2006.

AHMADI, S.; SINCLAIR, P. J.; DAVIS, G. M. Muscle oxygenation after downhill walking-induced muscle damage. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, Gemma Alvarez, v. 28, p. 55-63, 2008.

ALBRACHT, K; ARAMPATZIS, A. Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, Heidelberg, ahead of print, 2013.

ANDERSEN, L.; AAGAARD, P. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, Heidelberg, v. 96, n. 1, p. 46-52, 2006.

ANDERSEN, L. et al. Early and late rate of force development: different adaptive responses to strength training? *Scan. J. Med. Sci. Sports*, Malden, v. 20, n. 1, p. 162-9, 2010.

ARAMPATZIS, A. et al. Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. *The Journal of Experimental Biology*, v. 209, n. 17, p. 3345-57, 2006.

BASSET, D. R. Jr.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v. 32, n. 2, p. 70-84, 2000.

BEAUDOIN, C.; WHATLEY, B. Flexibility and running economy in female collegiate track athletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, Torino, v. 45, n. 3, p. 295-300 (2005).

BRAUN, W.; PAULSON, S. The effects of a downhill running bout on running economy. *Res. Sports. Med., Philadelphia*, v. 20, n 3-4, p. 274-85, 2012

BRENTANO, M.; KRUEL, L. A review on strength exercise-induced muscle damage: applications, adaptation mechanisms and limitations. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, Torino, v. 51, p. 1-10, 2011.

BYRNES, W. C.; CLARKSON, P. M.; WHITE, J. S. et al. Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running. *J. Appl. Physiol.*, Bethesda, v. 59, n. 3, p. 710-15, 1985.

CHAPMAN, D. et al. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int. J. Sports Med.*, Stuttgart, v. 27, n. 8, p. 591-8, 2006.

CHEN, T. C.; NOSAKA, K.; TU, J. H. Changes in running economy following downhill running. *J. Sports Sci.*, Philadelphia, v. 25, n 1, p. 55-63, 2007.

CHEN, T. C.; CHEN, H. L.; CHANG, J. U. Changes in running economy following a repeated bout of downhill running. *J. Exerc. Sci. Fit*, v. 5, n. 2, p. 109-17, 2007b.

CHEN, T.C.; NOSAKA, K.; WU, C. Effects of a 30-min running performed daily after downhill running on recovery of muscle function and running economy. *J. Sci. Med. Sports*, Belconnen, v. 11, n. 3, p. 271-79, 2008.

CHEN, T. C. et al. Changes in running economy at different intensities following downhill running. *J. Sports Sci.*, Philadelphia, v. 27, n. 11, p. 1137-44, 2009.

CLARKSON, P. M.; HUBAL, M. J. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am. J. Phys. Med. Rehabil*, Baltimore, v. 81, n. 11, p. S52-69, 2002.

CONLEY, D. L.; KRAHENBUHL, G. S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v. 12, n. 5, p. 357-60, 1980.

COSTILL, D. L.; THOMASON, H.; ROBERTS, E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v. 5, n. 4, p. 248-52, 1973.

COYLE, E. F. et al. Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J. Appl. Physiol.*, Bethesda, v. 64, n. 6, p. 2622-30, 1988.

CRAIB, M. et al. The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, Hagerstown, v. 28, n. 6, p. 737-43, 1996.

DANIELS, J. T.; A Physiologist's view of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v. 17, n. 3, p. 332-8, 1985.

DAVIES, W. J. et al. Concurrent training enhances athletes' strength, muscle endurance, and other measures. *J. Strength Cond. Res.*, Colorado Springs, v. 22, n. 5, p. 1487-502, 2008.

DENADAI, B. S.; BALIKIAN P. J. Relação entre o limiar anaeróbio e a performance no short triathlon. *Revista Paulista de Educação Física*, São Paulo, v. 9, p. 10-15, 1995.

DENADAI, B. S. Aspectos fisiológicos relacionados com a economia de movimento. *Rev. Bras. Ativ. Fís. Saúde*, Londrina, v. 1, p. 59-73, 1996.

DENADAI, B. S. *Índices fisiológicos de avaliação aeróbia*. Rio Claro: Motrix, 1999, p.76.

ESTON, R.G.; MICKLEBOROUGH, J.; BALZOPoulos, V. Eccentric activation and muscle damage: biomechanical and physiological considerations during downhill running. *Br. J. Sp. Med.*, Loughborough, v. 29, n. 2, p. 89-94, 1995.

