

Mariana Fernandes Mendes de Oliveira

**EFEITO DE QUATRO SEMANAS DE TREINAMENTO SOBRE  
OS ÍNDICES DE APTIDÃO AERÓBIA E FORÇA MUSCULAR:  
INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE E DA OCLUSÃO DE FLUXO  
SANGUÍNEO.**

Tese submetida ao Programa de Pós-  
Graduação em Educação Física da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de  
Doutor em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Benedito Sérgio  
Denadai

Florianópolis  
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Oliveira, Mariana Fernandes Mendes de  
EFEITO DE QUATRO SEMANAS DE TREINAMENTO SOBRE OS  
ÍNDICES DE APTIDÃO AERÓBIA E FORÇA MUSCULAR: INFLUÊNCIA DA  
INTENSIDADE E DA OCLUSÃO DE FLUXO SANGUÍNEO. / Mariana  
Fernandes Mendes de Oliveira ; orientador, Benedito  
Sérgio Denadai - Florianópolis, SC, 2014.  
103 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Desportos. Programa de Pós-Graduação em  
Educação Física.

Inclui referências

1. Educação Física. 2. Restrição de fluxo sanguíneo. 3.  
Treinamento intervalado. 4. Força muscular. 5. Aptidão  
aeróbia e ciclismo. I. Denadai, Benedito Sérgio . II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-  
Graduação em Educação Física. III. Título.

Mariana Fernandes Mendes de Oliveira

**EFEITO DE QUATRO SEMANAS DE TREINAMENTO SOBRE OS ÍNDICES DE APTIDÃO AERÓBIA E FORÇA MUSCULAR: INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE E DA OCLUSÃO DE FLUXO SANGUÍNEO.**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor em Educação Física”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Educação Física.

Florianópolis, 21 de fevereiro de 2014.

---

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo  
Coordenador do Curso Pós Graduação em Educação Física

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai, Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Profa. Dra. Rosane Carla Rosendo da Silva  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Profa. Dra. Carmen Silvia Grubert Campbell  
Universidade Católica de Brasília

---

Prof. Dr. Carlos Ugrinowitsch  
Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho aos meus pais  
Celso e Rita, a minha irmã Isabel e seu  
marido Pedro, ao meu companheiro de  
aventuras Fabrizio e aos meus filhos  
Caio e Alexandre.

## AGRADECIMENTOS

Ao Fabrizio pela fundamental colaboração para que esse trabalho fosse realizado do começo ao fim, por ele ser o meu companheiro de aventuras (o melhor do mundo) e por ter me dado as coisas mais importantes que eu tenho na vida, nossos filhos Caio e Alexandre.

Ao meu orientador Prof. Dr. Benedito Sergio Denadai, pela enorme paciência e pela prontidão com que sempre me atendeu. Também agradeço a amizade e exemplo de caráter que certamente inspira a todos os seus alunos.

Ao Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, por tudo e mais um pouco. Luiz além de ser um grande amigo sempre esteve disposto a ajudar, tem um papel fundamental na minha pós-graduação inteira. Agradeço também a Alcy, que virou minha irmã de coração, e sempre se esforça para que nossos filhos (Gui e Caio) sejam grandes amigos. Sem essa família tudo seria muito mais difícil.

A Prof. Dra. Camila Coelho Grecco, pela minha formação inicial e enorme amizade que conseguimos desenvolver ao longo desses anos. Afinal ela é minha “mãe postiça”...

Ao Rogério Bulhões Corvino, por toda a ajuda, não só neste trabalho mais como em outros trabalhos que tenho orientado. Rogério foi fundamental nas coletas, sempre presente e disposto. Apesar de eu ter que aguentar as músicas ruins que ele colocava durante os treinos, ele é uma grande pessoa uma peça fundamental do laboratório, é o cara que une a todos nós sempre. Grande coração...

Ao Ricardo Dantas (Tronco) e a Pati (Tronca), e meus sobrinhos amados João, Beatriz e Eduardo por estarem sempre presentes na nossa vida. Pessoas maravilhosas de conviver, boas conversas e risadas. Acho que posso dizer que somos uma família.

Aos integrantes do laboratório que são pessoas ótimas e muito competentes. Sempre me ajudaram em tudo que foi preciso, cada um deles de um jeito especial e único.

A Bruna e o Bola pela amizade, valeu casal de pequenos grandes amigos, pelos pedais de MTB e pelas muitas aventuras que passamos juntos. Sentimos muita falta de vocês.

A Mariana Cordeiro, minha amiga de infância que tem feito cada vez mais parte da minha vida. Tem me ensinado muitas coisas, é uma pessoa boa demais, sem maldade e se importa muito com o próximo. Obrigada pela energia positiva que você sempre traz a minha família.

A todos os sujeitos que participaram dos treinos, deram seu sangue e sofrimento literalmente para que esse trabalho fosse possível. Foi uma convivência temporária bastante prazerosa.

A minha irmãzinha Isabel, por ser minha *personal stile*, a médica da família e sempre estar cuidando do pai e da mãe de pertinho. Ao Pedrinho por ser quase um irmão. Padrinhos dos meus filhos, muito amados.

Aos meus pais Celso e Rita por todos os anos de dedicação, sacrifício, por tudo que eles abriram mão em nosso benefício, é uma lista que não tem fim. Agradeço especialmente pela educação que eles sempre consideraram prioridade. Afinal sem eles nada disso existiria.

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar e comparar os efeitos de quatro diferentes tipos de treinamento aeróbio sobre parâmetros relacionados à aptidão aeróbia e a força muscular. Trinta e quatro sujeitos fisicamente ativos, do sexo masculino e feminino, foram randomicamente divididos em quatro grupos de treinamento intervalado (TI): alta intensidade (AI,  $n = 9$ ), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS,  $n = 9$ ), baixa intensidade (BI,  $n = 6$ ) ou combinado AI e RFS na mesma sessão de treinamento (AI + RFS,  $n = 10$ ). Os sujeitos realizaram, antes e após quatro semanas de treinamento: 1) testes progressivos até a exaustão para a determinação do início do acúmulo de lactato sanguíneo (OBLA), do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) e da potência máxima ( $P_{max}$ ); 2) testes de carga constante até a exaustão voluntária ( $T_{lim}$ ) nas intensidades de 95 e 110% da  $P_{max}$  para determinação da Potência Crítica (PC); 3) Três testes de carga constante na intensidade de 30% da  $P_{max}$ , para determinação da constante de tempo da cinética do consumo de oxigênio ( $\tau$ ); 4) determinação da força isométrica máxima dos músculos extensores do joelho. Durante o período de 4 semanas todos os grupos realizaram 12 sessões de treino compostas por 2 séries de 5 repetições na primeira semana (com adição de 2 repetições a cada três sessões). Cada repetição teve duração de 2 min, intercaladas com 1 min de descanso passivo. O grupo BI e RFS realizaram o treinamento a 30% da  $P_{max}$ , porém para o grupo RFS foi aplicada uma pressão externa (140-200mmHg) nos membros inferiores apenas durante o exercício. O grupo AI iniciou a repetição a 110% da  $P_{max}$  e reduziu 5% a cada 30 seg. O grupo AI + RFS realizou uma série semelhante ao grupo AI e a outra igual ao grupo RFS. Apesar do tempo (MCKENNA et al.) das sessões serem iguais para todos os grupos, o trabalho total e a frequência cardíaca foram diferentes entre os grupos AI (4424 kJ e 96 % $FC_{max}$ ), AI + RFS (2583 kJ e 84 % $FC_{max}$ ) e RFS (1300 kJ 70 % $FC_{max}$ ). Os resultados demonstram que os parâmetros aeróbios ( $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , PC, OBLA e cinética do  $VO_2$ ) obtiveram melhoras percentuais significantes e com magnitude semelhante após 4 semanas de treinamento para os grupos AI (10; 15; 20; 25 e 34%, respectivamente), AI + RFS (5; 11; 16; 22 e 28%, respectivamente) e RFS (5; 11; 15; 22 e 20%, respectivamente). Porém apenas o grupo RFS foi eficiente em melhorar (10%) concomitantemente a força isométrica máxima. Assim, podemos concluir que o treinamento com RFS foi superior aos demais treinos

pelo fato de melhorar concomitantemente as variáveis aeróbias e a força isométrica máxima.

**Palavras-chave:** Treinamento intervalado; restrição de fluxo sanguíneo; força muscular; aptidão aeróbia e ciclismo.

## ABSTRACT

The aim of this study was to analyze and compare the effects of four different aerobic training modes on parameters of aerobic fitness and muscular strength. Thirty-four active male and female subjects were randomly assigned to one of four interval training (IT) groups: high intensity (HI,  $n = 9$ ), low-intensity blood flow restriction (BFR,  $n = 9$ ), low-intensity (LOW,  $n = 6$ ) or combined HI and BFR on the same training session (HI + RFS,  $n = 10$ ). Before and after 4 weeks intervention period, all subjects completed: 1) incremental test until voluntary exhaustion to determine onset blood lactate accumulation (OBLA), maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ) and maximal power output ( $P_{max}$ ); 2) time to exhaustion ( $T_{lim}$ ) at 95 e 100% of  $P_{max}$  to determine Critical Power (CP); 3) three constant load at 30% of  $P_{max}$ , to determine the time constant ( $t$ ) of the  $VO_2$  kinetics; and 4) maximal isometric knee extension strength. During the four weeks intervention period all groups performed 12 training sessions consisted of 2 sets of 5-8 repetitions. Each repetition lasted 2-min, interspersed by 1-min passive rest. The training intensity was maintained at 30%  $P_{max}$  for LOW and BFR, and at  $\sim 103\%$   $P_{max}$  (starting at 110%  $P_{max}$  and then, decreasing 5%  $P_{max}$  at each 30s) for HIT. BFR+HIT performing one set of each training mode (BFR and HIT) in the same training session. During BFR training mode a cuff was inflated (140-200mmHg) during the exercise bouts and deflated during rest intervals. After completing three sessions, one repetition/set was added per week. Even though the similar session duration among all groups, total work and heart rate were significantly different among AI (4424 kJ e 96 % $FC_{max}$ ), AI + RFS (2583 kJ e 84 % $FC_{max}$ ) and RFS (1300 kJ 70 % $FC_{max}$ ). Our results showed that the magnitude of significant training-induced score changes percentages from aerobic parameters were similar among AI (10; 15; 20; 25 e 34%, respectively), AI + RFS (5; 11; 16; 22 e 28%, respectively) and RFS (5; 11; 15; 22 e 20%, respectively). However, the training-induced strength change score percentage (10%) was only significant in BFR. Therefore, it can be concluded that the training with BFR was better compared to all other training modes due to concomitantly improvements on both aerobic parameters and maximal isometric strength.

**Key-words:** Interval training; blood flow restriction; muscle strength; aerobic fitness; cycling.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Delineamento experimental..... 43
- FIGURA 3. Resposta do  $VO_2$  (○) e da FC (■) durante a primeira e a última sessão de treinamento intervalado para um sujeito representativo de cada grupo: alta intensidade (AI), combinado (AI+RFS), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) e baixa intensidade (BI)..... 53
- FIGURA 4. Variação percentual ( $\Delta$ ) das variáveis  $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , OBLA e Força Isométrica Máxima antes e após 4 semanas de treinamento intervalado de alta intensidade (○AI), combinado (□AI+RFS), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo ( $\Delta$  RFS) e baixa intensidade sem restrição de fluxo sanguíneo ( $\diamond$  BI). \* Diferença significativa..... 56
- FIGURA 5. Correlação entre as melhoras percentuais e os valores iniciais (pré treinamento) para as variáveis aeróbias  $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , PC e OBLA dos grupos que apresentaram melhora significativa (AI, AI + RFS e RFS). ..... 60
- FIGURA 6. Correlação entre as melhoras percentuais e os valores iniciais (pré treinamento) de força isométrica para o grupo de treinamento intervalado de baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS)..... 61

## **LISTA DE TABELA**

- TABELA 1. Valores médios  $\pm$  desvio padrão (DP) das características físicas dos sujeitos dos grupos alta intensidade (AI), combinado (AI + RFS), baixa Intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) e baixa intensidade (BI) antes a apos 4 semanas de treinamento..... 51
- TABELA 2. Descrição do treinamento dos grupos alta intensidade (AI), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS), baixa intensidade (BI) e combinado AI e RFS (AI + RFS). ..... 52
- TABELA 3. Valores médios  $\pm$  DP das variáveis aeróbias e da força isométrica máxima antes e após 4 semanas de treinamento intervalado para os grupos alta intensidade (AI), combinado (AI+RFS), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) e baixa intensidade (BI)..... 55
- TABELA 5. Valores médios  $\pm$  DP das variáveis da cinética do VO<sub>2</sub> durante o exercício em intensidade moderada antes e após o treinamento intervalado de alta intensidade (AI), combinado (AI+RFS), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) e baixa intensidade (BI)..... 59

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

TI – treinamento intervalado  
AI – alta intensidade  
RFS – restrição de fluxo sanguíneo  
BI – baixa intensidade  
OBLA – início do acúmulo de lactato no sangue  
LAn – limiar anaeróbio  
MFEL – máxima fase estável de lactato sanguíneo  
OPLA – onset of plasma lactate accumulation  
LL – limiar de lactato  
[La] – concentração de lactato  
VO<sub>2</sub> – consumo de oxigênio  
VO<sub>2max</sub> – consumo máximo de oxigênio  
P<sub>max</sub> - potência máxima  
IVO<sub>2max</sub> – menor intensidade onde o consumo máximo de oxigênio é atingido  
Tlim – tempo limite  
PC – potência crítica  
CTA – capacidade de trabalho anaeróbio  
FC<sub>max</sub> – frequência cardíaca máxima  
1RM - uma repetição máxima  
PT - pico de torque  
VE – ventilação pulmonar  
VVM – ventilação voluntária máxima  
CO<sub>2</sub> – gás carbônico  
PCO<sub>2</sub> – pressão de gás carbônico  
PO<sub>2</sub> – pressão de oxigênio  
Q<sub>max</sub> – débito cardíaco máximo  
VO<sub>2FE</sub> – consumo de oxigênio no fim do exercício  
VO<sub>2base</sub> – consumo de oxigênio antes do exercício  
A – amplitude do VO<sub>2</sub>  
TD – tempo de atraso  
 $\tau$  - tau - constante de tempo da cinética (tempo para atingir 63% de A)  
PE – percepção de esforço  
EM – economia de movimento  
ATP – adenosina trifosfato  
MC – massa corporal  
%G – percentual de gordura  
 $\Delta$  - percentual de variação  
t - tempo

P - potência

T - trabalho

AST – área de secção transversa

NO – óxido nítrico

[PCr] – concentração de fosfocreatina

[Cr] - creatina

PGC-1 $\alpha$  - co-ativador alfa do receptor gama ativado por proliferador de peroxissoma

VEGF - fator de crescimento do endotélio vascular

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.1. Objetivo Geral.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1. ADAPTAÇÕES AO TREINAMENTO.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.1. Força Muscular.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2. VO<sub>2max</sub> e P<sub>max</sub>.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.3. Potência Crítica.....</b>	<b>30</b>
<b>2.1.4. Início do acúmulo de lactato no sangue (OBLA).....</b>	<b>33</b>
<b>2.1.5. Cinética do VO<sub>2</sub>.....</b>	<b>35</b>
<b>3. MÉTODOS.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1. SUJEITOS.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3. MATERIAIS.....</b>	<b>42</b>
<b>3.4. PROTOCOLOS DOS TESTES.....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.1. Mensuração das Variáveis Antropométricas.....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.2. Protocolo de Determinação das Variáveis Aeróbias Máximas e Submáximas.....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.3. Determinação da Potência Crítica.....</b>	<b>45</b>
<b>3.4.5. Protocolo de Mensuração da Força Máxima Isométrica.....</b>	<b>48</b>
<b>3.5. PROTOCOLOS DE TREINAMENTO.....</b>	<b>48</b>
<b>3.5.1. Grupo Baixa Intensidade com Restrição de Fluxo Sanguíneo.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5.2. Grupo Alta Intensidade.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5.3. Grupo Treinamento Combinado.....</b>	<b>50</b>
<b>3.5.4. Grupo Baixa Intensidade.....</b>	<b>50</b>
<b>3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>50</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
<b>5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>101</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de múltiplos componentes do condicionamento físico na melhora de ambos os aspectos, neuromuscular (força) e aptidão aeróbia, tem se tornado parte importante dos mais recomendados programas de exercício (KRAEMER et al., 2002; GARBER et al., 2011). Diversos estudos têm mostrado efeitos simultâneos ou aditivos em algumas adaptações musculares (SALE et al., 1990; IZQUIERDO et al., 2004; SILLANPAA et al., 2009; MIKKOLA et al., 2012), ou a compatibilidade em certas adaptações como resultado do treinamento concorrente (treinamento resistido + treinamento aeróbio) (MCCARTHY et al., 1995). Entretanto, foi mostrado previamente que a combinação do treinamento resistido com treinamento aeróbio, quando realizados com elevado volume e/ou longa duração, podem reduzir os ganhos de força/potência muscular (HICKSON, 1980; KRAEMER et al., 1995; HAKKINEN et al., 2003) assim como, reduzir a magnitude das adaptações aeróbias (KRAEMER et al., 1995; LEVERITT et al., 1999), quando comparados com a realização de apenas um dos dois programas de treinamento (i.e., resistência ou aeróbio apenas).

Na tentativa de superar essas limitações do treinamento concorrente, como também a dificuldade em realizar diferentes modos de exercício na mesma sessão ou mesmo em dias diferentes, profissionais da educação física e pesquisadores têm buscado métodos de treinamento eficientes para melhorar o desempenho de ambos os componentes, cardiovascular e neuromuscular, utilizando um único modo de treinamento. Recentemente, um método de treinamento que combina exercício aeróbio de baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) tem sido estudado com objetivo de melhorar simultaneamente aspectos periféricos (p.ex. hipertrofia, aumento na atividade das enzimas oxidativas, angiogênese e glicogênio muscular) e centrais (p.ex. volume de ejeção) (SUNDBERG, 1994; ABE et al., 2006; ABE et al., 2010a; PARK et al., 2010). Porém, as divergências na magnitude e especificidade das adaptações demonstradas por estudos que combinaram exercícios aeróbios como RFS parecem ser principalmente devido a diferenças na intensidade, volume e pressão aplicada durante as sessões, e como estas variáveis foram distribuídas ao longo do período de treinamento (SUNDBERG, 1994; ABE et al., 2006; ABE, 2009; ABE et al., 2010a; PARK et al., 2010; KERAMIDAS et al., 2012).

Nesse sentido, quando seis horas totais de treinamento aeróbio com RFS foram realizados a 40% do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) e distribuídas em duas (PARK et al., 2010) ou oito (ABE et al., 2010a)

semanas, aumentos concomitantes no  $VO_{2max}$  e hipertrofia muscular ocorreram apenas no treinamento com maior duração. Contudo, quando o mesmo volume de 6 horas foi distribuído por três semanas (ABE et al., 2006), porém realizado em menor intensidade (20%  $VO_{2max}$ ), houve melhora na força e na hipertrofia sem modificações no  $VO_{2max}$ . Volume (12 horas em 4 semanas) e intensidade ainda maiores (50%  $VO_{2max}$ ) foram eficientes em aumentar  $VO_{2max}$ , atividade da enzima oxidativa Citrato Sintase, número de capilares por fibra e glicogênio muscular, porém reduziram a força isométrica (SUNDBERG, 1994). Assim, esses resultados em conjunto parecem indicar uma associação entre duração total e intensidade do treinamento, uma vez que os programas de treinamento aeróbio com RFS com durações inferiores a três semanas não foram capazes de induzir aumentos de força e/ou hipertrofia, e quando realizados em intensidade inferiores a 40%  $VO_{2max}$ , não foram capazes de melhorar aptidão aeróbia. No entanto, nenhum trabalho até hoje mostrou melhoras concomitantes nos aspectos funcionais  $VO_{2max}$  e força. Adicionalmente, a magnitude de redução no fluxo sanguíneo parece influenciar diretamente na intensidade aplicada durante a sessão de treino e ambos, RFS e intensidade, poderiam alterar a sobrecarga aguda afetando assim as adaptações induzidas pelo treinamento (SUNDBERG, 1994; TAKANO et al., 2005; IIDA et al., 2007). Uma severa restrição de fluxo sanguíneo (i.e. menor oferta de oxigênio e remoção de metabólitos), a qual induz fadiga e concomitante redução na capacidade de gerar força, poderiam recrutar unidades motoras de contração rápida e assim promover uma situação favorável as adaptações relacionadas à força ou hipertrofia em baixas intensidades de exercício (MORITANI et al., 1992; TAKARADA et al., 2000b; MOORE et al., 2004).

Tradicionalmente, o treinamento em baixa intensidade com RFS tem sido realizado com a restrição do fluxo durante toda a sessão de treinamento, inclusive durante os períodos de recuperação quando o exercício é realizado de modo intermitente. No entanto, de acordo com os aspectos descritos acima, um interessante modelo de treinamento seria realizar a sessão de treino de baixa intensidade com RFS de forma intervalada e restringindo o fluxo sanguíneo apenas durante o exercício (i.e. liberar a pressão dos manguitos durante os intervalos de recuperação). Esse modelo de RFS intermitente possibilita aumentos no volume total, na magnitude da restrição do fluxo sanguíneo e/ou na intensidade do exercício, o que poderia proporcionar estímulo suficiente para recrutar unidades motoras de elevado limiar (MORITANI et al., 1992; TAKARADA et al., 2000b; MOORE et al., 2004). Além disso, os breves episódios de isquemia e reperfusão também poderiam

proporcionar efeitos adicionais do treinamento com RFS sobre o metabolismo oxidativo e a angiogênese (CLANTON e KLAWITTER, 2001; ZHAO et al., 2011). Assim, a combinação de exercício aeróbio com RFS torna-se bastante atraente por possibilitar uma melhora na capacidade funcional do indivíduo utilizando uma única sessão curta de treinamento (30-45min) e em baixa intensidade ( $\sim 40\%$   $VO_{2max}$ ), comparado aos treinos concorrentes de força e aeróbio realizados no mesmo programa de treinamento. Estes aspectos seriam importantes também para indivíduos nos quais altas cargas de trabalho poderiam ser momentaneamente contra indicadas ou impossibilitadas, p.ex., atletas recuperando de lesões, atletas com deficiência, atletas cujo treinamento sobrecarrega excessivamente os ligamentos e articulações e indivíduos com alguma patologia, uma vez que o treino com RFS pode ser realizado em uma baixa intensidade.

Assim, o propósito primário deste estudo foi verificar o efeito de quatro semanas de treinamento intervalado (TI) realizado com RFS sobre os índices de capacidade e potência aeróbia (início do acúmulo de lactato no sangue - OBLA,  $VO_{2max}$  e potência máxima -  $P_{max}$ ) e na força isométrica máxima. Nenhum dos estudos anteriores que observaram melhoras na aptidão aeróbia com treinamento aeróbio associado a uma RFS comparou a magnitude dessas adaptações com o TI de alta intensidade (AI), tradicionalmente utilizado para potencializar as melhoras dos componentes relacionados ao metabolismo aeróbio (LAURSEN e JENKINS, 2002; DAUSSIN et al., 2008). Para treinamentos resistidos de baixa intensidade com RFS (20-40% de uma repetição máxima - 1RM), as melhoras em parâmetros neuromusculares (hipertrofia e força) apresentaram magnitude semelhante aos treinamentos “tradicionalistas” executados em altas intensidades (80% de 1RM) (TAKARADA et al., 2000b; KUBO et al., 2006). Portanto, o segundo propósito foi comparar a magnitude das adaptações ao treinamento nos parâmetros aeróbios e na força entre os TI com RFS, TI de AI e a combinação de ambos (AI + RFS) realizados na mesma sessão. Foi hipotetizado que: 1) quatro semanas de TI com RFS realizado a  $\sim 40\%$   $VO_{2max}$  com liberação do fluxo sanguíneo nos intervalos de recuperação poderia induzir melhoras concomitantes nos parâmetros aeróbios e na força muscular; 2) a magnitude das adaptações aeróbias induzidas pelo treinamento serão maiores no TI de AI do que no TI com RFS, desde que a AI parece promover maiores adaptações centrais e periféricas ligadas à oferta e utilização de  $O_2$  (STEPTO et al., 1999; LAURSEN e JENKINS, 2002; BURGOMASTER et al., 2005; DAUSSIN et al., 2008). Além disso, para a mesma duração de exercício, a AI pode

proporcionar um maior volume de treinamento comparado ao TI com RFS; 3) o TI combinado AI + RFS poderia melhorar as adaptações aeróbias em magnitude semelhante ao de AI, além de promover também melhoras na força induzida pela adição do treinamento de baixa intensidade com RFS.

