

---

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

---

**EFEITO DA DURAÇÃO DO ESTÍMULO E DO TIPO DE RECUPERAÇÃO NAS  
RESPOSTAS METABÓLICAS E CARDIORRESPIRATÓRIAS DURANTE UM  
EXERCÍCIO INTERMITENTE REALIZADO NO DOMÍNIO SEVERO EM  
INDIVÍDUOS ATIVOS**

**LUIS FABIANO BARBOSA**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Sub-área Tecnologias nas Dinâmicas Corporais).

**RIO CLARO  
AGOSTO - 2013**

---

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

---

**EFEITO DA DURAÇÃO DO ESTÍMULO E DO TIPO DE RECUPERAÇÃO NAS  
RESPOSTAS METABÓLICAS E CARDIORRESPIRATÓRIAS DURANTE UM  
EXERCÍCIO INTERMITENTE REALIZADO NO DOMÍNIO SEVERO EM  
INDIVÍDUOS ATIVOS**

**LUIS FABIANO BARBOSA**

**Orientador: PROFA. DRA. CAMILA COELHO GRECO**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Sub-área Tecnologias nas Dinâmicas Corporais).

**RIO CLARO  
AGOSTO – 2013**

574.1    Barbosa, Luis Fabiano  
B238e      Efeito da duração do estímulo e do tipo de recuperação  
nas respostas metabólicas e cardiorrespiratórias durante um  
exercício intermitente realizado no domínio severo em  
indivíduos ativos / Luis Fabiano Barbosa. - Rio Claro, 2013  
79 f. : il., figs., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Biociências de Rio Claro  
Orientador: Camila Coelho Greco

1. Fisiologia. 2. Ciclismo. 3. Performance. 4. Consumo de  
oxigênio. 5. Tolerância ao exercício. I. Título.

**LUIS FABIANO BARBOSA**

**EFEITO DA DURAÇÃO DO ESTÍMULO E DO TIPO DE RECUPERAÇÃO NAS  
RESPOSTAS METABÓLICAS E CARDIORRESPIRATÓRIAS DURANTE UM  
EXERCÍCIO INTERMITENTE REALIZADO NO DOMÍNIO SEVERO EM  
INDIVÍDUOS ATIVOS**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Sub-área Tecnologias nas Dinâmicas Corporais).

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Profa. Dra. Camila Coelho Greco

Prof. Dr. Adalgiso Coscrato Cardozo

Prof. Dr. Fabrizio Caputo

Prof. Dr. Fernando Diefenthaler

Prof. Dr. Sergio Ricardo de Abreu Camarda

Rio Claro, 15 de agosto de 2013.

**APOIO FINANCEIRO**



**FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**PROCESSO FAPESP Nº. 2010/02556-8**

*Dedico este trabalho a meus pais, Deluiz e Cida, por serem seres humanos de inigualável beleza, extraordinários e admiráveis em essência. Ao longo de minha existência nunca deixaram de me incentivar e apoiar, mesmo em condições não favoráveis. Furtaram de si mesmos para me verem feliz. A possibilidade de galgar novos caminhos devo a eles. E levá-los-ei comigo. Agradeço por terem aceitado se privar de minha companhia pelos estudos, concedendo a mim a oportunidade de me realizar ainda mais. Dedico também a meu irmão Fábio, grande companheiro e amigo. Que também, durante essa caminhada privou-se de muitas coisas para me ver aqui. Sempre presente, somente eu posso brigar com ele, e mais ninguém. Obrigado!*

*Eu amo vocês!*

*Agradeço primeiramente a Deus que me concedeu a oportunidade da vida.*

*A minha orientadora Professora Doutora Camila Coelho Greco, que pela dificuldade em traduzir minha gratidão, desejo retribuir contribuindo para a formação profissional e humana de alunos que por ventura venham a ficar sob minha orientação.*

*A meus professores e amigos que me incentivaram ao longo de minha formação pessoal e profissional. Lembrando sempre do meu primeiro professor de Educação Física, o Prof. Carlos (Carlão), exemplo de professor, “Betão” (in memoriam) e meu padrinho José Reis.*

*Ao amigo e professor Fernando Donizete e ao amigo e professor Maurício “Cambuquira” Borges que contribuiu enormemente para a minha introdução no “mundo” da pesquisa, desde os estudos de TCC em minha graduação. Auxiliando no desenvolvimento da curiosidade, algo que move aquele que se dedica a pesquisa de algum modo. Ambos sempre me incentivaram e acreditaram nessa possibilidade de conquista.*

*Ao Professor Doutor Benedito S. Denadai pelas conversas e consequente contribuição intelectual.*

*A “galera” do Laboratório de Avaliação da Performance Humana (Jaílton - viajante português -, Renato “Bola”, Felps, Leonardo “Leo”, Thiago, Cláudio Assumpção) pelas conversas, “prosas” e auxílio no desenvolvimento deste estudo. Às mulheres do laboratório, Renata e Natalia.*

*Agradeço também os amigos do Handebol UNESP/Rio Claro. Estar com os amigos e, jogar com eles, foi muito importante durante essa caminhada.*

*Agradecimento especial também aos amigos da República Garotinhos que estiveram presentes nesta “empreitada” contribuindo para com meu desenvolvimento humano. A todos que passaram por lá e aos que estiveram “presentes” nesta etapa: Preto, Tam, Danilão, Beck, Wendell, Murilo, Inaian, e as Garotinhas Cris e Mayara. Aos novos “Garotinhos”, Tiago Pedicini, Cláudio Barbosa, Igor e Barba. Não estão em ordem de importância, pois em sua unidade todos são importantes.*

*Aliás, Cris e Danilão, sem palavras para vocês!*

*Minha prima Mariana que dividiu este último ano e meio, “teto” e histórias, me aguentando e dando boas risadas.*

*E a todos os amigos que fiz nessa caminhada e, assim, os agradeço nas pessoas de Leo Madeira e família, Gisele, Bruna (Bola) e Sissy.*

*Desculpem-me aqueles cujos nomes não estão aqui. Todos são importantes!*

*Enfim, aos AMIGOS. Graças a Deus, tenho muitos...*

*Nosso maior medo não é sermos inadequados. Nosso maior medo é que sejamos poderosos além do que podemos imaginar. É a nossa luz, não nossa escuridão que mais nos assusta. Nós nos perguntamos: “Quem sou eu para ser brilhante, lindo, talentoso, fabuloso?” Na verdade, quem é você para não ser? Você é um filho de Deus. Você, se apequenando, não ajuda o mundo. Não há nenhuma bondade em se diminuir, recuar para que os outros não se sintam inseguros ao seu redor. Todos nós somos feitos para brilhar, como crianças brilham. Nós nascemos para manifestar a glória de Deus dentro de nós. Isso não ocorre somente em alguns de nós, mas em todos. E a medida que deixamos nossa própria luz brilhar, nós, inconscientemente, damos permissão a outros para fazerem o mesmo. Quando nós nos libertamos do nosso próprio medo, nossa presença automaticamente libertará outros.*

*Nelson Mandela  
Discurso de posse - 1994*



**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1 - Resposta da cinética do consumo em resposta ao incremento do trabalho muscular. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2 - Esquema típico para a quantificação da intensidade de exercício relativa à capacidade metabólica.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 3 - Delineamento Experimental. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 4 - Definição da duração das repetições nos protocolos Inter 1 (T1: início do CL) e Inter 2 (T2: metade da duração do CL).....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 5 - Modelo do teste submáximo contínuo de carga constante. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 6 - Modelo do teste submáximo intermitente de carga constante. ....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 7 - Contribuição percentual do AOC e do AOD para a demanda prevista. ....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 8 - Consumo pico de oxigênio obtido durante o protocolo incremental e os protocolos experimentais contínuo e intermitentes (Inter 1 e Inter 2). ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 9 - Gráfico representativo do <math>\dot{V}O_2</math> para um indivíduo do grupo com recuperação ativa. (A: intermitente 1; B: intermitente 2).....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 10 - Gráfico representativo do <math>\dot{V}O_2</math> para um indivíduo do grupo com recuperação ativa. (A: intermitente 1; B: intermitente 2).....</b>	<b>58</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 - Características antropométricas. Dados expressos em valores médios <math>\pm</math> DP.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 2 - Valores médios <math>\pm</math> DP das variáveis obtidas no protocolo incremental. ....</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 3 - Valores médios <math>\pm</math> DP das variáveis obtidas nos protocolos experimentais. ....</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 4 - Valores médios <math>\pm</math> DP das variáveis da cinética obtidas nos protocolo contínuo utilizado para prescrição do exercício intermitente.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 5 - Valores médios <math>\pm</math> DP das variáveis absolutas do <math>\dot{V}O_2</math> obtidas para o exercício contínuo e dos exercícios intermitentes. ....</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 6 - Valores médios <math>\pm</math> DP do exercício contínuo e dos exercícios intermitentes.....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

[La]: concentração de lactato sanguíneo.

[PCr]: concentração de fosfocreatina.

[Pi]: concentração de fosfato inorgânico.

$\Delta$ : delta de variação.

$\Delta$ CL: delta de variação do componente lento ao longo do tempo.

ADP: adenosina difosfato.

AOC: consumo acumulado de oxigênio.

AOD: déficit acumulado de oxigênio.

ATP: adenosina trifosfato.

CL: componente lento do consumo de oxigênio.

CWR: carga constante contínua.

DEAO: demanda acumulada de oxigênio.

EMG: eletromiografia

FC: frequência cardíaca.

FC<sub>max</sub>: frequência cardíaca máxima obtida durante o teste incremental.

FC<sub>pico</sub>: frequência cardíaca máxima obtida durante os protocolos experimentais, contínuo e intermitentes.

GA: grupo com recuperação ativa.

GET: limiar de troca gasosa.

GP: grupo com recuperação passiva.

Inter 1: protocolo experimental intermitente 1.

Inter 2: protocolo experimental intermitente 2.

$\dot{V}O_{2max}$ : intensidade relativa ao  $\dot{V}O_{2max}$ .

LL: limiar de lactato.

LPG: limiar de permuta gasosa.

MLSS: máxima fase estável de lactato sanguíneo.

MRT: tempo de resposta médio.

PaO<sub>2</sub>: pressão parcial de oxigênio no sangue arterial.

PC: potência crítica.

PCr - fosfocreatina.

Pi: fosfato inorgânico.

pH: potencial hidrogeniônico ou potencial de hidrogênio iônico

S-CWR: exercício contínuo de carga constante realizado no domínio severo.

S-H: exercício intermitente com intensidade de esforço severo e pesado para o período de exercício e recuperação, respectivamente.

S-L: exercício intermitente com intensidade de esforço severo e leve para o período de exercício e recuperação, respectivamente.

*Slope*: inclinação da taxa de incremento do consumo de oxigênio.

S-S: exercício intermitente com intensidade de esforço severo para os períodos de exercício e recuperação.

T1: tempo decorrido até o início do componente lento do consumo de oxigênio.

T2: tempo decorrido até a metade da duração do componente lento do consumo de oxigênio.

$T@\dot{V}O_{2max}$ : tempo para alcançar o consumo máximo de oxigênio.

*tlim*: tempo limite (tempo limite de tolerância ao exercício).

TM97,5%: tempo para alcançar 97,5% do consumo máximo de oxigênio.

TMrel: tempo (expresso como percentual do tempo limite) em que o consumo de oxigênio foi mantido acima de 97,5% do consumo máximo.

$\dot{V}O_2$ : consumo de oxigênio.

$\dot{V}O_{2baseline}$ : consumo de oxigênio de base, pedalando contra uma resistência de 20 Watts.

$\dot{V}O_{2max}$ : consumo máximo de oxigênio.

$\dot{V}O_{2pico}$ : consumo pico de oxigênio.

W: potência produzida / trabalho.

W': reserva "finita" de energia para o trabalho realizado acima da PC (capacidade de trabalho anaeróbio).

## RESUMO

No domínio severo de exercício, a concentração de lactato sanguíneo ([La]) e o consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) não apresentam estabilização e o indivíduo pode atingir o consumo máximo de oxigênio ( $\dot{V}O_{2max}$ ) ao final do exercício mesmo em intensidades abaixo do  $\dot{V}O_{2max}$ , em função do componente lento do  $\dot{V}O_2$  (CL), que emerge por volta de 80-110 s após o início do exercício. No exercício intermitente, o estímulo prévio anterior e o tipo de recuperação podem acelerar a cinética do  $\dot{V}O_2$  e antecipar o surgimento do CL. Com isso, o objetivo central deste estudo foi analisar e comparar as respostas metabólicas, cardiorrespiratórias e a performance em um exercício intermitente no domínio severo, com diferentes durações de estímulo e tipo de recuperação, em indivíduos ativos. Inicialmente, voluntários do gênero masculino, saudáveis, com idades entre 21 e 35 anos realizaram um teste incremental até a exaustão em um cicloergômetro para a determinação do  $\dot{V}O_{2max}$  e da intensidade correspondente ao  $\dot{V}O_{2max}$  ( $I\dot{V}O_{2max}$ ) e foram divididos em dois grupos (recuperação ativa, N = 9 e recuperação passiva, N = 9). Posteriormente, os voluntários realizaram os seguintes procedimentos: 1) duas transições a 95%  $I\dot{V}O_{2max}$ , a fim de se determinar o momento do surgimento, a duração e a amplitude do CL, e; 2) dois testes intermitentes (relação esforço: pausa 2:1) em ordem aleatória, sendo um composto por estímulos cuja duração correspondente ao momento do início do CL (Inter 1: Ativa - 132 ± 39 s e Passiva - 105 ± 29s), e o outro com estímulos com duração estabelecida no momento correspondente à metade da duração do CL (Inter 2: Ativa - 253 ± 56 s e Passiva - 252 ± 50s). Foram analisadas as respostas da [La] e da cinética do  $\dot{V}O_2$  nos testes de carga constante para analisar se o  $\dot{V}O_{2max}$  foi atingido, o tempo com o  $\dot{V}O_2$  acima de 97,5%  $\dot{V}O_{2max}$  e as contribuições anaeróbia e aeróbia no exercício. Os valores de  $\dot{V}O_{2max}$  (Ativa = 3,33 ± 0,49 L.min<sup>-1</sup>; Passiva = 3,22 ± 0,27 L.min<sup>-1</sup>) e  $I\dot{V}O_{2max}$  (Ativa = 266 ± 45 W; Passiva = 248 ± 24 W) foram similares entre os grupos. Os valores pico da [La] obtidos durante os protocolos experimentais no grupo com recuperação ativa (Contínuo: 11,19 ± 2,35 mM; Inter 1: 10,93 ± 2,65 mM; Inter 2: 11,78 ± 2,78 mM) foram similares ao grupo com recuperação passiva (Contínuo: 12,35 ± 2,83 mM; Inter 1: 10,33 ± 3,7 mM; Inter 2: 12,14 ± 3,02 mM) e não diferem daqueles obtidos durante o teste incremental. Os valores pico da FC obtidos durante os protocolos experimentais para o grupo com recuperação ativa (Contínuo: 184 ± 7 bpm; Inter 2: 186 ± 5 bpm) foram similares ao

grupo com recuperação passiva (Contínuo:  $177 \pm 14$  mM; Inter 2:  $177 \pm 11$  bpm) e não diferiram daqueles obtidos durante o teste incremental. A  $FC_{\text{pico}}$  do grupo com recuperação passiva obtida em Inter 1 ( $170 \pm 15$  bpm) foi significativamente menor que a  $FC_{\text{max}}$  obtida no grupo com recuperação ativa (Inter 1:  $183 \pm 3$  bpm) e que a do protocolo incremental. O consumo de oxigênio acumulado obtido durante o Inter 1 e Inter 2 para os grupos com recuperação ativa e passiva foi significativamente maior do que o obtido durante o protocolo contínuo. Para o grupo com recuperação passiva, a demanda acumulada de oxigênio, o consumo de oxigênio acumulado e o déficit acumulado de oxigênio obtidos durante o Inter 1 foram significativamente maiores quando comparados com o Inter 2 e com o grupo com recuperação passiva. O  $tlim$  obtido durante os protocolos Inter 1 e Inter 2 para os grupos com recuperação ativa e passiva foi significativamente maior que o  $tlim$  obtido durante o protocolo contínuo dentro do mesmo grupo. O  $tlim$  obtido durante o protocolo Inter 1 no grupo com recuperação passiva foi significativamente maior quando comparado ao Inter 2 do mesmo grupo e com seu respectivo (Inter 1) no grupo com recuperação ativa (Ativa - Contínuo:  $489 \pm 84$  s; Inter 1:  $902 \pm 239$  s; Inter 2:  $886 \pm 254$  s; Passiva - Contínuo:  $540 \pm 116$  s; Inter 1:  $1523 \pm 411$  s; Inter 2:  $984 \pm 260$  s). A taxa de incremento do  $\dot{V}O_2$  (*Slope*) obtida durante o protocolo contínuo foi significativamente maior quando comparada às taxas obtidas durante o protocolo intermitente para os grupos com recuperação ativa e passiva. Não houve diferença entre estes e os valores de  $\dot{V}O_{2\text{pico}}$  obtidos durante o protocolo contínuo ( $3,49 \pm 0,41$  L.min<sup>-1</sup> e  $3,15 \pm 0,47$  L.min<sup>-1</sup>) e intermitentes (Inter 1:  $3,26 \pm 0,40$  L.min<sup>-1</sup> e  $2,99 \pm 0,35$  L.min<sup>-1</sup>; Inter 2:  $3,29 \pm 0,48$  L.min<sup>-1</sup> e  $3,05 \pm 0,27$  L.min<sup>-1</sup>) para os grupos com recuperação ativa e passiva respectivamente. Portanto, com base nos resultados deste estudo, pode-se concluir que, o  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  é atingido independentemente do tipo de recuperação e de se considerar ou não o início do CL para a determinação da duração dos estímulos. A performance durante o exercício severo realizado de forma intermitente é maior do que na condição contínua. No exercício intermitente com estímulos mais curtos, a recuperação passiva melhora a performance.

Palavras-chave: Exercício, ciclismo, performance, consumo de oxigênio, tolerância ao exercício.