FLETCHER, J. R.; ESAU, S. P.; MACINTOSH, B. R. Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners. *European Journal of Applied Physiology.*, Heidelberg, v.110, p.1037–1046, 2010.

FRANCESCA, P.M. et al. Concurrent strength and endurance training effects on running economy in master endurance runners. *J. Strength Cond. Res.*, Colorado Springs, ahead of print, 2012.

GAULT, M.; CLEMENTS, R.; WILLEMS, M. Functional mobility of older adults after concentric and eccentric endurance exercises., *European Journal of Applied Physiology*, Heidelberg, v. 112, n. 11, p. 3699-707, 2012.

GUGLIELMO, L. G.; GRECO, C. C.; DENADAI, B. S. Effects of strength training on running economy. *Int. J. Sports. Med.*, v. 30, n. 1, p. 27-32, 2009.

GY, N. et al. Enforced bipedal downhill running induces Achilles tendinosis in rats. *Connect. Tissue Res.*, New York, v. 52, n 6, p. 466-71, 2011.

HAHN, S. A. et al. Downhill treadmill running trains the rat spinotrapezius muscle. *J. Appl. Physiol.* Bethesda, v. 102, p. 412-16, 2007.

HERMENS, H. et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, New York, v. 10, p. 361-74, 2000.

HUNTER, G. et al. Tendon length and joint flexibility are related to running economy. *Med. Sci. Sports Exec.*, Hagerstown, v. 43, n. 8, p. 1492-9, 2011.

JONES, A. Running economy is negatively related to seat-and-reach test performance in international-standard distance runners. *Int. J. Sports Med.* Stuttgart, v. 23, n. 1, p. 40-3, 2002.

KAMANDULIS, S. et al. Monitoring markers of muscle damage during a 3 week periodized drop-jump exercise programme. *J. Sports Sci.* Philadelphia, v. 29, n. 4, p. 345-53, 2011.

KYRÖLÄINEN, T. et al. Effects of marathon running on running economy and kinematics. *European Journal of Applied Physiology.* Heidelberg, v. 4, n. 4, p. 297-304, 2000.

LIMA, L.; DENADAI, B. Efeito protetor após sessões de exercício excêntrico: comparação entre membros superiores e inferiores. *Motriz*, Rio Claro, v. 17, n. 4, p. 738-47, 2011.

LYNN, R.; MORGAN, D. L. Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. *J. Appl. Physiol.*, Bethesda, v. 77, n. 3, p. 1439-44, 1994.

MALM, C.; LENKEI, R.; SJÖDIN, B. Effects of eccentric exercise on the immune system in men. *J. Appl. Physiol.*, Bethesda, v. 86, n. 2, p. 461-8, 1999.

MARCORA, S.; BOSIA, A. Effects of exercise-induced muscle damage on endurance running performance in humans. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, Malden, v. 17, n. 6, p. 662-71, 2007.

MAYHEW, D. L.; THYFAULT, J. P.; KOCH, A. J. Rest-interval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. *J. Strength Cond. Res.*, Colorado Springs, v. 19, n. 1, p. 16-22, 2005.

McHUGH, M. P. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, Malden, v. 13, n. 2, p. 88-97, 2003.

MCNAIR, P. J.; DOMBROSKI, E. W.; HEWSON, D. J.; STANLEY, S. N. Stretching at the ankle joint: viscoelastic responses to holds an continuous passive motion. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v.33, p.354-358, 2001.

MILLET, G. P. et al. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO<sub>2</sub> kinetics. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v. 34, n. 8, p. 1351-9, 2002.

MOJOCK, C. D. et al. The effects of static stretching on running economy and endurance performance in female distance runners during treadmill running. *J. Strength Cond. Res.*, Colorado Springs, v. 25, n. 8, p. 2179-6, 2011.

MOORE, I.; JONES, A.; DIXON, S. Mechanisms for improved running economy in beginner runners. *Med. Sci. Sports. Exec.*, Hagerstown, ahead of print, 2012.

MORGAN, D. W. et al. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO<sub>2</sub>max among well-trained male runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v. 21, n. 1, p. 78-83, 1989.

MORGAN, D.W.; CRAIB, M. Physiological aspects of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v.24, n. 4, p. 456-61, 1992.