Dessa forma, um modelo de estudo interessante para contribuir no entendimento de parte dos mecanismos envolvidos com os diferentes tipos de treinamento, seria comparar as respostas adaptativas (desempenho cardiovascular e neuromuscular) dos indivíduos submetidos a quatro diferentes tipos de treinamento de curta duração normalizados pela duração total da sessão: TI de baixa intensidade com RFS, TI de baixa intensidade (BI) sem RFS, TI de AI e TI combinando ambos (RFS + AI). Analisando o atual estilo de vida da população e suas consequências sobre a qualidade de vida, como também para a melhora de rendimento dos atletas, certamente um treinamento que demanda menos tempo e que poderia proporcionar os mesmos ou até maiores benefícios, se torna extremamente interessante para melhora da capacidade funcional dos indivíduos.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Analisar os efeitos de quatro diferentes protocolos de treinamento intervalado (TI) de curta duração (4 semanas), i.e., baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS); baixa intensidade (BI) sem RFS; alta intensidade (AI) e; combinação de ambos (AI + RFS) sobre índices de aptidão aeróbia e neuromuscular.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar e comparar os efeitos dos diferentes tipos de TI (RFS, BI, AI e RFS + AI) no  $VO_{2max}$ , início do acúmulo de lactato sanguíneo (OBLA), potência crítica (PC), potência máxima atingida no teste incremental ( $P_{max}$ ) e cinética do  $VO_2$  em exercício moderado.

- Analisar e comparar os efeitos dos diferentes tipos de TI (RFS, BI, AI e RFS + AI) na força isométrica máxima.

- Comparar os efeitos do treinamento na magnitude de melhora das variáveis aeróbias ( $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , OBLA, PC e cinética do  $VO_2$ ) e da força dentro do mesmo grupo de treinamento.



## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. ADAPTAÇÕES AO TREINAMENTO**

#### **2.1.1. Força Muscular**

A força muscular é a capacidade de exercer força máxima durante o movimento selecionado e sua magnitude depende das características da tarefa motora (postura corporal, velocidade de movimento, tipo e quantidade de resistência) (KOMI, 1986). Com relação à prescrição do treinamento resistido para melhora da força muscular, a intensidade é normalmente vista como a variável mais importante para gerar adaptações (KRAEMER et al., 2002). A intensidade do treinamento resistido geralmente é quantificada em relação a uma carga máxima na qual o indivíduo é capaz de realizar apenas uma repetição máxima (1RM) do exercício proposto. É necessária uma carga mínima de 60%, e em alguns casos, mais de 80% de 1RM para gerar estímulo suficiente para obter ganho de força (ATHA, 1981; KRAEMER et al., 2002; ANDERSEN et al., 2006). Para ganho de hipertrofia muscular cargas entre 70 a 85% de 1RM são geralmente recomendadas (KRAEMER et al., 2002).

Controverso a essa já solidificada prescrição de treinamento para ganho de força e hipertrofia, no final da década de 60, uma nova técnica de treinamento totalmente empírica foi desenvolvida por Yoshiaki Sato (SATO, 2005). Essa técnica consistia em aplicar torniquetes na porção proximal dos membros, restringindo parte do fluxo sanguíneo, em combinação com treinos resistidos de baixa intensidade (~30% de 1RM). Diferentemente do treino resistido tradicional, os ganhos de força em curtos períodos de tempo adquiridos pelo treinamento com RFS tem sido creditados principalmente a aumentos na área de secção transversa (AST) (MOORE et al., 2004; KUBO et al., 2006; YASUDA et al., 2011).

Para investigar a eficácia do treino resistido de baixa intensidade combinado com uma restrição do fluxo sanguíneo (RFS), Shinohara et al. (1998) utilizaram um grupo de sujeitos (n=5) não treinados para seu estudo. O protocolo consistia em realizar seguidas contrações isométricas a 40% do pico de torque (PT) para os extensores do joelho, sendo que em uma das pernas o fluxo de sangue era restringido, e a perna contralateral realizava o mesmo exercício sem restrição. Após 4 semanas de treinamento com uma frequência de 3 sessões por semana os sujeitos que treinaram com RFS aumentaram 26% seu PT, enquanto a

outra perna não apresentou nenhuma melhora significativa. Takarada et al. (2000b) investigaram os efeitos de 16 semanas de treinamento de flexão de bíceps em mulheres idosas, divididas em 3 diferentes grupos de treinamento: baixa intensidade sem RFS; baixa intensidade com RFS (pressão externa aplicada 110mmHg), ambos com carga relativa de 30 a 50% de 1RM e; alta intensidade (AI) com carga relativa de 50 a 80% de 1RM. O aumento percentual tanto na hipertrofia quanto na força máxima dos membros superiores após treinamento com RFS foram significativamente maiores (~19%) quando comparado ao grupo que treinou sem RFS (~5%) e similares ao ganho do grupo que treinou AI (~15%). Nesses dois estudos a população utilizada não apresentava nenhum tipo de adaptação prévia ao treinamento resistido, o que poderia ter induzido os ganhos ocasionados pelos treinamentos em menor intensidade sem RFS. No entanto, no estudo de Takarada et al. (2002) foram utilizados jogadores de rugby com experiência prévia em treinamento resistido, os quais foram submetidos a 8 semanas de treinamento para os extensores do joelho. Um grupo (n=6) treinou baixa intensidade (~50% de 1RM) combinado com RFS da perna (200mmHg), o segundo grupo (n=6) treinou apenas baixa intensidade (~50% de 1RM) e outro grupo (n=5) como controle. O grupo que treinou com RFS apresentou ganhos significativamente maiores na força e na área de secção transversa (14,3 e 12,3%, respectivamente) quando comparado ao grupo que treinou sem RFS e ao controle. Além disso, não foram encontradas diferenças entre o grupo que treinou apenas baixa intensidade e grupo controle.

Recentemente, Yasuda et al. (2011) demonstraram em seu estudo que o grupo de sujeitos que realizou um protocolo de treinamento de força misto (treino de alta intensidade, realizado 1 vez na semana junto com treino de baixa intensidade com RFS, realizado 2 vezes na semana por 6 semanas) apresentou ganhos de força isométrica máxima e de hipertrofia (6,6 e 7,2%, respectivamente) similares ao grupo de indivíduos que treinaram apenas com alta intensidade (11,3 e 8,6%, respectivamente). Corroborando com este resultado, outros estudos têm demonstrado que o treinamento com RFS apenas, é capaz de produzir ganhos comparáveis na força e na hipertrofia muscular que o treinamento resistido realizado em alta intensidade (TAKARADA et al., 2000a; TAKARADA et al., 2000b; TAKARADA et al., 2002; FUJITA et al., 2007). Com objetivo de avaliar a aplicação de cargas mais elevadas durante o treinamento resistido com RFS, Laurentino et al. (2008) dividiram dois grupos de treinamento, o primeiro treinou alta intensidade com RFS (6RM ~80% 1RM) e o segundo grupo treinou em

intensidade moderada com RFS (12RM ~60% 1RM), sendo que ambos os grupos treinaram a perna contralateral sem RFS. Os resultados mostraram aumento significativo na carga de 1RM e na área de secção transversa, porém nenhum efeito da intensidade e da RFS foi verificado, pois não houve diferença entre os grupos (alta intensidade x intensidade moderada x controle). Assim, parece não ser necessário acrescentar sessões de treinamento resistido de alta intensidade e aplicar cargas elevadas de treinamento quando este será combinado com RFS para aumentar a força e a hipertrofia. Além disso, o treinamento com RFS parece ser eficiente em causar adaptações, independente do estado de treinamento do sujeito.

Além dos estudos realizados com treinamentos resistidos de baixa intensidade combinados com RFS, treinos aeróbios de baixa intensidade com RFS também têm mostrado melhoras na força e hipertrofia. Abe et al. (2006) investigaram os efeitos da RFS em exercícios equivalentes a atividades da vida diária, realizando um treinamento de caminhada de baixa intensidade a 50m/min (3km/h) combinado com a oclusão de fluxo (160-230mmHg) em um grupo indivíduos não treinados (n=9). Após 2 semanas de caminhada realizadas 6 vezes na semana com duas sessões diárias, eles aumentaram de 4-7% a área de secção transversa do quadríceps e 10% a força isométrica máxima, porém nenhuma modificação foi observada no  $VO_2$ max. Porém, quando 8 semanas de treinamento aeróbio (ciclismo) com RFS foi realizado a 40% do  $VO_2$ max ocorreram aumentos concomitantes no  $VO_2$ max e hipertrofia muscular (ABE et al., 2006). As divergências na magnitude e especificidade das adaptações demonstradas por estudos que combinaram exercícios aeróbios como RFS parecem ser principalmente devido a diferenças na intensidade, volume e pressão aplicada durante as sessões, e como estas variáveis estão distribuídas ao longo do período de treinamento. De modo geral, os potenciais benefícios do treinamento com RFS podem incluir respostas anabólicas (TAKARADA et al., 2000a; TAKARADA et al., 2000b; TAKARADA et al., 2002; BURGOMASTER et al., 2003; TAKARADA et al., 2004; KUBO et al., 2006; TANIMOTO e ISHII, 2006; FUJITA et al., 2007) e melhoras na oferta e utilização do  $O_2$  (KAJISER et al., 1990; ESBJORNSSON et al., 1993; BURGOMASTER et al., 2003; ABE et al., 2010a; EVANS et al., 2010; PATTERSON e FERGUSON, 2010; KACIN e STRAZAR, 2011).

Para o treinamento resistido tradicional, os principais fatores apontados como determinantes da força de contração máxima do músculo esquelético em humanos são a área de secção transversa (AST)

juntamente com a habilidade de ativar o maior número de unidades motoras (KOMI, 1986). Porém, os ganhos de força adquiridos em um curto período de tempo têm sido creditados principalmente aos aspectos neurais (ENOKA, 1988). Os possíveis mecanismos neurais que poderiam explicar esse rápido aumento de força seriam, alterações na co-ativação dos músculos agonistas-antagonistas, aumentos na sincronização entre as unidades motoras, aumento na taxa de disparos das unidades motoras, maior ativação do sistema nervoso central e diminuição da inibição dos órgãos tendinosos de Golgi (GABRIEL et al., 2006). Apesar dos estudos que utilizaram treinamento com RFS terem encontrado aumentos de força com períodos relativamente curtos de treinamento, esses aumentos parecem ter sido decorrentes da hipertrofia e não de adaptações neurais, uma vez que a ativação das unidades motoras não se modificou após treinamento de resistência em baixas intensidades (<50% of 1 RM) com RFS (MOORE et al., 2004; KUBO et al., 2006).

Os mecanismos responsáveis pela hipertrofia em exercícios aeróbios com RFS ainda não estão claros, mas provavelmente seriam semelhantes aqueles observados após treinamento resistido com RFS. Estudos recentes mostraram que aumentos na síntese protéica após uma sessão de treino de resistência com RFS foram acompanhados por uma regulação na via AKT/mTOR (FUJITA et al., 2007; FRY et al., 2010), uma menor expressão de genes relacionados a proteólise FOXO3a, Atroquina e Murf-1, bem como da Miostatina, um regulador negativo da massa muscular, recentemente observados 8 e 48 hs após exercício resistido com RFS (MANINI et al., 2011; LAURENTINO et al., 2012). Em adição, outro recente resultado indica que os aumentos na força máxima acompanhados por um marcante ganho no tamanho da fibra muscular observados após o treinamento resistido com RFS foram decorrentes de uma considerável “up-regulation” no número de células satélites, resultando em uma adição nuclear nas fibras exercitadas (NIELSEN et al., 2012).

Ainda que poucas, algumas adaptações metabólicas como aumento dos substratos energéticos e atividade enzimática também ocorrem em resposta ao treinamento resistido, e poderiam dar suporte metabólico ao aumento da força muscular. A ocorrência e a magnitude desses efeitos são influenciadas pelo tipo, intensidade e duração do treinamento. Está claro, que as adaptações metabólicas são diferentes quando se compara exercícios de alta intensidade e poucas repetições com exercícios de baixa intensidade e muitas repetições por estressar com diferentes magnitudes os sistemas de fornecimento de energia

(TESCH e ALKNER, 2006). Além das adaptações metabólicas, os exercícios de força parecem promover aumento na proporção relativa das fibras do tipo IIa às custas das fibras do tipo IIb (TESCH e ALKNER, 2006).

### **2.1.2. $VO_{2max}$ e $P_{max}$**

O  $VO_{2max}$  pode ser conceituado como sendo a mais alta captação de oxigênio alcançada por um indivíduo, respirando ar atmosférico ao nível do mar (ÅSTRAND et al., 2003). O  $VO_{2max}$  é o índice fisiológico que melhor representa a potência aeróbia máxima, ou seja, é uma medida da quantidade máxima de energia que pode ser produzida pelo metabolismo aeróbio por unidade de tempo (i.e., litros por minuto). Dentre os principais fatores que determinarão o  $VO_{2max}$ , podemos destacar os que atuarão de forma intrínseca (idade, gênero e genética) e extrínseca (treinamento e altitude).

Sujeitos saudáveis inativos apresentarão um declínio gradual em seu  $VO_{2max}$  de aproximadamente 9 % por década, a partir dos 25 anos (NOAKES, 1991). As principais causas deste declínio no  $VO_{2max}$  com a idade são a diminuição da frequência cardíaca máxima (relacionada com a idade) e conseqüentemente do trabalho cardíaco, associado a uma perda de massa muscular (FLEG e LAKATTA, 1988). Em relação ao gênero, as mulheres possuem valores de  $VO_{2max}$  mais baixos do que o homens, em parte devido a uma quantidade maior de gordura corporal, menor massa muscular e músculos menos potentes (NOAKES, 1991).

A melhora no  $VO_{2max}$  decorrente de um programa de treinamento pode variar entre 5 e 15 % (DANIELS et al., 1978). A principal diferença nos valores de  $VO_{2max}$  entre os sujeitos possivelmente são resultados de fatores hereditários, ao invés dos relacionados ao treinamento. São os fatores genéticos que provavelmente estabelecem os limites para cada atleta, sendo o treinamento de endurance capaz de elevar o  $VO_{2max}$  em direção ao seu limite superior. A mudança da altitude é o fator que exerce o maior efeito sobre o  $VO_{2max}$ . A queda no conteúdo de oxigênio do ar causa um declínio no  $VO_{2max}$  equivalente a aproximadamente 10% a cada 1000 m acima dos 1200 m (SQUIRES e BUSKIRK, 1982).

A importância de se determinar o  $VO_{2max}$  não está somente na mensuração do gasto energético aeróbio ou da aptidão aeróbia, mas de poder oferecer medidas da capacidade de transporte e utilização de oxigênio, onde estariam presentes as capacidades funcionais dos pulmões, sistema cardiovascular e muscular (mitocôndrias). A utilização

máxima do  $O_2$  é determinada pela interação desses fatores responsáveis pelo transporte do  $O_2$  inspirado até a mitocôndria.

Baseado nisso, diversas hipóteses vem surgindo na tentativa de se explicar os fatores que limitam o  $VO_{2max}$ . Desta forma, duas correntes de pensamentos distintos têm aparecido, uma que aceita a hipótese da existência da limitação central (SALTIN e STRANGE, 1992) e outra que propõe uma limitação periférica (WAGNER, 1995). Vinculada a hipótese da limitação central, teríamos uma possível limitação do sistema respiratório (ventilação pulmonar e capacidade de difusão alvéolo-capilar de  $O_2$ ), mas que em princípio pode ser descartada, já que a ventilação pulmonar (VE) atingida durante o esforço máximo é geralmente inferior á ventilação voluntária máxima (VVM), e ainda a saturação arterial de  $O_2$  permanece normal na maioria dos sujeitos, mesmo durante o esforço máximo. Porém, Dempsey e Fregosi (1985) demonstraram que em alguns indivíduos altamente treinados que apresentavam dessaturação arterial, o sistema respiratório pode limitar o  $VO_{2max}$ . Esses atletas tinham uma leve redução na ventilação alveolar, como mostrado pela maior  $PCO_2$  alveolar, e uma maior diferença na tensão alvéolo-capilar de  $O_2$ , resultando em uma menor saturação arterial de  $O_2$  (87% vs. 92%).

Outro argumento, baseado no sistema cardiovascular, seria que a variação na oferta de  $O_2$  é exclusivamente em função do volume sistólico, já que a frequência cardíaca máxima e o conteúdo arterial de  $O_2$  não são afetados pelo treinamento. Assim, a capacidade de bombeamento do coração é decisiva para a máxima oferta de  $O_2$ . Como a fração do  $O_2$  utilizado é mantida constante (~90%), concluiu-se que a limitação estaria no coração (EKBLÖM et al., 1968; SALTIN e STRANGE, 1992). Em outros estudos que também sugerem esta limitação central, verificou-se uma mudança correspondente e proporcional do  $VO_{2max}$  com as manipulações (aumento ou diminuição) do  $O_2$  ofertado (SALTIN et al., 1968; EKBLÖM et al., 1972).

Clausen et al. (1973) reportaram que após o treinamento utilizando exclusivamente as pernas, o  $VO_{2max}$  dos braços não treinados foram elevados, deste modo a oferta e utilização de  $O_2$  puderam ser aumentadas, sem qualquer adaptação da musculatura esquelética. Provavelmente uma maior pressão sanguínea observada durante o exercício com os braços, produziu uma maior perfusão para os músculos superiores após o treinamento das pernas. É importante destacar que o mesmo não ocorreu, quando o treinamento com os braços não afetou o  $VO_{2max}$  das pernas. A possível explicação seria que o exercício com os

braços não foi suficiente para obter efeitos do treinamento sobre o coração.

Em contradição, a principal hipótese para a teoria da limitação periférica, seria a existência de um limite bioquímico para a formação de ATP, sem relação com o suprimento ou concentração de  $O_2$ . Em meados dos anos 70, a capacidade de extração e utilização do  $O_2$  pelo músculo esquelético tornou o foco para diversos estudos, como chave para o entendimento da variação do  $VO_{2max}$  em indivíduos com o mesmo nível de aptidão física. Entre eles se encontra um estudo realizado por Saltin et al. (1976), onde os autores submeteram um grupo de sujeitos a um protocolo de treinamento em bicicleta ergométrica, utilizando apenas uma perna. Na perna não treinada, o  $VO_{2max}$ , o número de capilares e enzimas oxidativas não foram alterados pelo treinamento, em contraste ao aumento dessas variáveis para a perna treinada.

Wagner (1995) demonstrou uma relação proporcional entre  $VO_{2max}$  e a  $PO_2$  venosa da musculatura ativa, mesmo quando a oferta de oxigênio é modificada, indicando a compatibilidade da teoria da difusão periférica de oxigênio, limitando o  $VO_{2max}$ . Ele ressalta ainda, a necessidade de separar a noção de “muito sensível à” e “limitado por”, na relação entre  $VO_{2max}$  e a função cardíaca. A primeira implica em uma dependência parcial, enquanto a segunda, implica em uma dependência única (causa-efeito). Cardus et al. (1998) verificaram que em indivíduos sedentários, respirando ar atmosférico ao nível do mar, a capacidade oxidativa mitocondrial parece ter um papel determinante na utilização máxima de  $O_2$ .

Deste modo, os vários fatores relacionados ao transporte do  $O_2$  no corpo humano estão estritamente ligados, sendo difícil identificar uma variável como mais importante que a outra, onde cada uma, como todas juntas podem influenciar (limitar) o  $VO_{2max}$ . É importante observar que, para os diferentes níveis de aptidão, parece haver uma mudança nos fatores que predominantemente limitam o  $VO_{2max}$ . No caso de pessoas sedentárias, a principal limitação estaria no nível periférico (capilares e mitocôndrias), em indivíduos ativos estaria no nível mais central (débito cardíaco) e nos indivíduos altamente treinados poderia aparecer uma limitação a nível pulmonar.

Dessa forma, o  $VO_{2max}$  parece estar fortemente relacionado ao débito cardíaco máximo ( $Q_{max}$ ), podendo ser verificado através dos altos valores de  $VO_{2max}$  e  $Q_{max}$  encontrados em atletas de elite, os quais resultam de um maior volume de ejeção, uma vez que a frequência cardíaca máxima demonstra ser igual para todas as populações saudáveis (SPINA et al., 1992). Os aumentos no volume de ejeção

resultam de aumentos na cavidade ventricular esquerda, na contratilidade do miocárdio e no volume diastólico final. Essas adaptações, juntamente com uma reduzida sensibilidade as catecolaminas, levam a uma menor frequência cardíaca durante exercícios submáximos (SPINA et al., 1992). Adicionalmente, a capacidade de transporte de oxigênio no sangue aumenta após o treinamento aeróbio, devido a um aumento na quantidade total de hemoglobinas. Apesar de ocorrer um aumento relativamente maior no plasma sanguíneo comparado a massa de células vermelhas com o treinamento, essa é uma adaptação vantajosa, pois diminui a viscosidade sanguínea podendo assim reduzir a resistência vascular periférica (GREEN et al., 1990). Além das adaptações centrais com o treinamento aeróbio, ocorrem concomitantemente adaptações periféricas (na musculatura treinada) como variações no gradiente de difusão periférica, capacidade oxidativa mitocondrial e densidade capilar (BASSETT e HOWLEY, 2000). A integração destas adaptações pode ser detectada através da função pulmonar a qual reflete a capacidade do organismo como um todo em utilizar  $O_2$  e liberar  $CO_2$ . Embora o  $VO_{2max}$  não seja a única variável determinante do desempenho, ele apresenta forte relação com este (BASSETT e HOWLEY, 2000; DI PRAMPERO, 2003), por essa razão, alterações no  $VO_{2max}$  são bastante utilizados para demonstrar os efeitos do treinamento (BASSETT e HOWLEY, 2000).

Ocorrem muitos debates em relação a que programa de treinamento proporciona maiores adaptações no desempenho aeróbio, o treinamento contínuo realizado em intensidades mais baixas ou treinamento intermitente com intensidades mais elevadas de exercício. A intensidade do exercício tem sido considerada uma das principais variáveis a ser manipulada para a melhora do  $VO_{2max}$  (WENGER e BELL, 1986; MIDGLEY et al., 2007). Parece que as melhoras no  $VO_{2max}$  podem ser otimizadas quando o treinamento realizado proporciona o maior tempo possível numa intensidade próxima ao  $VO_{2max}$  (LAURSEN, 2012). Apesar de alguns trabalhos não verificarem diferenças significantes nos aumentos do  $VO_{2max}$  entre o treinamento contínuo e o intermitente (BURGOMASTER et al., 2008; DAUSSIN et al., 2008), o treinamento contínuo a 61%  $P_{max}$  melhorou este índice principalmente devido adaptações periféricas (maior densidade capilar), enquanto após o treinamento intermitente de AI (4 min no primeiro limiar ventilatório e 1 min a 90% da  $P_{max}$ ) esse aumento foi resultado da associação de adaptações periféricas (maior densidade capilar e capacidade oxidativa mitocondrial) e centrais (maior débito cardíaco) (DAUSSIN et al., 2008). Embora diferenças no  $VO_{2max}$

não tenham sido encontradas entre os grupos, o treinamento intermitente de AI foi capaz de melhorar significativamente mais o desempenho (mensurados através de um tempo de exaustão – Tlim) e a cinética do  $VO_2$  em intensidade severa. Dessa forma, o treinamento intervalado de alta intensidade parece provocar máximo estresse fisiológico nos processos e estruturas que limitam o  $VO_{2max}$ , fornecendo um ótimo estímulo para melhora do condicionamento aeróbio (MIDGLEY et al., 2007).

Porém, baixas intensidades associadas a reduções no fluxo sanguíneo para os membros exercitados também tem mostrado eficiência em produzir adaptações aeróbias, uma vez que, aumentos no  $VO_{2max}$  foram encontrados após o treinamento aeróbio com RFS (KAJISER et al., 1990; ESBJORNSSON et al., 1993; SUNDBERG et al., 1993; SUNDBERG, 1994; ABE et al., 2010a; PARK et al., 2010). Assim, parece que além da intensidade de exercício, reduções na tensão de  $O_2$  muscular (isquemia) também são prováveis estímulos no aumento da capacidade oxidativa e conseqüentemente no  $VO_{2max}$ . Os aumentos no  $VO_{2max}$  após treinamento com RFS tem sido principalmente atribuídos a adaptações periféricas, melhoras no metabolismo oxidativo e/ou adaptações na circulação local (ESBJORNSSON et al., 1993; SUNDBERG, 1994; SUZUKI et al., 2000; EVANS et al., 2010). Porém, adaptações centrais não podem ser descartadas, uma vez que Park et al. (2010) demonstraram um aumento significativo do volume de ejeção com apenas 2 semanas de treinamento de caminhada com RFS. Portanto, o treinamento com RFS, similar ao treinamento em AI, parece ser capaz de promover respostas adaptativas tanto centrais quanto periféricas, as quais que podem estar relacionadas aos aumentos no  $VO_{2max}$ .

Na tentativa de aumentar a sensibilidade deste índice as adaptações do treinamento e sua capacidade de predição do desempenho, a intensidade correspondente ao  $VO_{2max}$  ( $P_{max}$ ), vem sendo amplamente estudada. Genericamente, a  $P_{max}$  pode ser definida como sendo a menor potência na qual o  $VO_{2max}$  é atingido durante um teste incremental. É uma variável que combina o  $VO_{2max}$  e economia de movimento (EM) em um único índice, capaz de explicar diferenças individuais na performance melhor do que o  $VO_{2max}$  ou a EM isoladamente. Nos exercícios máximos realizados entre 2 - 3 min e 10 - 12 min, tanto o  $VO_{2max}$  ( $r = 0,80$ ), como principalmente a  $P_{max}$  ( $r = 0,90$ ) (por incluir a EM), apresentam altas correlações com o desempenho (LACOUR et al., 1991; BRANDON, 1995; BILLAT et al., 1999a).