## ABSTRACT

In the severe exercise domain, the blood lactate concentration ([La]) and the oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ) do not present stabilization and the subject may attain the maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2max}$ ) at the end of the exercise even at intensities below the  $\dot{V}O_{2max}$ , because the slow component  $\dot{V}O_2$  (SC), that emerges after 80-110 s from the beginning of the exercise. In the intermittent exercise, the previous stimulus and the type of recovery may accelerate the  $\dot{V}O_2$  kinetics and anticipate the beginning of the SC. Thus, the main objective of this study was to analyze and to compare the metabolic, cardiorespiratory and performance responses in an intermittent exercise performed at severe domain, with different durations of the stimulus and type of recovery, in active subjects. Initially, voluntary healthy males, with ages between 21 and 35 years performed an incremental test to exhaustion a cycle ergometer to determine  $\dot{V}O_{2max}$  and the intensity corresponding to  $\dot{V}O_{2max}$  ( $I\dot{V}O_{2max}$ ) and were divided into two groups (active recovery, N = 9 and passive recovery, N = 9). Thereafter, the voluntary performed the following procedures: 1) Two exercise transitions at 95%  $I\dot{V}O_{2max}$ , to determine the beginning, duration and the amplitude of the SC, and; 2) Two intermittent constant-workload tests (work/rest ratio of 2:1), in random order, one with stimulus duration corresponding to the beginning of the SC (Inter 1: Active -  $132 \pm 39$  s e Passive -  $105 \pm 29$ s), and other with stimulus duration corresponding to the half of the duration of the SC (Inter 2: Active -  $253 \pm 56$  s e Passive -  $252 \pm 50$ s). The [La] and  $\dot{V}O_2$  kinetics responses were analyzed during the constant-workload tests to verify if the  $\dot{V}O_{2max}$  was attained, the time with  $\dot{V}O_2$  above 97.5%  $\dot{V}O_{2max}$  and the anaerobic and aerobic contributions in the exercise. The values of  $\dot{V}O_{2max}$  (Active =  $3.33 \pm 0.49$  L.min<sup>-1</sup>; Passive =  $3.22 \pm 0.27$  L.min<sup>-1</sup>) and  $I\dot{V}O_{2max}$  (Active =  $266 \pm 45$  W; Passive =  $248 \pm 24$  W) were similar between groups. The peak values of [La] obtained during the experimental protocols in the group with active recovery (Continuous:  $11.19 \pm 2.35$  mM; Inter 1:  $10.93 \pm 2.65$  mM; Inter 2:  $11.78 \pm 2.78$  mM) were similar to the group with passive recovery (Continuous:  $12.35 \pm 2.83$  mM; Inter 1:  $10.33 \pm 3.7$  mM; Inter 2:  $12.14 \pm 3.02$  mM) and did not differ of those obtained during the incremental test. The peak values of HR obtained during the experimental protocols for the group with active recovery (Continuous:  $184 \pm 7$  bpm; Inter 2:  $186 \pm 5$  bpm) were similar to the group with passive recovery

(Continuous:  $177 \pm 14$  mM; Inter 2:  $177 \pm 11$  bpm) and did not differ of those obtained during the incremental protocol. The  $HR_{peak}$  of the group with passive recovery obtained in Inter 1 ( $170 \pm 15$  bpm) was significantly lower than  $HR_{max}$  obtained in the group with active recovery (Inter 1:  $183 \pm 3$  bpm) and that of the incremental protocol. The accumulated oxygen uptake obtained during Inter 1 and Inter 2 for both groups with active and passive recovery was significantly higher than that obtained during the continuous protocol. For the group with passive recovery, the accumulated oxygen demand, the accumulated oxygen uptake and the accumulated deficit of oxygen obtained during Inter 1 were significantly higher when compared with Inter 2 and group with active recovery. The  $tlim$  obtained during the protocols Inter 1 and Inter 2 for the groups with active and passive recovery was significantly higher than the  $tlim$  obtained during the continuous exercise for the same group. The  $tlim$  obtained during the protocol Inter 1 in the group with passive recovery was significantly higher when compared with Inter 2 of the same group and with its respective (Inter 1) in the group with active recovery (Active - Continuous:  $489 \pm 84$  s; Inter 1:  $902 \pm 239$  s; Inter 2:  $886 \pm 254$  s; Passive - Continuous:  $540 \pm 116$  s; Inter 1:  $1523 \pm 411$  s; Inter 2:  $984 \pm 260$  s). The rate of increment of  $\dot{V}O_2$  (*Slope*) obtained during the continuous protocol was significantly higher when compared with the rates obtained during the intermittent protocol for the groups with active and passive recovery. There was no significant difference between them and the values of  $\dot{V}O_{2peak}$  obtained during the continuous protocol ( $3.49 \pm 0.41$  L.min<sup>-1</sup> and  $3.15 \pm 0.47$  L.min<sup>-1</sup>) and intermittent (Inter 1:  $3.26 \pm 0.40$  L.min<sup>-1</sup> and  $2.99 \pm 0.35$  L.min<sup>-1</sup>; Inter 2:  $3.29 \pm 0.48$  L.min<sup>-1</sup> and  $3.05 \pm 0.27$  L.min<sup>-1</sup>) for the groups with active and passive recovery, respectively. Thus, with base on the results of this study, it can be concluded that, the  $\dot{V}O_{2max}$  is attained irrespectively of the type of recovery and if considering or not the beginning of the SC for the determination of the duration if the stimulus. The performance during the severe exercise performed in an intermittent way is higher than the continuous condition. In the intermittent exercise with shorter stimulus, the passive recovery improves the performance.

Keywords: Exercise, cycling, performance, oxygen consumption, exercise tolerance.



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	18
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	20
2.1. <i>A energia para o trabalho muscular</i> .....	20
2.2. <i>A cinética da fase “on” do <math>\dot{V}O_2</math> durante o exercício de carga constante</i> ....	22
2.3. <i>Consumo de oxigênio e os domínios de intensidade</i> .....	24
2.4. <i>O componente lento do consumo de oxigênio</i> .....	29
2.5. <i>Respostas metabólicas e cardiorrespiratórias no exercício intermitente</i> ...	32
2.6. <i>Tempo de exaustão (<math>t_{lim}</math>) durante o exercício realizado em alta intensidade</i> .....	37
3. JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE .....	41
4. OBJETIVOS .....	42
4.1. <i>Gerais</i> .....	42
4.2. <i>Específicos</i> .....	42
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	43
5.1. <i>Delineamento experimental</i> .....	43
5.2. <i>Sujeitos</i> .....	44
5.3 <i>Métodos</i> .....	45
5.3.1. <i>Avaliação antropométrica</i> .....	45
5.3.2. <i>Determinação da potência máxima e do consumo máximo de oxigênio</i> .....	45

<b>5.3.3. Teste submáximo de carga constante.....</b>	<b>46</b>
<b>5.3.4. Teste intermitente com durações definidas no início do CL - Inter 1 ...</b>	<b>47</b>
<b>5.3.5. Teste intermitente com durações definidas até a metade da duração do CL - Inter 2.....</b>	<b>47</b>
<b>5.3.6. Análise da cinética do consumo de oxigênio para a prescrição do exercício intermitente.....</b>	<b>48</b>
<b>5.3.7. Análise da cinética do consumo de oxigênio nos protocolos experimentais.....</b>	<b>50</b>
<b>5.3.8. Cálculo da contribuição anaeróbia de energia.....</b>	<b>51</b>
<b>5.3.9. Quadro de definição conceitual e operacional.....</b>	<b>51</b>
<b>5.3.10. Análise estatística.....</b>	<b>52</b>
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
<b>7. DISCUSSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>7.1 - Respostas metabólicas e cardiovasculares .....</b>	<b>60</b>
<b>7.2 - Tolerância ao exercício (<math>T_{lim}</math>).....</b>	<b>62</b>
<b>7.3 Cinética do <math>\dot{V}O_2</math>.....</b>	<b>65</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>

## INTRODUÇÃO

O exercício aeróbio realizado na forma intermitente (com interrupções) tem sido proposto como uma forma eficaz de proporcionar a melhora da capacidade aeróbia (limiar anaeróbio) e da potência aeróbia (consumo máximo de oxigênio –  $\dot{V}O_{2max}$ ) em indivíduos com diferentes níveis de aptidão aeróbia (BILLAT, 2001). Entre as principais características do exercício realizado com interrupções de forma passiva ou ativa, está a possibilidade de se realizar a mesma duração com uma intensidade maior do que se o mesmo fosse realizado de forma contínua, ou, quando se considera a mesma duração de exercício, a possibilidade de se realizá-lo em uma intensidade maior.

Em indivíduos com aptidão aeróbia mais elevada, particularmente atletas de endurance que realizam provas aeróbias consideradas de curta duração (1 a 15 min) (DENADAI; GRECO, 2005), as sessões de treinamento aeróbio de alta intensidade (90 - 130%  $\dot{V}O_{2max}$ ) estão entre as mais importantes para a promoção de adaptações aeróbias específicas e conseqüentemente, a melhora da performance. Porém, as possibilidades de combinações de duração do estímulo, duração da recuperação, número de estímulos e tipos de recuperação são bastante amplas. As respostas durante o exercício intermitente têm sido analisadas, de forma mais aprofundada, desde a década de 60 (ÅSTRAND, 1961). Atualmente, mesmo com o maior número de estudos que analisaram de forma aguda ou crônica os efeitos de diferentes protocolos de exercício intermitente em diferentes tipos de população (sedentários, ativos, atletas de endurance), ainda não se tem bem definido quais são as formas mais eficientes de combinação destas variáveis para a melhora da aptidão aeróbia.

Um comportamento que parece ser bastante interessante para ser analisado e, que tem implicações importantes nas adaptações aeróbias, é a resposta do consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ), particularmente nos exercícios que são realizados próximos à intensidade correspondente ao  $\dot{V}O_{2max}$  ( $I\dot{V}O_{2max}$ ). Alguns estudos na literatura sugerem que o treinamento que utiliza estímulos mais longos (~2-4 min) e de intensidade elevada pode ser mais eficiente para a melhora do  $\dot{V}O_{2max}$  e da economia de movimento do que estímulos mais curtos (~15 s) (FRANCH et al., 1998; BILLAT, 2001; LAURSEN; JENKINS, 2002). Millet et al. (2003) verificaram que o tempo de manutenção do  $\dot{V}O_2$  em valores acima de

95% $\dot{V}O_{2max}$  foi maior quando utilizados estímulos com duração igual ou superior a 60 s, quando comparados a estímulos de 30 s. Provavelmente, um fator que explica este comportamento é a possibilidade do desenvolvimento do CL, que emerge por volta de 80-110 s de exercício no domínio severo. Um mecanismo que tem sido apontado para explicar esta maior eficiência dos estímulos mais longos é a possibilidade de ficar mais tempo com os valores de  $\dot{V}O_2$  próximos do máximo (DEMARIE et al., 2000; BILLAT, 2001), em função do CL, já que as intensidades que são frequentemente utilizadas nestes protocolos de treinamento (90 - 130%  $\dot{V}O_{2max}$ ) estão no domínio severo de exercício.

Os estudos que visam identificar e caracterizar as respostas fisiológicas e de performance perante o exercício intermitente têm sido realizados com durações fixas do período de exercício não havendo, desse modo, a individualização dos mesmos, em especial quanto à individualização a partir da análise da resposta do consumo de oxigênio.

Assim, o principal problema a ser tratado neste estudo é verificar se ao manipular a duração do estímulo e o tipo de recuperação por meio da individualização da duração dos períodos de exercício, a condição de se atingir o  $\dot{V}O_{2max}$  durante o exercício, o momento no qual isto ocorre e a performance pode ser modificada. Entre as principais implicações práticas do conhecimento das respostas cardiorrespiratórias e metabólicas nestas diferentes condições, é a possibilidade de se investigar as condições nas quais o  $\dot{V}O_{2max}$  é atingido, o momento no qual isto ocorre, o tempo de manutenção dos valores de  $\dot{V}O_{2max}$  e as modificações na contribuição aeróbia e anaeróbia dos sistemas energéticos. Todos estes aspectos podem auxiliar, de forma significativa, a elaboração de sessões de treinamento mais específicas e direcionadas, como também o melhor entendimento das adaptações que podem ocorrer com estes diferentes protocolos de treinamento. Ao se conhecer mais profundamente estas respostas, a elaboração das sessões de treinamento intervaladas no domínio severo poderia atender demandas específicas de adaptação aeróbia dos indivíduos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A energia para o trabalho muscular

A energia é definida como a capacidade que o sistema físico possui de executar trabalho e, ao tratarmos da musculatura, o trabalho é realizado sempre que ocorre um piscar de olhos ou a respiração e não só quando há atividade física de caráter esportivo. Para a realização do trabalho, a energia química presente nos alimentos é convertida em energia mecânica que se manifesta quando os elementos contráteis das células musculares desenvolvem tensão (DiMENNA, 2010).

Em animais mamíferos, a adenosina trifosfato (ATP) é o único substrato capaz de suprir a energia química necessária para a atividade contrátil do músculo esquelético de modo a permitir o trabalho mecânico.

A contração muscular e, conseqüentemente, o exercício é apenas um exemplo de trabalho celular que depende da quebra do ATP e conseqüente liberação de energia livre (BAKER; MCCORMICK; ROBERGS, 2010). Apesar de poder-se pensar que o músculo, tal como as células, poderiam se beneficiar de um grande estoque de ATP para o suprimento de combustível para o trabalho celular, este não é o caso.

O estoque de ATP no organismo é bastante limitado (aproximadamente 8 mmol/Kg de músculo úmido), de modo que o trabalho celular depende de outros sistemas para o fornecimento de ATP.

Uma redução no ATP muscular acima daquela que pode ser tolerada pela atividade coincide com condições celulares associadas ao rápido desenvolvimento de fadiga, que é definida como a redução na habilidade do músculo em produzir força ou potência, ou uma redução no “*turnover*” de ATP do músculo esquelético (BAKER; MCCORMICK; ROBERGS, 2010).

Em razão da necessidade da manutenção da disponibilidade de energia para a restauração de ATP e assim, possibilitar energia para o maquinismo contrátil, três são os sistemas de transferência de energia que se interagem (DiMENNA, 2010):

1) um sistema imediato que inclui um pequeno estoque de ATP e fosfocreatina (PCr) (composto de alta energia) que pode ser degradada com grande rapidez fornecendo energia para a restauração de ATP a partir da Adenosina difosfato (ADP) e fosfato inorgânico (Pi) (sistema dos fosfagênios);

2) um sistema glicolítico não-oxidativo que utiliza carboidrato como fonte de combustível, o qual pode ser degradado rapidamente por meio de uma série de

reações para fornecer ATP. Aqui têm-se a formação de ácido láctico a partir da redução do ácido pirúvico (sistema glicolítico) e;

3) quando a demanda de energia por unidade de tempo é menor (fluxo glicolítico é mais lento) a mesma série de reações pode ser realizada com oxidação do ácido pirúvico (respiração mitocondrial) e o equilíbrio do lactato mantido. Ao contrário das reações anteriores, esta forma de glicólise requer a disponibilidade de oxigênio ( $O_2$ ) que deve ser ofertado da atmosfera às mitocôndrias nas células musculares, local em que ocorre a oxidação celular.

A atividade física representa um estímulo efetivo para o aumento da atividade da musculatura esquelética e do sistema cardiovascular resultando em um aumento da produção de ATP pelos tecidos (XU; RHODES, 1999). Em um exercício de alta intensidade, este aumento pode representar 1000 vezes o valor da demanda em repouso (BAKER; MCCORMICK; ROBERGS, 2010). É importante salientar que, durante o exercício, a contribuição dos sistemas de transferência de energia para a restauração do ATP resulta de uma resposta metabólica coordenada de forma que todos os sistemas contribuem, em diferentes graus em decorrência da interação entre a intensidade e a duração do exercício e, contribuição proporcional das diferentes unidades motoras (BAKER; MCCORMICK; ROBERGS, 2010).

Em resposta a este aumento de ATP, a oferta de oxigênio da atmosfera para a mitocôndria da musculatura ativa, objetivando suportar a oxidação celular, também aumenta, sendo esta oferta de responsabilidade dos sistemas cardiovascular e respiratório (DiMENNA, 2010; XU; RHODES, 1999). Sendo assim, a oferta e o consumo de oxigênio pelos músculos ativos dependem de uma função coordenada dos sistemas pulmonar, cardiovascular e metabólico (POOLE et al., 2007) tornando este um aspecto primordial para a habilidade em sustentar o exercício muscular (WHIPP, 1994) (Figura 1).

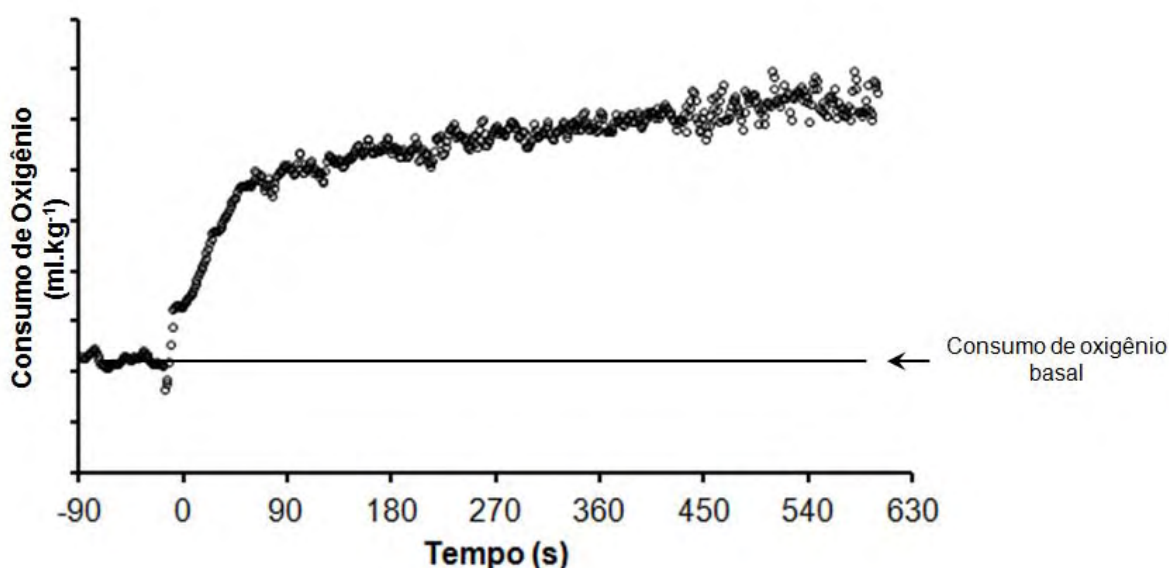


Figura 1 - Resposta da cinética do consumo em resposta ao incremento do trabalho muscular.

O consumo máximo de oxigênio ( $\dot{V}O_{2max}$ ) tem sido considerado como fator determinante para a habilidade de sustentar exercício de alta intensidade durante exercício muscular dinâmico tendo os exercícios ao longo do tempo sido caracterizados e/ou expressos como percentual do  $\dot{V}O_{2max}$  e, embora o consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) seja assunto amplamente discutido na literatura acerca da fisiologia do exercício, até o ano de 2001, de acordo com Ozyener et al. (2001), pouca atenção havia sido dada a taxa em que o  $\dot{V}O_2$  se eleva até alcançar os valores máximos.