MOSTI, M.P.; et al. Maximal strength training in postmenopausal women with osteoporosis or osteopenia. *J. Strength Cond. Res.*, Colorado Springs, ahead of print, 2013.

MYERS, M.; STEUDEL, K. Effects of limb mass and its distribution on the energetic cost of running. *J. Exp. Biol.*, Cambridge, v. 116, p. 363-737, 1985.

NELSON, A. G. et al. Chronic stretching and running economy. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, Malden, v. 11, n. 5, p. 260-5, 2001.

NORDEZ, A.; CORNU, C.; McNAIR, P. Acute effects of stretching on passive stiffness of hamstring muscle calculated using different mathematical models. *Clinical Biomechanics*, Oxford, v.21, p.755-760, 2006.

NOSAKA, K. et al. How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v. 33, n. 9, p. 1490-5, 2001.

ONAMBELE-PEARSON, G.; PEARSON, S. The magnitude and character of resistance-training-induced increase in tendon stiffness at old age is gender specific. *Age*, Dordrecht, v. 34, n. 2, p. 427-38, 2012.

NOTTLE, C.; NOSAKA, K. The magnitude of muscle damage induced by downhill backward walking. *J. Sci. Med. Sports*, Belconnen, v. 8, n. 3, p. 264-73, 2005.

ORTIZ, M. J. et al. Efeitos do treinamento aeróbio de alta intensidade sobre a economia de corrida em corredores de endurance. *R. Bras. Ci. Mov.*, Brasília, v. 11, n. 3, p. 53-56, 2003.

PASCHALIS, V. et al. The effects of muscle damage on running economy in healthy males. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, Malden, v. 26, p. 827-31, 2005.

PEREIRA, C. et al. A new overtraining protocol for mice based on downhill running sessions. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.*, Carlton ahead of print, 2012

RADAELLI, R. et al. Espessura e qualidade musculares através de ultrassonografia: influência de diferentes locais de mensuração. *Rev. Bras. de Cineantrop. Desempenho Hum.*, Florianópolis, v. 13, n. 2, p. 87-93, 2011.

SAUNDERS, P. et al. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J. Appl. Physiol.*, Bethesda, v. 96, n. 3, p. 931-7, 2003.

SAUNDERS, P. et al. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *J. Strength. Cond. Res.*, Colorado Springs, v. 20, n. 4, p. 947-54, 2006.

SCHOENFELD, B. J. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J. Strength. Con. Res.*, v. 26, n. 5, p. 1441-53, 2012.

SEYNNES, O. et al. Training-induced changes in structural and mechanical properties of the patellar tendon are related to muscle hypertrophy but not to strength gains. *J. Appl. Physiol.*, Bethesda, v. 107, n. 2, p. 523-30, 2009.

STANTON, R.; REABURN, P. R.; HUMPHRIES, B. The effect of short-term Swiss ball training on core stability and running economy. *J. Strength Cond. Res.*, Colorado Springs, v. 18, n. 3, p. 522-8, 2004.

STØREN, O. et al. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Hagerstown, v. 40, n. 6, p. 1087-92, 2008.

TARTARUGA, M. P. et al. The relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. *Res. Q. Exerc. Sport*, Reston, v. 83, n. 3, p. 367-75, 2012.

TURNER, A. M.; OWINGS, M.; SCHWANE, J. A. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *J. Strength Cond. Res.*, Colorado Springs, v. 17, n. 1, p. 60-7, 2003.

WEST, D.; PHILIPS, S. Associations of exercise-induced hormone profiles and gains in strength and hypertrophy in a large cohort after weight training. *European Journal of Applied Physiology*, Heidelberg, v. 112. N. 7, p. 2693-702, 2012.

YANG, Y. R. et al. Downhill walking training in individuals with Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, Baltimore, v. 89, n. 9, p. 706-14, 2010.

## **ANEXO 1 – Termo de consentimento livre e esclarecido**

### ***TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - (TCLE)***

#### **(Conselho Nacional de Saúde, Resolução 196/96)**

Você está sendo convidado para participar, como voluntário, em uma pesquisa. Após ser esclarecido sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assinie ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa você não será penalizado de forma alguma. Em caso de dúvida você pode procurar o Laboratório de Avaliação da Performance Humana no telefone (19) 3526-4325 ou o pesquisador responsável.