Assim, diversos estudos têm mostrado aumentos na Pmax após curtos períodos de treinamento aeróbio. Billat et al. (1999b) mostraram que 4 semanas de treinamento aeróbio aumentou significativamente a Pmax (de 20,5 para 21,1 km/h) e a economia de corrida, sem modificação no  $VO_{2max}$  em atletas. Jones et al. (1999) encontraram que aumentos na Pmax após 6 semanas de treinamento (de 15.3 para 16.6 km/h) em sujeitos ativos, foram resultado do aumento de ambos  $VO_{2max}$  e economia de corrida. Seis sessões de sprint repetido também foi eficiente em aumentar a Pmax (de 299 para 313w), porém o mesmo número de sessões de treinamento aeróbio não foram eficiente em aumentar este índice (284 para 288w) (LINDSAY et al., 1996; MCKENNA et al., 1997; WESTGARTHTAYLOR et al., 1997; WESTON et al., 1997; STEPTO et al., 1999; RODAS et al., 2000; LAURSEN et al., 2002a; LAURSEN et al., 2002b; PATON e HOPKINS, 2005; BERGER et al., 2006; DUFFIELD et al., 2006; DAUSSIN et al., 2007; DAUSSIN et al., 2008; BAILEY et al., 2009; TONG et al., 2011; ZIEMANN et al., 2011)

### 2.1.3. Potência Crítica

A relação entre intensidade e tempo de exercício foi inicialmente analisada por Monod e Scherrer (1965) para pequenos músculos, sendo posteriormente estendido para grandes grupos musculares (ciclismo) (MORITANI et al., 1981). Nestes estudos os autores notaram uma relação hiperbólica entre a potência e o seu respectivo tempo de exaustão ( $T_{lim}$ ), identificando a potência crítica (PC) como o valor assintótico e a capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) como a quantidade constante de trabalho que pode ser realizada acima da PC. Deste modo, a PC pode razoavelmente representar a intensidade onde existe uma sustentável taxa de ressíntese de ATP pelo sistema aeróbio, podendo ser mantida indefinidamente. Por outro lado, a CTA compreende os estoques limitados de energia, que seriam as reservas de fosfatos (ATP e CP), a quantidade de  $O_2$  no sangue e ligados à mioglobina e a glicólise anaeróbia. Assim, a CTA poderia ser considerada equivalente ao déficit de  $O_2$ , no entanto, diferentes estudos têm demonstrado uma correlação apenas moderada entre a CTA e o máximo déficit acumulado de  $O_2$  (HILL e SMITH, 1994; MIURA et al., 2002). Segundo o modelo, os exercícios realizados até a PC, não causariam uma depleção dos estoques de energia (CTA). Ao contrário, em intensidades acima da PC, haveria uma contínua utilização da CTA, a uma taxa determinada pela amplitude da referida intensidade em

relação à PC, sendo que o tempo de exaustão poderá ser predito através do modelo hiperbólico da relação potência vs. tempo (FUKUBA et al., 2003).

Esta relação potência vs. tempo é vantajosa, porque para intensidades que levam à exaustão dentro de 1-60 min (domínio severo-pesado), conhecendo-se os parâmetros de PC e CTA para um dado sujeito, a duração do exercício poderá ser estimada com certa precisão. Fora desta amplitude, em intensidades extremamente altas, que levariam à exaustão dentro de 60 s, a geração de força mecânica pode tornar-se limitante. Por outro lado, além dos 60 min, a duração do exercício pode ser limitada pela depleção de substratos (glicogênio), desequilíbrio hídrico e eletrolítico ou pela termorregulação. Desta forma, já é bem aceito que os fatores que podem induzir a fadiga durante exercícios de alta intensidade, para o qual a duração é tolerada por somente alguns minutos (domínio severo), serão diferentes daqueles encontrados durante exercícios de baixa intensidade que podem ser sustentados por uma ou mais horas (domínios moderado e pesado) (NOAKES, 2000).

A PC tem sido proposta recentemente, como um bom índice para a avaliação do desempenho aeróbio e predição do limiar anaeróbio (LAn) determinado através do lactato sanguíneo (HOUSH et al., 1991; WAKAYOSHI et al., 1992) ou do método ventilatório (MORITANI et al., 1981), como o limite superior do domínio pesado e o limiar de intensidade acima da qual o  $VO_{2max}$  pode ser alcançado (HILL et al., 2002). Por ser de fácil aplicação e de baixo custo, este método não-invasivo tem se mostrado adequado para a avaliação de grandes grupos de atletas, independente da fase do treinamento. Como preditor do desempenho aeróbio, a PC parece não sofrer influência do nível de performance como também da idade cronológica (HILL, 1993). No entanto, alguns estudos têm demonstrado que a PC tem superestimado a intensidade correspondente à máxima fase estável de lactato sanguíneo (MFEL) (PRINGLE e JONES, 2002; DEKERLE et al., 2003). Apesar disso, a PC é apontada como a intensidade que delimita os domínios pesado e severo (HILL et al., 2002; BURNLEY e JONES, 2007).

Três diferentes modelos têm sido utilizados para a determinação destes índices (HILL, 1993) (HILL, 1993).

1) modelo hiperbólico da relação potência vs. tempo:

$$t = CTA / (P - PC) \quad (1)$$

2) modelo linear potência vs. 1/tempo:

$$P = (CTA / t) + PC \quad (2)$$

3) modelo linear trabalho vs. Tempo:

$$T = (PC \cdot t) + CTA \quad (3)$$

Onde  $t$  = tempo; CTA = capacidade de trabalho anaeróbio;  $P$  = potência; PC = potência crítica;  $T$  = Trabalho.

Os modelos utilizados para a identificação da PC podem influenciar os valores obtidos. Gaesser et al. (1995) e Hill et al. (1995) obtiveram os menores valores através do modelo potência-tempo, um valor intermediário para o modelo trabalho tempo e os maiores valores para o modelo potência-1/tempo. Segundo Gaesser et al. (1995), este comportamento ocorre porque os modelos diferem com respeito à designação das variáveis dependentes e independentes e a unidade na qual elas são expressas. Com isso, dá-se um peso diferente para cada coordenada ( $P$  ou  $t$ ) e conseqüentemente aos valores que podem ser encontrados para a PC. No entanto, para o estudo de Hill et al. (1995) essas diferenças desapareceram quando foi permitida uma variação da cadência de pedalada. Além disso, em outro estudo, Hill (2004) novamente não encontrou diferenças entre os três modelos para a determinação da PC quando foram utilizados testes preditivos mais longos do que 3 min e os sujeitos puderam variar a cadência de pedalada. Desta forma, estas contradições entre os estudos parecem ser determinadas pelas diferenças na duração dos testes preditivos e a utilização ou não de uma cadência fixa. Segundo Hill (2004), a utilização de uma cadência variável é preferível em relação a uma cadência fixa, por permitir maiores tempos de exaustão e uma melhor descrição da relação potência-tempo.

Embora o método de identificação da PC possa ser interessante pelo seu baixo custo, é necessário que o indivíduo avaliado realize em princípio múltiplos esforços até a exaustão voluntária. Housh et al. (1990) testaram o número mínimo de cargas preditivas necessárias para identificar com precisão a PC. Neste estudo, os voluntários realizaram 4 cargas até a exaustão e a PC foi determinada com 2, 3 ou 4 pontos ( $P$  vs.  $T$ ), com todas as combinações possíveis. Os autores verificaram que as PC estimadas com apenas 2 pontos foram altamente correlacionadas ( $r > 0,96$ ) com os valores encontrados com 4 coordenadas, quando a diferença de tempo entre os dois pontos foi superior a 2,7 min. Com uma diferença maior do que 5 min., as correlações foram ainda maiores ( $r > 0,98$ ). Com isso, parece ser possível a utilização de apenas 2 pontos, com diferenças de pelo menos 3-5 minutos, para a identificação da PC.

Como visto anteriormente, a duração das cargas preditivas parece também interferir na determinação da PC. Tem sido mostrado que a utilização de cargas que não permitam durações de pelo menos 2-3 minutos, podem superestimar a PC (BISHOP et al., 1998). Bishop et al. (1998) propõem que esta influência da seleção das cargas na

determinação da PC pode ser explicada pelo efeito da “inércia aeróbia”, particularmente em intensidades que geram um tempo de exaustão (T<sub>lim</sub>) abaixo de 3 minutos. Portanto, se a PC é um índice que deve representar a capacidade funcional aeróbia, as cargas preditivas devem permitir um T<sub>lim</sub> de pelo menos 3 minutos.

Alterações no  $\text{VO}_{2\text{max}}$  e/ou na cinética do  $\text{VO}_2$  em intensidade severa adquiridas com treinamento podem refletir modificações na relação potência-tempo, e conseqüentemente na PC (JONES e BURNLEY, 2009). A PC pode ser aumentada após curtos períodos (4-6 semanas) de treinamento aeróbio (31%) (JENKINS e QUIGLEY, 1992) e treinamento intervalado de AI (~15%) (GAESSER e WILSON, 1988; POOLE et al., 1990). As alterações na CTA com o treinamento são um pouco mais complexas, assim apenas um estudo encontrou aumento significativo na CTA após treinamento de sprint (“all-out”) (JENKINS e QUIGLEY, 1993). Por outro lado, programas de treinamento efetivos na melhora da PC têm mostrado uma tendência para reduzir a CTA (JENKINS e QUIGLEY, 1992). Assim, embora reduções na CTA possam piorar o desempenho de sprint, no geral o aumento na PC e redução da CTA é benéfica para o desempenho aeróbio.

#### **2.1.4. Início do acúmulo de lactato no sangue (OBLA)**

O lactato é um importante marcador fisiológico amplamente utilizado como ferramenta para o controle da intensidade do exercício aeróbio. Como o acúmulo de lactato no sangue reflete um aumento do metabolismo anaeróbio e/ou diminuição nos mecanismos responsáveis pela remoção de lactato, e permite o zoneamento dos domínios fisiológicos, intervenções que resultem na sua melhora são de grande interesse para a prescrição do treinamento esportivo. Além disso, os índices relacionados à resposta do lactato sanguíneo são os que melhor representam a capacidade aeróbia, apresentando forte associação com o desempenho de longa duração (CAPUTO et al., 2009).

Além disso, é consenso que melhoras no limiar anaeróbio (Lan) tipicamente resultam em melhoras no desempenho predominantemente aeróbio (BILLAT, 1996; HAWLEY et al., 1997; MIDGLEY et al., 2007). O fato de corredores de longa duração (treinos mais longos em menores intensidades) possuírem este limiar mais elevado do que corredores de meia-distância (treinos mais curtos em velocidades próximas ao  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) sugerem evidências indiretas de que treinos de grande volume são mais efetivos para melhora deste limiar (MACDOUGALL, 1977; MIDGLEY et al., 2007). Entretanto, não há

evidências para suportar a premissa que treinamento em intensidades moderadas é mais eficiente para melhora deste índice em corredores bem treinados (MIDGLEY et al., 2007). A melhora do LAn está associada a adaptações musculares que reduzem a produção de lactato e aumentam sua remoção em altas intensidades (ANDERSON e RHODES, 1989). Assim, melhoras no LAn podem estar associadas a adaptações nas fibras de tipo II, sendo que treinamentos a 90-100% do  $VO_{2max}$  poderiam ser mais efetivos para a melhora do LAn (MACDOUGALL, 1977). Da mesma forma, treinamentos em intensidades pouco acima do LAn são indicados para melhora deste limiar (BILLAT et al., 2004; MIDGLEY et al., 2007). Assim, atletas bem treinados, que possuem este índice em percentuais próximos a  $P_{max}$  (>85-90%), precisariam treinar em altas intensidades para melhorar o LAn, estes suportam treinos com altas concentrações de lactato em percentuais próximos ao  $VO_{2max}$  (MIDGLEY et al., 2007).

Embora o lactato seja uma ferramenta bastante importante para o treinamento esportivo, o grande número de terminologias empregadas pelos pesquisadores para identificação dos limiares associados ao lactato sanguíneo durante o exercício de cargas progressivas dificulta a comparação entre estudos. Apesar disso, os limiares se restringem basicamente em duas categorias. A primeira categoria identifica o início do acúmulo de lactato no sangue, sendo esta geralmente definida como o Limiar de Lactato (LL), o qual é considerado o limite superior do domínio moderado de exercício. Esta terminologia se baseia em quantidades variáveis de lactato no sangue, podendo ser categorizada como a intensidade anterior ao aumento exponencial do lactato no sangue, também chamada de onset of plasma lactate accumulation (OPLA) (FARRELL et al., 1979), ou a intensidade em que os níveis de lactato sanguíneo se elevam acima de 1mM dos valores da linha de base (COYLE et al., 1983). A segunda categoria se baseia em quantidades fixas de lactato no sangue para a estimativa da máxima fase estável de lactato (MFEL). A MFEL representa a maior intensidade em exercício de carga constante em que a taxa de produção e remoção do lactato sanguíneo se equilibram, significando a maior intensidade em que os níveis de lactato sanguíneo permanecem estáveis (BILLAT et al., 2003). Embora seja usada na avaliação da capacidade aeróbia de atletas (BILLAT, 1996; BILLAT et al., 2003), sua determinação requer um mínimo de duas sessões de exercício constante em dias diferentes com duração mínima de 30 minutos. Por isso, a estimativa da MFEL por meio do Limiar Anaeróbio (LAn) (KINDERMANN et al., 1979) ou onset of blood lactate accumulation (OBLA) (SJODIN e JACOBS,

1981). Para determinação do LAn utilizam-se concentrações fixas de lactato sanguíneo de 3,5mM quando o teste incremental utiliza estágios de 3 minutos, ou 4 mM quando os estágios tem duração de 4-5 minutos (HECK et al., 1985).

Trinta minutos por um período curto (4 semanas) de treinamento intermitente na condição de hipóxia (altitude simulada 2750m), e em condição normal (nível do mar) foram capazes de aumentar a intensidade relativa ao OBLA em 11,1 e 11,9% (MORTON e CABLE, 2005). O treinamento aeróbio de alta intensidade (por 6 semanas) também tem se mostrado eficiente em aumentar a intensidade relativa ao Lan e melhorar eficiência nesta intensidade (redução de 3,8 ml.kg.min<sup>-1</sup>) (ZIEMANN et al., 2011). Assim, diversos programas de treinamento têm se mostrado eficiente na melhora dos índices relacionados a resposta do lactato sanguíneo, mostrando assim a sensibilidade deste ao estímulo do treinamento.

### 2.1.5. Cinética do VO<sub>2</sub>

O tempo para atingir o VO<sub>2</sub> correspondente a intensidade do exercício é um importante determinante à tolerância ao exercício (BAILEY et al., 2009). Desde o início do exercício, o sistema oxidativo está em atividade para contribuir na ressíntese de ATP e suprir a demanda energética requerida. Sua contribuição progride conforme o exercício avança. No entanto, nos primeiros segundos do exercício, o ATP é fornecido essencialmente pela degradação das concentrações de fosfocreatina [PCr] muscular, principalmente nos primeiros 10 segundos de exercício, como também pela glicólise anaeróbia. Assim, as vantagens de um rápido ajuste do VO<sub>2</sub> e um rápido atingimento do VO<sub>2</sub> (representado por um menor  $\tau$  do componente primário ou fase II) se deve a um menor déficit de O<sub>2</sub>, assim como menor redução nas concentrações de [PCr] muscular, menor produção de [La] sanguíneo e H<sup>+</sup> e menor degradação de glicogênio muscular (CERRETELLI et al., 1979; DEMARLE et al., 2001; BERGER et al., 2006)

É bem conhecido na literatura que, na mesma intensidade absoluta, atletas de endurance bem treinados possuem uma cinética do VO<sub>2</sub> mais rápida comparado a sujeitos ativos e sem treinamento (KOPPO et al., 2004; BURNLEY e JONES, 2007; CAPUTO e DENADAI, 2008). Além disso, foi demonstrado que em atletas altamente treinados, com hábitos de treinamento similares, o ajuste do VO<sub>2</sub> no início do exercício foi mais rápido naqueles que possuíam maior VO<sub>2max</sub> (POWERS et al., 1985). Da mesma forma, os efeitos benéficos

do treinamento de endurance sobre os parâmetros da cinética do  $\text{VO}_2$  são bem consistentes, ficando claro uma aceleração no tempo de ajuste do  $\text{VO}_2$  requerido (CERRETELLI et al., 1979; CARTER et al., 2000; DEMARLE et al., 2001; KOPPO et al., 2004; BERGER et al., 2006). Interessantemente, Cerretelli et al (1979) mostraram que esta aceleração nos músculos em exercício é associada a uma menor contribuição energética oriunda da glicólise anaeróbia no início do exercício. Além disso, um estudo subsequente mostrou que um aumento no fornecimento de energia pela glicólise anaeróbia atrasou a cinética do  $\text{VO}_2$  (KORZENIEWSKI e LIGUZINSKI, 2004).

As adaptações responsáveis por uma cinética do  $\text{VO}_2$  mais rápida parecem já acontecer nas fases iniciais do treinamento de endurance (PHILLIPS et al., 1995; FUKUOKA et al., 2002). Após quatro sessões de treino com duas horas de exercício a 60 do % $\text{VO}_{2\text{max}}$ , o  $\tau$  da fase II foi significativamente reduzido, sendo reduzido novamente após 9 dias, e também após 30 dias, no fim do treinamento (PHILLIPS et al., 1995). Sujeitos com 50 anos destreinados submetidos ao treinamento de endurance, mostraram uma redução significativa no  $\tau$  da fase II após 15 dias de treinamento, porém, desta data até o terceiro mês de treinamento, esta variável permaneceu inalterada (FUKUOKA et al., 2002). Encontrando resultados semelhantes, Murias et al. (2010) analisaram as mudanças sobre os parâmetros de cinética do  $\text{VO}_2$  e de oxigenação muscular local durante 12 semanas de treinamento aeróbio em mulheres jovens e idosas. Depois das 3 primeiras semanas de treinamento, a mudança no  $\tau$  para os dois grupos é significativa (redução de ~30-35%) e acompanhada por um “overshoot” na concentração de hemoglobina desoxigenada normalizada pelo  $\text{VO}_2$  ( $\Delta[\text{HHb}]/\Delta\text{VO}_2$ ), variáveis que se mostram atenuadas após essas primeiras semanas de treinamento. Portanto, as adaptações desta natureza acontecem de forma muito rápida, sendo esta mais rápida que a melhora do  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (PHILLIPS et al., 1995; FUKUOKA et al., 2002) e também acontecendo antes mesmo de aumentos no conteúdo de proteína mitocondrial muscular (FUKUOKA et al., 2002).

Durante anos, dois fatores principais foram postulados como determinantes da cinética do  $\text{VO}_2$  no início do exercício: (1) transporte de oxigênio para os músculos em exercício e (2) as propriedades metabólicas dos músculos (ZOLADZ et al., 2006). No entanto, estes fatores parecem ser determinantes dependendo da intensidade empregada. No exercício moderado, o aumento do  $\text{VO}_2$  no início do exercício é determinado por fatores locais das células musculares em

exercício, e não pelo transporte de  $O_2$  (GRASSI et al., 1998; GRASSI, 2001). Por outro lado, no exercício pesado ou máximo, um aumento no transporte de  $O_2$  para o músculo ativo pode acelerar a cinética do  $VO_2$  (BANGSBO et al., 2000; GRASSI, 2001). Em preparações isoladas in situ do músculo gastrocnêmio de cachorros, a retirada dos atrasos no transporte de  $O_2$  para o músculo esquelético não afetou a cinética do  $VO_2$  no exercício moderado (GRASSI et al., 1998), enquanto o mesmo experimento acelerou a cinética no exercício realizado no  $VO_{2max}$  (GRASSI et al., 2000). Assim, sugere-se que o fluxo sanguíneo muscular, portanto, o transporte por convecção de  $O_2$  pode ser um fator importante na cinética do  $VO_2$  apenas no exercício no domínio severo (ZOLADZ et al., 2006). De forma semelhante, o treinamento intervalado de alta intensidade elevou o  $VO_2$ , fluxo sanguíneo e condutância vascular na fase inicial do exercício em altas, mas não em baixas intensidades (KRISTRUP et al., 2004). Recentemente, foi sugerido que a quantidade absoluta de [PCr] que está para ser transformada em [Cr] durante a transição do repouso para o exercício é o principal determinante do tempo de transição do  $VO_2$ . No entanto, isto foi proposto por modelo computadorizado em músculos esquelético de mamíferos, assumindo-se um nível de utilização de ATP e que a reação da creatina-kinase trabalhe próxima a um equilíbrio termodinâmico (KORZENIEWSKI e ZOLADZ, 2004).

A intensidade do LL, demarcador dos domínios moderado e pesado, é fortemente correlacionada com o desempenho em eventos com duração de 30 a 60 minutos (COYLE, 1995). No entanto, atletas são capazes de competir uma maratona em intensidades próximas ou pouco acima do LL (JONES, 2006), e provas de 10-km e meia-maratona realizados em intensidades ainda mais elevadas. Assim, a PC é apontada como a máxima potência sustentada, além de ser o divisor dos domínios pesado e severo (POOLE et al., 1988; BURNLEY e JONES, 2007). A PC e o LL, além de bem correlacionados com o desempenho de endurance (KOLBE et al., 1995; JONES e DOUST, 1998), ajudam a explicar a importância da cinética do  $VO_2$  sobre a tolerância ao exercício (BURNLEY e JONES, 2007). O personagem principal nestes casos é o segundo componente da fase II da cinética do  $VO_2$ , o chamado 'componente lento'. O componente lento representa um custo adicional de oxigênio, que extrai as reservas do corpo de forma mais rápida, caso ele não existisse (BURNLEY e JONES, 2007). Ainda, representa um aumento da ineficiência metabólica com o tempo, e é temporalmente correlacionado com a dinâmica da acumulação do [La] (ROSTON et al., 1987; POOLE e JONES, 2005; BERGER et al., 2006). Assim, o

componente lento provoca uma maior taxa de acumulação de calor durante o exercício, levando a um acometimento mais cedo da hipertermia e/ou um maior grau de desidratação, caso o meio ambiente seja desfavorável a termorregulação (BURNLEY e JONES, 2007).

Pensando desta forma, a presença do componente lento se torna fator principal nos benefícios do treinamento. Um dos resultados do treinamento é a melhora do LL, em consequência, este indivíduo poderá se exercitar numa potência maior sem o surgimento do componente lento. Assim, ele se exercitará numa maior potência, porém ainda dentro do domínio moderado do exercício, possibilitando uma maior tolerância ao exercício em decorrência da ausência dos efeitos energéticos negativos provocados pelo componente lento. Assim, em eventos de longa duração, há de se esperar que maratonistas adotem um ritmo de exercício muito próximo ao LL (JOYNER, 1991; JONES, 2006; BURNLEY e JONES, 2007).

Seguindo o raciocínio, a mesma importância é vista no domínio severo. A PC delimita a transição entre os domínios pesado e severo. No exercício do domínio severo, em intensidades abaixo da  $IVO_{2max}$ , o componente lento se eleva até atingir o  $VO_{2max}$ . O alcance do  $VO_{2max}$  é um sinal iminente da exaustão (BURNLEY e JONES, 2007). Desta forma, um aumento na intensidade associada a PC significa uma maior intensidade em que o  $VO_2$  irá se estabilizar sem alcançar o  $VO_{2max}$ , possivelmente aumentando o tempo de exaustão. Além disso, permitirá que o exercício seja realizado numa intensidade maior, sem o uso da CTA. Segundo Burnley e Jones (2007), três fatores relacionados determinam a exaustão no domínio severo: a capacidade anaeróbia, que é uma das principais determinantes do  $W'$  (MIURA et al., 1999; MIURA et al., 2000), o  $VO_{2max}$ , e o componente lento do  $VO_2$ . Assim, a atenuação na taxa de desenvolvimento do componente lento do  $VO_2$  pode estender o tempo para o  $VO_{2max}$  ser alcançado, aumentando o tempo de exaustão (BURNLEY e JONES, 2007). Fato este comprovado pela boa correlação entre a PC e o desempenho de endurance (KOLBE et al., 1995; JONES e DOUST, 1998).

Em resumo, a cinética do  $VO_2$  determina direta ou indiretamente a tolerância ao exercício em uma ampla variedade de durações do exercício, acima do LL. Assim, uma potência próxima ao LL será determinante para ocorrer ou não a presença do componente lento do  $VO_2$ . Caso acima do LL, a proximidade da potência com a PC determina se o comportamento do componente lento do  $VO_2$  vai apresentar estabilidade ou não. Acima da PC, o  $VO_{2max}$  interage com o componente lento do  $VO_2$  e a capacidade anaeróbia para determinar a tolerância ao

exercício. Assim, as bem estabelecidas correlações entre o LL, PC e  $VO_{2max}$  com o desempenho de endurance podem ser vistos como uma consequência destes parâmetros influenciando o comportamento do  $VO_2$  (BURNLEY e JONES, 2007).

### **3. MÉTODOS**

### 3.1. SUJEITOS

Participaram deste estudo trinta e quatro sujeitos fisicamente ativos, do sexo masculino e feminino, não fumantes e que não faziam uso regular de qualquer tipo de medicamento. Os sujeitos foram designados de forma randômica para um dos quatro grupos de treinamento intervalado (TI): alta intensidade (AI, n=9, sete homens e duas mulheres), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS, n = 9, sete homens e duas mulheres), baixa intensidade (BI, n = 6, quatro homens e duas mulheres) ou combinado AI e RFS na mesma sessão de treinamento (AI + RFS, n = 10, três homens e sete mulheres). As características físicas dos sujeitos estão descritas na tabela 1. Após serem informados quanto aos procedimentos do estudo, os indivíduos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido concordando em participar da pesquisa (APÊNDICE I). Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina sob o número 140/2011.