## 2.2. A cinética da fase “on” do $\dot{V}O_2$ durante o exercício de carga constante

É comum notar trabalhos que apontam que o consumo de oxigênio durante o exercício aumenta de forma linear em função da carga de trabalho (WR) até os níveis máximos. Na verdade, esta condição não corresponde com a realidade para todos os níveis de intensidade. Talvez, a dificuldade em assumir este comportamento não-linear se dê em decorrência de que muitos dos princípios fundamentais da fisiologia do exercício sejam baseados na noção de que a cinética do  $\dot{V}O_2$  representa um sistema linear de primeira ordem o que implica que o acoplamento ATP- $\dot{V}O_2$  seja limitado por uma reação de primeira ordem, a reação da creatina quinase mitocondrial, de modo que o transporte de  $O_2$  por si não influencie

a cinética do  $\dot{V}O_2$  (JONES et al., 2011). Esta não-linearidade foi demonstrada já em 1972 por Whipp e Wasserman, que publicaram dados demonstrando que a transferência de energia oxidativa apresenta um comportamento não-linear descaracterizando assim, a relação linear  $\dot{V}O_2$ :carga ( $\dot{V}O_2$ -WR) para todos os níveis de intensidade de exercício.

Durante exercícios de carga incremental é possível verificar esta linearidade,  $\dot{V}O_2$ -WR, em intensidades inferiores ao limiar de lactato (LL) ou em condições em que o incremento da carga é realizado rapidamente até o máximo (GAESSER; POOLE, 1996), momento em que se atinge a exaustão, ao contrário do que é observado durante exercícios de carga constante.

No início do exercício muscular, ocorre aumento imediato no *turnover* de ATP nos miócitos recrutados. A degradação de fosfocreatina (PCr) intramuscular e a glicólise anaeróbia são, transitoriamente, as responsáveis por suprir esta demanda aumentada de energia, incorrendo no déficit de oxigênio. Simultaneamente ocorre um aumento exponencial no  $\dot{V}O_2$ , de modo que a fosforilação oxidativa tenha sua contribuição para a ressíntese de ATP progressivamente aumentada com a sequência do exercício (KROGH; LINDHARD, 1920; BAILEY et al., 2009).

O comportamento exponencial do  $\dot{V}O_2$ , para uma dada intensidade de exercício de carga constante, permite que diferentes componentes temporais da fase “on” da cinética do  $\dot{V}O_2$  possam ser identificados, cada qual com diferenças marcantes (WHIPP et al., 1982).

Estes componentes temporais podem ser classicamente caracterizados como:

- a) Fase 1 caracterizada por uma resposta breve e normalmente rápida;
- b) Fase 2 (fundamental), uma resposta mais lenta com aumento exponencial do  $\dot{V}O_2$  e;
- c) Fase 3, caracterizada por estabilidade e que pode não ser alcançada.

A fase I representa um atraso no trânsito para os membros em exercício e é atribuído principalmente ao aumento do fluxo sanguíneo pulmonar (WHIPP, 1994) e ao trabalho cardíaco com pouca contribuição de alterações nos gases pulmonares ou no teor de  $O_2$  do sangue venoso misto (GAESSER; POOLE, 1996) sendo completada em aproximadamente 15 - 25 s, enquanto que a fase II (fundamental)



reflete a chegada aos pulmões do sangue advindo da musculatura em exercício causando o aumento monoexponencial até um novo estado estável (fase III). O aumento no  $\dot{V}O_2$  neste momento ocorre de forma exponencial e é devido ao aumento da extração de  $O_2$  e qualquer aumento contínuo no fluxo de sangue pulmonar, (WHIPP, 1994; XU; RHODES, 1999). A fase III representa um novo estado estável que é alcançado em, aproximadamente, 2 - 3 min. Esta estabilidade representa a principal característica dessa fase e, em intensidades elevadas de exercício, a mesma pode ser não alcançada.

### **2.3. Consumo de oxigênio e os domínios de intensidade**

Como visto, após o início de um exercício de carga constante (CWR), ocorre um aumento relativamente rápido do  $\dot{V}O_2$  de modo a atender a maior demanda energética imposta. A observação deste fenômeno, por meio de sua resposta temporal, favorece a compreensão de fatores intracelulares que regulam a ativação do sistema oxidativo (HASELER et al., 1999; ROSSITER et al., 2002), possíveis alterações decorrentes do treinamento (HAGBERG; NAGLE; CARLSON, 1978), entre outros.

Podendo ser realizado em uma ampla faixa de intensidade e, sabendo que a mesma influencia diretamente o comportamento da cinética, do  $\dot{V}O_2$  e da [La], de modo a apresentar respostas metabólicas distintas ao longo do tempo, acaba por implicar diretamente na seleção de modelos para a observação das respectivas fases da cinética. Desse modo, pesquisadores adotam uma classificação da intensidade das tarefas baseada nos domínios dos exercícios físicos (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; CARTER et al., 2002; FAWKNER; ARMSTRONG, 2003). Por definição, os domínios de intensidade representam a busca por uma normalização da resposta fisiológica frente ao exercício com relação ao perfil da permuta gasosa pulmonar ( $\dot{V}O_2$ ) e do equilíbrio ácido-base sanguíneo ([La]).

Os domínios que têm sido sugeridos são ao menos 5, cada qual se utilizando de uma metodologia para a sua definição / determinação. São eles:

- Moderado;
- Pesado;
- Muito pesado;

- Severo;
- Extremo.

É importante que se conheça os índices e / ou a resposta fisiológica utilizada como limítrofe de determinação destes domínios de modo que se possa utilizar com maior consistência os diferentes modelos para a observação da cinética. Assim, utilizando diferentes critérios, as diferentes classes podem ser observadas no esquema abaixo (Figura 2) (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999; OZYENER et al., 2001; CARTER et al., 2002; HILL; POOLE; SMITH, 2002; PRINGLE et al., 2003; DIMENNA, 2010; JONES, 2011).

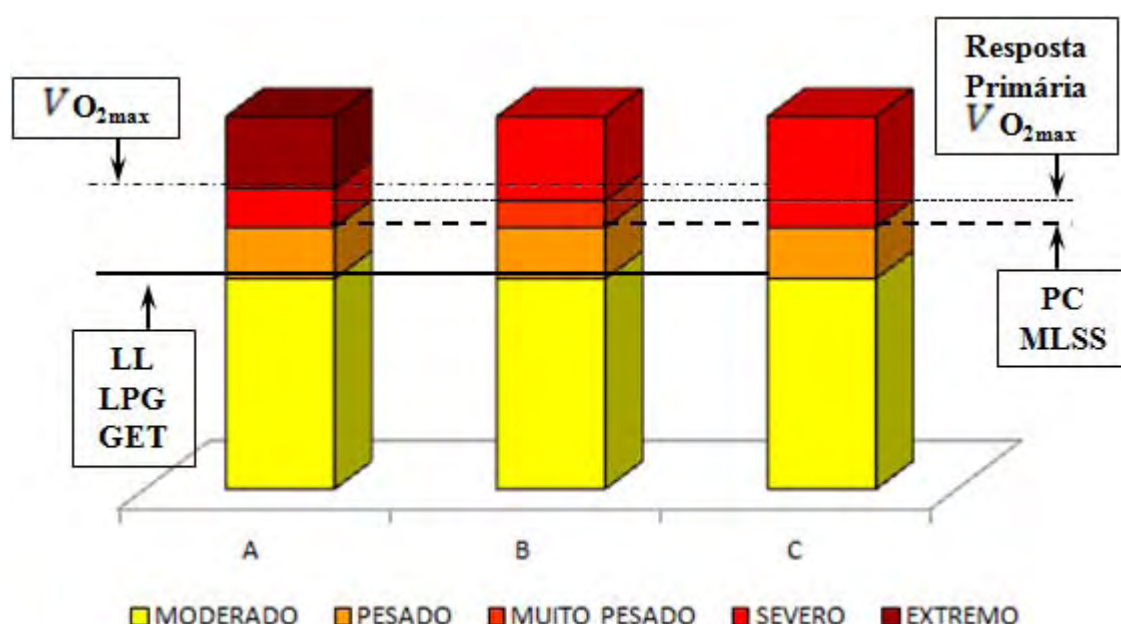


Figura 2 - Esquema típico para a quantificação da intensidade de exercício relativa à capacidade metabólica. LL: limiar de lactato; LPG: limiar de permuta gasosa; GET: limiar de troca gasosa; PC: potência crítica; MLSS: máxima fase estável de lactato sanguíneo;  $\dot{V}O_{2max}$ : consumo máximo de oxigênio.

Na coluna “A” é possível observar 4 diferentes domínios: 1) o domínio moderado possui como limite superior o LL ou o limiar de troca ou permuta gasosa; 2) o domínio pesado, que apresenta como limite superior a potência crítica (PC) ou a máxima fase estável de lactato sanguíneo (MLSS). Nestes dois domínios, a diferença na terminologia se dá em decorrência da variável fisiológica utilizada para a determinação; 3) o domínio severo que apresenta como limite superior a maior intensidade que pode ser sustentada por um tempo suficientemente longo de modo que permita o alcance do  $\dot{V}O_{2max}$  e; 4) o domínio extremo que é representado por

intensidades que não podem ser sustentadas por período suficiente para o alcance do  $\dot{V}O_{2max}$ .

Na coluna “B” é possível observar também, 4 diferentes domínios: 1) o domínio moderado e; 2) que apresentam as mesmas características do domínio apresentado no painel “A”; 3) o domínio muito pesado que apresenta como limite superior a menor intensidade que permite que o  $\dot{V}O_{2max}$  seja atingido a partir resposta primária (fase fundamental) e; 4) o domínio pesado que é representado por toda a faixa de intensidade acima da qual é possível alcançar o  $\dot{V}O_{2max}$ .

A coluna “C” apresenta 3 diferentes domínios. Os dois primeiros domínios (moderado e pesado) apresentam as mesmas características apresentadas nos painéis anteriores (A e B). O domínio pesado é representado por toda intensidade de exercício acima da MLSS ou PC.

A aparente divergência entre os domínios se dá em decorrência dos diferentes índices fisiológicos utilizados para a determinação dos diferentes domínios.

Neste trabalho, optamos por utilizar a classificação segundo o painel “C” e, deste modo os três domínios de intensidade de exercício podem ser utilmente descritos:

- *Domínio moderado*

Este domínio de intensidade envolve intensidades de exercício abaixo do limiar de lactato (LL) e, o indivíduo consegue se manter em exercício por um período prolongado sem que seja observada acidose metabólica sustentada e o  $\dot{V}O_2$  se apresenta estável.

Neste domínio de intensidade, as três fases da cinética do  $\dot{V}O_2$  podem ser observadas (XU; RHODES, 1999). Ao iniciar um exercício de carga constante (CWR) no domínio moderado, o  $\dot{V}O_2$  embora aumente rapidamente de modo a alcançar um novo estado estável em poucos minutos (2 - 3 min) (WHIPP; WASSERMAN, 1972; GAESSER, 1994; POOLE, 1994; WHIPP, 1994; GAESSER; POOLE, 1996; DiMENNA et al., 2009; JONES et al., 2011), este aumento não ocorre instantaneamente (BARSTOW, 1994).

A fase I se completa dentro de 15 a 25 segundos e é mais visível quando o exercício se inicia à partir do repouso. Em seguida a cinética apresenta as fases II e

III. Na fase III, a resposta do  $\dot{V}O_2$  aumenta como uma função linear da taxa de trabalho dentro do domínio moderado apresentando um ganho de 9-11 ml.O<sub>2</sub>.min (GAESSER; POOLE, 1996; XU; RHODES, 1999).

Nesta intensidade de exercício, a fase II da cinética do  $\dot{V}O_2$  é adequadamente caracterizada à partir de um modelo monoexponencial (OZYENER et al., 2001), ou seja, ela pode ser bem descrita por uma função simples de primeira ordem excluindo a fase I (TURNER et al., 2006).

- *Domínio pesado*

Nesta intensidade de exercício que envolve a acidose metabólica sustentada, as durações são proporcionalmente menores, a [La] e o  $\dot{V}O_2$  tendem a se estabilizar, porém, em um valor maior do que aquele encontrado no domínio moderado.

Este domínio envolve intensidades de exercício que se situam acima do LL, ou seja, a menor intensidade de exercício em que o surgimento do lactato sanguíneo excede a taxa de remoção havendo, desse modo, sustentada elevação do lactato sanguíneo durante o exercício embora o mesmo possa se estabilizar, como limite superior, a mais alta intensidade de exercício em que a [La] pode ser estabilizada, também chamada de máxima fase estável de lactato (MLSS) (GAESSER; POOLE, 1996) ou a potência crítica (PC) (POOLE et al., 1988; HILL; POOLE; SMITH, 2002).

A cinética do  $\dot{V}O_2$  se torna mais complexa. Após a fase I e o aumento exponencial da fase II, um componente adicional se desenvolve de modo lento após alguns minutos (aproximadamente 3 min) de exercício se sobrepondo a fase fundamental e, retardando o alcance de um novo estado estável (10 - 15 min) (POOLE et al., 1991; WHIPP et al., 2002). Esse componente adicional recebe o nome de componente lento (CL) e o mesmo eleva os valores previstos de  $\dot{V}O_2$  (9-11 ml.O<sub>2</sub>.min<sup>-1</sup>) à partir da relação consumo:carga submáxima de exercício realizado no domínio moderado reduzindo a eficiência do trabalho calculada (POOLE, et al., 1991; GAESSER; POOLE, 1996; POOLE et al., 1988; BILLAT, 2000; SCHEUERMANN et al., 2001; TURNER et al., 2006). A amplitude do CL pode ser expressa como a diferença no  $\dot{V}O_2$  entre o 3<sup>o</sup> e o 6<sup>o</sup> min de exercício ( $\Delta\dot{V}O_2$  6-3) (XU; RHODES, 1999).

A cinética do  $\dot{V}O_2$  durante o exercício realizado no domínio pesado (LL + 40%  $\Delta$ ) pode ser caracterizado por um modelo de ajuste bi-exponencial (OZYENER et al., 2001).

- *Domínio severo*

Este domínio envolve intensidades acima da MLSS ou PC (PRINGLE; JONES, 2002), sendo caracterizado por não apresentar estabilidade da [La] e do  $\dot{V}O_2$ .

Após a fase fundamental do  $\dot{V}O_2$ , o CL também se sobrepõe elevando os valores de  $\dot{V}O_2$  acima do previsto pela relação consumo:carga submáxima (TURNER et al., 2006). A [La] e o  $\dot{V}O_2$  continuam a se elevar ao longo do tempo até a fadiga, momento em que o  $\dot{V}O_2$  alcança seus valores máximos (GAESSER; POOLE, 1996; BILLAT, 2000; PRINGLE; JONES, 2002; CAPUTO; DENADAI, 2008), caso a duração do exercício e a intensidade seja suficiente para tal. A suficiência da intensidade não reside no fato de a mesma ser semelhante a correspondente ao  $\dot{V}O_{2max}$ . Isto se dá em decorrência da manifestação do CL, que pode elevar os valores do  $\dot{V}O_2$  ao máximo mesmo em intensidades inferiores.

A amplitude do CL desenvolvido durante o exercício realizado neste domínio é maior do que aquele observado durante o exercício pesado (XU; RODHES, 1999). Em intensidades supramáximas, a duração do exercício pode ser insuficiente, de modo que a exaustão ocorra antes que a cinética do  $\dot{V}O_2$  permita que o  $\dot{V}O_{2max}$  seja alcançado (JONES et al., 2011).

Ozyener et al. (2001) utilizando diferentes metodologias para determinar os diferentes domínios de intensidade verificou que, para as intensidades de exercício considerada muito pesado (LL + 80%  $\Delta$ ) a cinética do  $\dot{V}O_2$  pode ser caracterizada à partir de um modelo bi-exponencial, já para o domínio severo (110%  $\dot{V}O_{2pico}$ ) a resposta parece ser melhor caracterizada à partir de um modelo monoexponencial. Vale ressaltar que, as intensidades referidas por Ozyener et al. (2001), como domínio pesado e severo encontram-se no domínio severo por nós apresentado.

Neste domínio de intensidade não há a ocorrência da fase III da cinética do  $\dot{V}O_2$  que é representada por estabilidade do consumo. Nesta intensidade de exercício o CL se desenvolve e pode levar o  $\dot{V}O_2$  a alcançar os valores máximos ao final do exercício caso este tenha duração suficiente.

#### 2.4. O componente lento do consumo de oxigênio

Como pode ser observado anteriormente, o  $\dot{V}O_2$  aumenta relativamente rápido após o início de um exercício de carga constante (CWR) e alcança estado estável em poucos minutos quando este exercício é realizado abaixo do limiar de lactato (LL), ou seja, exercício moderado. Durante exercícios de carga constante que envolve acidose láctica sustentada, ou seja, quando a intensidade do exercício é superior ao LL, o  $\dot{V}O_2$  tende a aumentar lentamente (LUCÍA; HOYOS; CHICHARRO, 2000) e o alcance de um novo estado estável é, no mínimo, retardado devido ao surgimento de um componente adicional da resposta do  $\dot{V}O_2$  que ocorre de forma lenta, o CL (BORRANI et al., 2001; JONES et al., 2011). Esta evidência descaracteriza, na verdade, o dogma anteriormente citado uma vez que a linearidade  $\dot{V}O_2$ -WR está presente apenas em exercícios realizados com intensidades inferiores ao LL ou em condições em que a intensidade do exercício é aumentada rapidamente até o máximo (GAESSER; POOLE, 1996).

Este componente adicional conhecido como componente lento (CL) apresenta correlação com a intensidade de trabalho acima do LL, uma vez que sua magnitude aumenta com a intensidade do trabalho e, caso não apresente estabilidade, este pode continuar se elevando por vários minutos de modo que o  $\dot{V}O_2$  alcance os valores máximos quando do alcance da exaustão (HILL; LUPTON, 1924; GAESSER; POOLE, 1996; BILLAT et al., 1998; BORRANI et al., 2001).

É importante ressaltar que o CL representa uma necessidade energética adicional, de modo que o custo de  $O_2$  por unidade de trabalho aumenta e a eficiência do trabalho diminui em função do tempo (POOLE et al., 1991). Em condições extremas, os valores podem ser maiores que 1L  $O_2$ .min acima dos valores previstos (9-11 ml. $O_2$ .min<sup>-1</sup>.W<sup>-1</sup> no cicloergômetro) na relação  $\dot{V}O_2$ -carga submáxima (abaixo do LL), o que pode representar  $\geq 25\%$  do aumento total do  $\dot{V}O_2$  acima dos valores basais pré-exercício.