A pesquisa para a qual você está sendo convidado possui o seguinte título: “Efeitos do treinamento de caminhada em declive sobre índices de aptidão aeróbia”

O objetivo desta pesquisa é observar quais serão as alterações que poderão ocorrer em sua circulação sanguínea, respiração e músculos devido ao treinamento que será realizado. Essas alterações podem modificar a sua capacidade de gerar força muscular e de realizar exercícios de longa duração (caminhada, corrida).

A duração total da pesquisa será de sete semanas, sendo as duas primeiras para você se acostumar aos aparelhos que serão utilizados e fazer os testes iniciais e a última para repetir os mesmos testes. As outras quatro semanas serão para o treinamento, que será realizado 5 dias por semana.

Haverá dois grupos de voluntários na pesquisa. Um grupo irá treinar em uma esteira caminhando em descida (com inclinação negativa) a 5,0 km/h (grupo treino) durante as quatro semanas. O outro grupo realizará o mesmo treino, mas caminhará no plano (grupo controle). Você será colocado em um dos dois grupos por meio de sorteio, sendo assim, poderá ou não ser colocado no grupo que irá treinar em descida.

Vale informá-lo que toda pessoa que for realizar os testes terá acesso aos seus resultados, assim como a garantia de esclarecimentos, antes e durante a realização da pesquisa. Nenhum resultado será divulgado ou levado ao conhecimento de pessoas estranhas ao Laboratório de Avaliação da Performance Humana, sem a sua autorização expressa. Você poderá abandonar os testes a qualquer momento, sem prestar qualquer tipo de esclarecimento, sem nenhum tipo de prejuízo, mas devendo comunicar sua decisão ao pesquisador responsável o quanto antes. Você terá sempre o acompanhamento e assistência de um membro do laboratório durante todos os treinos e testes que serão realizados. Todos os procedimentos e testes da pesquisa serão explicados a você mais detalhadamente pelo pesquisador, e caso haja qualquer dúvida você pode questioná-lo a qualquer momento.

Quanto aos testes que você terá que fazer, estes serão necessários, pois são os mais precisos e ideais disponíveis no momento pelo Laboratório de Avaliação da Performance Humana.

Primeiramente os pesquisadores o levarão a cidade de Limeira – SP para que seja feita uma imagem (ultrassonografia) de alguns músculos da sua perna e coxa. Este exame é indolor, não invasivo e será feito por um médico especialista em imagem (ultrassonografia) na clínica Ultraview S/C Ltda. A ultrassonografia será feita para observar possíveis alterações no tamanho da musculatura devido ao treinamento.

Posteriormente, você fará três testes de corrida em uma esteira rolante. No primeiro a velocidade inicial será bem baixa (6 km/h) e a cada 3 min a mesma será aumentada de 1 km/h até 10 km/h (intensidade moderada). A cada intervalo de 3 minutos os pesquisadores irão coletar de sua orelha aproximadamente duas gotas de sangue. Após um período de 30 minutos de intervalo deste teste, você fará o teste para medir sua capacidade máxima em exercício aeróbico, que começará com a mesma velocidade que foi interrompida o teste anterior, tendo aumentos na velocidade de forma constante, até que você se canse e peça para parar a esteira, que será parada no mesmo instante. Durante este teste você utilizará uma máscara que cobre a boca e o nariz (sem impedir a respiração) que permite a análise do ar expirado. O último teste na esteira, que será realizado em dia diferente dos outros dois, será então o que observa o gasto energético da corrida. Este terá a duração de oito minutos, e será feito com a velocidade obtida no primeiro teste (intensidade leve). Durante o sexto e sétimo minutos será feita uma filmagem em vídeo apenas de suas pernas, para depois serem feitas medidas do comprimento da sua passada.

Além dos testes da esteira, você fará alguns testes em um aparelho que mede a força que você é capaz de exercer em determinadas articulações do seu corpo. Este aparelho será apresentado para você pelo pesquisador, assim como o detalhamento de todas as posições que serão feitos os testes. Será observado a sua capacidade de estender (músculos da parte da frente da coxa) e flexionar (músculos da parte de trás da coxa) o joelho, estender (músculos da parte da frente da perna) e flexionar o tornozelo (músculos da parte de trás da perna). Durante esses testes será utilizado ao mesmo tempo um aparelho que observa a atividade elétrica dos músculos e para utilizá-lo, alguns adesivos (eletrodos) serão colados em cima desses músculos. Para a colocação desses eletrodos será necessária a raspagem dos pelos da região suficiente para que os eletrodos fiquem diretamente em contato com a pele. Assim como para a coleta de sangue, todos os cuidados necessários de higiene e limpeza serão tomados pelos pesquisadores, como, utilização de luvas, avental e materiais descartáveis.