### 3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os indivíduos compareceram ao laboratório em quatro diferentes ocasiões antes e após o período de 4 semanas de treinamento (Figura 1). No primeiro dia de teste foram realizadas as avaliações antropométricas, uma familiarização com o protocolo de determinação da força máxima isométrica e posteriormente um teste progressivo até a exaustão voluntária para a determinação do início do acúmulo de lactato no sangue (OBLA, onset of blood lactate accumulation), do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) e da potência máxima (Pmax). No segundo dia foi realizado um teste para determinação da força isométrica máxima dos extensores do joelho. Nos últimos dois dias de teste foram realizados três transições a 30% do  $VO_{2max}$  antes dos testes de carga constante até a exaustão voluntária a 95% ou 110% da Pmax escolhidos de forma aleatória.

Para cada indivíduo os testes foram conduzidos no mesmo horário ( $\pm 2h$ ) e em dias separados. O intervalo mínimo entre cada sessão de testes foi de 48 horas. Os indivíduos foram instruídos a não realizarem qualquer tipo de exercício de força ou aeróbico no dia anterior aos testes e a comparecerem alimentados e hidratados no dia do teste. Todos os testes foram realizados em laboratório com temperatura e umidade controladas ( $50 \pm 10\%$  umidade relativa do ar e  $21 \pm 1^\circ C$ ).

Após realizarem os testes pré treinamento, os sujeitos foram designados de forma randômica para um dos quatro diferentes grupos de treinamento (AI ou RFS ou BI ou AI+RFS) de acordo com seus valores de  $VO_{2max}$ . Os sujeitos foram verbalmente encorajados a se esforçarem o máximo possível durante todos os protocolos descritos.

### 3.3. MATERIAIS

Os testes e treinos foram realizados em um cicloergômetro de frenagem eletromagnética (Lode Excalibur Sport; Lode Medical Technology, Groningen, Netherlands) e a cadencia foi mantida a ~70 rpm. Durante os testes, na primeira e na última sessão de treinamento, o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) foi mensurado respiração a respiração durante todo o protocolo (Quark PFTergo, Cosmed, Itália). Antes do teste, o sistema de análise do  $O_2$  e  $CO_2$  foi calibrado usando o ar ambiente e gases com concentrações conhecidas de  $O_2$  e  $CO_2$ , enquanto a turbina foi calibrada por meio de uma seringa de 3L (Cosmed, Roma, Itália). Os dados de  $VO_2$  respiração a respiração obtidos durante o teste incremental foram reduzidos a médias de 15-s para determinação do  $VO_{2max}$  (Data Management Software, Cosmed, Rome, Italy) e analisados respiração a respiração para a cinética (Microcal Origin 6.0). A frequência cardíaca (FC) foi monitorada durante todos os testes (Quark PFTergo, Cosmed Srl, Rome, Italy). As análises das concentrações de lactato [La] foram feitas através de um analisador eletroquímico de lactato (YSI 1500 Sport, Yellow Springs Instrument, Yellow Springs, OH, EUA), o qual foi calibrado com uma amostra padrão de concentração de 5 mmol.l<sup>-1</sup> de lactato. A força muscular foi mensurada através de contrações voluntárias isométricas máximas dos extensores de joelho em uma cadeira extensora (Extensor de joelhos – Tonus®; São Paulo/ Brasil) e foi quantificada através de uma célula de carga com capacidade para medir 2000N de tensão adaptada a cadeira extensora para aquisição do sinal de força através de um sistema de aquisição de dados com quatro canais (Miotool 200/400 system - MioTec Biomedical, Brasil).

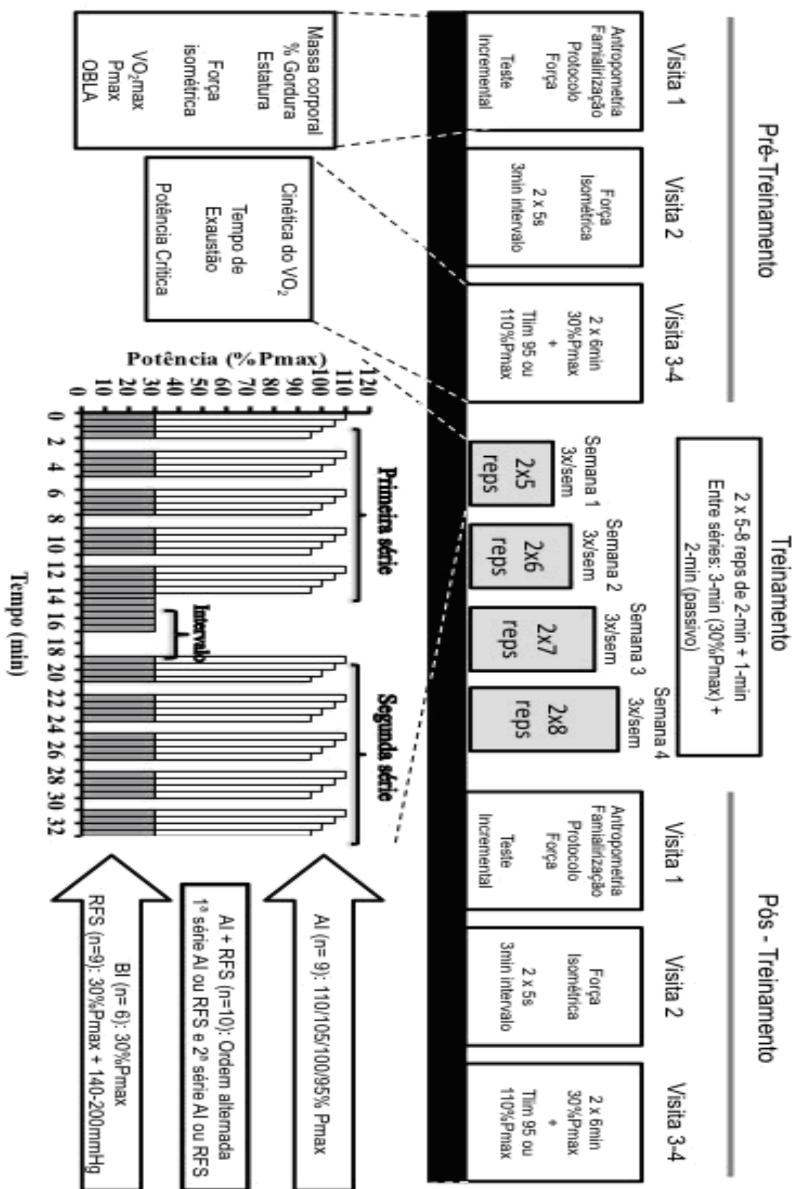


FIGURA 1 – Delineamento experimental.

### 3.4. PROTOCOLOS DOS TESTES

#### 3.4.1. Mensuração das Variáveis Antropométricas

As variáveis antropométricas massa corporal (kg) e estatura (cm) foram mensuradas através de uma balança (Filizola, São Paulo, Brasil). Para medida da espessura das dobras cutâneas foi utilizado um compasso da marca Cescorf, com resolução de 0,1 mm (Cescorf, Porto Alegre, Brasil). Para a predição dos valores de densidade corporal foi utilizada a fórmula proposta por Jackson e Pollock (1978); Jackson et al. (1980), sendo o percentual de gordura corporal estimado por fórmula proposta por Siri (1961).

#### 3.4.2. Protocolo de Determinação das Variáveis Aeróbias Máximas e Submáximas

O teste incremental foi realizado em um cicloergômetro de frenagem eletromagnética. A carga inicial foi de 1,0 W·kg<sup>-1</sup> com incrementos de 35 watts para os homens e de 25 watts para mulheres a cada 3 minutos até a exaustão voluntária. Ao final de cada estágio foram coletadas a percepção subjetiva de esforço e uma amostra de 25  $\mu$ l de sangue do lóbulo da orelha para a mensuração da [La]. O VO<sub>2max</sub> obtido no teste incremental foi considerado como o maior valor num intervalo de 15 s. Como critérios para a determinação do VO<sub>2max</sub> foram utilizados o aparecimento de um estado estável do VO<sub>2</sub> apesar de um aumento na intensidade (aumento no VO<sub>2</sub> < 150ml.min<sup>-1</sup>) ou quando dois ou mais dos seguintes critérios forem observados: (1) quociente respiratório maior que 1,1; (2) visível exaustão; (3) frequência cardíaca (FC) máxima ao final do teste pelo menos igual a 90% do valor máximo predito (220 – idade) e; (4) [La] ao final do exercício maior que 8 mmol.l<sup>-1</sup>(TAYLOR et al., 1955). As concentrações de lactato foram plotadas em função da intensidade, sendo considerado o OBLA a intensidade de exercício correspondente a uma concentração fixa de lactato de 3,5 mM (HECK et al., 1985). A Pmax foi determinada de acordo com a equação:

$$P_{max} = P_1 + [t (s)/180 (s) \times \text{incremento (W)}] \quad (1)$$

Onde: Pmax – potência máxima atingida durante o teste incremental (W); P1 - potencia do ultimo estágio completo (W); “t” é o tempo do estágio incompleto.

### 3.4.3. Determinação da Potência Crítica

Os indivíduos realizaram em dias diferentes e em ordem aleatória, um teste a 95% e outro a 110% da P<sub>max</sub>. Ambos os testes foram precedidos por duas repetições de 6-min a 30% da P<sub>max</sub> com intervalo de 6-min de descanso passivo entre elas. Após 5 min de descanso passivo, a intensidade foi ajustada em 95% ou 110% da P<sub>max</sub> para obtenção do tempo até exaustão (T<sub>lim</sub>). A carga do T<sub>lim</sub> foi mantida até a exaustão voluntária ou até que o indivíduo não pudesse manter a cadência próxima a 70 rpm. As variáveis cardiorrespiratórias foram mensuradas continuamente durante todo o protocolo. O T<sub>lim</sub> foi considerado como o tempo total de esforço mantido na P<sub>max</sub> e expresso em segundos. Quatro transições repouso-exercício a 30% da P<sub>max</sub> foram realizadas para obter uma medida mais robusta para a análise da cinética do VO<sub>2</sub> (LAMARRA et al., 1987).

Os valores individuais de potência e T<sub>lim</sub> obtidos durante os testes de carga constante foram ajustados a partir do seguinte modelo de regressão linear (HILL, 1993):

$$P = PC + CTA (1/T_{lim}) \quad (2)$$

Onde: T<sub>lim</sub> será o tempo de exaustão na potência realizada (P); CTA será capacidade de trabalho anaeróbio (joules), e PC será a potência crítica (W).

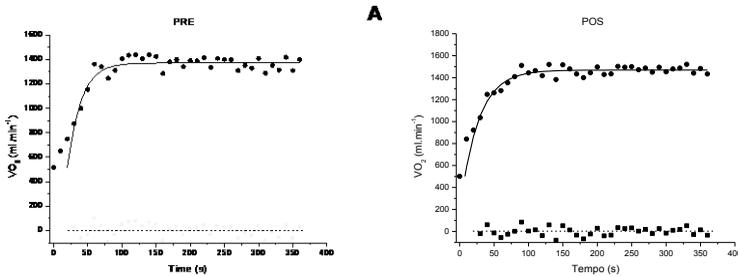
### 3.4.4. Cinética do VO<sub>2</sub>

Cada transição repouso-exercício foi alinhada ao tempo zero no início de todos os testes de carga constante a 30% da P<sub>max</sub>. Os dados foram então editados e os pontos que estivessem 4 DP acima ou abaixo da média móvel foram excluídos para análise da cinética. Posteriormente, para cada transição de exercício os dados respiração a respiração do VO<sub>2</sub> foram linearmente interpolados para obter valores com intervalos de 1 s. Os dados referentes às seis transições foram alinhados, e assim foi calculado um valor médio de VO<sub>2</sub> a cada 1-s gerando uma única curva por sujeito em cada um dos períodos de teste (pré- e pós-treinamento) com o objetivo de diminuir o "ruído" e acentuar as características fundamentais das respostas fisiológicas (Lamarra et al. 1987) (LAMARRA et al., 1987). Finalmente, os dados de VO<sub>2</sub> a cada segundo foram reduzidos a média de 10s e posteriormente ajustados com uma função mono-exponencial após a transição da fase I (fase

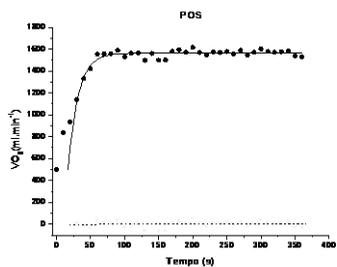
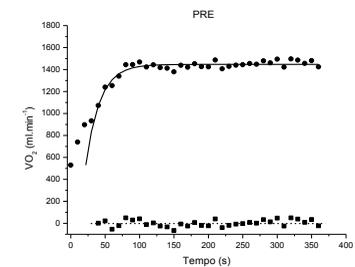
cardiodinâmica) – fase 2 (fundamental). Essa transição foi determinada tanto por inspeção visual ou maximizando a predição da constante de tempo e seu intervalo de confiança (Figura 2). Portanto, o intervalo de pontos para o ajuste foi movido em torno dos pontos na fase de transição como descrito previamente por Rossiter et al. (1999). O tempo de curso da resposta do  $\text{VO}_2$  foi descrito por uma função mono-exponencial através de um modelo de regressão não linear (Microcal Origin 6.0) utilizando os dados de  $\text{VO}_2$  respiração a respiração:

$$\text{VO}_2(t) = \text{VO}_{2\text{base}} + A \cdot (1 - e^{-(t - \text{TD})/\tau}) \quad (3)$$

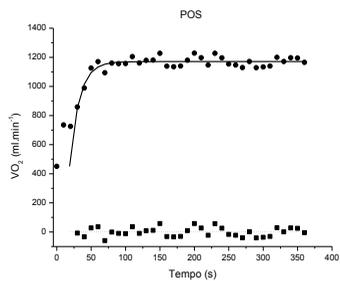
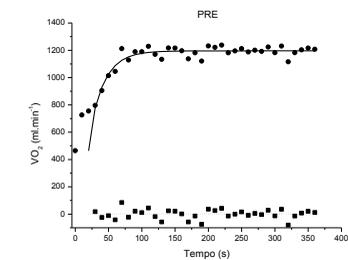
Onde: o  $\text{VO}_2(t)$  é o  $\text{VO}_2$  no tempo  $t$ ;  $\text{VO}_{2\text{base}}$  é a média de 30 s do  $\text{VO}_2$  anterior ao teste;  $A$  é a amplitude no  $\text{VO}_2$  ( $\text{VO}_{2\text{assimptota}} - \text{VO}_{2\text{base}}$ );  $\text{TD}$  é o tempo de atraso (s) o  $\tau$  é a constante de tempo (definida como o tempo requerido para atingir 63% de  $A$ ).



B



C



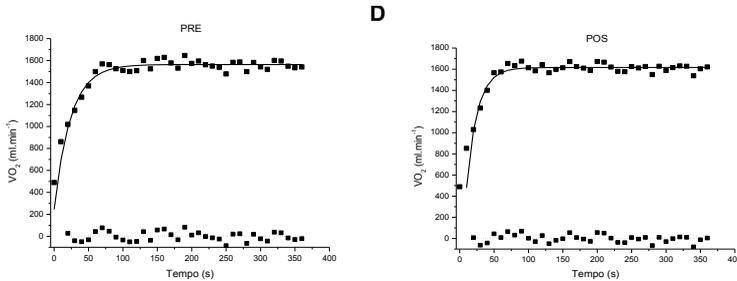


FIGURA 2 – Ajuste da resposta do  $VO_2$  e seus respectivos resíduos para um sujeito representativo de cada grupo pré (painéis da esquerda) e pós (painéis da direita) treinamento de BI (painel A), RFS (painel B), AI (painel C) e AI + RFS (painel D). Dados são valores médios de 10-s.

### 3.4.5. Protocolo de Mensuração da Força Máxima Isométrica

Após o aquecimento de 5 minutos em cicloergometro a 50% da  $P_{max}$  os voluntários foram posicionados em uma cadeira extensora e devidamente afivelados por dois cintos cruzando o tórax para evitar movimentos que possam influenciar nos valores de força. O ângulo entre o tronco/coxa foi de  $90^\circ$ . Os sujeitos realizaram com ambas as pernas simultaneamente, duas contrações isométricas máximas de 5-s dos extensores do joelho no ângulo de  $70^\circ$  (considerando que  $0^\circ$  corresponde à extensão completa do joelho) com um intervalo de 3 minutos de repouso passivo entre as contrações. Os ajustes da cadeira extensora feitos no primeiro teste (familiarização) foram registrados e repetidos em todos os testes subsequentes. Uma célula de carga com capacidade para medir 2000N de tensão foi adaptada a cadeira extensora para aquisição da força através de um sistema de aquisição de dados com quatro canais (Miotoool 200/400 system, MioTec Biomedical, Brasil). Os sujeitos foram verbalmente encorajados a realizar o esforço máximo e o maior valor de força obtido foi considerado para análise.

## 3.5. PROTOCOLOS DE TREINAMENTO

Para todos os grupos (AI, RFS, BI e AI+RFS) o programa de treinamento consistiu em três sessões por semana realizadas em cicloergometro durante um período de 4 semanas. Cada sessão de treinamento foi composta por 2 séries de 5 repetições na primeira

semana. Após completar três sessões de treino, uma repetição foi adicionada em cada série, portanto na última semana de treinamento a sessão foi composta por 2 séries de 8 repetições. Cada repetição teve duração de 2 minutos, intercaladas com 1 minuto de descanso passivo. O tempo de recuperação entre as séries foi de 5 minutos (3 minutos de recuperação ativa a 30% da Pmax com 2 minutos de recuperação passiva). O mesmo protocolo (tempo de exercício) foi utilizado para todos os grupos. Todas as sessões de treinamento foram precedidas por um aquecimento de 5 minutos a 30% da Pmax. Variáveis cardiorrespiratórias, percepção subjetiva de esforço (PE) e amostras de sangue (25 µl) para análise da [La] foram coletadas durante a primeira e última sessão de treinamento para todos os grupos.

### **3.5.1. Grupo Baixa Intensidade com Restrição de Fluxo Sanguíneo**

A restrição foi realizada na porção proximal de ambas as coxas utilizando um esfigmomanômetro para obesos (18cm de largura - Missouri®, Japan). Na primeira semana, as tiras do manguito foram infladas até a pressão de 140 mmHg durante as repetições (2 min) e desinfladas durante os períodos de descanso (1 min). Aumentos na pressão de 20 mmHg foram realizados a cada três sessões, assim na última sessão a pressão aplicada foi de 200 mmHg com objetivo de realizar uma severa restrição de fluxo sanguíneo (PARK et al., 2010; LOENNEKE et al., 2011; LOENNEKE et al., 2012). A pressão nos manguitos foi aumentada a cada semana para prover estímulo contínuo ao treinamento porque a pressão aplicada durante o treino é uma das variáveis relativas a intensidade, além disso os sujeitos se adaptavam a esse estímulo nas primeiras fases do treinamento (ABE et al., 2006; PARK et al., 2010). O treinamento com RFS foi realizado de forma intermitente para prover maior estímulo (i.e. para aumentar a tolerância a intensidade e a pressão aplicada) e por proporcionar episódios curtos de isquemia e reperfusão, uma vez que estes episódios têm proporcionado estímulos adicionais para biogênese mitocondrial e angiogênese (CLANTON e KLAWITTER, 2001; ZHAO et al., 2011). Assim, a pressão foi reduzida a zero em todos os intervalos de descanso entre as repetições (1 minuto) e entre as duas séries (5 minutos).

### **3.5.2. Grupo Alta Intensidade**

Durante este treino foram aplicadas quatro diferentes intensidades de exercício de modo decrescente dentro de cada repetição. A

intensidade inicial foi de 110%, baixando para 105%, 100% e terminando em 95% da Pmax. Cada intensidade foi mantida por 30 segundos, totalizando dessa forma os 2 minutos de cada repetição de exercício. Este protocolo de exercício foi designado para aumentar a potência média sustentada durante o treino, pois os protocolos iniciando com cargas mais elevadas (“fast start”) têm mostrado uma cinética do VO<sub>2</sub> mais rápida e conseqüentemente, maior tolerância ao exercício comparado a protocolos de carga constante (JONES et al., 2008).

### **3.5.3. Grupo Treinamento Combinado**

Este grupo combinou ambos os tipos de treinamento propostos acima dentro da mesma sessão de treino. Os indivíduos realizaram uma série a 30% da Pmax com RFS e a outra série em alta intensidade sem RFS. A ordem das séries foi invertida a cada sessão de treino.

### **3.5.4. Grupo Baixa Intensidade**

O grupo que treinou em baixa intensidade realizou o treinamento na mesma intensidade (30% da Pmax) do grupo de baixa intensidade com RFS, porém sem realizar a RFS na coxa.

## **3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Foram calculadas as médias e desvio padrão dos dados obtidos. A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk. Para as variáveis que apresentaram distribuição normal, as comparações foram realizadas pela análise de variância two-way (grupo vs. tempo) complementado pelo teste de diferença mínima significativa de Fisher. As variáveis que não apresentaram distribuição normal foram comparadas pelo teste não paramétrico de Mann Whitney (entre grupos) e Wilcoxon (intra grupos). As comparações dos deltas percentuais dentro de cada grupo foram realizadas pelo teste de Kruskal-Wallis e complementado pelo teste de Mann Whitney. As correlações entre os valores pré treinamento e os deltas percentuais foram analisadas através do teste de correlação de Pearson. Em todos os testes foi adotado um nível de significância de  $p < 0,05$ .

#### 4. RESULTADOS

Não foram encontradas diferenças nas características físicas dos sujeitos entre os grupos em nenhuma das condições (pré ou pós treinamento). Além disso, nenhum dos grupos apresentou alterações na massa corporal (MC) e no percentual de gordura (%G) após os programas de treinamento (tabela 1).

TABELA 1. Valores médios  $\pm$  desvio padrão (DP) das características físicas dos sujeitos dos grupos alta intensidade (AI), combinado (AI + RFS), baixa Intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) e baixa intensidade (BI) antes e após 4 semanas de treinamento.

	Idade (anos)	Estatura (cm)	Massa		Gordura	
			corporal (kg)		corporal (%)	
			<i>Pré</i>	<i>Pós</i>	<i>Pré</i>	<i>Pós</i>
<b>AI</b>	22 $\pm$	173 $\pm$	70,3 $\pm$	70,1 $\pm$	21,5 $\pm$	20,8 $\pm$
	7	9	9,4	9,3	2,3	3,6
<b>AI+RFS</b>	24 $\pm$	169 $\pm$	68,0 $\pm$	69,6 $\pm$	23,1 $\pm$	23,0 $\pm$
	5	8	11	11	5,9	6,1
<b>RFS</b>	26 $\pm$	173 $\pm$	68,0 $\pm$	68,2 $\pm$	19,9 $\pm$	19,7 $\pm$
	5	9	12	13	1,8	2,9
<b>BI</b>	24 $\pm$	170 $\pm$	70,2 $\pm$	70,4 $\pm$	21,1 $\pm$	21,2 $\pm$
	3	12	12	13	2,7	2,1

A descrição dos quarto protocolos de treinamento está demonstrada na tabela 2. Embora a duração das sessões tenha sido a mesma (minutos) para os quarto grupos, o volume da sessão e o volume total [trabalho(W)/tempo(s)] de treinamento foram  $\sim$ 340% maiores para AI comparado aos grupos RFS e BI e  $\sim$ 171% maiores que o grupo AI + RFS. A percepção de esforço foi similar entre AI, AI + RFS e RFS e todos os grupos foram maiores que BI. O pico [La] foi similar entre AI e AI+RFS e maiores que RFS e BI, porém RFS foi maior que BI. As respostas da FC foram significativamente diferentes entre os quarto

grupos de treinamento. O  $VO_2$  durante a sessão foi similar entre RFS e BI e ambos foram menores que AI e AI+RFS, contudo AI foi maior que AI+RFS. Na figura 3 estão apresentadas as resposta do  $VO_2$  e da FC de um sujeito representativo durante a primeira e a última sessão de treinamento.

TABELA 2. Descrição do treinamento dos grupos alta intensidade (AI), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS), baixa intensidade (BI) e combinado AI e RFS (AI + RFS).