Durante o exercício moderado de longa duração, pode ser normalmente observado um aumento gradual do  $\dot{V}O_2$  de aproximadamente 200 ml. $O_2$ . Este aumento pode ser devido a limitações termorregulatórias (BILLAT, 2000) não sendo normalmente associado a valores elevados ou crescentes da [La] (GAESSER; POOLE, 1996). A este aumento dá-se o nome de “drift  $O_2$ ”. O “drift  $O_2$ ” pode ocasionar o aumento do  $\dot{V}O_2$  até mesmo em maratonistas altamente treinados

mesmo após seu  $\dot{V}O_2$  ter se estabilizado por volta de 80% por uma hora e meia pelo menos.

Assim, o CL não pode ser confundido com o “*drift O<sub>2</sub>*” que representa um aumento relativamente modesto observado em exercícios moderados de longa duração ( $\geq 60$  min) (POOLE, 1994; GAESSER; POOLE, 1996; JONES et al., 2011). O componente lento é um fenômeno diferente, de maior amplitude e que é observado apenas durante exercícios realizados acima do LL.

De acordo com Gaesser; Poole (1996), a relutância quanto ao reconhecimento da presença do CL em livros de fisiologia e não do comportamento linear do  $\dot{V}O_2$  talvez seja devido ao fato de que este possa prejudicar alguns conceitos fundamentais da fisiologia do exercício que são baseados nesta relação linear tal como o estado estável e o déficit de oxigênio. De acordo com Jones et al. (2011), a ausência de um estado estável torna a noção de equivalente calórico para o exercício desgastada.

Assim, na literatura acerca da fisiologia do exercício, é comum observar que durante o exercício, o aumento do  $\dot{V}O_2$  ocorre de forma linear considerando o aumento da carga de trabalho e, sendo o  $\dot{V}O_{2max}$  fator determinante da habilidade em sustentar trabalho de longa duração, é igualmente comum a caracterização de intensidades de exercício definidas como percentual do  $\dot{V}O_{2max}$ .

Para Ozyener et al. (2001), embora o consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) seja assunto amplamente discutido na literatura acerca da fisiologia do exercício, pouca atenção havia sido dada a taxa em que o  $\dot{V}O_2$  se eleva até alcançar os valores máximos.

Ao analisarmos o comportamento do CL nos domínios pesado e severo, observa-se que o momento do seu surgimento e sua amplitude são diferentes dependendo de algumas variáveis como, por exemplo, o domínio de exercício, a intensidade e o tipo de exercício.

No domínio pesado, este se inicia por volta de 90-120 s (CARTER et al., 2002) e apresenta uma amplitude que pode variar entre 65-320 ml/min<sup>-1</sup> (CARTER et al., 2002,2005; BURNLEY et al., 2006a). Já no domínio severo, como a cinética do  $\dot{V}O_2$  é mais rápida, o CL se inicia mais precocemente (80-110 s) (CARTER et al., 2002,2006) e apresenta uma amplitude maior (320-600 ml/min<sup>-1</sup>) do que no domínio pesado (BURNLEY et al., 2006b; CARTER et al., 2006).

São apontados diferentes fatores para a manifestação do CL. De acordo com Poole et al. (1991) e Rossiter et al. (2003), a origem do CL reside na musculatura ativa.

Estudos sugerem que no exercício intenso, a acidose metabólica pode ter um importante papel em promover a dissociação da oxihemoglobina o que aumenta o transporte de  $O_2$  para a musculatura e mantém a  $PaO_2$  acima dos níveis críticos (STRINGER et al., 1994; WASSERMANN et al., 1995), o que pode contribuir para o CL (STRINGER et al., 1994; BELARDINELLI et al., 1995). Além disso, estudos sugerem que, quanto maior for a  $[La]$  maior é a amplitude do CL ( $[La]$ ) (CASABURI et al., 1989; PATERSON; WHIPP, 1991). Porém, outros estudos (WHIPP, 1994; GAESSER; POOLE, 1996) argumentam que esta hipótese não explicaria o CL e que o comportamento da  $[La]$  e do CL podem ser apenas coincidentes e não de causa e efeito, já que não verificaram modificação do CL em condições de  $[La]$  aumentada pré-exercício.

Outro fator que também tem sido apontado como importante para o CL (18-23%) é o custo do aumento da ventilação (POOLE, 1994; GAESSER; POOLE, 1996). No entanto, o fator que tem sido apontado como um dos principais mecanismos que explicam o CL está relacionado ao recrutamento de unidades motoras rápidas (Tipo II) (POOLE et al., 1991), que são menos eficientes, já que consomem mais  $O_2$  para um mesmo nível de força do que as fibras lentas (Tipo I) (CROW; KUSHMERICK, 1982). Entre os estudos que embasam este mecanismo, estão o de Shinohara e Moritani (1992), que verificaram correlação significativa entre a eletromiografia (EMG) e o  $\dot{V}O_2$  e os de Barstow et al. (1996) e Pringle et al. (2003) que verificaram correlação negativa entre o CL e o percentual de fibras Tipo I. Em outros estudos nos quais os autores controlaram o nível de substrato nas fibras, os autores relataram que a depleção de glicogênio nas fibras Tipo I aumenta o recrutamento de fibras Tipo II, gerando um CL mesmo em um exercício moderado (KRUSTRUP et al., 2004). Da mesma forma, a depleção de glicogênio em fibras Tipo II reduz o CL (CARTER et al., 2004). Ao se analisar a resposta eletromiográfica, Burnley et al. (2002) também verificaram uma associação entre a cinética do  $\dot{V}O_2$  e a EMG em dois exercícios subsequentes de alta intensidade. Porém, nem todos os estudos verificaram correlação significativa entre cinética de  $\dot{V}O_2$  e EMG. Scheuermann et al. (2001) não verificaram modificação na EMG mesmo com uma



redução do CL gerada pelo exercício prévio. Como o sinal eletromiográfico pode sofrer influência tanto do tipo de fibra predominantemente recrutado como da quantidade de fibras recrutadas, a interpretação dos resultados destes estudos nem sempre é simples de ser realizada.

Em estudo de Xu e Montgomery (1995), os autores verificaram um maior aumento do  $\dot{V}O_2$  após um exercício realizado a  $80\% \dot{V}O_{2max}$ , que, teoricamente tende a ter um recrutamento de unidades motoras rápidas (Tipo IIa e IIb) proporcionalmente maior, do que a  $65\% \dot{V}O_{2max}$ . Outros estudos verificaram que o treinamento aeróbio pode reduzir o CL (YOSHIDA et al., 1992; WOMACK et al., 1995), provavelmente pela redução no recrutamento das fibras Tipo II para uma mesma carga absoluta (GAESSER; POOLE, 1996). Apesar de não haver ainda um consenso na literatura referente à associação direta entre o recrutamento das fibras musculares e o CL, os dados citados anteriormente sugerem que a manipulação de variáveis que podem modificar o recrutamento das fibras musculares parece ser um importante fator que pode modificar o CL de forma aguda e crônica.

## **2.5. Respostas metabólicas e cardiorrespiratórias no exercício intermitente**

Períodos breves de atividade de alta intensidade entremeados por períodos relativamente curtos de recuperação com intensidade baixa ou moderada. Essa é a natureza intermitente de muitos esportes, tal como o Handebol e o Futebol. Embora esta seja uma descrição simplista para o complexo padrão de atividades de natureza intermitente, segundo Glaister (2005) é a que, atualmente, resulta nos melhores meios para avaliar a resposta fisiológica para este tipo de exercício.

Assim, no treinamento intervalado, o período de exercício e de recuperação desempenham papel de significância semelhante pois estes, variam de acordo com os objetivos almejados. Dada a grande variedade de combinações possíveis entre exercício e recuperação, há certa dificuldade em comparar os resultados obtidos nos diferentes trabalhos e também transferi-los para a prática. Apesar desta dificuldade, a literatura apresenta dados consistentes acerca da melhora da performance aguda e crônica à partir do treinamento intervalado (BILLAT, 2002; LAURSEN; JENKINS, 2002).

Durante o exercício intermitente, o esforço fisiológico perante o estímulo pode ser reduzido devido as frequentes interrupções. Estas permitem, ao menos

parcialmente, a recuperação parcial em relação ao exercício anterior (HASELER, et al., 1999) de modo que o indivíduo seja capaz de se manter em atividade por mais tempo em uma mesma intensidade ou, então, o mesmo tempo em uma intensidade maior, podendo inclusive alterar a determinação de alguns índices fisiológicos submáximos (BENEKE et al., 2003; SOUZA et al., 2011; GRECO et al., 2012).

O exercício intermitente é caracterizado por períodos de exercício de alta intensidade entremeados por períodos de recuperação que pode ser realizada de forma ativa ou passiva. Esta sucessão de períodos de exercício poderia, ao menos nos estágios iniciais, apresentar respostas similares àquelas apresentadas quando da realização de exercício prévio.

Atletas de endurance, em suas rotinas de treinamento, têm-se utilizado do exercício intermitente como estratégia de promoção de manutenção e melhora da performance aeróbia. Entre as principais vantagens deste tipo de exercício com relação ao exercício contínuo, é a possibilidade de se desenvolver uma maior intensidade para uma mesma duração de exercício ou um maior tempo de exaustão para dada intensidade de exercício. Isto ocorre em função das mudanças metabólicas que ocorrem durante o período de recuperação (ressíntese de creatina fosfato e/ou remoção do lactato) (YOSHIDA et al., 1996; SPENCER et al., 2006), permitindo que condições metabólicas similares sejam alcançadas em intensidades absolutas diferentes (BILLAT, 2001). A prescrição individualizada da duração dos períodos de exercício e recuperação baseados em respostas metabólicas e/ou cardiorrespiratórias poderiam, no exercício intermitente assim como ocorre durante o exercício realizado de forma contínua, favorecer adaptações específicas e adequadas ao nível de condicionamento do indivíduo.

Ao se analisar as respostas da [La] em exercícios intermitentes, estudos sugerem que os valores tendem a ser menores para uma mesma intensidade de exercício, reduzindo assim o estresse metabólico (BILLAT, 2001; LAURSEN; JENKINS, 2002). Já com relação aos valores do  $\dot{V}O_2$ , particularmente o  $\dot{V}O_{2max}$ , o tempo de manutenção neste índice é bem maior do que na condição contínua (BILLAT, 2001; LAURSEN; JENKINS, 2002). Particularmente em indivíduos treinados, estas respostas são bastante importantes para a aquisição de novas adaptações aeróbias.

Outra interessante resposta que ocorre neste tipo de exercício é a aceleração da cinética do  $\dot{V}O_2$  (SMITH, 1999; DORADO et al., 2004). Esta resposta significa que

há um aumento da contribuição do sistema aeróbio para o fornecimento de energia, o que pode ser um importante aspecto para o estímulo do sistema aeróbio de fornecimento de energia e, conseqüentemente, nas adaptações geradas com o treinamento. Estas considerações são particularmente importantes, quando se considera exercícios supramáximos (acima do  $\dot{V}O_{2max}$ ), onde o tempo de exaustão é proporcionalmente baixo, e o exercício intervalado tende a aumentar de forma significativa a duração do exercício para a mesma intensidade.

O exercício prévio, que poderia ser entendido como exercício intermitente, é um aspecto que também pode influenciar de forma significativa na cinética do  $\dot{V}O_2$  em diferentes intensidades de exercício (BANGSBO et al. 1994; ENDO et al., 2005). Em geral, a constante de tempo ( $\tau$ ) do ajuste do  $\dot{V}O_2$  tanto da Fase I (componente rápido) quanto da Fase II (componente lento) é reduzida após a realização de um exercício prévio (BANGSBO et al. 1994), o que pode reduzir a participação do metabolismo anaeróbio (KARLSSON; SALTIN, 1970).

Estudos têm sugerido que a aceleração da cinética do  $\dot{V}O_2$  no início do exercício pode ser explicada em parte pelos efeitos vasodilatadores da acidose metabólica (GERBINO et al. 1996; MACDONALD et al., 2001). No entanto, Endo et al. (2005) sugerem que, apesar do fluxo sanguíneo estar elevado antes do exercício subsequente, isto não implica em uma aceleração deste fluxo. Da mesma forma, o CL apresenta uma redução na sua amplitude no exercício subsequente (GERBINO et al. 1996; SCHEUERMANN et al., 2001; BURNLEY et al., 2002). No entanto, esta redução também não parece estar associada ao aumento na [La] (SAHLIN et al., 2005). Em um estudo bastante recente, nos quais os autores utilizaram um método bastante preciso de análise das respostas metabólicas durante o exercício (ressonância nuclear magnética) os autores sugerem que o aumento no fluxo sanguíneo gerado pelo exercício prévio parece ser um fator de grande importância na aceleração da cinética de  $O_2$  pelo aumento da oferta de  $O_2$  para a musculatura ativa (JONES et al., 2008).

Entre as variáveis que podem ser modificadas em um exercício intermitente está o tipo de recuperação, que pode ser passiva ou ativa. A recuperação passiva tende a promover uma redução maior do  $\dot{V}O_2$  e uma restauração maior das reservas de creatina fosfato (YOSHIDA et al., 1996). Já a recuperação ativa tende a manter o  $\dot{V}O_2$  em níveis proporcionalmente maiores e há uma remoção mais rápida do lactato

sanguíneo (SPENCER et al., 2006). Alguns estudos sugerem que esta remoção pode ser ainda mais rápida em intensidades entre 60-70%  $\dot{V}O_{2max}$  (HERMANSEN; STENSVOLD, 1972; GISOLFI et al., 1996), porém outros estudos sugerem intensidades próximas a 30%  $\dot{V}O_{2max}$  para otimizar a remoção de lactato sanguíneo (BOILEAU et al., 1983; DODD et al., 1984). De acordo com Belcastro; Bonen (1975), a remoção do lactato ocorre de forma mais eficiente após o exercício extenuante quando se realiza exercício aeróbio leve. De acordo com estes autores, as intensidades mais eficientes para a remoção de lactato corresponderam a 29,75 e 45,3%  $\dot{V}O_{2max}$ .

Um aspecto que deve ser ressaltado nestas condições, é que a restauração das reservas de PCr é bastante comprometida durante a recuperação ativa, o que tende a favorecer o aumento da participação aeróbia durante o exercício, podendo ser mais interessante quando o principal objetivo do treinamento é melhorar a capacidade oxidativa. De qualquer forma, a manutenção da taxa metabólica acima dos níveis de repouso através de um exercício de intensidade baixa a moderada parece ser mais interessante do que o repouso, já que tende a promover um estímulo maior ao sistema aeróbio e possibilita que o  $\dot{V}O_{2max}$  seja atingido mais facilmente, já que os valores de  $\dot{V}O_2$  no início do estímulo estão mais elevados em relação ao repouso.

De fato, em estudos nos quais os autores compararam exercícios intermitentes com recuperação passiva e ativa, os autores verificaram que a influência destes, no tempo de exaustão e na participação do metabolismo aeróbio no exercício, são diferentes.

Em estudo realizado por Dupont, Blondel e Berthoin (2003), objetivando comparar os efeitos do tipo de recuperação sobre o tempo de exaustão para corridas de 15 s realizadas a 120% da velocidade aeróbia máxima (exercício supramáximo), verificaram que a recuperação passiva permitiu um tempo de exaustão significativamente maior quando comparado ao exercício realizado com recuperação ativa a 50% da velocidade aeróbia máxima. Com o objetivo de comparar os efeitos do tipo de recuperação no tempo gasto no  $\dot{V}O_{2max}$  e acima de 90% $\dot{V}O_{2max}$ , utilizando corridas intermitentes de 15 s a 120% da velocidade aeróbia máxima alternadas por recuperação passiva ou ativa a 50% da velocidade aeróbia máxima, os autores verificaram que, embora o tempo de exaustão tenha sido maior

quando se utiliza recuperação passiva, não houve diferença estatística significativa no tempo absoluto gasto no ou acima de  $90\% \dot{V}O_{2\max}$  entre as duas situações. No entanto, o tempo gasto no ou acima de  $90\% \dot{V}O_{2\max}$  expresso como percentual do tempo de exaustão foi significativamente maior quando se utiliza da recuperação ativa (DUPONT; BERTHOIN, 2004).

Thevenet et al. (2007) verificaram que o tempo de exaustão é maior com recuperação passiva, provavelmente em função da restauração das reservas de creatina fosfato, no entanto, o tempo, expresso em percentual do tempo de exaustão ( $\%t_{lim}$ ), em que o  $\dot{V}O_2$  permaneceu com valores elevados (acima de 90 e  $95\% \dot{V}O_{2\max}$ ) é maior quando a recuperação é ativa.

Em estudo realizado por Dorado et al. (2004), em que os autores analisaram a cinética do  $\dot{V}O_2$  em quatro intervalos a  $110\% \dot{V}O_{2\max}$  até a exaustão com 5 min de recuperação, estes verificaram que a cinética tende a ser mais rápida na recuperação ativa, o que reduz a participação do metabolismo anaeróbio. Além disso, quando consideram o tempo total de exercício realizado, o trabalho foi maior quando a recuperação foi ativa. Neste estudo, a maior duração do exercício e a maior taxa de utilização de  $O_2$  geram uma maior participação total do sistema aeróbio de fornecimento de energia.

Entre os mecanismos sugeridos para explicar a aceleração da cinética do  $\dot{V}O_2$  com a recuperação ativa, estão o aumento do fluxo sanguíneo para os membros ativos, que conseqüentemente pode aumentar a oferta de  $O_2$  (GERBINO et al., 1996; JONES et al., 2008) e a manutenção de ativação de enzimas oxidativas mais elevado (BANGSBO et al., 1994). Além disso, fatores como a remoção de lactato e íons  $H^+$  (SIGNORILE et al., 1993), depuração (*clearance*) de  $K^+$  (BANGSBO et al., 1994), possivelmente alguma ressíntese de creatina fosfato (CP) (YOSHIDA et al., 1996) e o restabelecimento mais rápido do equilíbrio hidroeletrolítico ( $Na^+$  e  $K^+$ ) no sarcolema (SJØGAARD, 1990), podem também proporcionar condições mais favoráveis ao aumento da capacidade de realização do exercício. Também, a cinética do  $\dot{V}O_2$  relativamente rápida poderia reduzir o déficit de oxigênio resultando na redução da oferta de energia à partir da fosforilação dos substratos e o acúmulo de fadiga relacionada aos metabólitos, tal como o  $H^+$  e o  $P_i$  (BAILEY, 2009).