O treinamento que será realizado terá ao todo vinte sessões, sendo estas divididas em cinco vezes por semana, totalizando 4 semanas. O treino consistirá de vinte minutos de caminhada em esteira em uma velocidade bem baixa (5,5 km/h), com inclinação negativa (descida). A cada semana a inclinação da esteira irá diminuir (fazendo a descida ficar mais íngreme). Será permitido durante o treinamento que você falte duas vezes seguidas ou alternadas ao treino, sem necessidade de reposição. Mais do que duas faltas apenas se houver reposição em dias diferentes (sábado ou domingo).

É necessário informá-lo dos riscos e benefícios que envolvem esta pesquisa. Sendo assim, seguem abaixo algumas considerações.

O que se observa com maior frequência devido ao treinamento em declive, são dores nas pernas e glúteos, que acontecem por causa de um processo inflamatório controlado, gerado por microlesões nos músculos que são utilizados. Também poderá ocorrer um inchaço na região das coxas devido ao mesmo processo inflamatório já citado. É recomendado que, durante os dias de treino, você beba bastante água, para atenuar esses sintomas e prevenir alguns outros sintomas como a rbdomiólise (lesão no músculo) que acontece quando um músculo está desidratado e passa por uma contração intensa.

Os riscos presentes nas sessões dos testes de corrida, por envolver a utilização da esteira rolante, são possíveis lesões musculoesqueléticas, traumatismos em geral, arritmias cardíacas, respostas atípicas da pressão arterial e até, em casos raros, ataques cardíacos, assim como inflamação e infecção devido a coleta de sangue no lóbulo da orelha. Porém, estes eventos ocorrem com baixa frequência nas condições laboratoriais, além dos voluntários terem a chance de se adaptar ao uso da esteira, todos os procedimentos necessários de proteção e higiene para a coleta de sangue serão tomados pelos pesquisadores, como, utilização de luvas, avental e materiais descartáveis, diminuindo ainda mais o risco de

acidentes. Na ocorrência de algum acidente, os riscos tendem a ser minimizados pelas condições de pronto-atendimento e pelo chamado da Unidade de Resgate do Corpo de Bombeiros, com equipamentos médicos e motorista, auxiliar e encarregado, para a realização dos primeiros socorros. Caso necessário, você será transportado por esta equipe para um hospital.

Os benefícios esperados e provenientes desse tipo de treinamento são, inicialmente, o aumento da força e do tamanho muscular dos membros inferiores (perna e coxa). Além disso, há algumas evidências, apesar de poucas e inconclusivas, de que também possam ocorrer adaptações circulatórias, como a diminuição a frequência cardíaca, aumento do volume de sangue bombeado pelo coração e aumento da aptidão aeróbia (capacidade de realizar atividades de longa duração).

## **INFORMAÇÕES PESSOAIS**

**Nome:**

**Sexo:** M( ) F( ) **Data de Nascimento:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Endereço:**

**Telefone para contato:**

**Data:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

---

Assinatura do Voluntário

## **INFORMAÇÕES DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL E DO ORIENTADOR**

**Pesquisador Responsável:** Leonardo Coelho Rabello de Lima – RG: 44.991.618-2

**Cargo/Função:** Aluno de Mestrado

**Curso:** Desenvolvimento Humano e Tecnologias

**Instituição:** Universidade Estadual Paulista

**Endereço:** Av. 24 a, 1515, Bela Vista, Rio Claro, SP

**Dados para Contato:** fone (19) 9668-5358 e-mail: leonardocrlima@gmail.com

**Orientador:** Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai

**Cargo/função:** Professor Titular

**Instituição:** Universidade Estadual Paulista

**Endereço:** Av. 24 a, 1515, Bela Vista, Rio Claro, SP

**Dados para Contato:** fone (19) 3526-4325 e-mail: [bdenadai@rc.unesp.br](mailto:bdenadai@rc.unesp.br)

---

Assinatura do Pesquisador Responsável

---

Assinatura do Orientador