<b>Parâmetros</b>	<b>AI</b>	<b>AI + RFS</b>	<b>RFS</b>	<b>BI</b>
<i>Protocolo de treinamento</i>	2 séries [120s × 5-8 repetições] 60s repouso entre as repetições			
<i>Tempo da sessão (s)</i>	1200 – 1920			
<i>Intensidade (W)</i>	~102%P <sub>max</sub> (~236W)	~66%P <sub>max</sub> (~138W)*	30% P <sub>max</sub> (~66W)*\$	
<i>Percepção de Esforço</i>	7,6 ± 1,4	5,1 ± 1,4	7,3 ± 1,4	1,3 ± 0,5
<i>Pico [La] (mM)</i>	10,1 ± 2 <sup>#</sup>	9,1 ± 1,9 <sup>#</sup>	5,3 ± 1,7*\$	1,6 ± 0,4*#\$
<i>Pico FC (%HR<sub>max</sub>)</i>	96 ± 2,9*\$	84 ± 8,6*#	70 ± 9,2*\$	60 ± 5,1*#\$
<i>Pico VO<sub>2</sub> (%VO<sub>2max</sub>)</i>	98 ± 6*\$	70 ± 6,5*#	42 ± 4,7*\$	45 ± 2,4*\$
<i>Volume da sessão (kJ)</i>	284 – 454	165-264*	83 – 133*\$	
<i>Volume total (kJ)</i>	4424	2583*	1300*\$	

As respostas da percepção de esforço (PE), [La], Pico frequência cardíaca (FC) e Pico  $VO_2$  são os valores médios obtidos durante a primeira e a última sessões de treinamento. Taxa de PE foi mensurada através de uma escala de 0 a 10. \* Significativamente diferente de AI; # Significativamente diferente de RFS; \$ Significativamente diferente de AI+RFS (P<0,05).

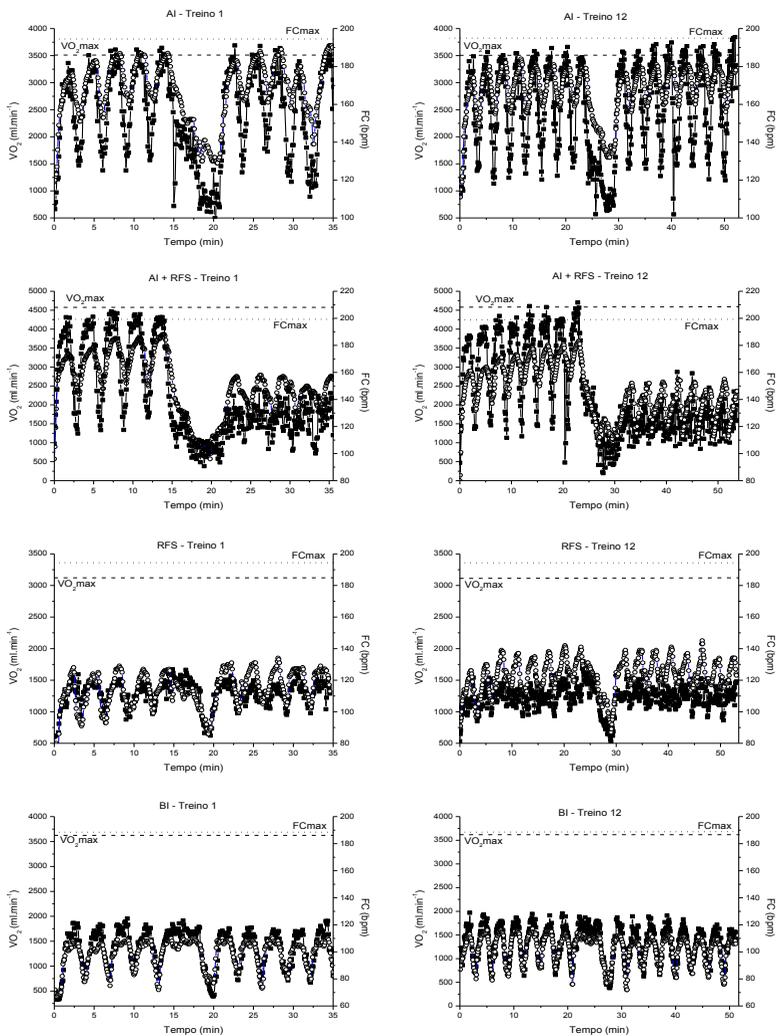


FIGURA 3. Resposta do  $\text{VO}_2$  (○) e da FC (■) durante a primeira e a última sessão de treinamento intervalado para um sujeito representativo de cada grupo: alta intensidade (AI), combinado (AI+RFS), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) e baixa intensidade (BI).

Variáveis máximas e submáximas obtidas durante o teste incremental e o teste de força isométrica máxima estão descritas na tabela 3. Os grupos contêm ambos, homens e mulheres, assim, os valores de  $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$  e OBLA estão relativizados pela massa corporal. Os valores obtidos pré treinamento de  $VO_{2max}$  para o grupo RFS foram maiores apenas do que AI+RFS. Os valores de  $VO_{2max}$  pós treinamento para grupo AI e RFS foram semelhantes entre si e maiores do que para os grupos AI+RFS e BI. Os valores de  $P_{max}$  pré treinamento foram semelhantes entre todos os grupos. Contudo, os valores pós treinamento de  $P_{max}$  para o grupo BI foram menores em relação ao grupo AI+RFS e ambos menores do que o grupo AI e RFS. Os valores de  $P_{max}$  dos grupos AI e RFS foram semelhantes. Para a variável de capacidade aeróbia (OBLA), o grupo RFS apresentou valores iniciais maiores do que os outros grupos, enquanto estes foram semelhantes entre si. No pós treino, os valores de OBLA foram similares entre os grupos AI, AI+RFS e RFS e todos foram maiores do que para BI. Para a força isométrica máxima, os valores pré treinamento do grupo AI foram maiores que os valores encontrados para os demais grupos. Os valores de força isométrica máxima pós treinamento para o grupo RFS foram maiores que AI + RFS e BI e semelhante ao grupo AI.

TABELA 3. Valores médios  $\pm$  DP das variáveis aeróbias e da força isométrica máxima antes e após 4 semanas de treinamento intervalado para os grupos alta intensidade (AI), combinado (AI+RFS), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) e baixa intensidade (BI).

Parâmetro		Grupo			
		AI	AI+RFS	RFS	BI
<b>VO<sub>2max</sub></b> (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	<i>Pré</i>	45,5 $\pm$ 4,1	43,9 $\pm$ 8,3 <sup>C</sup>	46,4 $\pm$ 8,9 <sup>B</sup>	44,7 $\pm$ 4,0
	<i>Pós</i>	49,9 $\pm$ 4,7 <sup>BD*</sup>	45,8 $\pm$ 9,6 <sup>AC*</sup>	48,6 $\pm$ 9,1 <sup>BD*</sup>	44,5 $\pm$ 4,2 <sup>AC</sup>
<b>P<sub>max</sub></b> (W.kg <sup>-1</sup> )	<i>Pré</i>	3,32 $\pm$ 0,33	3,06 $\pm$ 0,79	3,34 $\pm$ 0,85	3,18 $\pm$ 0,40
	<i>Pós</i>	3,78 $\pm$ 0,28 <sup>BD*</sup>	3,38 $\pm$ 0,81 <sup>ACD*</sup>	3,72 $\pm$ 0,90 <sup>BD*</sup>	3,24 $\pm$ 0,36 <sup>ABC</sup>
<b>OBLA</b> (W.kg <sup>-1</sup> )	<i>Pré</i>	2,02 $\pm$ 0,25 <sup>C</sup>	1,95 $\pm$ 0,62 <sup>C</sup>	2,21 $\pm$ 0,81 <sup>ABD</sup>	2,04 $\pm$ 0,33 <sup>C</sup>
	<i>Pós</i>	2,52 $\pm$ 0,31 <sup>D*</sup>	2,41 $\pm$ 0,68 <sup>D*</sup>	2,53 $\pm$ 0,79 <sup>D*</sup>	2,15 $\pm$ 0,27 <sup>ABC</sup>
<b>Força</b> (kg)	<i>Pré</i>	142 $\pm$ 34 <sup>BCD</sup>	133 $\pm$ 37 <sup>A</sup>	133 $\pm$ 29 <sup>A</sup>	132 $\pm$ 35 <sup>A</sup>
	<i>Pós</i>	140 $\pm$ 27	127 $\pm$ 34 <sup>C</sup>	145 $\pm$ 26 <sup>BD*</sup>	128 $\pm$ 31 <sup>C</sup>

As letras indicam diferença entre os grupos na mesma condição: <sup>A</sup> significativamente diferente do grupo AI; <sup>B</sup> significativamente diferente do grupo AI+RFS; <sup>C</sup> significativamente diferente do grupo RFS; <sup>D</sup> significativamente diferente do grupo BI; \* diferença significativa da condição pré treinamento (P<0,05).

Os valores individuais de variação percentual entre os testes pré e pós treinamento estão apresentados na figura 4. As variações percentuais para o  $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$  e OBLA foram semelhantes entre AI, AI+RFS e RFS e todos foram diferentes do grupo BI. Para a força isométrica apenas o grupo RFS apresentou diferença em relação aos demais grupos.

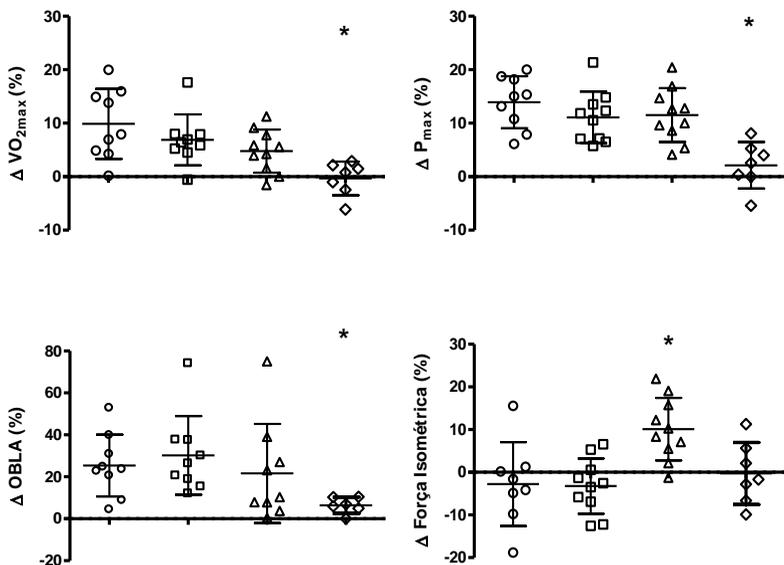


FIGURA 4. Variação percentual ( $\Delta$ ) das variáveis  $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , OBLA e Força Isométrica Máxima antes e após 4 semanas de treinamento intervalado de alta intensidade ( $\circ$ AI), combinado ( $\square$ AI+RFS), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo ( $\Delta$  RFS) e baixa intensidade sem restrição de fluxo sanguíneo ( $\diamond$  BI). \* Diferença significativa.

O tempo limite (Tlim) dos testes de carga constante a 95 e 110% da  $P_{max}$  e as variáveis calculadas através dos Tlim, potência crítica (PC) e capacidade de trabalho anaeróbio (CTan), estão demonstradas na tabela 4. O Tlim nas duas intensidades relativas (95 e 110% da  $P_{max}$ ) não demonstraram diferenças significantes entre os grupos tanto na condição pré quanto na condição pós treinamento. Além disso, o desempenho para a mesma carga relativa (95 e 110% da  $P_{max}$ ) não mostrou diferenças significantes após o treinamento. Na condição pré treinamento, a PC é

menor para grupo combinado (AI + RFS) do que para os demais grupos. Após o treinamento, a PC é maior no grupo AI do que nos demais grupos, porém o grupo RFS é maior apenas que o grupo AI + RFS e BI. Apenas os grupos AI, AI + RFS e RFS apresentaram melhoras significantes na PC após as 4 semanas de treinamento (20, 16 e 15%, respectivamente). A CTA pré treinamento apresentou valores semelhantes entre AI e BI, o grupo BI apresentou maiores valores que os grupos AI + RFS e RFS, enquanto o grupo AI foi maior apenas que o grupo combinado (AI + RFS). O grupo BI mostra uma piora significante na CTA enquanto os demais grupos não mostram alterações.

Os parâmetros da cinética do  $VO_2$  durante intensidade moderada de exercício antes e após 4 semanas de treinamento intervalado estão apresentados na tabela 5. Antes do treinamento o  $VO_{2base}$  do grupo RFS foi menor do que do grupo AI e BI, e do grupo AI + RFS foi menor apenas que do grupo BI. Após o treinamento o  $VO_{2base}$  foi menor para AI + RFS que para AI e BI apenas. Para a amplitude (A) e para o  $VO_{2FE}$  não houve diferença significante entre os grupos em nenhuma das condições. Os valores de  $\tau$  pré treinamento não apresentaram diferenças entre os grupos, porém após o treinamento todos os grupos apresentaram valores menores que o grupo BI. Quando comparados os valores pré e pós treinamento das variáveis  $VO_{2base}$ , A e  $VO_{2EE}$  nenhuma diferença foi verificada após o treinamento. Contudo, para o  $\tau$  reduções significantes foram encontradas para os grupos AI, AI + RFS e RFS após 4 semanas de treinamento (34, 28, 20%, respectivamente).

TABELA 4. Valores médios  $\pm$  DP do tempo limite (Tlim), potência crítica (PC) e capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) obtidos durante os testes de carga constante a 95 e 110% da  $P_{max}$ , antes e após quatro semanas de treinamento intervalado dos grupos de alta intensidade (AI), combinado (AI+RFS), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) e baixa intensidade (BI).

Parâmetro		Grupo			
		AI	AI+RFS	RFS	BI
Tlim 95% (s)	<i>Pré</i>	414 $\pm$ 67	415 $\pm$ 136	456 $\pm$ 99	433 $\pm$ 105
	<i>Pós</i>	461 $\pm$ 90	438 $\pm$ 124	4424 $\pm$ 91	417 $\pm$ 83
Tlim 110% (s)	<i>Pré</i>	233 $\pm$ 20 <sup>B</sup>	279 $\pm$ 180 <sup>ACD</sup>	233 $\pm$ 37 <sup>B</sup>	247 $\pm$ 53 <sup>B</sup>
	<i>Pós</i>	234 $\pm$ 27	258 $\pm$ 127 <sup>CD</sup>	213 $\pm$ 52 <sup>B</sup>	226 $\pm$ 30 <sup>B</sup>
PC (W)	<i>Pré</i>	175 $\pm$ 36 <sup>B</sup>	154 $\pm$ 54 <sup>ACD</sup>	171 $\pm$ 51 <sup>B</sup>	177 $\pm$ 20 <sup>B</sup>
	<i>Pós</i>	206 $\pm$ 33 <sup>BCD *</sup>	176 $\pm$ 55 <sup>AC *</sup>	193 $\pm$ 50 <sup>ABD *</sup>	189 $\pm$ 30 <sup>AC</sup>
CTA (kJ)	<i>Pré</i>	18,9 $\pm$ 4 <sup>B</sup>	13,1 $\pm$ 4,2 <sup>CD</sup>	17,6 $\pm$ 7,5 <sup>BD</sup>	20,9 $\pm$ 8,4 <sup>BC</sup>
	<i>Pós</i>	20,1 $\pm$ 5,1 <sup>BCD</sup>	14,6 $\pm$ 4,1 <sup>A</sup>	16,4 $\pm$ 8,4 <sup>A</sup>	16,2 $\pm$ 4,6 <sup>A*</sup>

Valores médios  $\pm$  DP. As letras indicam diferença entre os grupos na mesma condição: <sup>A</sup> significativamente diferente do grupo AI; <sup>B</sup> significativamente diferente do grupo AI+RFS; <sup>C</sup> significativamente diferente do grupo RFS; <sup>D</sup> significativamente diferente do grupo BI; \* significativamente diferente do pré treinamento (P<0,05).

TABELA 5. Valores médios  $\pm$  DP das variáveis da cinética do  $\text{VO}_2$  durante o exercício em intensidade moderada antes e após o treinamento intervalado de alta intensidade (AI), combinado (AI+RFS), baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS) e baixa intensidade (BI).

Parâmetro		Grupo			
		AI	AI+RFS	RFS	BI
$\text{VO}_{2\text{base}}$ ( $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ )	<i>Pré</i>	$0.47 \pm 0.06^{\text{C}}$	$0,45 \pm 0,07^{\text{D}}$	$0.44 \pm 0.10^{\text{AD}}$	$0.49 \pm 0.11^{\text{C}}$
	<i>Pós</i>	$0.48 \pm 0.10$	$0,44 \pm 0,09^{\text{AD}}$	$0.45 \pm 0.07$	$0.48 \pm 0.10$
A ( $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ )	<i>Pré</i>	$0.92 \pm 0.21$	$0,83 \pm 0,22$	$0.83 \pm 0.13$	$0.90 \pm 0.16$
	<i>Pós</i>	$0.88 \pm 0.19$	$0,89 \pm 0,22$	$0.86 \pm 0.19$	$0.93 \pm 0.27$
$\tau$ (s)	<i>Pré</i>	$20.3 \pm 4.0$	$16,5 \pm 4,5$	$18.3 \pm 3.2$	$17.9 \pm 6.2$
	<i>Pós</i>	$13.1 \pm 2.9^{*\text{D}}$	$11,6 \pm 3,6^{*\text{D}}$	$14.5 \pm 3.4^{*\text{D}}$	$17.7 \pm 4.3$
$\text{VO}_{2\text{FE}}$ ( $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ )	<i>Pré</i>	$1.40 \pm 0.25$	$1,29 \pm 0,29$	$1.27 \pm 0.18$	$1.37 \pm 0.27$
	<i>Pós</i>	$1.36 \pm 0.26$	$1,32 \pm 0,29$	$1.31 \pm 0.23$	$1.38 \pm 0.33$

$\text{VO}_{2\text{base}}$ ,  $\text{VO}_2$  antes do exercício; A, amplitude do  $\text{VO}_2$ ;  $\tau$ , constante de tempo da cinética (tempo para atingir 63% de A);  $\text{VO}_{2\text{FE}}$ ,  $\text{VO}_2$  ao final do exercício. As letras indicam diferença entre os grupos na mesma condição: <sup>A</sup> diferença significativa de AI; <sup>B</sup> diferença significativa de AI+RFS; <sup>C</sup> diferença significativa de RFS; <sup>D</sup> diferença significativa de BI; e \* diferença significativa do pré treinamento.

Quando agrupados os sujeitos dos grupo AI, RFS e AI + RFS, as melhoras percentuais no  $VO_{2max}$  não apresentaram correlação com os seus valores pré treinamento. Porém, as demais variáveis aeróbias  $P_{max}$ , PC e OBLA apresentaram correlação negativa significativa com seus valores iniciais. Para o grupo com RFS que demonstrou aumentos na força muscular, também foram observadas correlação negativa significativa com seus valores pré treinamento. Assim, os sujeitos que apresentavam os menores valores pré treinamento apresentaram as maiores melhoras percentuais.

O percentual de melhora dos índices aeróbios, quando comparado dentro do mesmo grupo, mostrou que o  $VO_{2max}$  foi a variável com o menor aumento em relação as demais variáveis para o treinamento com RFS. Não foram observadas diferenças no percentual de melhora entre  $P_{max}$ , OBLA, PC e cinética do  $VO_2$  para o grupo com RFS. No treinamento AI + RFS, o  $VO_{2max}$  também foi a variável com menor alteração percentual comparado aos outros índices. Além disso, a  $P_{max}$  e a PC melhoraram em menor proporção do que o OBLA e a cinética de  $VO_2$  para o AI + RFS. Para o treinamento de AI o  $VO_2$  e a  $P_{max}$  obtiveram aumentos semelhantes, porém ambos foram menores que o OBLA e a cinética do  $VO_2$ , enquanto a PC não mostrou diferença entre nenhuma das variáveis.

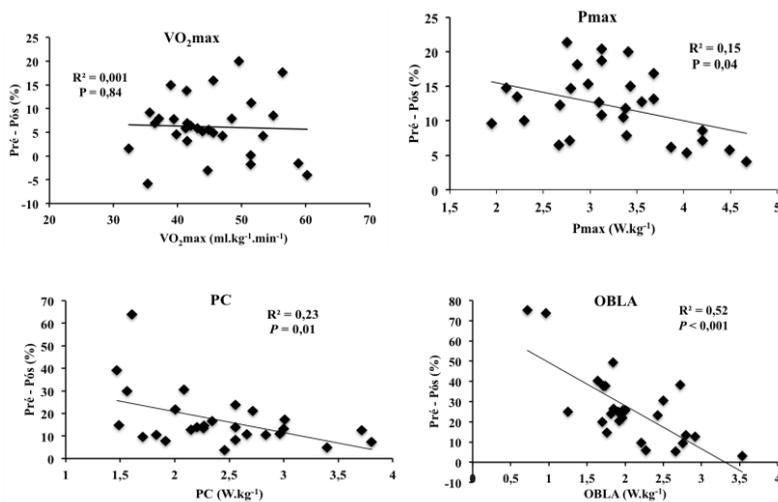


FIGURA 5. Correlação entre as melhoras percentuais e os valores iniciais (pré treinamento) para as variáveis aeróbias  $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , PC e OBLA dos grupos que apresentaram melhora significativa (AI, AI + RFS e RFS).

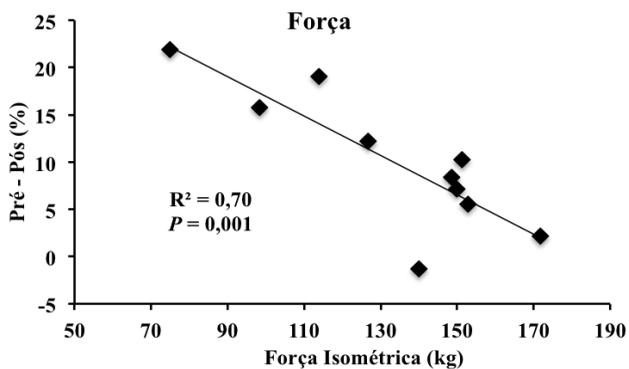


FIGURA 6. Correlação entre as melhoras percentuais e os valores iniciais (pré treinamento) de força isométrica para o grupo de treinamento intervalado de baixa intensidade com restrição de fluxo sanguíneo (RFS).



## 5. DISCUSSÃO

O objetivo central deste estudo foi analisar e comparar os efeitos de quatro diferentes protocolos de TI (BI, RFS, AI e AI + RFS) sobre os índices de aptidão aeróbia e neuromuscular. Nosso principal resultado foi que 4 semanas (12 sessões) de treinamento intervalado com RFS melhorou de forma significativa todas as variáveis selecionadas ( $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , OBLA, PC,  $\tau$  e força muscular), enquanto o treinamento intervalado de AI e AI + RFS induziram melhoras apenas nas variáveis aeróbias ( $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , OBLA, PC e  $\tau$ ) com magnitude similar as conseguidas através do treinamento com RFS. Por outro lado, o treinamento intervalado de baixa intensidade sem RFS (“controle” para o grupo RFS) não foi suficiente para melhorar os índices aeróbios e a força muscular. Portanto, nossos resultados destacam a superioridade do treinamento intervalado de baixa intensidade com RFS comparado aos outros modos de treinamento, sendo pela primeira vez, demonstradas melhoras concomitantes nos parâmetros aeróbios e na força muscular decorrentes de um único modo de treinamento de curta duração (4 semanas). Apesar do grupo AI + RFS ter realizado uma série de exercício com RFS, provavelmente o volume de treinamento não foi suficiente para induzir aumentos na força muscular. Portanto, a quantidade de exposição a uma aumentada sobrecarga induzida pela RFS, associado ou não a um efeito concorrente do treinamento de AI, parece determinar as respostas adaptativas ligadas ao aumento de força muscular. Do ponto de vista prático, treinar com RFS promoveu uma melhora funcional significativa nos sujeitos ativos deste estudo utilizando uma única sessão curta de treinamento (30-45min) e baixa intensidade (~66 W ou 40% do  $VO_{2max}$ ), com magnitudes similares aquelas demonstradas pela combinação de diferentes modos de exercício (~1h), i.e., modos de treinamentos concorrentes aeróbio mais resistido (SALE et al., 1990; IZQUIERDO et al., 2004; SILLANPAA et al., 2009; MIKKOLA et al., 2012; DE SOUZA et al., 2013).

O presente estudo mostrou que apenas o treinamento aeróbio com RFS melhorou a força isométrica máxima em 10%, a qual é similar ao demonstrado por Abe et al. (2006) usando treinamento de caminhada com RFS e pouco maior que os 6.5% após curto período de treinamento de resistência com RFS (FUJITA et al., 2008). Já é amplamente conhecido que a área de secção transversa (AST), juntamente com a habilidade de ativar o maior número de unidades motoras, são os

principais determinantes da força máxima de contração do músculo esquelético em humanos (KOMI, 1986). Infelizmente, no presente estudo não foi possível medir nenhum dos aspectos relacionados tanto a ativação neural quanto a hipertrofia. Aumentos na AST do músculo têm sido observados após treinamento aeróbio com RFS em sujeitos ativos (ABE et al., 2006; ABE et al., 2010a) e idosos (ABE et al., 2010b) sugerindo que os aumentos de força observados em nosso estudo poderiam ter sido decorrentes de uma maior AST da musculatura treinada. Estudos prévios com RFS têm demonstrado maior ativação muscular durante o exercício de baixa intensidade com RFS (MORITANI et al., 1992; TAKARADA et al., 2000b) semelhante à ativação demonstrada durante exercícios de alta intensidade (TAKARADA et al., 2000b). Uma vez que a disponibilidade de oxigênio foi severamente reduzida durante nosso protocolo de RFS (LOENNEKE et al., 2012), um recrutamento adicional das unidades motoras (ativação das fibras do tipo II) poderia ter ocorrido para compensar o déficit no desenvolvimento da força (MORITANI et al., 1992), o que seria importante, pois essas fibras têm maior capacidade de hipertrofia do que as fibras do tipo I. Assim, pode ser sugerido que, apesar da baixa produção de força, a RFS induziria a ativação de um número suficiente de fibras de contração rápida, o que seria um dos requisitos para estimular o aumento no tamanho dessas fibras e conseqüentemente na força muscular. Entretanto, é pouco provável que tenha existido adaptações neurais após nosso treinamento intervalado de baixa intensidade com RFS, pois a ativação das unidades motoras não se modificam, apesar do aumento da força após treinamento de resistência em baixas intensidades (<50% of 1 RM) com RFS (MOORE et al., 2004; KUBO et al., 2006). Portanto, a melhora da força decorrente do treino com RFS diferem de outros treinamentos com objetivo da melhora da força, os quais têm creditado aos aspectos neurais os ganhos de força adquiridos em um curto período de tempo (ENOKA, 1988).