## 2.6. Tempo de exaustão (*tlim*) durante o exercício realizado em alta intensidade

Em conformidade com as discussões apresentadas anteriormente, fica claro que quando o exercício é realizado acima da potência crítica (PC), o  $\dot{V}O_2$  continua a aumentar até o final do exercício ou até a exaustão podendo alcançar ou não os valores máximos. Billat et al. (1998) objetivando verificar a influência do tipo de exercício (corrida vs. ciclismo) no CL, submeteram um grupo de triatletas a corridas até a exaustão a  $90\% \dot{V}O_{2max}$  na esteira e no cicloergômetro. Para os autores, o CL (diferença entre o 3º minuto de exercício e final) foi significativamente menor na corrida ( $20,9 \pm 2 \text{ mL/min}^{-1}$ ) quando comparado ao ciclismo ( $268,8 \pm 24 \text{ mL/min}^{-1}$ ), não sendo verificada relação [ $r = -0,23$  e  $r = -0,18$  para a corrida e ciclismo, respectivamente] entre a magnitude do CL e o *tlim* observado (corrida:  $637 \pm 251 \text{ s}$ ; ciclismo:  $654 \pm 287 \text{ s}$ ). Também, verificaram uma clara dissociação entre a [La] ( $\sim 7,3 \text{ mM}$ ) e o componente lento tanto para a corrida quanto para o ciclismo.

De acordo com Millet et al. (2003), longos intervalos de corrida intermitente são associados a um tempo significativamente maior com os valores de  $\dot{V}O_2$  próximos do máximo e, ainda, o *tlim* em corrida contínua na  $\dot{V}O_{2max}$  foi correlacionado com as diferenças do tempo sustentado em alto percentual do  $\dot{V}O_{2max}$  entre as sessões de intervalos curtas e longas. Neste estudo, os autores manipularam a duração do esforço e da pausa (30:30 s; 60:30 s e  $\frac{1}{2}:\frac{1}{2} \text{ tlim}$ ) mantendo uma mesma relação esforço:pausa (1:1).

A relação hiperbólica entre a potência e o *tlim* é uma característica fundamental da performance durante o exercício. A assíntota desta relação tem sido chamada de PC sendo, de acordo com Hill; Smith (1994), identificada como a máxima taxa de trabalho que pode ser sustentada por longo período de tempo sem fadiga. A curvatura constante desta relação representa a quantidade de trabalho total que pode ser realizada acima da PC e tem sido chamada de  $W'$  (Poole et al., 1988). De acordo com Jones et al. (2008), os parâmetros PC e  $W'$  podem também ser derivados de uma análise de regressão linear por meio da plotagem do trabalho total durante as séries de exercício vs o tempo de exaustão ou da potência produzida vs o inverso do tempo de exaustão.

De um modo geral, a PC é aceita como um importante demarcador da intensidade de exercício que apresenta importantes implicações para os

mecanismos predominantes da tolerância ao exercício. Como resultado do exercício realizado abaixo da PC, após uma alteração inicial rápida, há a estabilização das concentrações de fosfocreatina ([PCr]) e fosfato inorgânico ([Pi]) e do pH nos músculos em exercício. Durante o exercício realizado acima da PC, a  $W'$  seria esgotada sendo esperado uma queda contínua na [PCr] muscular e no pH e aumento contínuo da [Pi] no músculo (JONES et al., 2008).

Assim, por refletir o estoque de energia que compreende o ATP muscular, PCr, as reservas de glicogênio relacionadas ao acúmulo de lactato e aos estoques corporais de  $O_2$ , a intolerância ao exercício resultaria da depleção desse estoque (MURGATROYD et al., 2011). De acordo com Hill; Poole; Smith (2002) e Poole et al. (1988) indicam que a  $W'$  pode não representar uma quantidade fixa de estoque de substrato anaeróbio, por si, mas uma taxa de capacidade de trabalho mecânico que pode ser utilizado enquanto que a [PCr] e pH projeta para um valor pico que ocorre próximo do  $\dot{V}O_{2max}$  e ultimamente a exaustão. A [PCr] e o pH representam apenas dois dos possíveis indicadores da tolerância ao exercício severo (Jones et al., 2010).

Jones et al. (2008) utilizando de séries de exercício de 20 min com intensidade 10% abaixo da PC e até a exaustão 10% acima da PC verificaram que todos os sujeitos do estudo foram capazes de sustentar os 20 min de exercício abaixo da PC enquanto que o *tlim* do exercício acima da PC teve duração  $14,7 \pm 7,1$  min. Durante o exercício abaixo da PC, valores estáveis para [PCr], [Pi] e pH foram alcançados dentro de 3 min. No entanto, quando o exercício foi realizado acima da PC, a [PCr] apresentou decréscimo contínuo até a exaustão e a [Pi] e pH alterou de forma abrupta para valores tipicamente observados no término do exercício exaustivo. Desse modo, os dados apresentados pelos autores concordam com o fato de que a intolerância ao exercício realizado acima da PC pode ser atribuída ao esgotamento da  $W'$ .

De acordo com Murgatroyd et al. (2011), durante o exercício de alta intensidade, o *tlim* é relacionado à interação entre PC e  $W'$ . Embora esta seja variável, os autores indicam a existência de uma forte relação inversa entre PC e  $\tau\dot{V}O_2$  e relação positiva entre  $W'$  e o delta (taxa) de variação do componente lento ( $\Delta CL$ ) normalizados pelo *tlim*. Desse modo, estes achados indicam que, um rápido ajuste do  $\dot{V}O_2$  no início do exercício permite que um estado estável seja alcançado em altas taxas de trabalho comparado com ajuste lento e, a dinâmica do CL

contribui para a determinação da tolerância acima da PC. Durante o exercício realizado acima da PC, o CL desenvolve progressivamente levando a um eventual alcance do  $\dot{V}O_{2max}$  durante o exercício sustentado, tendo alguns estudos citado uma interação entre o CL e o alcance do  $\dot{V}O_{2max}$  e a tolerância ao exercício (TURNER et al., 2006; MURGATROYD et al., 2011). De acordo com Murgatroyd et al. (2001), seus dados apresentam uma nova evidência experimental que suporta a relação entre o  $\Delta CL$  e  $W'$ .

Embora os fatores responsáveis pelo desenvolvimento do CL não estejam completamente esclarecidos, estudos apontam para uma progressiva perda da eficiência muscular como resultado do exercício de alta intensidade (VANHATALO et al., 2011; MURGATROYD et al., 2011), o que poderia contribuir para o desenvolvimento do componente lento e a intolerância ao exercício. Desse modo, a fadiga muscular pode contribuir diretamente para a redução da eficiência do trabalho e / ou necessidade de recrutamento de fibras musculares adicionais (aparentemente do tipo II) com o intuito de manter a produção de potência. Esta redução poderia resultar em um maior custo de  $O_2$  e ATP para a produção de potência das fibras musculares fatigadas e / ou ativação das fibras do tipo II que possuem um maior custo de  $O_2$  para a produção de força. Estes fatores poderiam ajudar a explicar a associação mecânica entre a  $W'$  e o CL durante o exercício acima da PC.

Objetivando testar a relevância do modelo da PC para explicar a tolerância ao exercício durante o exercício intermitente, Chidnok et al. (2012), utilizaram durações fixas de exercício e recuperação (60:30 s) e intensidade do esforço (329 W) e manipularam a intensidade dos períodos de recuperação de modo que os protocolos fossem caracterizados em severo, pesado, moderado e leve (S-S; S-H; S-M; S-L, respectivamente) e também compará-los com o exercício contínuo de carga constante realizado no domínio severo (S-CWR). Os autores verificaram uma redução no *Slope* à medida em que a intensidade da recuperação diminuiu. O *tlim* observado também apresentou diferença em todos os casos sendo para o S-CWR maior que o obtido em S-S e menor quando comparado às demais situações tendo, o *tlim* aumentado de acordo com a diminuição da intensidade da recuperação. Do mesmo modo, foi observado aumento do trabalho realizado acima da PC ( $W > PC$ ) a medida que a taxa de trabalho era reduzida de S-H para S-M e S-L. Não foi observada diferença no  $W > PC$  quando comparados os exercícios S-CWR e S-S, o que confirmaria a noção de que, para esta intensidade, o limite de tolerância é



alcançado quando se esgota a  $W'$ . Estes resultados suportam a recente sugestão de relação entre CL e  $W'$  observada durante o exercício contínuo de intensidade severa, sendo possível que ambos os fenômenos seja reflexo do desenvolvimento da fadiga muscular.

Diante do exposto até o momento, em exercícios intermitentes máximos, não só a intensidade do exercício, mas, também a duração das repetições parece ser um importante fator para que o  $\dot{V}O_{2max}$  seja atingido. Para Millet et al. (2003), durações mais curtas de exercício não permitem que o  $\dot{V}O_2$  atinja altos valores porque o tempo não é suficiente para que o CL se desenvolva, mesmo em condições nas quais a cinética do  $\dot{V}O_2$  está acelerada, como no caso dos exercícios intermitentes. De qualquer forma, a condição de se atingir o  $\dot{V}O_{2max}$  ou o desenvolvimento de um ambiente desfavorável para a continuação do exercício durante o exercício intermitente não depende somente de se realizar o esforço em uma intensidade que tenha CL, mas é necessário também que a duração das repetições permita que se atinja o  $\dot{V}O_{2max}$  ou que esse ambiente seja obtido.

Portanto, tanto o momento do surgimento do CL, quanto a sua duração parecem ser também aspectos importantes a serem considerados na prescrição do treinamento aeróbio intermitente de alta intensidade, já que estes aspectos podem modificar a contribuição do metabolismo aeróbio durante os estímulos.

### 3. JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE

O exercício aeróbio pode ser realizado em diferentes condições de modo (contínuo e intermitente), intensidade (domínios moderado, pesado e severo) e duração (curta, média e longa). No exercício intermitente, variáveis como o número e a duração das repetições, a duração e o tipo de recuperação podem modificar de forma significativa as respostas fisiológicas e os efeitos do treinamento, em parte porque este tipo de exercício resulta em um menor estresse metabólico na mesma intensidade ou uma intensidade maior com um nível de estresse metabólico similar (BENEKE et al., 2003) quando comparado ao exercício contínuo. A diversidade de condições nas quais o exercício intermitente pode ser realizado pode modificar também, de forma significativa, as respostas agudas ao exercício como aquelas relacionadas aos valores de  $\dot{V}O_2$  atingidos, o tempo de manutenção destes em altos valores e a contribuição dos diferentes sistemas energéticos.

Sabendo que a duração e a amplitude do CL dependem das condições de intensidade e duração do exercício e que, além destes aspectos, no exercício intermitente as recuperações tendem a reduzir o  $\dot{V}O_2$ , é possível hipotetizar que: 1) a condição de permitir ou não o desenvolvimento temporal do CL, por meio da manipulação da duração do estímulo modificará o valor de  $\dot{V}O_2$  atingido durante o exercício intermitente e; 2) A realização de um exercício moderado na recuperação modificará o tempo para se atingir o  $\dot{V}O_{2max}$ , o tempo de manutenção deste valor e a performance (tempo de exaustão).

Desta forma, apesar de alguns estudos já terem investigado respostas agudas (DORADO et al., 2004; MILLET et al., 2003) e crônicas (DENADAI et al., 2006) a exercícios intermitentes realizados no domínio severo, estes utilizaram em sua grande maioria de exercícios supramáximos e com durações dos períodos de exercício fixas para todos os indivíduos. A individualização destes períodos a partir da análise de respostas metabólicas ou cardiorrespiratórios pode contribuir para o conhecimento de alguns aspectos específicos do exercício intermitente aeróbio submáximo e assim, contribuir não somente para o melhor entendimento das respostas agudas do  $\dot{V}O_2$ , mas também as implicações que estas podem ter para a elaboração e prescrição do treinamento aeróbio.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Gerais

Assim, o objetivo central deste estudo foi analisar e comparar as respostas metabólicas, cardiorrespiratórias e a performance durante um exercício intermitente realizado no domínio severo, em diferentes condições de duração da repetição e tipo de recuperação em indivíduos ativos.

### 4.2. Específicos

Neste estudo, para se atingir o principal objetivo proposto, serão analisadas diferentes condições de duração da repetição e tipo de recuperação para analisar:

- Possíveis modificações da cinética do  $\dot{V}O_2$ ;
- A condição de se atingir ou não o  $\dot{V}O_{2max}$  ao final a série;
- Tempo máximo de manutenção do  $\dot{V}O_2$  com valores acima de  $75\% \dot{V}O_{2max}$  nas diferentes condições;
- Contribuição aeróbia e anaeróbia dos sistemas de energia;

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Delineamento experimental

Inicialmente, foram obtidas as medidas antropométricas (massa corporal, estatura e dobras cutâneas tricipital, subescapular e abdominal), para a determinação da composição corporal. Posteriormente, foi realizado um teste progressivo até a exaustão em bicicleta ergométrica, para a determinação do  $\dot{V}O_{2max}$  e da intensidade correspondente ao  $\dot{V}O_{2max}$  ( $I\dot{V}O_{2max}$ ). Após a realização do teste progressivo, os indivíduos foram divididos em dois grupos, com níveis similares de  $I\dot{V}O_{2max}$  em: 1) um grupo com recuperação passiva (GP) e; 2) um grupo com recuperação ativa (GA) (50%  $I\dot{V}O_{2max}$ ). Cada grupo realizou inicialmente dois testes contínuos de carga constante a 95%  $I\dot{V}O_{2max}$  até a exaustão, e dois testes intermitentes (relação esforço:pausa 2:1) em ordem aleatória, sendo: 1) composto por repetições cuja duração correspondeu ao momento do início do CL (T1), determinado durante o teste de carga constante e; 2) composto por repetições com duração igual ao tempo decorrido entre o início do exercício e a metade da duração do CL (T2). Houve um intervalo de, pelo menos, 48 horas entre cada visita ao laboratório tendo o período experimental duração de, no máximo, 15 dias (Figura 3).

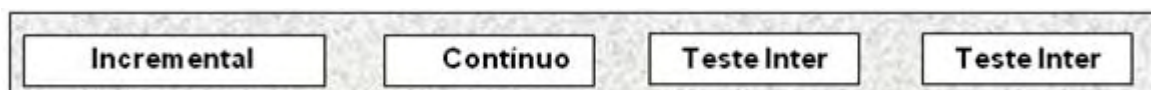


Figura 3 - Delineamento Experimental.

A Figura 4 exemplifica como foi definida a duração das repetições nos dois protocolos intermitentes. A duração máxima total das repetições nos exercícios intermitentes foi limitada a três vezes o tempo até a exaustão ( $t_{lim}$ ) a 95%  $I\dot{V}O_{2max}$  obtida durante o exercício contínuo.

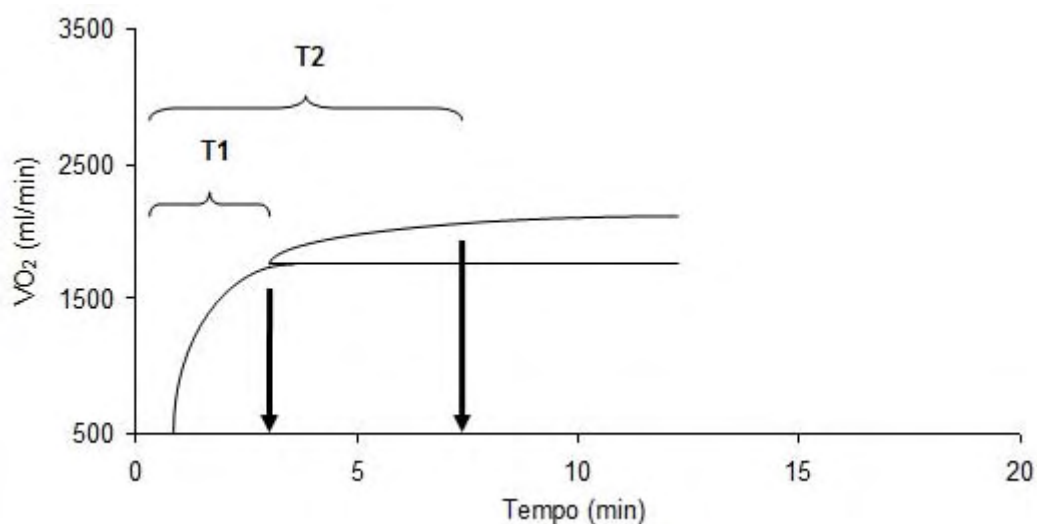


Figura 4 - Definição da duração das repetições nos protocolos Inter 1 (T1: início do CL) e Inter 2 (T2: metade da duração do CL).

## 5.2. Sujeitos

Participaram deste estudo, 18 indivíduos do gênero masculino, com idades entre 21 e 35 anos, e que realizavam exercícios aeróbios com uma frequência semanal mínima de três sessões não treinados. Foram selecionados indivíduos considerados saudáveis após exame clínico (PAR-Q), não fumantes e que não faziam uso regular de qualquer tipo de medicamento. Os mesmos foram submetidos a um questionário e, após serem informados textual e verbalmente sobre os objetivos e a metodologia desse estudo, assinaram um termo de consentimento. Além disso, os mesmos poderiam desistir da participação no estudo a qualquer momento. Toda e qualquer informação individual obtida durante este estudo é considerada totalmente sigilosa entre o pesquisador e o voluntário, inclusive um relatório final, o qual foi entregue ao voluntário. Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade (Processo: 3226/2009).

Os indivíduos deveriam comparecer ao local do teste, em dias diferentes, com um intervalo de aproximadamente 48 horas. Os indivíduos foram instruídos a não se exercitarem exaustivamente no dia anterior à avaliação e comparecerem alimentados e hidratados no dia do teste. Todos os testes foram executados no mesmo horário do dia ( $\pm 2$ h) e em uma temperatura ambiente de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

## **5.3 Métodos**

### **5.3.1. Avaliação antropométrica**

Foram mensuradas as variáveis antropométricas massa corporal (kg) e estatura (cm), por meio de uma balança Filizola. Para medida da espessura das dobras cutâneas nas regiões tricipital, suprailíaca e abdominal, foi utilizado um compasso Cescorf, com sensibilidade de 0,1 mm (Cescorf, Porto Alegre, Brasil). Para a predição dos valores de densidade corporal foi utilizada a fórmula proposta por Guedes e Guedes (1998). O percentual de gordura corporal foi determinado de acordo com a fórmula proposta por Siri (1961).

### **5.3.2. Determinação da potência máxima e do consumo máximo de oxigênio**

O teste incremental foi realizado em um cicloergômetro de frenagem eletromagnética (Excalibur Sport, Lode BV, Croningen, Holanda) com frequência de pedalada entre 70 - 90 rpm, com intensidade inicial de 50 W e incrementos de 35 W a cada 3 minutos, até a exaustão voluntária. Ao final de cada estágio foram coletados 25  $\mu$ l de sangue do lóbulo da orelha para a dosagem do lactato sanguíneo (YSL 2300 STAT, Yellow Springs, Ohio, EUA). A frequência cardíaca (FC) foi mensurada durante todo o protocolo (monitor cardíaco RS800CX, Polar Electro, Kempele, Finlândia). O consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) foi mensurado respiração a respiração durante todo o protocolo a partir do gás expirado (Quark PFTergo – Cosmed, Itália), sendo os dados reduzidos a médias de 15 s. A calibração dos sistemas de análise das concentrações de  $O_2$  e  $CO_2$  foi realizada antes de cada teste, usando ar ambiente e um gás com concentrações conhecidas de  $O_2$  e  $CO_2$  de acordo com as instruções do fabricante. A turbina do analisador foi calibrada através de uma seringa de 3 l. O  $\dot{V}O_{2max}$  foi considerado o maior valor de 15 s obtido durante o teste e, como critérios para sua determinação, foram consideradas a razão de troca respiratória (R) maior ou igual a 1,10, frequência cardíaca (FC) acima de 90% do valor máximo predito para a idade ( $220 - idade$ ) e concentração de lactato ( $[La]$ ) acima de 8  $mmol.l^{-1}$  (BILLAT et al., 2002; CLEUZIQU et al., 2005).

### 5.3.3. Teste submáximo de carga constante

Os sujeitos foram submetidos a duas sessões de exercício contínuo de carga constante (Figura 5) e, cada seção consistia em duas transições com intensidade equivalente a 95%  $\dot{V}O_{2max}$ .

Antes de cada teste foi realizado um aquecimento de 5 min a 50%  $\dot{V}O_{2max}$ . Após este período houve um período de recuperação de 10 min. Do 7<sup>o</sup> ao 10<sup>o</sup> minuto da recuperação o indivíduo pedalou contra uma resistência de 20 W com frequência de pedalada entre 70 - 90 rpm de modo que fosse possível determinar o  $\dot{V}O_{2baseline}$ , sendo este representado pela média obtida nos últimos 90 segundos (DIMENNA et al., 2010). Imediatamente após esse período, a carga correspondente a 95%  $\dot{V}O_{2max}$  foi adicionada e a contagem do tempo iniciada, dando assim início a 1<sup>a</sup> transição do teste de carga constante tendo duração de 6 minutos. A cadência entre 70 - 90 rpm deveria ser mantida por todo o período de exercício.

Após a 1<sup>a</sup> transição, houve um intervalo de, pelo menos, 45 minutos quando então o processo de teste foi reiniciado dando início a 2<sup>a</sup> transição do teste de carga constante sendo este conduzido até a exaustão voluntária. O teste foi interrompido quando o indivíduo não era capaz de manter a cadência > 67 rpm mesmo com estímulo verbal (CAPUTO; DENADAI, 2008). Foram realizadas coletas de sangue para a análise do lactato sanguíneo, conforme descrito anteriormente, antes e após 1, 3, 5 e 7 min do final do exercício.

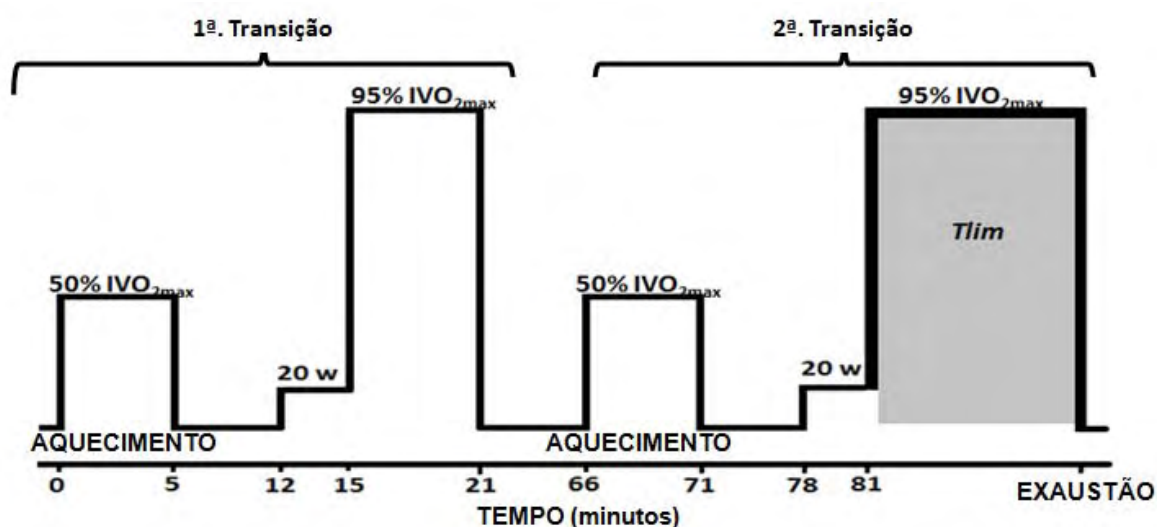


Figura 5 - Modelo do teste submáximo contínuo de carga constante.

#### **5.3.4. Teste intermitente com durações definidas no início do CL - Inter 1**

Previamente aos testes intermitentes, o indivíduo foi submetido a um período de aquecimento semelhante ao realizado durante os testes de carga constante. Também foram realizados os mesmos procedimentos para a determinação do  $\dot{V}O_{2\text{baseline}}$ .

Foi realizada uma sessão de teste intermitente até a exaustão, com repetições realizadas a 95%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  e com duração definida no início do CL (Inter 1) (Figura 4) e relação esforço pausa de 2:1. A duração da recuperação foi determinada como a metade da duração do esforço. A duração máxima total das repetições foi limitada a três vezes o *tlim* do teste de carga constante. Nos casos em que ocorreu a interrupção do teste antes do fim de um período de exercício e a duração alcançada neste foi menor do que 2 min, as análises do  $\dot{V}O_2$  foram realizadas somente até o final da repetição anterior, para evitar subestimar o  $\dot{V}O_2$  final do teste. O critério de exaustão foi o mesmo do mencionado para o teste submáximo de carga constante.

Os procedimentos são os mesmos para ambos os grupos (GP e GA) exceto que, durante o período de recuperação os indivíduos do GP deveriam permanecer sentados no cicloergômetro enquanto que os indivíduos do GA permaneceram em exercício com intensidade igual a 50%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ . Foram realizadas coletas de sangue para a análise do lactato sanguíneo, conforme descrito anteriormente, antes e após 1, 3, 5 e 7 min do final do exercício (Figura 5).

#### **5.3.5. Teste intermitente com durações definidas até a metade da duração do CL - Inter 2**

Previamente aos testes intermitentes, o indivíduo foi submetido a um período de aquecimento semelhante ao realizado durante os testes de carga constante. Também foram realizados os mesmos procedimentos para a determinação do  $\dot{V}O_{2\text{baseline}}$ .

Foi realizada uma sessão de teste intermitente até a exaustão, com repetições realizadas a 95%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  e com duração definida na metade da duração do CL (T2) (Figura 5) e relação esforço pausa de 2:1. A duração da recuperação foi determinada como a metade da duração do esforço (relação esforço:pausa de 2:1). A duração máxima total das repetições foi limitada a três vezes o *tlim* do teste de



carga constante. Nos casos em que ocorreu a interrupção do teste antes do fim de um período de exercício e a duração alcançada neste foi menor do que 2 min, as análises do  $\dot{V}O_2$  foram realizadas somente até o final da repetição anterior, para evitar subestimar o  $\dot{V}O_2$  final do teste.

A metodologia empregada para os grupos GP e GA, citadas anteriormente (Inter 1), relacionadas ao período de recuperação, critérios de exaustão e coletas de sangue são as mesmas empregadas aqui (Figura 6).

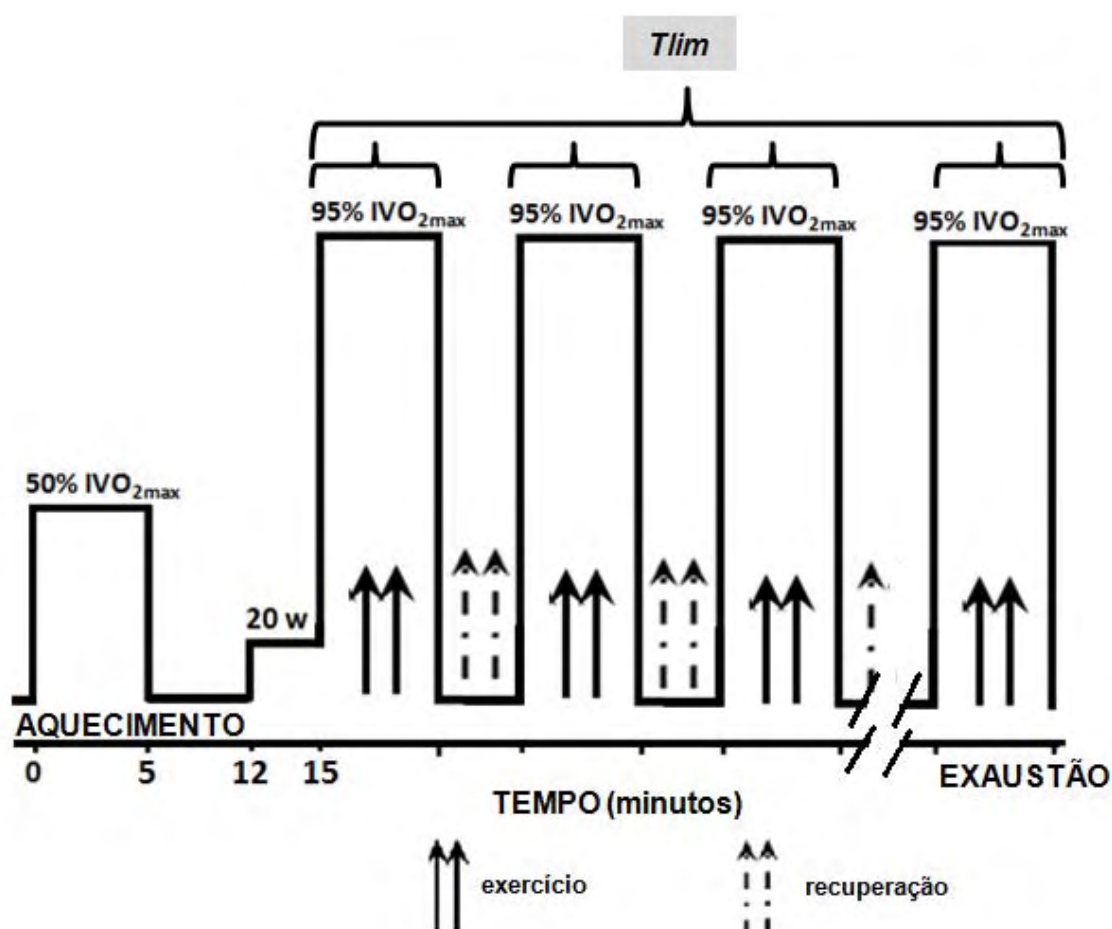


Figura 6 - Modelo do teste submáximo intermitente de carga constante.

### 5.3.6. Análise da cinética do consumo de oxigênio para a prescrição do exercício intermitente

Durante o protocolo contínuo de carga constante, as respostas do  $\dot{V}O_2$  foram mensuradas respiração-respiração. Os dados respiração-respiração de cada transição foram manualmente filtrados para remover respirações discrepantes (*outlier*), definidos como distantes  $\pm 3DP$  das cinco respirações anteriores. Em

seguida, os dados de cada transição de exercício, foram interpolados de modo a fornecer valores segundo a segundo e alinhados a partir do início objetivando fornecer valores médios com o intuito de melhorar as características da resposta inerente.

Para a prescrição dos protocolos intermitentes experimentais, a análise da cinética do  $\dot{V}O_2$  foi realizada da seguinte forma: os dados foram plotados por meio de um modelo de regressão não linear no programa SPSS utilizando a seguinte equação:

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2\text{base}} + A_1 \cdot (1 - e^{-(t-tD1)/\tau1}) + A_2 \cdot (1 - e^{-(t-tD2)/\tau2}) \quad (1)$$

onde:  $\dot{V}O_2(t)$  - consumo de oxigênio no tempo  $t$ ;  $\dot{V}O_{2\text{base}}$  -  $\dot{V}O_2$  de repouso;  $A_1$  e  $A_2$  - amplitudes assintóticas;  $tD1$  e  $tD2$  - são os tempos de atraso; o  $\tau1$  e  $\tau2$  - constantes de tempo (definida como o tempo necessário para atingir 63% de  $A$ ). Este ajuste foi definido com o intuito de melhor definir as fases de início do componente lento e determinação da sua duração e o alcance do  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  (Ozyener; Rossiter; Whipp, 2001).

Considerou-se para a análise da cinética, o valor de base do  $\dot{V}O_2$  ( $\dot{V}O_{2\text{baseline}}$ ) como aquele correspondente à média das medidas realizadas nos 90 s anteriores ao início do exercício. Os primeiros 20 s dos dados após o início do exercício (fase I; componente rápido; fase cardiodinâmica) foram desconsiderados para a análise (BERGER et al., 2006; BURNLEY et al., 2006). O  $\dot{V}O_2$  da carga foi considerado o maior valor nos 10 s finais do exercício (DORADO et al., 2004; BERGER et al., 2006).

O tempo de resposta médio para o ajuste biexponencial (MRT) foi utilizado como critério a ser adotado para considerar que o  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  tenha sido alcançado ( $T@ \dot{V}O_{2\text{max}}$ ). Assumimos que  $T@ \dot{V}O_{2\text{max}} = (4,6 \cdot \text{MRT})$  Adequação da equação  $T = (4,6 \cdot \text{MRT})$  (HILL; POOLE; SMITH, 2002). O MRT foi determinada a partir de adequação para dois termos da equação apresentada por MacDonald; Pedersen; Hughson (1997):

$$\text{MRA} = [A1 / (A1 + A2)] * (TD1 + \tau1) + [A2 / (A1 + A2)] * (TD2 + \tau2) \quad (2)$$

onde: G1 e G2 correspondem as amplitudes da fase II e do CL, respectivamente; TD corresponde ao *Time Delay*; e  $\tau$  corresponde a constante de tempo (definida como o tempo necessário para atingir 63% de G).

A duração do CL foi determinada subtraindo do  $T@\dot{V}O_{2max}$  o tempo para início do CL (TD2) (Duração CL =  $T@\dot{V}O_{2max}$  - TD2). Assim, a duração do CL foi truncada no tempo decorrido do mesmo até o alcance do  $\dot{V}O_{2max}$ .

### **5.3.7. Análise da cinética do consumo de oxigênio nos protocolos experimentais**

Em razão da natureza intermitente dos protocolos experimentais utilizados em nosso estudo nós evitamos a caracterização da cinética do  $\dot{V}O_2$  por meio de procedimentos de modelagem convencionais.

Assim, a caracterização da resposta da cinética do  $\dot{V}O_2$  durante o exercício contínuo foi realizada à partir da inclinação da resposta do  $\dot{V}O_2$  (*Slope*) utilizando análise de regressão linear. Os primeiros 60 s dos dados foram deletados de modo a evitar a influência da resposta da fase fundamental e, após, foram realizadas médias a cada 30 segundos de intervalo dos 15 s anteriores. O tempo para a análise da cinética do  $\dot{V}O_2$  foi truncado no tempo para se alcançar o  $\dot{V}O_{2max}$  à partir de ajuste monoexponencial à fim de evitar o “achatamento” da curva da resposta do  $\dot{V}O_2$  o que poderia, em tese, dificultar a avaliação do *Slope*.

A análise da cinética do  $\dot{V}O_2$  durante os protocolos intermitentes também foi realizada à partir do *Slope*. Foram realizadas médias de 15 s finais de cada período de exercício, sendo considerado até o último período de exercício completo. (Adaptado de CHIDNOK et al., 2012)

Todos os dados foram ajustados de acordo com a seguinte equação:

$$\dot{V}O_2 = ax + b \quad (3)$$

onde:  $x$  corresponde ao tempo;  $a$  corresponde a inclinação (*Slope*); e  $b$  corresponde ao intercepto- $y$ .

O tempo em que o  $\dot{V}O_{2max}$  foi mantido durante os protocolos experimentais (contínuo e intermitentes) foi determinado a partir da manutenção dos valores de

$\dot{V}O_2$  acima de 97,5%  $\dot{V}O_{2max}$  (TM97,5%). Os dados respiração-respiração obtidos foram reduzidos a médias móveis de 5 s anteriores e, utilizando a função “CONT.SE” do Microsoft Excel (MIDGLEY; McNAUGHTON; CARROLL, 2007), foram contabilizados os valores que obedeciam o critério de inclusão ( $> 97,5\% \dot{V}O_{2max}$ ) determinando o TM97,5%.

### 5.3.8. Cálculo da contribuição anaeróbia de energia

A participação dos sistemas de transferência de energia foi estimada por meio do déficit acumulado de oxigênio (AOD) e do consumo acumulado de oxigênio (AOC). Inicialmente foi calculada a demanda acumulada de  $O_2$  (DEAO) multiplicando-se a demanda de  $O_2$  (média dos 15 s finais do exercício para o protocolo contínuo e dos 15 s finais para cada período de exercício nos protocolos intermitentes), descontado o  $\dot{V}O_{2baseline}$ , pela duração do estímulo. Posteriormente, o AOD foi calculado por meio da diferença entre a demanda acumulada de  $O_2$  e o  $O_2$  consumido (AOC). Para estimar o AOC, nós utilizamos os dados do  $\dot{V}O_2$  interpolados com valores segundo a segundo para calcular a integral da área acima do  $\dot{V}O_{2baseline}$  à partir do método trapezoidal. Para estes cálculos foi utilizado o software Microsoft Excel.

### 5.3.9. Quadro de definição conceitual e operacional

Quadro 1 - Definição das variáveis do estudo.

Variáveis	Definição
<i>Slope</i>	Inclinação do $\dot{V}O_2$ .
DEAO	Demanda acumulada de oxigênio.
AOC	Consumo acumulado de oxigênio.
AOD	Déficit acumulado de oxigênio.
TM97,5%	Tempo de manutenção dos valores de $\dot{V}O_2$ acima de 97,5% do $\dot{V}O_{2max}$ .
TMrel (%)	Tempo de manutenção dos valores do $\dot{V}O_2$ mantidos acima de 97,5% do $\dot{V}O_2$ como percentual do tempo limite.

### **5.3.10. Análise estatística**

Foram calculadas as médias  $\pm$  DP dos dados obtidos. A existência da normalidade dos dados foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk. Para as variáveis que apresentaram distribuição normal, o efeito da duração da repetição e do tipo de recuperação foi analisado por meio da ANOVA TWO WAY, complementada pelo teste de Bonferroni. Em todos os testes foi adotado um nível de significância de  $\alpha \leq 0,05$ .