Uma correlação negativa foi encontrada entre o nível de força pré-treinamento e o percentual de melhora após o treinamento com RFS. Em outras palavras, quanto mais fraco for o indivíduo ao início do treinamento, maiores parecem ser os ganhos de força adquiridos após o treinamento com RFS. Assim, é provável que para indivíduos com níveis de força elevados (i.e. sujeitos treinados) a magnitude de melhora seja menor, necessitando provavelmente de uma maior sobrecarga e/ou

programas de treinamento com durações mais prolongadas. Por outro lado, os grandes ganhos de força (10%) observados em apenas 4 semanas no grupo RFS não podem ser creditadas ao nível inicial de força dos grupos analisados, uma vez que não foram observadas diferenças nos valores pré-treinamento para BI, RFS e AI+RFS, nem com aqueles reportados na literatura para indivíduos ativos (MARTIN-HERNANDEZ et al., 2013).

Os mecanismos responsáveis pela hipertrofia em exercícios aeróbios com RFS ainda não estão claros, mas provavelmente seriam semelhantes aqueles observados após treinamento resistido com RFS. Estudos recentes mostraram que aumentos na síntese protéica após uma sessão de treino de resistência com RFS foram acompanhados por uma regulação na via AKT/mTOR (FUJITA et al., 2007; FRY et al., 2010), uma menor expressão de genes relacionados a proteólise FOXO3a, Atrogina e Murf-1, bem como da Miostatina, um regulador negativo da massa muscular, os quais foram recentemente observados 8 e 48 hs após exercício resistido com RFS (MANINI et al., 2011; LAURENTINO et al., 2012). Em adição, outro recente resultado indica que os aumentos na força máxima acompanhados por um marcante ganho no tamanho da fibra muscular observados após o treinamento resistido com RFS foram decorrentes de uma considerável “*up-regulation*” no número de células satélites, resultando em uma adição nuclear nas fibras exercitadas (NIELSEN et al., 2012).

Como já esperado, tanto o treinamento de AI como de BI não demonstraram aumentos na força, confirmando os achados de Mccarthy et al. (1995), os quais demonstraram que o treinamento de ciclismo não aumenta significativamente a força isométrica. Por outro lado, contraria a nossa hipótese inicial, já que não foram observados aumentos na força após o treinamento combinado (AI + RFS). A razão para a força não haver aumentado neste grupo, que também realizou treinamento com RFS, não está clara, mas parece relacionada ao menor volume de treinamento com RFS aplicado durante o protocolo AI + RFS. Tem sido postulado que alternar diferentes modos de exercício durante o treinamento concorrente reduziria a capacidade para adquirir simultaneamente hipertrofia e/ou adaptações aeróbias, comparadas a realizar um único modo de exercício resistido ou aeróbio apenas (HAWLEY, 2009). De fato, Chtara et al. (2008) mostraram que treinamento de AI comprometeu as adaptações na força quando o

treinamento concorrente foi realizado na mesma sessão, independente da sequência de treinamento (aeróbico ou resistido primeiro). Contudo, recentes resultados têm mudado esse conceito demonstrando que o treinamento aeróbico intenso pode ser executado antes do treinamento resistido sem comprometer tanto o desempenho quanto o estímulo para hipertrofia adquiridos após curto período de treinamento resistido (LUNDBERG et al., 2012a; LUNDBERG et al., 2012b; DE SOUZA et al., 2013; FERNANDEZ-GONZALO et al., 2013; LUNDBERG et al., 2013). Além disso, é importante notar que, contrário ao presente estudo, nenhuma diferença no volume (trabalho total) realizado durante o treinamento resistido foi observado por Chtara et al. (2008), enquanto nosso grupo AI + RFS realizou metade do volume de treinamento com RFS (o qual supostamente poderia induzir ganhos de força). Nesse sentido, foi demonstrado que quando o volume de treinamento de caminhada com RFS foi reduzido pela metade a magnitude de aumento na massa e força muscular após 3 semanas de treinamento foram também reduzidos aproximadamente pela metade (ABE, 2009), porém não para o modelo resistido com RFS (MARTIN-HERNANDEZ et al., 2013). Como no presente estudo os grupos foram organizados para que as sessões de treinamento tivessem a mesma duração total, o grupo AI + RFS realizou metade da sessão de treinamento intervalado com RFS. Assim, o menor volume do treino com RFS, associado a um reduzido ou nenhum efeito do treinamento de AI realizado na mesma sessão (LUNDBERG et al., 2012a; LUNDBERG et al., 2012b; DE SOUZA et al., 2013; FERNANDEZ-GONZALO et al., 2013; LUNDBERG et al., 2013), poderia explicar a ausência de melhora na força isométrica após o treinamento combinado (concorrente).

Em relação às melhoras dos parâmetros aeróbicos ( $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , OBLA, PC e  $\tau$ ), todos os protocolos de treinamento (exceto BI) foram capazes de aumentar de forma significativa e com magnitude semelhante as variáveis selecionadas. No entanto, a nossa hipótese inicial de que o treinamento intervalado de AI melhoraria as variáveis aeróbicas em maior magnitude que o treinamento com RFS foi rejeitada pelo presente resultado. Diversos estudos têm demonstrado que curtos períodos de ambos, treinamento aeróbico de moderada ou de alta intensidade, podem melhorar com a mesma magnitude a potência aeróbica ( $VO_{2max}$ ), a capacidade aeróbica (OBLA, PC) e da resposta do  $VO_2$  ao início do exercício (cinética do  $VO_2$ ) (BERGER et al., 2006; BURGOMASTER et al.,

2008; MCKAY et al., 2009; JAKEMAN et al., 2012; TURNES, 2013; WILLIAMS et al., 2013; ZOLADZ et al., 2013). Estudos anteriores também já haviam demonstrado aumentos do  $VO_{2max}$  através do treinamento aeróbio com RFS (SUNDBERG, 1994; ABE et al., 2010a; PARK et al., 2010). Por outro lado, este estudo é o primeiro a demonstrar também melhoras em índices de capacidade aeróbia e uma aceleração na resposta do  $VO_2$  ao início do exercício moderado após treinamento com RFS. No presente estudo, apesar do treinamento intervalado de AI ter o volume total 340% maior que do grupo RFS (4.424 vs. 1.300 kJ, respectivamente) e ~171% maior que o grupo AI + RFS (2583 kJ), o treinamento com RFS mostrou uma magnitude estatisticamente similar na melhora das adaptações aeróbias. Diferente dos treinos recentemente aplicados usando o modelo “*all-out*” que proporcionam baixos volumes de treinamento intervalado de AI (225 kJ por semana) (BURGOMASTER et al., 2008), nossos resultados também demonstraram que volumes reduzidos de treinamento de baixa intensidade com RFS (250 kJ) foram capazes de proporcionar aumentos nos parâmetros aeróbios em magnitude semelhante a outras formas de treinamento, seja eles, aeróbio de longa duração e moderada intensidade (~2250 kJ) (BERGER et al., 2006; BURGOMASTER et al., 2008) ou intervalado de alta intensidade independente do volume empregado (BERGER et al., 2006; DENADAI et al., 2006; TURNES, 2013).

Os possíveis mecanismos envolvidos na melhora dos parâmetros aeróbios após o treinamento são complexos e provavelmente uma integração de ambos, controle metabólico e oferta de  $O_2$ , podem estar presentes (DAUSSIN et al., 2008). O treinamento de AI promove adaptações rápidas no  $VO_{2max}$ , capacidade de trabalho, capacidade oxidativa do músculo e função vascular (GIBALA et al., 2006; BURGOMASTER et al., 2008; RAKOBOWCHUK et al., 2008; BAILEY et al., 2009; JACOBS et al., 2013), melhorando consequentemente os índices OBLA, PC e a cinética do  $VO_2$  (DENADAI et al., 2006; MCKAY et al., 2009; JAKEMAN et al., 2012; TURNES, 2013; WILLIAMS et al., 2013). Recentemente, Williams et al. (2013) e McKay et al. (2009) demonstraram que a aceleração da cinética do  $VO_2$  durante o exercício em intensidade moderada após o treinamento de AI ocorre mesmo com a ausência de qualquer modificação na cinética da desoxigenação muscular, sugerindo assim que a aceleração dos ajustes no fluxo sanguíneo local e na oferta de  $O_2$  são acompanhados por uma aceleração

na utilização de  $O_2$  pelo músculo. Portanto, estes resultados demonstraram a efetividade do treinamento de AI em produzir rápidos aumentos no potencial oxidativo do músculo esquelético, fluxo sanguíneo microvascular, extração de oxigênio e rápidos ajustes na produção oxidativa de ATP.

Tem sido mostrado que uma redução no fluxo sanguíneo para os membros exercitados também produz adaptações aeróbias. O treinamento de apenas uma das pernas pedalando na posição supina com aplicação de 50 mmHg em uma câmara de pressão (reduzindo o fluxo sanguíneo em 16%) por 4 semanas (4 sessões/semana), resultou em aumentos das enzimas oxidativas musculares e da densidade capilar (ESBJORNSSON et al., 1993). Adicionalmente, na perna isquemicamente treinada, a proporção das fibras musculares tipo II foi menor e a proporção das fibras do tipo I foi maior que na perna não treinada (ESBJORNSSON et al., 1993). Tem sido demonstrado que a redução do fluxo sanguíneo com a aplicação de uma pressão externa sobre a musculatura exercitada responde de modo dose-dependente (SUNDBERG, 1994; TAKANO et al., 2005; IIDA et al., 2007). Infelizmente, não foi possível quantificar a magnitude de redução do fluxo sanguíneo, contudo, é provável que a pressão externa (140-200 mmHg) aplicada neste estudo utilizando um manguito de 18-cm de largura (LOENNEKE et al., 2012), tenha sido suficientemente alta para prover estímulo capaz de melhorar a capacidade oxidativa do músculo esquelético e possivelmente também promover angiogênese. De fato, pedalar (ABE; FUJITA; et al., 2010) ou caminhar (PARK et al., 2010) de forma contínua em baixa intensidade com RFS (~190mmHg) foram capazes de melhorar aptidão aeróbia, demonstrada pelo aumento na potência aeróbia ( $VO_{2max}$ ) e na tolerância ao exercício. Além disso, utilizando um treinamento de resistência com RFS, Evans et al. (2010) demonstraram um aumento na capacidade de filtração microvascular em humanos (como um índice de capilarização), enquanto Suzuki et al. (2000) mostraram evidências de aumentos na capilarização em ratos que treinaram exercícios contra resistência. Portanto, o treinamento com RFS, similar ao treinamento em AI, parece ser capaz de promover respostas adaptativas responsáveis por acelerar e aumentar a produção oxidativa de ATP.

Um aspecto novo deste estudo foi aplicar o treinamento intervalado de baixa intensidade com a RFS apenas durante o exercício,

i.e., esvaziando os manguitos durante os períodos de repouso. Além de permitir que: 1) o exercício fosse realizado por um período mais longo, 2) aplicação de uma pressão mais elevada e, 3) uma maior intensidade de exercício, a isquemia e reperfusão por si ou a hipóxia intermitente podem ter causado efeitos adicionais em algumas respostas adaptativas. Zhao et al. (2011) demonstraram que a manobra de isquemia-reperfusão sem exercício (3 min de isquemia seguidos de 5 min de reperfusão realizados por três vezes) pôde promover angiogênese, aumento na proporção de fibras do tipo I e melhora no desempenho do músculo esquelético de ratos com isquemia patológica. O aumento no estresse de cisalhamento causado pela isquemia e reperfusão poderia ter levado a uma ativação do endotélio e um aumento na expressão dos fatores relacionados à angiogênese, tais como fator de crescimento do endotélio vascular (VEGF) e óxido nítrico (NO) sintase endotelial (HUDLICKA e BROWN, 2009). Além disso, a formação das espécies reativas de oxigênio (ERO) é amplificada pela exposição a repetidos episódios de isquemia e reperfusão (GASBARRINI et al., 1997; ZUO e CLANTON, 2005). Resultados prévios têm suportado a idéia de que as ERO produzidas pela contração muscular são moléculas sinalizadoras fundamentais para as adaptações induzidas pelo exercício *in vivo* e que o co-ativador alfa do receptor gama ativado por proliferador de peroxissoma (PGC-1 $\alpha$ ) é modulada pelo estado de redox celular (GOMEZ-CABRERA et al., 2008; RISTOW et al., 2009). Uma vez que esta diferenciação é modulada pelo estado redox celular, parte-se do princípio que as ERO ativam vias de sinalização e/ou eventos transcricionais específicos, culminando na regulação da expressão de grupos de genes, os quais podem exercer importante função no processo de biogênese mitocondrial. Assim, episódios de isquemia e reperfusão durante o treinamento com RFS, os quais provavelmente ocorreram em maior magnitude que no treinamento de AI (VAN BEEKVELT et al., 2001; KERAMIDAS et al., 2012), podem ter ativado importantes mensageiros celulares envolvidos na transdução de sinais para a ativação de fatores de transcrição para a biogênese mitocondrial (PGC-1 $\alpha$ ) e a angiogênese (VEGF). Contudo, abordagens mais diretas são necessárias para verificar se episódios de isquemia e reperfusão durante o treino com RFS intermitente podem prover efeitos adicionais nas respostas adaptativas aeróbicas comparadas a RFS contínua.

A redução de fluxo sanguíneo durante o exercício reduz a oferta de oxigênio para o tecido e pode reduzir a pressão intracelular de  $O_2$ , levando a um aumento no acúmulo de metabólitos. De fato, os sujeitos vivenciaram altas taxas de percepção subjetiva de esforço e elevados valores de [La] durante o treinamento com RFS, enquanto o treinamento de BI não demonstrou diferença significativa do repouso para o exercício na mesma intensidade relativa de exercício sem RFS (Tabela 2). Observando a resposta do  $VO_2$  e FC durante o treino com RFS, é possível notar o impacto que a restrição de fluxo sanguíneo causa sobre a musculatura (Figura 3). Enquanto no treino de BI pode se notar uma grande redução dos valores durante a recuperação, para o treino de RFS, a magnitude da redução é bem menos acentuada e quase imperceptível para o  $VO_2$  durante o 12º treino. Como as variáveis aeróbias melhoraram apenas após o treinamento com RFS, os efeitos adicionais da isquemia, e não da intensidade de exercício aplicada (30% da  $P_{max}$ ), foram provavelmente responsáveis por induzir as adaptações aeróbias neste grupo. Por outro lado, o treinamento de AI induziu maior estresse metabólico e cardiorrespiratório comparado aos demais grupos. Tanto os valores de  $VO_2$  e FC ficaram muito próximo dos seus valores máximos, mesmo com um período curto de exercício, demonstrando a eficácia do nosso modelo de treinamento em acelerar a resposta do  $VO_2$  como também prolongar a tolerância ao exercício realizado muito próximo ao  $VO_{2max}$ . Essa maior sobrecarga aguda pode ter levado a maiores adaptações nos mecanismos relacionados à oferta e utilização de  $O_2$ , uma maior tolerância a acidose e aumentos na capacidade de tamponamento, fatores importantes para uma maior tolerância a altas intensidades de exercício (GIBALA et al., 2006).

Tem sido demonstrado que os principais determinantes do  $VO_{2max}$  são centrais (i.e., débito cardíaco) (BASSETT e HOWLEY, 2000; JONES e CARTER, 2000; SALTIN e CALBET, 2006), enquanto as variáveis OBLA (BASSETT e HOWLEY, 2000; JONES e CARTER, 2000) e cinética do  $VO_2$  no exercício moderado (GRASSI, 2000; MCKAY et al., 2009) parecem ter uma influência maior de adaptações periféricas. As mudanças percentuais entre cada índice fisiológico dentro do mesmo grupo parecem apontar diferentes adaptações centrais e periféricas entre os treinamentos. Para ambos os treinamentos com RFS (RFS e AI+RFS), o  $VO_{2max}$  foi a variável que teve o menor aumento em relação as demais variáveis, enquanto no grupo que treinou em AI a melhora

percentual do  $VO_{2max}$  foi semelhante a da  $P_{max}$  e PC, mas menor que do OBLA e cinética do  $VO_2$ . Assim, nossos resultados sugerem que as principais adaptações obtidas com 4 semanas de treino com RFS, AI+RFS e AI foram de origem periférica e que apenas o treino de AI tenha gerado também alteração em parâmetros centrais. Esses resultados corroboram com os demonstrados por Daussin et al. (2008) de que as adaptações envolvidas no aumento do  $VO_{2max}$  após o treinamento contínuo a 61%  $P_{max}$  foi principalmente periférica (maior densidade capilar), enquanto após o treinamento intermitente de AI (4 min no primeiro limiar ventilatório e 1 min a 90% da  $P_{max}$ ) esse aumento foi resultado da associação de adaptações periféricas (maior densidade capilar e capacidade oxidativa mitocondrial) e centrais (maior débito cardíaco). Apesar do nosso estudo e de outros (SUNDBERG, 1994; SUZUKI et al., 2000; EVANS et al., 2010) apontarem como periféricas as principais adaptações geradas pelo treino com RFS, uma mínima adaptação central não deveria ser descartada, uma vez que nossos sujeitos se exercitaram a 70% da  $FC_{max}$  e Park et al. (2010) demonstraram um aumento significativo do volume de ejeção com apenas 2 semanas de treinamento de caminhada com RFS. Portanto, parece razoável assumir que a magnitude das adaptações periféricas e centrais e suas respectivas contribuições para melhora de cada índice fisiológico foram diferentes entre os grupos, mesmo tendo melhorado as variáveis aeróbias de maneira semelhante.

Uma das limitações do presente estudo pode ter sido a não individualização da pressão aplicada nos manguitos para cada sujeito. Tem sido recomendado que a pressão seja individualizada assim como a carga de treinamento, e que a mesma seja suficientemente elevada para ocluir o retorno venoso do músculo, mas baixa suficiente para manter a entrada do fluxo arterial para o músculo (LOENNEKE et al., 2013a). Fatores como circunferência da coxa (LOENNEKE et al., 2012), tipo e largura do manguito (ROSSOW et al., 2012; LOENNEKE et al., 2013b), e pressão arterial individual (TERAMOTO e GOLDING, 2006; LAURENTINO et al., 2012; LOENNEKE et al., 2012) tem sido apontados como possíveis fatores determinantes na magnitude da restrição de fluxo sanguíneo obtida por uma dada pressão externa. Quanto maior a largura do manguito menor é a pressão necessária para se obter uma mesma magnitude de redução de fluxo comparado ao manguito mais estreito (LOENNEKE et al., 2012). Em função da impossibilidade de mensuração

da magnitude na restrição de fluxo, e com objetivo de restringir de modo significativo o fluxo sanguíneo em nosso modelo de treino intermitente, nós optamos por usar um manguito com maior largura (18cm) e pressões próximas (140-200mmHg) àquela necessária para oclusão arterial passiva (LOENNEKE et al., 2012). Assim, é provável que grande parte dos participantes deste estudo tenha experimentado uma severa restrição no fluxo sanguíneo como pode ser evidenciado pela elevada percepção subjetiva de esforço e [La] durante o treino com RFS.

Do ponto de vista prático, uma vez que as cargas de trabalho utilizadas durante o treino com RFS podem ser muito baixas, este método de treinamento pode ser utilizado como ferramenta na reabilitação de indivíduos lesionados ou na rotina de treinamento de pessoas com deficiência (p.ex. atletas paraolímpicos), para os quais altas cargas de treinamento podem ser contra-indicadas e/ou inviáveis. Por outro lado, é importante destacar que apesar do treino com RFS ser realizado em intensidades muito baixas, este tipo de treinamento apresenta um elevado grau de desconforto (semelhante ao de AI) causado pela isquemia induzida, assim necessitando de um nível elevado de motivação para que o treino seja realizado.

## 6. CONCLUSÃO

Podemos concluir que:

Os três tipos de treinamento intervalado (RFS, AI e AI + RFS) foram efetivos em promover adaptações fisiológicas em sujeitos ativos, as quais atuaram coletivamente na melhora dos índices aeróbios ( $VO_{2max}$ ,  $P_{max}$ , OBLA, PC e  $\tau$ ). Porém, o grupo BI não apresentou melhora em nenhuma das variáveis avaliadas, reforçando que as melhoras adquiridas após o treinamento com RFS foram causadas pela RFS e não pela intensidade.

Apesar da magnitude na melhora dos índices aeróbios terem sido semelhante entre os treinos com RFS, AI e AI + RFS, as diferenças nas mudanças percentuais dentro do mesmo grupo apontam para uma predominância de adaptações periféricas (maiores ganhos no OBLA e Tau) geradas por esses 3 treinos, mas com uma maior adaptação central para o treino de AI.

O único treinamento capaz de melhorar a força isométrica foi o treinamento com RFS. Assim, o treinamento com RFS foi superior aos demais treinos pelo fato de melhorar concomitantemente as variáveis aeróbias e a força isométrica. Porém, quando o treinamento com RFS foi combinado com o treinamento em AI (AI + RFS), esse não foi capaz de melhorar a força, provavelmente devido ao baixo volume e/ou interferências adaptativas do treinamento concorrente de AI.

**REFERÊNCIAS**

ABE, T.; FUJITA, S.; NAKAJIMA, T.; SAKAMAKI, M.; OZAKI, H.; OGASAWARA, R.; SUGAYA, M.; KUDO, M.; KURANO, M.; YASUDA, T.; SATO, Y.; OHSHIMA, H.; MUKAI, C.; ISHII, N. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO<sub>2</sub>max in young men. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 9, n. 3, p. 452-458, 2010a.

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. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 5, p. 1460-1466, 2006.

ABE, T.; SAKAMAKI, M.; FUJITA, S.; OZAKI, H.; SUGAYA, M.; SATO, Y.; NAKAJIMA, T. Effects of Low-Intensity Walk Training With Restricted Leg Blood Flow on Muscle Strength and Aerobic Capacity in Older Adults. **Journal of Geriatric Physical Therapy**, v. 33, n. 1, p. 34-40, 2010b.

ABE, T.K., C. F.; FUJITA, S.; SAKAMAKI, M.; SATO, Y.; BRECHUE, W. F. Skeletal muscle size and strength are increased following walk training with restricted leg muscle blood flow: implications for training duration and frequency. **International Journal KAATSU Training Research**, v. 5, p. 9-15, 2009.

ANDERSEN, L.L.; MAGNUSSON, S.P.; NIELSEN, M.; HALEEM, J.; POULSEN, K.; AAGAARD, P. Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: implications for rehabilitation. **Phys Ther**, v. 86, n. 5, p. 683-97, 2006.

ANDERSON, G.S.; RHODES, E.C. A REVIEW OF BLOOD LACTATE AND VENTILATORY METHODS OF DETECTING TRANSITION THRESHOLDS. **Sports Medicine**, v. 8, n. 1, p. 43-55, 1989.

ÅSTRAND, P.O.; RODAHL, K.; DAHL, H.; STRØMME, S.B. **Textbook of Work Physiology**. 4 ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2003. 656 pgs.

ATHA, J. Strengthening muscle. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 9, p. 1-73, 1981.

BAILEY, S.J.; WILKERSON, D.P.; DIMENNA, F.J.; JONES, A.M. Influence of repeated sprint training on pulmonary O<sub>2</sub> uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 106, n. 6, p. 1875-1887, 2009.

BANGSBO, J.; KRUSTRUP, P.; GONZALEZ-ALONSO, J.; BOUSHEL, R.; SALTIN, B. Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. **American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology**, v. 279, n. 3, p. R899-R906, 2000.

BASSETT, D.R.; HOWLEY, E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 1, p. 70-84, 2000.

BERGER, N.J.A.; TOLFREY, K.; WILLIAMS, A.G.; JONES, A.M. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 38, n. 3, p. 504-512, 2006.

BILLAT, L.V. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training - Recommendations for long-distance running. **Sports Medicine**, v. 22, n. 3, p. 157-175, 1996.

BILLAT, V.; SIRVENT, P.; LEPRETRE, P.M.; KORALSZTEIN, J.P. Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. **Pflugers Archiv-European Journal of Physiology**, v. 447, n. 6, p. 875-883, 2004.

BILLAT, V.L.; BLONDEL, N.; BERTHOIN, S. Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 80, n. 2, p. 159-161, 1999a.

BILLAT, V.L.; FLECHET, B.; PETIT, B.; MURIAUX, G.; KORALSZTEIN, J.P. Interval training at VO<sub>2</sub>max: effects on aerobic performance and overtraining markers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, n. 1, p. 156-163, 1999b.

BILLAT, V.L.; SIRVENT, P.; PY, G.; KORALSZTEIN, J.P.; MERCIER, J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. **Sports Medicine**, v. 33, n. 6, p. 407-26, 2003.