## 6. RESULTADOS

As características antropométricas dos sujeitos analisados estão descritos na Tabela 1. Não houve diferença estatística significativa entre os grupos ( $p > 0,05$ ).

Tabela 1 - Características antropométricas. Dados expressos em valores médios  $\pm$  DP.

Grupos	Massa corporal (kg)	% Gordura	Estatura (cm)	Idade (anos)
<b>ATIVA (N = 9)</b>	82 $\pm$ 13	18 $\pm$ 6	177 $\pm$ 7	25 $\pm$ 5
<b>PASSIVA (N = 9)</b>	79 $\pm$ 12	17 $\pm$ 4	179 $\pm$ 9	25 $\pm$ 4

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos no protocolo incremental para o  $\dot{V}O_2\text{max}$ , intensidade correspondente ao  $\dot{V}O_2\text{max}$  ( $I\dot{V}O_2\text{max}$ ), frequência cardíaca máxima (FCmax) e concentração de lactato sanguíneo máximo ([La]max) para os grupos com recuperação ativa (ATIVA) e recuperação passiva (PASSIVA). Os dados são expressos em média  $\pm$  DP.

Tabela 2 - Valores médios  $\pm$  DP das variáveis obtidas no protocolo incremental.

	<b>ATIVA (N = 9)</b>	<b>PASSIVA (N = 9)</b>
<b>PW (W)</b>	266,89 $\pm$ 44	250,33 $\pm$ 25
<b><math>\dot{V}O_2\text{max}</math> (ml.min<sup>-1</sup>)</b>	3332,41 $\pm$ 499	3220,36 $\pm$ 272
<b><math>I\dot{V}O_2\text{max}</math> (W)</b>	265,89 $\pm$ 45	248,00 $\pm$ 24
<b>FCmax (bpm)</b>	185 $\pm$ 7	180 $\pm$ 13
<b>[La]max (mM)</b>	9,57 $\pm$ 1,76	10,79 $\pm$ 2,34

Não foi verificada diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ) para as variáveis apresentadas na tabela 2 entre os grupos com recuperação ativa e passiva.

Não foi verificada diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ) para os valores pico da [La] obtidos durante os protocolos experimentais (Contínuo, Inter 1 e Inter 2) (Tabela 3) para os grupos com recuperação ativa e passiva e aqueles obtidos durante o protocolo incremental. Estes valores também não diferiram entre os grupos ( $p > 0,05$ ).

Os valores pico da FC obtidos durante os protocolos experimentais (Contínuo, Inter 1 e Inter 2) para o grupo com recuperação ativa e (Contínuo, Inter 2) para o grupo com recuperação passiva não diferiram daqueles obtidos durante o teste incremental como também entre os grupos ( $p > 0,05$ ). A  $FC_{\text{pico}}$  do grupo com

recuperação passiva obtida em Inter 1 foi significativamente menor que a  $FC_{max}$  obtida no protocolo incremental e a FC em Inter 1 do grupo com recuperação ativa (Tabela 3) ( $p < 0,05$ ).

Tabela 3 - Valores médios  $\pm$  DP das variáveis obtidas nos protocolos experimentais.

		CONTÍNUO	INTER 1	INTER 2
ATIVA (N=9)	FCpico (bpm)	184 $\pm$ 7	183 $\pm$ 6	186 $\pm$ 5
	[La]pico (mM)	11,19 $\pm$ 2,35	10,93 $\pm$ 5,65	11,78 $\pm$ 2,78
PASSIVA (N=9)	FCpico (bpm)	177 $\pm$ 14	170 $\pm$ 15 <sup>£</sup>	177 $\pm$ 11
	[La]pico (mM)	12,35 $\pm$ 2,83	10,33 $\pm$ 3,70	12,14 $\pm$ 3,02

FC significativamente diferente da FC obtida em Inter 1 para a recuperação ativa. <sup>£</sup> Significativamente diferente do teste incremental.

As duas sessões do protocolo contínuo de carga constante foram realizadas com o objetivo de determinar a reprodutibilidade teste-reteste dos parâmetros cardiorrespiratórios durante o ciclismo realizado no domínio severo. Para as variáveis de amplitude da cinética do  $\dot{V}O_2$  foi observada reprodutibilidade de moderada a alta (ICC = 0,76-0,93), enquanto que para as variáveis temporais foi observada baixa reprodutibilidade (ICC = -0,26- 0,72) (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios  $\pm$  DP das variáveis da cinética obtidas nos protocolo contínuo utilizado para prescrição do exercício intermitente (GA - grupo com recuperação ativa e GP - grupo com recuperação passiva).

		A1 (ml)	TD1 (s)	Tau 1 (s)	A2 (ml)	TD2 (s)	Tau2 (s)
GA (N=9)		1955,90 $\pm$ 436	11 $\pm$ 6	22 $\pm$ 8	559,65 $\pm$ 130	132 $\pm$ 39	105 $\pm$ 58
GP (N=9)		1751,31 $\pm$ 250	13 $\pm$ 5	25 $\pm$ 12	566,33 $\pm$ 143	105 $\pm$ 29	111 $\pm$ 50

A: amplitude da fase fundamental; TD: tempo de atraso; Tau: tempo para alcance de 63% da resposta do  $\dot{V}O_2$ ; 1: fase fundamental; 2: componente lento.

Para o *tlim* foi observada relação moderada (ICC = 0,78;  $p < 0,01$ ; CV = 9,6%), sendo, no entanto, o *tlim* maior para o segundo teste (542  $\pm$  103 s) quando comparado com o primeiro (492  $\pm$  101 s). Os dados de reprodutibilidade observados demonstram que a amplitude da resposta da cinética do  $\dot{V}O_2$  apresenta reprodutibilidade de moderada a alta.

A determinação da duração dos períodos de exercício durante os protocolos experimentais foi realizada a partir do ajuste da resposta da cinética do  $\dot{V}O_{2max}$  durante o exercício contínuo. De acordo com os dados obtidos, a duração dos períodos de exercício em Inter 1 foi  $132 \pm 39$  s e  $105 \pm 29$  s e Inter 2 de  $253 \pm 56$  s e  $252 \pm 50$  s para os grupos com recuperação ativa e passiva, respectivamente. Não houve diferença estatística significativa entre os tempos determinados para o grupo com recuperação ativa e passiva quando comparados com seus respectivos ( $p > 0,05$ ).

O AOC obtido durante o Inter 1 e Inter 2 para os grupos com recuperação ativa e passiva, foram significativamente maiores quando comparados ao AOC obtido durante o protocolo contínuo dentro do mesmo grupo ( $p < 0,05$ ). Para o grupo com recuperação passiva, a DEAO, o AOC e o AOD obtidos durante o Inter 1 foram significativamente maiores quando comparados a seus pares com recuperação ativa ( $p < 0,05$ ) e com os valores obtidos em Inter 2 de seu grupo ( $p < 0,05$ ) (Tabela 2).

Tabela 5 - Valores médios  $\pm$  DP das variáveis absolutas do  $\dot{V}O_2$  obtidas para o exercício contínuo e dos exercícios intermitentes.

		Contínuo	Inter 1	Inter 2
<b>ATIVA</b> (N = 9)	<b>DEAO (L)</b>	$20,40 \pm 5,46$	$33,37 \pm 9,98^+$	$34,67 \pm 11,36^+$
	<b>AOC (L)</b>	$17,33 \pm 5,57$	$29,10 \pm 8,79^+$	$30,24 \pm 9,73^+$
	<b>AOD (L)</b>	$3,07 \pm 0,88$	$4,26 \pm 1,51$	$4,43 \pm 2,08$
<b>PASSIVA</b> (N = 9)	<b>DEAO (L)</b>	$19,70 \pm 6,42$	$50,68 \pm 15,86^{*+\ddagger}$	$33,44 \pm 9,01^+$
	<b>AOC (L)</b>	$17,01 \pm 5,76$	$38,98 \pm 11,90^{*+\ddagger}$	$27,20 \pm 7,52^+$
	<b>AOD (L)</b>	$2,69 \pm 1,93$	$11,70 \pm 4,18^{*+\ddagger}$	$6,24 \pm 1,92^+$

DEAO (L) demanda acumulada de oxigênio (litros); AOC (L) - consumo acumulado de oxigênio (litros); AOD (L) - déficit acumulado de oxigênio (litros).

\* diferença significativa comparado ao respectivo com recuperação ativa; + diferença significativa para o contínuo do mesmo grupo; ‡ diferença significativa para o Inter 2 do mesmo grupo. ( $P < 0,05$ )

Embora tenha sido observada diferença significativa entre o AOD obtido em Inter 1 com recuperação passiva quando este é comparado ao Inter 2 do mesmo grupo e com Inter 1 do grupo com recuperação ativa, quando consideramos o AOD em valores absolutos, observamos uma relação de moderada a alta entre AOD e *tlim* para todos os protocolos intermitentes (escala de  $r = 0,58$  a  $r = 0,93$ ) embora, a



mesma possa ser considerada significativa ( $p < 0,05$ ) apenas para o grupo com recuperação passiva.

A contribuição percentual de AOC e AOD para DEAO é apresentada na figura 7.

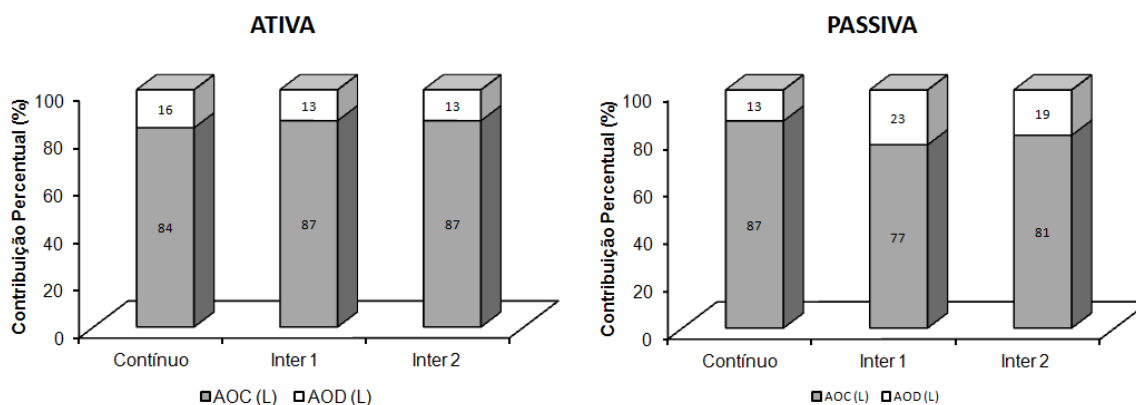


Figura 7 - Contribuição percentual do AOC e do AOD para a demanda prevista.

O *tlim* obtido durante o protocolo Inter 1 e Inter 2 para os grupos com recuperação ativa e passiva foram significativamente maiores que o *tlim* obtido durante o protocolo contínuo dentro do mesmo grupo ( $p < 0,05$ ). O *tlim* obtido durante o protocolo Inter 1 com recuperação passiva foi significativamente maior quando comparado ao Inter 2 do mesmo grupo e com seu respectivo (Inter 1) com recuperação ativa ( $p < 0,05$ ). O  $TM_{97,5\%}$  não foi estatisticamente diferente entre os diferentes protocolos e condições ( $p > 0,05$ ). O tempo de manutenção de elevados valores de consumo de oxigênio relativo ao *tlim* ( $TM_{rel}$ ) para Inter 1 e Inter 2 do grupo com recuperação ativa foram significativamente menores quando comparados ao protocolo contínuo do mesmo grupo ( $p < 0,05$ ). O  $TM_{rel}$  obtido no protocolo contínuo com recuperação passiva foi significativamente menor quando comparado com o grupo com recuperação ativa ( $p < 0,05$ ) (Tabela 3).

A taxa de incremento do  $\dot{V}O_2$  (*Slope*) obtida durante o protocolo contínuo ( $0,16 \pm 0,05$  e  $0,16 \pm 0,04$  L.min<sup>-2</sup>) foi significativamente maior quando comparada as taxas obtidas durante o protocolo intermitente (Inter 1:  $0,03 \pm 0,04$  e  $0,01 \pm 0,01$  L.min<sup>-2</sup>; Inter 2:  $0,01 \pm 0,01$  e  $0,002 \pm 0,01$  L.min<sup>-2</sup>) para os grupos com recuperação ativa e passiva, respectivamente (Tabela 4) ( $p < 0,05$ ).

Tabela 6 - Valores médios  $\pm$  DP do exercício contínuo e dos exercícios intermitentes.

		Contínuo	Inter 1	Inter 2
ATIVA (N = 9)	<i>tlim</i> (s)	489 $\pm$ 84	902 $\pm$ 239 <sup>+</sup>	886 $\pm$ 254 <sup>+</sup>
	Slope (L.min <sup>-2</sup> )	0,16 $\pm$ 0,05	0,03 $\pm$ 0,04 <sup>+</sup>	0,01 $\pm$ 0,01 <sup>+</sup>
	TM97,5% (s)	256 $\pm$ 129	209 $\pm$ 212	196 $\pm$ 201
	TMrel (%)	50,86 $\pm$ 23	22,76 $\pm$ 24 <sup>+</sup>	22,03 $\pm$ 21 <sup>+</sup>
PASSIVA (N = 9)	<i>tlim</i> (s)	540 $\pm$ 116	1523 $\pm$ 411 <sup>*,‡</sup>	984 $\pm$ 260 <sup>+</sup>
	Slope (L.min <sup>-2</sup> )	0,16 $\pm$ 0,04	0,01 $\pm$ 0,01 <sup>+</sup>	0,002 $\pm$ 0,01 <sup>+</sup>
	TM97,5% (s)	139 $\pm$ 139	129 $\pm$ 156	95 $\pm$ 84
	TMrel (%)	23,61 $\pm$ 22 <sup>*</sup>	8,76 $\pm$ 11	11,11 $\pm$ 10

Tlim - tempo limite; Slope - taxa de incremento do consumo de oxigênio; TM 97,5% - tempo de manutenção do consumo de oxigênio acima de 97,5% do  $\dot{V}O_{2max}$ ; TMrel - tempo mantido acima de 97,5% como percentual do tempo limite.

<sup>\*</sup> diferença significativa comparado ao respectivo com recuperação ativa; <sup>+</sup> diferença significativa para o contínuo do mesmo grupo; <sup>‡</sup> diferença significativa para o Inter 2 do mesmo grupo. (p < 0,05)

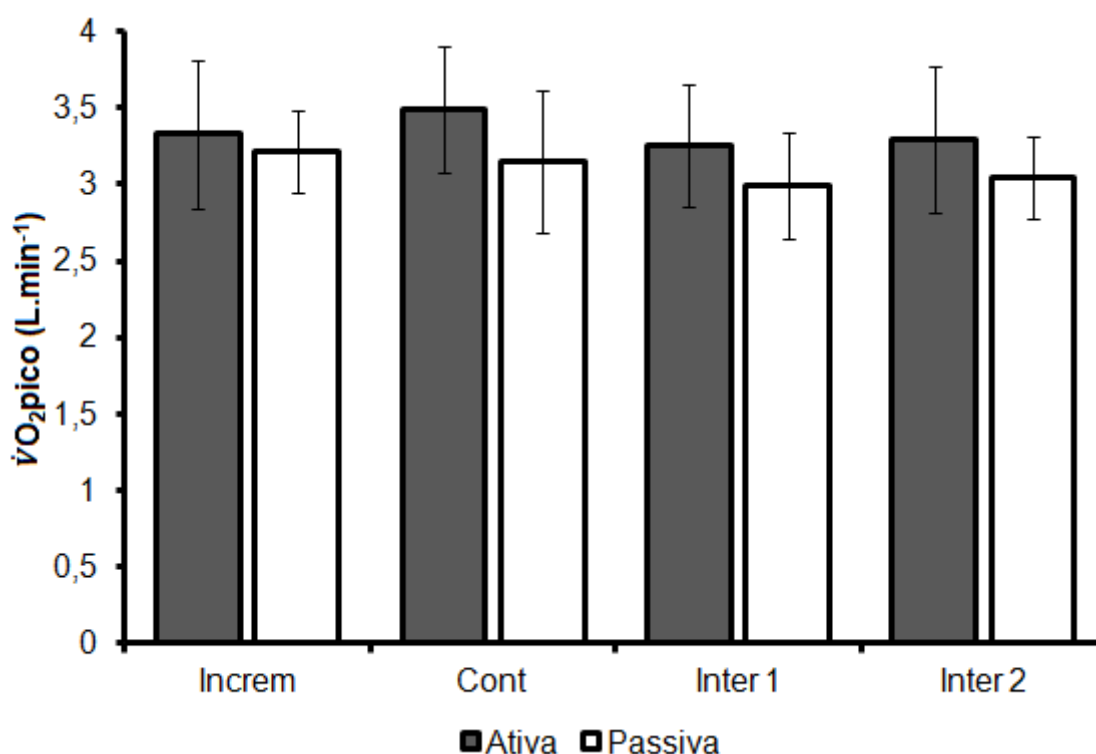


Figura 8 - Consumo pico de oxigênio obtido durante o protocolo incremental e os protocolos experimentais contínuo e intermitentes (Inter 1 e Inter 2).

O  $\dot{V}O_{2max}$  obtido durante o protocolo incremental foi 3,33  $\pm$  0,49 L.min<sup>-1</sup> e 3,22  $\pm$  0,27 L.min<sup>-1</sup> para o grupo com recuperação ativa e passiva respectivamente, não havendo diferença (p > 0,05) entre estes e os valores de

$\dot{V}O_{2\text{pico}}$  obtidos durante os protocolos contínuos ( $3,49 \pm 0,41 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $3,15 \pm 0,47 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) e intermitentes (Inter 1:  $3,26 \pm 0,40 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $2,99 \pm 0,35 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ; Inter 2:  $3,29 \pm 0,48 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $3,05 \pm 0,27 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) para o grupo com recuperação ativa e passiva respectivamente, como pode ser observado na figura 8. Considerando os valores de FC obtidos em Inter 1 para o grupo com recuperação passiva e os valores de  $\dot{V}O_{2\text{pico}}$  observados para este mesmo grupo e condição, não podemos afirmar categoricamente ser essa uma resposta inerente a condição ou uma condição decorrente do número de participantes.