BISHOP, D.; JENKINS, D.G.; HOWARD, A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. **International Journal of Sports Medicine**, v. 19, n. 2, p. 125-129, 1998.

BRANDON, L.J. Physiological Factors Associated with Middle-Distance Running Performance. **Sports Medicine**, v. 19, n. 4, p. 268-277, 1995.

BURGOMASTER, K.A.; HOWARTH, K.R.; PHILLIPS, S.M.; RAKOBOWCHUK, M.; MACDONALD, M.J.; MCGEE, S.L.; GIBALA, M.J. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. **Journal of Physiology-London**, v. 586, n. 1, p. 151-160, 2008.

BURGOMASTER, K.A.; HUGHES, S.C.; HEIGENHAUSER, G.J.F.; BRADWELL, S.N.; GIBALA, M.J. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 98, n. 6, p. 1985-1990, 2005.

BURGOMASTER, K.A.; MOORE, D.R.; SCHOFIELD, L.M.; PHILLIPS, S.M.; SALE, D.G.; GIBALA, M.J. Resistance training with vascular occlusion: Metabolic adaptations in human muscle. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 35, n. 7, p. 1203-1208, 2003.

BURNLEY, M.; JONES, A.M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Science**, v. 7, n. 2, p. 63-79, 2007.

CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. **Eur J Appl Physiol**, v. 103, n. 1, p. 47-57, 2008.

CAPUTO, F.; OLIVEIRA, M.F.M.D.; GRECO, C.C.; DENADAI, B.S. Exercício aeróbio: Aspectos bioenergéticos, ajustes fisiológicos, fadiga e índices de desempenho. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 11, n. 1, p. 94-102, 2009.

CARDUS, J.; MARRADES, R.M.; ROCA, J.; BARBERA, J.A.; DIAZ, O.; MASCLANS, J.R.; RODRIGUEZ-ROISIN, R.; WAGNER, P.D. Effects of FIO<sub>2</sub> on leg VO<sub>2</sub> during cycle ergometry in sedentary subjects. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 30, n. 5, p. 697-703, 1998.

CARTER, H.; JONES, A.M.; BARSTOW, T.J.; BURNLEY, M.; WILLIAMS, C.; DOUST, J.H. Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. **Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 5, p. 1744-52, 2000.

CERRETELLI, P.; PENDERGAST, D.; PAGANELLI, W.C.; RENNIE, D.W. EFFECTS OF SPECIFIC MUSCLE TRAINING ON VO<sub>2</sub> ON-RESPONSE AND EARLY BLOOD LACTATE. **Journal of Applied Physiology**, v. 47, n. 4, p. 761-769, 1979.

CHTARA, M.; CHAOUACHI, A.; LEVIN, G.T.; CHAOUACHI, M.; CHAMARI, K.; AMRI, M.; LAURSEN, P.B. Effect of Concurrent Endurance and Circuit Resistance Training Sequence on Muscular Strength and Power Development. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 4, p. 1037-1045, 2008.

CLANTON, T.L.; KLAWITTER, P.F. Physiological and genomic consequences of intermittent hypoxia - Invited Review: Adaptive responses of skeletal muscle to intermittent hypoxia: the known and the unknown. **Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 6, p. 2476-2487, 2001.

CLAUSEN, J.P.; KLAUSEN, K.; RASMUSSE.B; TRAPJENS.J. Central and Peripheral Circulatory Changes after Training of Arms or Legs. **American Journal of Physiology**, v. 225, n. 3, p. 675-682, 1973.

COYLE, E. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. **Exercise and Sport Sciences Reviews** v. 23, p. 25 - 63, 1995.

COYLE, E.F.; MARTIN, W.H.; EHSANI, A.A.; HAGBERG, J.M.; BLOOMFIELD, S.A.; SINACORE, D.R.; HOLLOSZY, J.O. BLOOD LACTATE THRESHOLD IN SOME WELL-TRAINED ISCHEMIC-HEART-DISEASE PATIENTS. **Journal of Applied Physiology**, v. 54, n. 1, p. 18-23, 1983.

DANIELS, J.T.; YARBROUGH, R.A.; FOSTER, C. Changes in  $Vo_2$  Max and Running Performance with Training. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 39, n. 4, p. 249-254, 1978.

DAUSSIN, F.N.; PONSOT, E.; DUFOUR, S.P.; LONSDORFER-WOLF, E.; DOUTRELEAU, S.; GENY, B.; PIQUARD, F.; RICHARD, R. Improvement of  $VO_2$  (max), by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. **Eur J Appl Physiol**, v. 101, n. 3, p. 377-383, 2007.

DAUSSIN, F.N.; ZOLL, J.; DUFOUR, S.P.; PONSOT, E.; LONSDORFER-WOLF, E.; DOUTRELEAU, S.; METTAUER, B.; PIQUARD, F.; GENY, B.; RICHARD, R. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. **American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology**, v. 295, n. 1, p. R264-R272, 2008.

DE SOUZA, E.O.; TRICOLI, V.; ROSCHEL, H.; BRUM, P.C.; BACURAU, A.V.N.; FERREIRA, J.C.B.; AOKI, M.S.; NEVES, M.; AIHARA, A.Y.; FERNANDES, A.D.C.; UGRINOWITSCH, C. Molecular Adaptations to Concurrent Training. **International Journal of Sports Medicine**, v. 34, n. 3, p. 207-213, 2013.

DEKERLE, J.; BARON, B.; DUPONT, L.; VANVELCENAHAR, J.; PELAYO, P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, n. 3-4, p. 281-288, 2003.

DEMARLE, A.P.; SLAWINSKI, J.J.; LAFFITE, L.P.; BOCQUET, V.G.; KORALSZTEIN, J.P.; BILLAT, V.L. Decrease of O-2 deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 3, p. 947-953, 2001.

DEMPSEY, J.A.; FREGOSI, R.F. Adaptability of the Pulmonary System to Changing Metabolic Requirements. **American Journal of Cardiology**, v. 55, n. 10, p. D59-D67, 1985.

DENADAI, B.S.; ORTIZ, M.J.; GRECO, C.C.; DE MELLO, M.T. Interval training at 95% and 100% of the velocity at VO<sub>2</sub> max: effects on aerobic physiological indexes and running performance. **Applied Physiology Nutrition and Metabolism-Physiologie Appliquee Nutrition Et Metabolisme**, v. 31, n. 6, p. 737-743, 2006.

DI PRAMPERO, P.E. Factors limiting maximal performance in humans. **Eur J Appl Physiol**, v. 90, n. 3-4, p. 420-429, 2003.

DUFFIELD, R.; EDGE, J.; BISHOP, D. Effects of high-intensity interval training on the VO<sub>2</sub> response during severe exercise. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 9, n. 3, p. 249-255, 2006.

EKBLUM, B.; ASTRAND, P.O.; SALTIN, B.; STENBERG, J.; WALLSTROM, B. Effect of training on circulatory response to exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 24, n. 4, p. 518-28, 1968.

EKBLUM, B.; GOLDBARG, A.N.; GULLBRING, B. Response to exercise after blood loss and reinfusion. **Journal of Applied Physiology**, v. 33, n. 2, p. 175-80, 1972.

ENOKA, R.M. Muscle Strength and Its Development - New Perspectives. **Sports Medicine**, v. 6, n. 3, p. 146-168, 1988.

ESBJORNSSON, M.; JANSSON, E.; SUNDBERG, C.J.; SYLVEN, C.; EIKEN, O.; NYGREN, A.; KAIJSER, L. Muscle-Fiber Types and

Enzyme-Activities after Training with Local Leg Ischemia in Man. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 148, n. 3, p. 233-241, 1993.

EVANS, C.; VANCE, S.; BROWN, M. Short-term resistance training with blood flow restriction enhances microvascular filtration capacity of human calf muscles. **Journal of Sports Sciences**, v. 28, n. 9, p. 999-1007, 2010.

FARRELL, P.A.; WILMORE, J.H.; COYLE, E.F.; BILLING, J.E.; COSTILL, D.L. PLASMA LACTATE ACCUMULATION AND DISTANCE RUNNING PERFORMANCE. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 11, n. 4, p. 338-344, 1979.

FERNANDEZ-GONZALO, R.; LUNDBERG, T.R.; TESCH, P.A. Acute molecular responses in untrained and trained muscle subjected to aerobic and resistance exercise training versus resistance training alone. **Acta Physiologica**, v. 209, n. 4, p. 283-294, 2013.

FLEG, J.L.; LAKATTA, E.G. Role of Muscle Loss in the Age-Associated Reduction in Vo<sub>2</sub>max. **Journal of Applied Physiology**, v. 65, n. 3, p. 1147-1151, 1988.

FRY, C.S.; DRUMMOND, M.J.; GLYNN, E.L.; DICKINSON, J.M.; GUNDERMANN, D.M.; TIMMERMAN, K.L.; DHANANI, S.; VOLPI, E.; RASMUSSEN, B.B. Skeletal muscle protein synthesis and mTORC1 signaling following resistance exercise in young and older men and women. **Faseb Journal**, v. 24, 2010.

FUJITA, S.; ABE, T.; DRUMMOND, M.J.; CADENAS, J.G.; DREYER, H.C.; SATO, Y.; VOLPI, E.; RASMUSSEN, B.B. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. **Journal of Applied Physiology**, v. 103, n. 3, p. 903-910, 2007.

FUJITA, S.; ABE, T.; DRUMMOND, M.J.; CADENAS, J.G.; DREYER, H.C.; SATO, Y.; VOLPI, E.; RASMUSSEN, B.B. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis (vol 103, pg 903, 2007). **Journal of Applied Physiology**, v. 104, n. 4, p. 1256-1256, 2008.

FUKUBA, Y.; MIURA, A.; ENDO, M.; KAN, A.; YANAGAWA, K.; WHIPP, B.J. The curvature constant parameter of the power-duration curve for varied-power exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 35, n. 8, p. 1413-1418, 2003.

FUKUOKA, Y.; GRASSI, B.; CONTI, M.; GUIDUCCI, D.; SUTTI, M.; MARCONI, C.; CERRETELLI, P. Early effects of exercise training on VO<sub>2</sub> on- and off-kinetics in 50-year-old subjects. **Pflugers Archiv-European Journal of Physiology**, v. 443, n. 5-6, p. 690-697, 2002.

GABRIEL, D.A.; KAMEN, G.; FROST, G. Neural adaptations to resistive exercise - Mechanisms and recommendations for training practices. **Sports Medicine**, v. 36, n. 2, p. 133-149, 2006.

GAESSER, G.A.; CARNEVALE, T.J.; GARFINKEL, A.; WALTER, D.O.; WOMACK, C.J. Estimation of Critical Power with Nonlinear and Linear-Models. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 27, n. 10, p. 1430-1438, 1995.

GAESSER, G.A.; WILSON, L.A. Effects of Continuous and Interval Training on the Parameters of the Power-Endurance Time Relationship for High-Intensity Exercise. **International Journal of Sports Medicine**, v. 9, n. 6, p. 417-421, 1988.

GARBER, C.E.; BLISSMER, B.; DESCHENES, M.R.; FRANKLIN, B.A.; LAMONTE, M.J.; LEE, I.M.; NIEMAN, D.C.; SWAIN, D.P.; AMERICAN COLLEGE OF SPORTS, M. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 7, p. 1334-59, 2011.

GASBARRINI, A.; COLANTONI, A.; DICAMPLI, C.; DENOTARIIS, S.; MASETTI, M.; IOVINE, E.; MAZZIOTTI, A.; MASSARI, I.; GASBARRINI, G.; POLA, P.; BERNARDI, M. Intermittent anoxia reduces oxygen free radicals formation during reoxygenation in rat hepatocytes. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 23, n. 7, p. 1067-1072, 1997.

GIBALA, M.J.; LITTLE, J.P.; VAN ESSEN, M.; WILKIN, G.P.; BURGOMASTER, K.A.; SAFDAR, A.; RAHA, S.; TARNOPOLSKY, M.A. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. **Journal of Physiology-London**, v. 575, n. 3, p. 901-911, 2006.

GOMEZ-CABRERA, M.C.; DOMENECH, E.; ROMAGNOLI, M.; ARDUINI, A.; BORRAS, C.; PALLARDO, F.V.; SASTRE, J.; VINA, J. Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 87, n. 1, p. 142-149, 2008.

GRASSI, B. Skeletal muscle VO<sub>2</sub> on-kinetics: set by O<sub>2</sub> delivery or by O<sub>2</sub> utilization? New insights into an old issue. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 1, p. 108-116, 2000.

GRASSI, B. Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? . **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 3, p. 134 - 138, 2001.

GRASSI, B.; GLADDEN, L.B.; STARY, C.M.; WAGNER, P.D.; HOGAN, M.C. Peripheral O<sub>2</sub> diffusion does not affect Vo(2) on-kinetics in isolated in situ canine muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 85, n. 4, p. 1404-1412, 1998.

GRASSI, B.; HOGAN, M.C.; KELLEY, K.M.; ASCHENBACH, W.G.; HAMANN, J.J.; EVANS, R.K.; PATILLO, R.E.; GLADDEN, L.B. Role of convective O<sub>2</sub> delivery in determining Vo(2) on-kinetics in canine muscle contracting at peak Vo(2). **Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 4, p. 1293-1301, 2000.

GREEN, H.J.; JONES, L.L.; PAINTER, D.C. Effects of Short-Term Training on Cardiac-Function during Prolonged Exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 22, n. 4, p. 488-493, 1990.

HAKKINEN, K.; ALEN, M.; KRAEMER, W.J.; GOROSTIAGA, E.; IZQUIERDO, M.; RUSKO, H.; MIKKOLA, J.; HAKKINEN, A.;

VALKEINEN, H.; KAARAKAINEN, E.; ROMU, S.; EROLA, V.; AHTIAINEN, J.; PAAVOLAINEN, L. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, n. 1, p. 42-52, 2003.

HAWLEY, J.A. Molecular responses to strength and endurance training: Are they incompatible? **Applied Physiology Nutrition and Metabolism-Physiologie Appliquee Nutrition Et Metabolisme**, v. 34, n. 3, p. 355-361, 2009.

HAWLEY, J.A.; MYBURGH, K.H.; NOAKES, T.D.; DENNIS, S.C. Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. **Journal of Sports Sciences**, v. 15, n. 3, p. 325-333, 1997.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MUCKE, S.; MULLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4-Mmol/l Lactate Threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v. 6, n. 3, p. 117-130, 1985.

HICKSON, R.C. Interference of Strength Development by Simultaneously Training for Strength and Endurance. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 45, n. 2-3, p. 255-263, 1980.

HILL, D.W. The Critical Power Concept - a Review. **Sports Medicine**, v. 16, n. 4, p. 237-254, 1993.

HILL, D.W. The relationship between power and time to fatigue in cycle ergometer exercise. **International Journal of Sports Medicine**, v. 25, n. 5, p. 357-361, 2004.

HILL, D.W.; POOLE, D.C.; SMITH, J.C. The relationship between power and the time to achieve VO<sub>2</sub>max. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 4, p. 709-714, 2002.

HILL, D.W.; SMITH, J.C. A Method to Ensure the Accuracy of Estimates of Anaerobic Capacity Derived Using the Critical Power Concept. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 34, n. 1, p. 23-37, 1994.

HILL, D.W.; SMITH, J.C.; LEUSCHEL, J.L.; CHASTEEN, S.D.; MILLER, S.A. Effect of Pedal Cadence on Parameters of the Hyperbolic Power - Time Relationship. **International Journal of Sports Medicine**, v. 16, n. 2, p. 82-87, 1995.

HOUSH, D.J.; HOUSH, T.J.; BAUGE, S.M. A Methodological Consideration for the Determination of Critical Power and Anaerobic Work Capacity. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 61, n. 4, p. 406-409, 1990.

HOUSH, T.J.; DEVRIES, H.A.; HOUSH, D.J.; TICHY, M.W.; SMYTH, K.D.; TICHY, A.M. The Relationship between Critical Power and the Onset of Blood Lactate Accumulation. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 31, n. 1, p. 31-36, 1991.

HUDLICKA, O.; BROWN, M.D. Adaptation of Skeletal Muscle Microvasculature to Increased or Decreased Blood Flow: Role of Shear Stress, Nitric Oxide and Vascular Endothelial Growth Factor. **Journal of Vascular Research**, v. 46, n. 5, p. 504-512, 2009.

IIDA, H.; KURANO, M.; TAKANO, H.; KUBOTA, N.; MORITA, T.; MEGURO, K.; SATO, Y.; ABE, T.; YAMAZAKI, Y.; UNO, K.; TAKENAKA, K.; HIROSE, K.; NAKAJIMA, T. Hemodynamic and neurohumoral responses to the restriction of femoral blood flow by KAATSU in healthy subjects. **Eur J Appl Physiol**, v. 100, n. 3, p. 275-285, 2007.

IZQUIERDO, M.; IBANEZ, J.; K, H.A.; KRAEMER, W.J.; LARRION, J.L.; GOROSTIAGA, E.M. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36, n. 3, p. 435-43, 2004.

JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. Generalized Equations for Predicting Body Density of Men. **British Journal of Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497-504, 1978.

JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L.; WARD, A. Generalized Equations for Predicting Body Density of Women. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 12, n. 3, p. 175-182, 1980.

JACOBS, R.A.; FLUCK, D.; BONNE, T.C.; BURGI, S.; CHRISTENSEN, P.M.; TOIGO, M.; LUNDBY, C. Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function. **Journal of Applied Physiology**, v. 115, n. 6, p. 785-793, 2013.

JAKEMAN, J.; ADAMSON, S.; BABRAJ, J. Extremely short duration high-intensity training substantially improves endurance performance in triathletes. **Applied Physiology Nutrition and Metabolism-Physiologie Appliquee Nutrition Et Metabolisme**, v. 37, n. 5, p. 976-981, 2012.

JENKINS, D.G.; QUIGLEY, B.M. Endurance Training Enhances Critical Power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 24, n. 11, p. 1283-1289, 1992.

JENKINS, D.G.; QUIGLEY, B.M. The Influence of High-Intensity Exercise Training on the Wlim-Tlim Relationship. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 25, n. 2, p. 275-282, 1993.

JONES, A.M. The physiology of the world record holder for the women's marathon. . **International Journal of Sports Science and Coaching** v. 1, p. 101 - 116, 2006.

JONES, A.M.; BURNLEY, M. Oxygen Uptake Kinetics: An Underappreciated Determinant of Exercise Performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 4, n. 4, p. 524-532, 2009.

JONES, A.M.; CARTER, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. **Sports Medicine**, v. 29, n. 6, p. 373-386, 2000.

JONES, A.M.; DOUST, J.H. The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 30, n. 8, p. 1304-1313, 1998.

JONES, A.M.; WILKERSON, D.P.; VANHATALO, A.; BURNLEY, M. Influence of pacing strategy on O<sub>2</sub> uptake and exercise tolerance.

**Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 18, n. 5, p. 615-626, 2008.

JOYNER, M.J. MODELING - OPTIMAL MARATHON PERFORMANCE ON THE BASIS OF PHYSIOLOGICAL FACTORS. **Journal of Applied Physiology**, v. 70, n. 2, p. 683-687, 1991.

KACIN, A.; STRAZAR, K. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 21, n. 6, p. E231-E241, 2011.

KAIJSER, L.; SUNDBERG, C.J.; EIKEN, O.; NYGREN, A.; ESBJORNSSON, M.; SYLVEN, C.; JANSSON, E. Muscle Oxidative Capacity and Work Performance after Training under Local Leg Ischemia. **Journal of Applied Physiology**, v. 69, n. 2, p. 785-787, 1990.

KERAMIDAS, M.E.; KOUNALAKIS, S.N.; GELADAS, N.D. The effect of interval training combined with thigh cuffs pressure on maximal and submaximal exercise performance. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 32, n. 3, p. 205-213, 2012.

KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. SIGNIFICANCE OF THE AEROBIC-ANAEROBIC TRANSITION FOR THE DETERMINATION OF WORK LOAD INTENSITIES DURING ENDURANCE TRAINING. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 42, n. 1, p. 25-34, 1979.

KOLBE, T.; DENNIS, S.C.; SELLEY, E.; NOAKES, T.D.; LAMBERT, M.I. The relationship between critical power and running performance. **Journal of Sports Sciences**, v. 13, 1995.

KOMI, P.V. Training of Muscle Strength and Power - Interaction of Neuromotoric, Hypertrophic, and Mechanical Factors. **International Journal of Sports Medicine**, v. 7, p. 10-15, 1986.

KOPPO, K.; BOUCKAERT, J.; JONES, A.M. Effects of training status and exercise intensity on phase IIVO<sub>2</sub> kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 2, p. 225-232, 2004.

KORZENIEWSKI, B.; LIGUZINSKI, P. Theoretical studies on the regulation of anaerobic glycolysis and its influence on oxidative phosphorylation in skeletal muscle. **Biophysical Chemistry**, v. 110, n. 1-2, p. 147-169, 2004.

KORZENIEWSKI, B.; ZOLADZ, J.A. Factors determining the oxygen consumption rate( VO<sub>2</sub>) on-kinetics in skeletal muscles. **Biochemical Journal**, v. 379, p. 703-710, 2004.

KRAEMER, W.J.; ADAMS, K.; CAFARELLI, E.; DUDLEY, G.A.; DOOLY, C.; FEIGENBAUM, M.S.; FLECK, S.J.; FRANKLIN, B.; FRY, A.C.; HOFFMAN, J.R.; NEWTON, R.U.; POTTEIGER, J.; STONE, M.H.; RATAMESS, N.A.; TRIPLETT-MCBRIDE, T. Joint Position Statement: progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 2, p. 364-380, 2002.

KRAEMER, W.J.; PATTON, J.F.; GORDON, S.E.; HARMAN, E.A.; DESCHENES, M.R.; REYNOLDS, K.; NEWTON, R.U.; TRIPLETT, N.T.; DZIADOS, J.E. Compatibility of High-Intensity Strength and Endurance Training on Hormonal and Skeletal-Muscle Adaptations. **Journal of Applied Physiology**, v. 78, n. 3, p. 976-989, 1995.

KRUSTRUP, P.; HELLSTEN, Y.; BANGSBO, J. Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. **Journal of Physiology-London**, v. 559, n. 1, p. 335-345, 2004.

KUBO, K.; KOMURO, T.; ISHIGURO, N.; TSUNODA, N.; SATO, Y.; ISHII, N.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 22, n. 2, p. 112-119, 2006.

LACOUR, J.R.; PADILLAMAGUNACELAYA, S.; CHATARD, J.C.; ARSAC, L.; BARTHELEMY, J.C. Assessment of Running Velocity at Maximal Oxygen-Uptake. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 62, n. 2, p. 77-82, 1991.

LAMARRA, N.; WHIPP, B.J.; WARD, S.A.; WASSERMAN, K. Effect of Interbreath Fluctuations on Characterizing Exercise Gas-Exchange Kinetics. **Journal of Applied Physiology**, v. 62, n. 5, p. 2003-2012, 1987.

LAURENTINO, G.; UGRINOWITSCH, C.; AIHARA, A.Y.; FERNANDES, A.R.; PARCELL, A.C.; RICARD, M.; TRICOLI, V. Effects of strength training and vascular occlusion. **International Journal of Sports Medicine**, v. 29, n. 8, p. 664-667, 2008.

LAURENTINO, G.C.; UGRINOWITSCH, C.; ROSCHEL, H.; AOKI, M.S.; SOARES, A.G.; NEVES, M.; AIHARA, A.Y.; FERNANDES, A.D.C.; TRICOLI, V. Strength Training with Blood Flow Restriction Diminishes Myostatin Gene Expression. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, n. 3, p. 406-412, 2012.

LAURSEN, P.B. Interval Training for Endurance Performance. In: (Ed.). **Endurance training: Science and Practice**, 2012. cap. 5, p.41 - 50.

LAURSEN, P.B.; BLANCHARD, M.A.; JENKINS, D.G. Acute high-intensity interval training improves T-vent and peak power output in highly trained males. **Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee**, v. 27, n. 4, p. 336-348, 2002a.

LAURSEN, P.B.; JENKINS, D.G. The scientific basis for high-intensity interval training - Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. **Sports Medicine**, v. 32, n. 1, p. 53-73, 2002.

LAURSEN, P.B.; SHING, C.M.; PEAKE, J.M.; COOMBES, J.S.; JENKINS, D.G. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 11, p. 1801-1807, 2002b.

LEVERITT, M.; ABERNETHY, P.J.; BARRY, B.K.; LOGAN, P.A. Concurrent strength and endurance training - A review. **Sports Medicine**, v. 28, n. 6, p. 413-427, 1999.

LINDSAY, F.H.; HAWLEY, J.A.; MYBURGH, K.H.; SCHOMER, H.H.; NOAKES, T.D.; DENNIS, S.C. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 28, n. 11, p. 1427-1434, 1996.

LITTLE, J.P.; SAFDAR, A.; WILKIN, G.P.; TARNOPOLSKY, M.A.; GIBALA, M.J. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms. **Journal of Physiology-London**, v. 588, n. 6, p. 1011-1022, 2010.

LOENNEKE, J.P.; FAHS, C.A.; ROSSOW, L.M.; SHERK, V.D.; THIEBAUD, R.S.; ABE, T.; BEMBEN, D.A.; BEMBEN, M.G. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 8, p. 2903-2912, 2012.

LOENNEKE, J.P.; FAHS, C.A.; ROSSOW, L.M.; THIEBAUD, R.S.; MATTOCKS, K.T.; ABE, T.; BEMBEN, M.G. Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs. **Front Physiol**, v. 4, p. 249, 2013a.

LOENNEKE, J.P.; THIEBAUD, R.S.; FAHS, C.A.; ROSSOW, L.M.; ABE, T.; BEMBEN, M.G. Effect of cuff type on arterial occlusion. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 33, n. 4, p. 325-327, 2013b.

LOENNEKE, J.P.; WILSON, J.M.; WILSON, G.J.; PUJOL, T.J.; BEMBEN, M.G. Potential safety issues with blood flow restriction training. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 21, n. 4, p. 510-518, 2011.

LUNDBERG, T.R.; FERNANDEZ-GONZALO, R.; AKERSTROM, S.; TESCH, P.A. Increase in Muscle Size Following 5-wk Resistance Training is Exaggerated by Concurrent Aerobic Exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, p. 88-88, 2012a.

LUNDBERG, T.R.; FERNANDEZ-GONZALO, R.; GUSTAFSSON, T.; TESCH, P.A. Aerobic Exercise Alters Skeletal Muscle Molecular

Responses to Resistance Exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, n. 9, p. 1680-1688, 2012b.

LUNDBERG, T.R.; FERNANDEZ-GONZALO, R.; GUSTAFSSON, T.; TESCH, P.A. Aerobic exercise does not compromise muscle hypertrophy response to short-term resistance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 114, n. 1, p. 81-89, 2013.

MACDOUGALL, J.D. The anaerobic threshold: its significance for the endurance athlete. **Canadian journal of applied sport sciences**, v. 2, p. 134 - 140, 1977.

MANINI, T.M.; VINCENT, K.R.; LEEUWENBURGH, C.L.; LEES, H.A.; KAVAZIS, A.N.; BORST, S.E.; CLARK, B.C. Myogenic and proteolytic mRNA expression following blood flow restricted exercise. **Acta Physiologica**, v. 201, n. 2, p. 255-263, 2011.

MARTIN-HERNANDEZ, J.; MARIN, P.J.; MENENDEZ, H.; FERRERO, C.; LOENNEKE, J.P.; HERRERO, A.J. Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 23, n. 2, p. e114-e120, 2013.

MCCARTHY, J.P.; AGRE, J.C.; GRAF, B.K.; POZNIAK, M.A.; VAILAS, A.C. Compatibility of Adaptive Responses with Combining Strength and Endurance Training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 27, n. 3, p. 429-436, 1995.

MCKAY, B.R.; PATERSON, D.H.; KOWALCHUK, J.M. Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O<sub>2</sub> uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. **Journal of Applied Physiology**, v. 107, n. 1, p. 128-138, 2009.

MCKENNA, M.J.; HEIGENHAUSER, G.J.F.; MCKELVIE, R.S.; OBMINSKI, G.; MACDOUGALL, J.D. Enhanced pulmonary and active skeletal muscle gas exchange during intense exercise after sprint training in men. **Journal of Physiology-London**, v. 501, n. 3, p. 703-716, 1997.

MIDGLEY, A.W.; MCNAUGHTON, L.R.; JONES, A.M. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance? Can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? **Sports Medicine**, v. 37, n. 10, p. 857-880, 2007.

MIKKOLA, J.; RUSKO, H.; IZQUIERDO, M.; GOROSTIAGA, E.M.; HAKKINEN, K. Neuromuscular and Cardiovascular Adaptations During Concurrent Strength and Endurance Training in Untrained Men. **International Journal of Sports Medicine**, v. 33, n. 9, p. 702-710, 2012.

MIURA, A.; ENDO, M.; SATO, H.; SATO, H.; BARSTOW, T.J.; FUKUBA, Y. Relationship between the curvature constant parameter of the power-duration curve and muscle cross-sectional area of the thigh for cycle ergometry in humans. **Eur J Appl Physiol**, v. 87, n. 3, p. 238-244, 2002.

MIURA, A.; KINO, F.; KAJITANI, S.; SATO, H.; FUKUBA, Y. The effect of oral creatine supplementation on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry in humans. **Japanese Journal of Physiology**, v. 49, n. 2, p. 169-174, 1999.

MIURA, A.; SATO, H.; WHIPP, B.J.; FUKUBA, Y. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. **Ergonomics**, v. 43, n. 1, p. 133-141, 2000.

MOHR, M.; KRUSTRUP, P.; NIELSEN, J.J.; NYBO, L.; RASMUSSEN, M.K.; JUEL, C.; BANGSBO, J. Effect of two different intense training regimens on skeletal muscle ion transport proteins and fatigue development. **American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology**, v. 292, n. 4, p. R1594-R1602, 2007.

MONOD, H.; SCHERRER, J. The Work Capacity of a Synergic Muscular Group. **Ergonomics**, v. 8, n. 1-4, p. 329-338, 1965.

MOORE, D.R.; BURGOMASTER, K.A.; SCHOFIELD, L.M.; GIBALA, M.J.; SALE, D.G.; PHILLIPS, S.M. Neuromuscular adaptations in human muscle following low intensity resistance training with vascular occlusion. **Eur J Appl Physiol**, v. 92, n. 4-5, p. 399-406, 2004.

MORITANI, T.; NAGATA, A.; DEVRIES, H.A.; MURO, M. Critical Power as a Measure of Physical Work Capacity and Anaerobic Threshold. **Ergonomics**, v. 24, n. 5, p. 339-350, 1981.

MORITANI, T.; SHERMAN, W.M.; SHIBATA, M.; MATSUMOTO, T.; SHINOHARA, M. Oxygen Availability and Motor Unit-Activity in Humans. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 64, n. 6, p. 552-556, 1992.

MORTON, J.P.; CABLE, N.T. The effects of intermittent hypoxic training on aerobic and anaerobic performance. **Ergonomics**, v. 48, n. 11-14, p. 1535-1546, 2005.

NIELSEN, J.L.; AAGAARD, P.; BECH, R.D.; NYGAARD, T.; HVID, L.G.; WERNBOM, M.; SUETTA, C.; FRANDSEN, U. Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. **Journal of Physiology-London**, v. 590, n. 17, p. 4351-4361, 2012.

NOAKES, T.D. **Lore of Running**. 3. Champaign, IL: Human Kinetics, 1991. 804.

NOAKES, T.D. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 10, n. 3, p. 123-145, 2000.

PARK, S.; KIM, J.K.; CHOI, H.M.; KIM, H.G.; BEEKLEY, M.D.; NHO, H. Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. **Eur J Appl Physiol**, v. 109, n. 4, p. 591-600, 2010.

PARRA, J.; CADEFAU, J.A.; RODAS, G.; AMIGO, N.; CUSSO, R. The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 169, n. 2, p. 157-165, 2000.

PATON, C.D.; HOPKINS, W.G. Combining explosive and high-resistance training improves performance in competitive cyclists. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 4, p. 826-830, 2005.

PATTERSON, S.D.; FERGUSON, R.A. Increase in calf post-occlusive blood flow and strength following short-term resistance exercise training with blood flow restriction in young women. **Eur J Appl Physiol**, v. 108, n. 5, p. 1025-1033, 2010.

PHILLIPS, S.M.; GREEN, H.J.; MACDONALD, M.J.; HUGHSON, R.L. Progressive effect of endurance training on VO<sub>2</sub> kinetics at the onset of submaximal exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 79, n. 6, p. 1914-1920, 1995.

POOLE, D.C.; JONES, A.M. Towards an understanding of the mechanistic bases of VO<sub>2</sub> kinetics. . In: DC, J. A. M. E. P. (Ed.). **Oxygen Uptake Kinetics in Sport** London, Routledge: Exercise and Medicine, 2005. p.294.

POOLE, D.C.; WARD, S.A.; GARDNER, G.W.; WHIPP, B.J. METABOLIC AND RESPIRATORY PROFILE OF THE UPPER LIMIT FOR PROLONGED EXERCISE IN MAN. **Ergonomics**, v. 31, n. 9, p. 1265-1279, 1988.

POOLE, D.C.; WARD, S.A.; WHIPP, B.J. The Effects of Training on the Metabolic and Respiratory Profile of High-Intensity Cycle Ergometer Exercise. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 59, n. 6, p. 421-429, 1990.

POWERS, S.K.; DODD, S.; BEADLE, R.E. OXYGEN-UPTAKE KINETICS IN TRAINED ATHLETES DIFFERING IN VO<sub>2</sub>MAX. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 54, n. 3, p. 306-308, 1985.

PRINGLE, J.S.M.; JONES, A.M. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 3, p. 214-226, 2002.

RAKOBOWCHUK, M.; TANGUAY, S.; BURGOMASTER, K.A.; HOWARTH, K.R.; GIBALA, M.J.; MACDONALD, M.J. Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. **American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology**, v. 295, n. 1, p. R236-R242, 2008.

RISTOW, M.; ZARSE, K.; OBERBACH, A.; KLOTING, N.; BIRNINGER, M.; KIEHNTOPF, M.; STUMVOLL, M.; KAHN, C.R.; BLUHER, M. Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 21, p. 8665-8670, 2009.

RODAS, G.; VENTURA, J.L.; CADEFEAU, J.A.; CUSSO, R.; PARRA, J. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. **Eur J Appl Physiol**, v. 82, n. 5-6, p. 480-486, 2000.

ROSSITER, H.B.; WARD, S.A.; DOYLE, V.L.; HOWE, F.A.; GRIFFITHS, J.R.; WHIPP, B.J. Inferences from pulmonary O<sub>2</sub> uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans. **Journal of Physiology-London**, v. 518, n. 3, p. 921-932, 1999.

ROSSOW, L.M.; FAHS, C.A.; LOENNEKE, J.P.; THIEBAUD, R.S.; SHERK, V.D.; ABE, T.; BEMBEN, M.G. Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 32, n. 5, p. 331-337, 2012.

ROSTON, W.L.; WHIPP, B.J.; DAVIS, J.A.; CUNNINGHAM, D.A.; EFFROS, R.M.; WASSERMAN, K. OXYGEN-UP TAKE KINETICS AND LACTATE CONCENTRATION DURING EXERCISE IN HUMANS. **American Review of Respiratory Disease**, v. 135, n. 5, p. 1080-1084, 1987.

SALE, D.G.; JACOBS, I.; MACDOUGALL, J.D.; GARNER, S. Comparison of 2 Regimens of Concurrent Strength and Endurance Training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 22, n. 3, p. 348-356, 1990.

SALTIN, B.; BLOMQUIST, G.; MITCHELL, J.H.; JOHNSON, R.L., JR.; WILDENTHAL, K.; CHAPMAN, C.B. Response to exercise after bed rest and after training. **Circulation**, v. 38, n. 5 Suppl, p. VIII-78, 1968.

SALTIN, B.; CALBET, J.A.L. Point: In health and in a normoxic environment,  $\dot{V}O_2$  (max) is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 2, p. 744-745, 2006.

SALTIN, B.; NAZAR, K.; COSTILL, D.L.; STEIN, E.; JANSSON, E.; ESSEN, B.; GOLLNICK, P.D. Nature of Training Response - Peripheral and Central Adaptations to One-Legged Exercise. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 96, n. 3, p. 289-305, 1976.

SALTIN, B.; STRANGE, S. Maximal Oxygen-Uptake - Old and New Arguments for a Cardiovascular Limitation. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 24, n. 1, p. 30-37, 1992.

SATO, Y. The history and future of KAATSU Training. **International Journal of KAATSU Training Research**, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2005.

SHINOHARA, M.; KOUZAKI, M.; YOSHIHISA, T.; FUKUNAGA, T. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 77, n. 1-2, p. 189-191, 1998.

SILLANPAA, E.; LAAKSONEN, D.E.; HAKKINEN, A.; KARAVIRTA, L.; JENSEN, B.; KRAEMER, W.J.; NYMAN, K.; HAKKINEN, K. Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. **Eur J Appl Physiol**, v. 106, n. 2, p. 285-96, 2009.

SIRI, W.E. Body composition from fluid space and density. In: BROZEK, J. H., A. (Ed.). **Techniques for measuring body composition**. Washington, DC: National Academy of Science, 1961. p. 223-244.

SJODIN, B.; JACOBS, I. ONSET OF BLOOD LACTATE ACCUMULATION AND MARATHON RUNNING PERFORMANCE. **International Journal of Sports Medicine**, v. 2, n. 1, p. 23-26, 1981.

SPINA, R.J.; OGAWA, T.; MARTIN, W.H.; COGGAN, A.R.; HOLLOSZY, J.O.; EHSANI, A.A. Exercise Training Prevents Decline in Stroke Volume during Exercise in Young Healthy-Subjects. **Journal of Applied Physiology**, v. 72, n. 6, p. 2458-2462, 1992.

SQUIRES, R.W.; BUSKIRK, E.R. Aerobic Capacity during Acute Exposure to Simulated Altitude, 914 to 2286 Meters. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 14, n. 1, p. 36-40, 1982.

STEPTO, N.K.; HAWLEY, J.A.; DENNIS, S.C.; HOPKINS, W.G. Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, n. 5, p. 736-741, 1999.

SUNDBERG, C.J. Exercise and Training during Graded Leg Ischemia in Healthy Man with Special Reference to Effects on Skeletal-Muscle. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 150, p. 2-50, 1994.

SUNDBERG, C.J.; EIKEN, O.; NYGREN, A.; KAIJSER, L. Effects of Ischemic Training on Local Aerobic Muscle Performance in Man. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 148, n. 1, p. 13-19, 1993.

SUZUKI, J.; KOBAYASHI, T.; URUMA, T.; KOYAMA, T. Strength training with partial ischaemia stimulates microvascular remodelling in rat calf muscles. **Eur J Appl Physiol**, v. 82, n. 3, p. 215-222, 2000.

TAKANO, H.; MORITA, T.; IIDA, H.; ASADA, K.; KATO, M.; UNO, K.; HIROSE, K.; MATSUMOTO, A.; TAKENAKA, K.; HIRATA, Y.; ETO, F.; NAGAI, R.; SATO, Y.; NAKAJIMA, T. Hemodynamic and

hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. **Eur J Appl Physiol**, v. 95, n. 1, p. 65-73, 2005.

TAKARADA, Y.; NAKAMURA, Y.; ARUGA, S.; ONDA, T.; MIYAZAKI, S.; ISHII, N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. **Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 1, p. 61-65, 2000a.

TAKARADA, Y.; SATO, Y.; ISHII, N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. **Eur J Appl Physiol**, v. 86, n. 4, p. 308-314, 2002.

TAKARADA, Y.; TAKAZAWA, H.; SATO, Y.; TAKEBAYASHI, S.; TANAKA, Y.; ISHII, N. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 6, p. 2097-2106, 2000b.

TAKARADA, Y.; TSURUTA, T.; ISHII, N. Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. **Japanese Journal of Physiology**, v. 54, n. 6, p. 585-592, 2004.

TANIMOTO, M.; ISHII, N. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 4, p. 1150-1157, 2006.

TAYLOR, H.L.; BUSKIRK, E.; HENSCHER, A. Maximal Oxygen Intake as an Objective Measure of Cardio-Respiratory Performance. **Journal of Applied Physiology**, v. 8, n. 1, p. 73-80, 1955.

TERAMOTO, M.; GOLDING, L.A. Low-intensity exercise, vascular occlusion, and muscular adaptations. **Res Sports Med**, v. 14, n. 4, p. 259-71, 2006.

TESCH, P.A.; ALKNER, B.A. Adaptações metabólicas musculares agudas e crônicas ao treinamento de força. In: KOMI, P. V. (Ed.). **Força**

**e Potência no Esporte.** Porto Alegre: Artmed, v.3 ed, 2006. cap. 14, p.281-296. (Enciclopaedia of Sports Medicine).

TONG, T.K.; CHUNG, P.K.; LEUNG, R.W.; NIE, J.; LIN, H.; ZHENG, J. EFFECTS OF NON-WINGATE-BASED HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING ON CARDIORESPIRATORY FITNESS AND AEROBIC-BASED EXERCISE CAPACITY IN SEDENTARY SUBJECTS: A PRELIMINARY STUDY. **Journal of Exercise Science & Fitness**, v. 9, n. 2, p. 75-81, 2011.

TURNES, T. **Treinamento intervalado na maior e na menor intensidade em que o consumo máximo de oxigênio é alcançado: efeitos sobre variáveis fisiológicas e desempenho no ciclismo.** 2013. 110 pg Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

VAN BEEKVELT, M.C.P.; COLIER, W.N.J.M.; WEVERS, R.A.; VAN ENGELEN, B.G.M. Performance of near-infrared spectroscopy in measuring local O<sub>2</sub> consumption and blood flow in skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 2, p. 511-519, 2001.

WAGNER, P.D. Muscle O<sub>2</sub> Transport and O<sub>2</sub> Dependent Control of Metabolism. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 27, n. 1, p. 47-53, 1995.

WAKAYOSHI, K.; IKUTA, K.; YOSHIDA, T.; UDO, M.; MORITANI, T.; MUTOH, Y.; MIYASHITA, M. Determination and Validity of Critical Velocity as an Index of Swimming Performance in the Competitive Swimmer. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 64, n. 2, p. 153-157, 1992.

WENGER, H.A.; BELL, G.J. THE INTERACTIONS OF INTENSITY, FREQUENCY AND DURATION OF EXERCISE TRAINING IN ALTERING CARDIORESPIRATORY FITNESS. **Sports Medicine**, v. 3, n. 5, p. 346-356, 1986.

WESTGARTH-TAYLOR, C.; HAWLEY, J.A.; RICKARD, S.; MYBURGH, K.H.; NOAKES, T.D.; DENNIS, S.C. Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained

cyclists. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 4, p. 298-304, 1997.

WESTON, A.R.; MYBURGH, K.H.; LINDSAY, F.H.; DENNIS, S.C.; NOAKES, T.D.; HAWLEY, J.A. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 1, p. 7-13, 1997.

WILLIAMS, A.M.; PATERSON, D.H.; KOWALCHUK, J.M. High-intensity interval training speeds the adjustment of pulmonary O<sub>2</sub> uptake, but not muscle deoxygenation, during moderate-intensity exercise transitions initiated from low and elevated baseline metabolic rates. **Journal of Applied Physiology**, v. 114, n. 11, p. 1550-1562, 2013.

YASUDA, T.; OGASAWARA, R.; SAKAMAKI, M.; OZAKI, H.; SATO, Y.; ABE, T. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. **Eur J Appl Physiol**, v. 111, n. 10, p. 2525-2533, 2011.

ZHAO, Y.; LI, J.N.; LIN, A.C.; XIAO, M.Y.; XIAO, B.; WAN, C.X. Improving Angiogenesis and Muscle Performance in the Ischemic Limb Model by Physiological Ischemic Training in Rabbits. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 90, n. 12, p. 1020-1029, 2011.

ZIEMANN, E.; GRZYWACZ, T.; LUSZCZYK, M.; LASKOWSKI, R.; OLEK, R.A.; GIBSON, A.L. AEROBIC AND ANAEROBIC CHANGES WITH HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING IN ACTIVE COLLEGE-AGED MEN. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 4, p. 1104-1112, 2011.

ZOLADZ, J.A.; GRASSI, B.; MAJERCZAK, J.; SZKUTNIK, Z.; KOROSTYNSKI, M.; KARASINSKI, J.; KILARSKI, W.; KORZENIEWSKI, B. Training-induced acceleration of O<sub>2</sub> uptake on-kinetics precedes muscle mitochondrial biogenesis in humans. **Experimental Physiology**, v. 98, n. 4, p. 883-898, 2013.

ZOLADZ, J.A.; KORZENIEWSKI, B.; GRASSI, B. TRAINING-INDUCED ACCELERATION OF OXYGEN UPTAKE KINETICS IN SKELETAL MUSCLE: THE UNDERLYING MECHANISMS. **Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 57, p. 67-84, 2006.

ZUO, L.; CLANTON, T.L. Reactive oxygen species formation in the transition to hypoxia in skeletal muscle. **American Journal of Physiology-Cell Physiology**, v. 289, n. 1, p. C207-C216, 2005.

## ANEXO I

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O(a) senhor(a) está sendo convidado a participar do estudo " Efeito de quatro semanas de treinamento sobre os índices de aptidão aeróbia, força muscular, e composição corporal: influência da intensidade e da oclusão de fluxo sanguíneo". Aceitando o termo de consentimento você terá que comparecer em nosso laboratório em 20 ocasiões.

Na primeira visita serão realizados testes para mensuração de seu consumo máximo de oxigênio em bicicleta ergométrica e avaliação antropométrica. Nas segunda e terceira visita será feito um teste até a sua exaustão voluntária para duas diferentes intensidades de exercícios também na bicicleta ergométrica. E numa quarta visita ao laboratório faremos a mensuração da força máxima isométrica de seu quadríceps em uma cadeira extensora.

Após essas quatro visitas você será sorteado para integrar 4 diferentes tipos de treinamento em uma bicicleta ergométrica, sendo estes grupos os seguintes: Grupo Ocluído, Grupo Alta Intensidade, Grupo Treinamento Combinado e Grupo Controle. O treinamento será composto de mais 12 visitas ao laboratório, totalizando um mês de treinamento. Após o término do período proposto para o treinamento você irá refazer os primeiros testes que foram realizados nas primeiras visitas. Serão previamente marcados a data e horário para a realização dos testes de acordo com a disponibilidade de horário dos voluntários do estudo. O treino será feito em um cicloergômetro de frenagem eletromagnética (Excalibur Sport, Lode BV, Holanda) e consistirá inicialmente em 2 séries de 5 repetições de 2 minutos de exercício com intervalo de 1 minuto entre as repetições. O tempo de recuperação entre as séries será de 5 minutos (3 minutos de recuperação ativa mais 2 minutos de recuperação passiva). A cada 3 sessões de treinamento uma repetição será adicionada a cada série de exercício, totalizando ao final das 4 semanas de treinamento um volume total de 16 repetições (2 séries de 8 repetições) para todos os grupos de treinamento.

*Grupo Oclusão:* A oclusão será realizada na porção proximal de ambas as coxas do voluntário utilizando-se de um esfigmomanômetro para obesos numa pressão inicial de 140mmHg e será aumentada 20mmHg a cada três sessões de treinamento. Os sujeitos irão realizar o exercício com oclusão de fluxo na coxa e perna numa intensidade leve.

A pressão será diminuída a zero em todos os intervalos entre as repetições (1 minuto), e da mesma forma no descanso entre as duas séries (5 minutos).

*Grupo Alta Intensidade:* Os voluntários irão se exercitar em quatro diferentes intensidades dentro de cada repetição. Sendo que cada intensidade será mantida por 30 segundos, totalizando dessa forma os 2 minutos de cada repetição de exercício. A intensidade inicial será de 110%, baixando para 105%, 100% e terminando em 95% da intensidade do consumo máximo de oxigênio ( $IVO_2$ máx).

*Grupo Treinamento Combinado:* Este grupo irá realizar o treinamento utilizando-se dos dois diferentes tipos de treinamento propostos acima dentro da mesma sessão de treino. Os indivíduos realizarão uma série de exercícios com oclusão e a outra série em alta intensidade sem oclusão.

*Grupo Controle:* O grupo controle irá realizar o treinamento na mesma intensidade e volume do grupo oclusão, mas não será realizada a oclusão parcial de fluxo sanguíneo da coxa.

Os riscos relacionados com a sua participação referem-se à prática de exercícios físicos extenuantes, uma possível hipotensão, hipoglicemia, ou mal estar (náuseas e vômitos) observadas com pouca frequência ao final de testes extenuantes. Quando apresentados, estes sintomas retornam a normalidade após alguns minutos, raramente necessitando de procedimentos para reverter este quadro. O desconforto se resume à picada da agulha no lóbulo da orelha, sendo que após a coleta o local poderá ficar dolorido, mas não requer nenhum cuidado especial, voltando ao normal em poucos dias. O material biológico (sangue) será destinado para análises bioquímicas. Em relação ao procedimento para oclusão de fluxo, haverá um desconforto relacionado à compressão do manguito, e os possíveis prejuízos para área ocluída (musculatura da perna) começariam a ocorrer apenas com procedimentos de oclusão superiores a 3 horas de duração. A sua identidade será preservada, pois cada sujeito da amostra será identificado por um número.

Quanto aos benefícios e vantagens em participar deste estudo, você estará contribuindo de forma única para o desenvolvimento da ciência, dando possibilidade a novas descobertas e o avanço das pesquisas. Além disso, com exceção do grupo controle, o treinamento provavelmente proporcionará uma melhora considerável do seu

condicionamento físico. Todas as informações estarão contidas no relatório individual de sua avaliação, que será entregue ao final do estudo.

Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento. Agradecemos a vossa participação e colaboração, ressaltando ainda que você poderá se retirar do estudo a qualquer momento.

### **TERMO DE CONSENTIMENTO**

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa e, que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto e, que todos os dados a meu respeito serão sigilosos. Eu compreendo que neste estudo, as medições dos experimentos/procedimentos de tratamento serão feitas em mim. Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

Nome por extenso \_\_\_\_\_

Assinatura \_\_\_\_\_

Florianópolis, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ .

Laboratório de Esforço Físico – UFSC  
Laboratório de Avaliação da Performance Humana - UNESP  
Laboratório de Pesquisas em Desempenho Humano - UDESC  
Pesquisadora responsável - Mariana Fernandes Mendes de Oliveira  
Telefone: (48) 3237-3372 / (48) 9169-5848