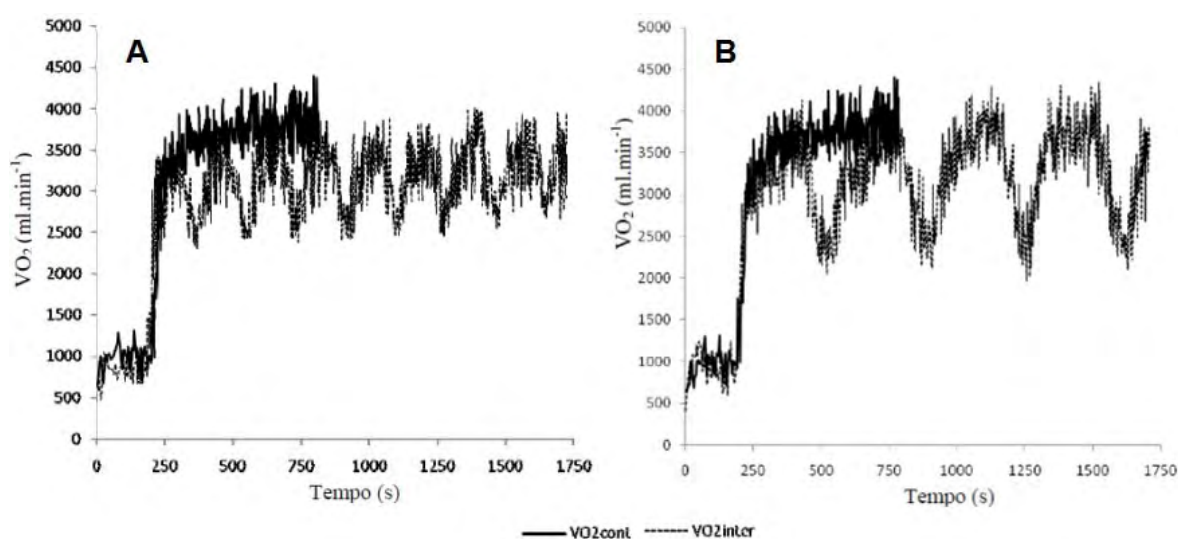


Figura 9 - Gráfico representativo do  $\dot{V}O_2$  para um indivíduo do grupo com recuperação ativa. (A: intermitente 1; B: intermitente 2).

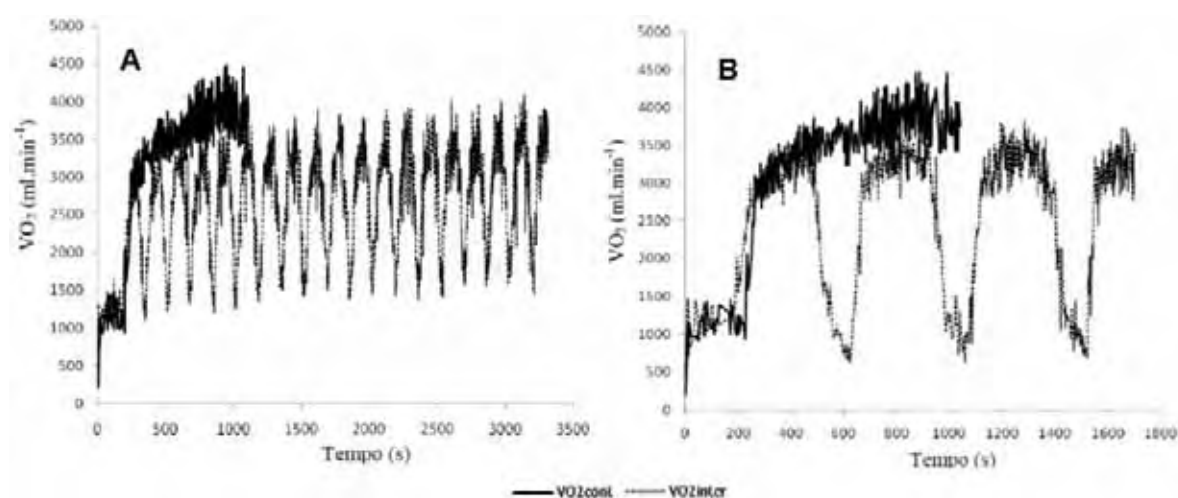


Figura 10 - Gráfico representativo do  $\dot{V}O_2$  para um indivíduo do grupo com recuperação ativa. (A: intermitente 1; B: intermitente 2).

## 7. DISCUSSÃO

O exercício intermitente pode ser realizado em diferentes condições de intensidade e duração dos estímulos, duração e tipo de recuperação. No domínio severo, um dos fatores que têm sido considerado importante para a tolerância ao exercício é o CL, que, se a duração do exercício permitir, pode levar o  $\dot{V}O_2$  ao valor máximo.

Não há, na literatura, trabalhos que tenham utilizado condições experimentais próximas a do presente estudo em especial, quando se trata da determinação individualizada da duração dos estímulos baseada na resposta da cinética do  $\dot{V}O_2$ . Portanto, uma comparação direta destes dados com outros estudos é difícil de ser realizada.

Os principais achados deste estudo demonstram que o exercício intermitente com ciclo esforço:recuperação curto (Inter 1) realizado com recuperação passiva permite maior tempo de exaustão quando comparado aos demais protocolos experimentais com recuperação ativa (Inter 1 e Inter 2), e recuperação passiva longo (Inter 2). Não houve diferença nos valores de  $\dot{V}O_{2\text{pico}}$  e da [La] quando da realização do exercício intermitente, independente da condição de duração do estímulo e tipo de recuperação, comparado àqueles valores máximos obtidos durante o teste incremental. Também não foi observada diferença na taxa de incremento do  $\dot{V}O_2$  (*Slope*) durante os protocolos intermitentes. Portanto, para as condições deste estudo, mesmo utilizando repetições com duração definida no início do CL, o  $\dot{V}O_{2\text{pico}}$  foi atingido, o que pode ser explicado pelo menos em parte pelo efeito de uma repetição prévia na subsequente.

Não há, na literatura, trabalhos que tenham utilizado condições experimentais próximas a do presente estudo, em especial, quando se trata da determinação individualizada da duração dos estímulos baseada na resposta da cinética do  $\dot{V}O_2$ . Os estudos realizados utilizaram de durações fixas para os estímulos de modo que, não consideram a individualidade da resposta da cinética e possíveis influências para a performance. Portanto, uma comparação direta destes dados com outros estudos é difícil de ser realizada.

Embora a adaptação ao treinamento não tenha sido objetivo deste estudo, é sabido que a individualização é uma condição de grande importância para a

prescrição e prática do exercício físico, em especial, quando se deseja respostas específicas e individualizadas ao treinamento.

### 7.1 - Respostas metabólicas e cardiovasculares

As respostas de parâmetros metabólicos e cardiovasculares durante um exercício intermitente tendem a ser diferentes das obtidas no exercício de mesma intensidade realizado de forma contínua. Os períodos de recuperação tendem a proporcionar uma recuperação parcial destes parâmetros. Além disso, na recuperação passiva particularmente, há uma restauração parcial das reservas de CP. Portanto, tanto a intensidade realizada para uma mesma duração de exercício, quanto a duração total do exercício para uma mesma intensidade, podem ser aumentadas no exercício intermitente. No exercício intermitente máximo e suprâmáximo, estudos sugerem que a recuperação passiva permite uma maior tolerância ao exercício (Dupont et al., 2004). No entanto, poucos estudos analisaram a tolerância ao exercício realizado em intensidades submáximas.

Os primeiros estudos acerca do exercício intermitente e sua comparação com o exercício contínuo foram realizados em meados de 1960 por Åstrand e colaboradores. Em seus primeiros estudos o grupo de Åstrand buscou analisar os efeitos agudos e crônicos no metabolismo. Com intensidade de trabalho de 360 W (~98%  $\dot{V}O_{2max}$ ) os pesquisadores compararam o exercício contínuo e intermitente com diferentes durações (30 s e 1, 2 e 3 minutos) e relação esforço:recuperação de 1:2. Os autores verificaram que o *tlim* contínuo foi de 9 minutos enquanto que, quando realizado com períodos curtos de exercício o mesmo foi tolerado por 1 hora caracterizando uma carga submáxima para o  $\dot{V}O_2$  (63%  $\dot{V}O_{2max}$ ) e [La] (2 mmol/L). Entretanto, com a adoção de períodos prolongados (2, 3 min) de exercício, a carga representou condições em que os valores de [La] e  $\dot{V}O_2$  se aproximaram dos valores máximos (16,6 mmol/L e 100%  $\dot{V}O_{2max}$ ). Os autores sugeriram que o estresse causado pela escolha de longos períodos de exercício pode elevar o efeito do treinamento sobre a função cardiorrespiratória.

Em nosso estudo, a realização de exercício intermitente quando comparado ao exercício contínuo de mesma intensidade não apresentou diferença estatística significativa para as variáveis  $\dot{V}O_{2max}$  e [La], que também foram similares às mensuradas no teste incremental. Além disso, não foi verificada diferença entre

estes valores quando comparado condições intermitentes, Inter 1 e Inter 2 e as condições de recuperação, exceto para a FC em Inter 1 com recuperação passiva. Esses dados concordam com os obtidos por Åstrand et al., para os exercícios intermitentes mais longos (repetições com 2 e 3 min de duração). Turner et al. (2006) utilizando protocolos de exercício supramáximos (120% da potência pico) com diferentes durações de repetição e recuperação (10:20 s, 30:60 s; 60:120 s e 90:180 s) verificaram que em ciclos de exercício mais curtos (10:20 s), a resposta fisiológica se assemelhou àquele apresentado durante exercício contínuo de intensidade moderada enquanto que, à medida que os ciclos se prolongam as respostas se assemelham a exercícios de maior intensidade resultando em valores similares àqueles observados durante o exercício contínuo realizado no domínio severo projetando o CL ao  $\dot{V}O_{2max}$ .

De maneira geral, os estudos que analisaram as respostas fisiológicas em exercícios intermitentes de alta intensidade utilizaram durações menores das repetições. Os dados obtidos em nosso estudo, que foi realizado com exercício submáximo de alta intensidade e durações de períodos de exercício diferentes e individualizados, concordam com os achados em outros estudos que utilizaram intensidades maiores e durações menores das repetições. Nicolò et al. (2013) utilizaram protocolos de exercícios intermitentes (40:20 s; 30:30 s) supramáximos (135% da potência máxima) até a exaustão. Neste estudo foi verificado que a média e os valores picos do  $\dot{V}O_2$ , da FC, dos parâmetros ventilatórios (exceto a frequência) e a [La] foram significativamente maiores em 40:20s comparado ao protocolo 30:30 s. Para os autores, protocolos intermitentes com períodos de exercício maiores conduzem aos valores máximos, o  $\dot{V}O_2$ , a [La] e os parâmetros ventilatórios em poucos minutos, enquanto que períodos curtos permitem a manutenção destes parâmetros em valores moderadamente elevados por um considerável período de tempo, especialmente para a [La] e os parâmetros ventilatórios.

Em nosso estudo, não foi verificada diferença entre os valores pico de  $\dot{V}O_2$  e [La] obtidos durante os protocolos intermitentes com recuperação ativa ou passiva e as diferentes durações das repetições. Somente a FC apresentou valor menor no protocolo Inter 1 no grupo com recuperação passiva. Chidnok et al. (2012) analisaram o efeito da intensidade da recuperação na resposta do  $\dot{V}O_2$  em um exercício intermitente realizado com período de exercício de 60 s no domínio severo

( $\pm 329$  W) com período de recuperação de 30 s realizado com exercício severo, pesado, moderado e leve. Os autores verificaram que não houve diferença entre os valores de  $\dot{V}O_2$  pico obtidos durante os protocolos intermitentes quando comparados ao exercício realizado com a mesma intensidade de forma contínua, exceto para o exercício intermitente com recuperação com intensidade leve, que apresentou valor inferior.

Portanto, nas condições de exercícios intermitentes de alta intensidade, com durações de repetições de ~100-250 s (conferir durações) tendem a gerar respostas similares às máximas obtidas no exercício contínuo de mesma intensidade, porém com duração maiores.

## 7.2 - Tolerância ao exercício (*tlim*)

Quando o exercício é realizado de forma intermitente, o esforço fisiológico perante o estímulo absoluto realizado de forma contínua pode ser reduzido, permitindo que o indivíduo se mantenha em atividade por mais tempo em uma mesma intensidade ou o mesmo tempo em uma intensidade absoluta maior devido aos períodos de recuperação.

Entre os fatores que podem explicar o aumento da tolerância ao exercício por proporcionar um ambiente com condições favoráveis para tal (SJØGAARD, 1990; SIGNORILE et al., 1993; BANGSBO et al., 1994; GERBINO et al., 1996; HASELER, et al., 1999; JONES et al., 2011; BAILEY et al., 2009) são comumente citadas a restauração das reservas de CP (YOSHIDA et al., 1996) e a remoção do lactato sanguíneo (BONEN; BELCASTRO, 1976; GUPTA et al., 1996; TAOUTAOU et al., 1996).

Estudos na literatura mostraram que os períodos de recuperação passiva utilizados no exercício intermitente tendem a proporcionar uma recuperação parcial das reservas de CP (Dupont et al., 2004). Em um estudo realizado por Yoshida et al. (1996), com o exercício de flexão de joelho, foi verificado um menor valor da constante de tempo da restauração da CP com recuperação passiva do que ativa.

Comparado ao exercício contínuo, os exercícios intermitentes realizados em nosso estudo permitiram um maior *tlim* independente da duração do período de exercício e do tipo de recuperação exceto para o exercício Inter 1 com recuperação passiva. Muitos estudos que analisaram a influência do exercício intermitente na

performance utilizam-se de exercícios de intensidades máximas ou supramáximas (BILLAT; KORALSZTEIN; 1996; DUPONT et al., 2003; TURNER et al., 2006).

Spencer et al. (2006) verificaram menor potência no *sprint* final, uma maior taxa de decaimento da potência, maior [La] e forte tendência de redução da concentração de CP imediatamente após o exercício realizado com recuperação ativa quando comparado com a recuperação passiva, embora, o mesmo tenha apresentado maior tendência para a remoção de lactato. Dupont et al. (2003), utilizando exercício intermitente com repetições de 15 s de duração a 120% da  $\dot{V}O_{2max}$ , verificaram que a recuperação passiva foi associada a maior *tlim*. Os autores hipotetizam que, a energia necessária para o exercício durante a recuperação ativa resulta em menor disponibilidade de  $O_2$  para a recarga da mioglobina e da hemoglobina, remover lactato e restaurar as reservas de CP.

Utilizando esforços máximos de 200 jardas (yd) na natação entremeados por 10 min de recuperação passiva ou ativa em diferentes intensidades, Greenwood et al. (2008) verificaram que as recuperações ativas resultaram em maior remoção de lactato e melhor performance no *time trial 2* comparadas a recuperação passiva, tendo a recuperação na velocidade do limiar de lactato ( $V_{LT}$ ) apresentado melhora na performance em *time trial 2* comparada a *time trial 1*.

Em Inter 1 passiva, o maior *tlim* observado em nosso estudo pode ser explicado por uma menor potência metabólica uma vez que, como demonstrado por Dupont; Blondel e Berthoin (2003), o exercício intermitente alternado com recuperação passiva é caracterizado por um declínio mais lento da oxihemoglobina quando comparado com o exercício contínuo podendo permitir maior reoxigenação da mioglobina e maior ressíntese de CP e, assim, contribuir para um maior *tlim*. Dessa maneira, a recomendação de recuperação passiva para elevação do *tlim* para exercícios supramáximos parece ser também válida para esta intensidade e duração de períodos de exercício utilizados em nosso estudo.

Estudos têm demonstrado associação positiva entre o AOD e *tlim* calculado à partir do início do exercício e o *tlim* quando correndo na intensidade do  $\dot{V}O_{2max}$  (BILLAT; KORALSZTEIN; 1996; DEMARLE, et al., 2001). O menor déficit de  $O_2$  reflete uma menor contribuição anaeróbia no início do exercício, podendo ser favorável para o tempo de exaustão, em especial, para o exercício realizado acima do LL (POOLE; RICHARDSON, 1997; JONES; BURNLEY, 2009). Demarle et al. (2001) sugerem que, a diminuição do déficit de  $O_2$  é um fator que pode explicar o



maior *tlim* observado quando os indivíduos realizam corrida *all-out* na velocidade correspondente à metade da diferença entre a velocidade de  $\dot{V}O_{2max}$  e a velocidade no LL, após um período de treinamento.

Em estudo realizado por Chidnok et al (2012) foram realizados exercícios intermitentes com intensidade da recuperação correspondentes a  $\pm 270$ ,  $\pm 173$ ,  $\pm 95$  e  $20$  W (caracterizando intensidades nos domínios severo, pesado, moderado e leve, respectivamente). À medida que a intensidade do período de exercício diminuiu ocorreu aumento do *tlim*, sendo este associado à restauração da *W'* de modo a permitir que maior trabalho fosse realizado acima da PC.

O maior AOD apresentado durante Inter 1 quando comparado às demais situações pode ser em decorrência da maior influência das reservas anaeróbias para esta situação específica e a capacidade de restauração dessas e sua contribuição para a reconstituição de *W'*. De acordo com os dados apresentados por Chidnock et al., (2012) e Jones et al. (2008), é evidente que a reconstituição da *W'* tende a ser maior quando a intensidade da recuperação entre os períodos de exercício severo é menor e, portanto, permitiu um maior  $W > PC$  e o maior *tlim*. Assim, em taxas de trabalho menores, provavelmente ocorre uma reconstituição mais rápida da *W'* porque a maior fração de fibras musculares que estavam metabolicamente ativas durante o período de exercício já não está contribuindo para a produção de energia (CHIDNOCK et al., 2012). Também, durante a recuperação ativa haveria uma menor disponibilidade de  $O_2$  para a ressíntese de CP (DUPONT et al., 2004).

Chidnok et al (2012) verificaram que durante a realização do exercício intermitente no domínio severo o *tlim* está diretamente relacionado ao esgotamento da capacidade de trabalho acima da PC (*W'*) assim como foi demonstrado por Jones et al. (2008) para o exercício contínuo e, assumindo que o AOD representa uma reserva finita de energia, a exaustão deveria ocorrer quando do seu esgotamento. Embora a reconstituição da *W'*, de acordo com o que aponta os autores, possa ter ocorrido em ambas as condições experimentais de nosso estudo assim como o menor declínio de oxihemoglobina e consequente maior reoxigenação da mioglobina durante a recuperação passiva, estes fatores parecem ser mais efetivos para o aumento do *tlim* durante ciclos curtos de exercício (Inter 1) do grupo com recuperação passiva. Talvez isso possa ser explicado pela duração do período de exercício e a influência da CP de modo que, para esta duração de exercício, a restauração das reservas dos fosfagênicos e sua participação enquanto substrato

energético seja mais importante quando comparada às possíveis influências positivas de uma maior remoção de lactato sanguíneo que é favorecida pela recuperação ativa.

### 7.3 Cinética do $\dot{V}O_2$

Um dos aspectos que tem sido considerado um importante fator para a eficiência do treinamento intervalado está relacionado ao percentual do  $\dot{V}O_{2max}$  sustentado e o tempo em que o mesmo é mantido (MILLET et al., 2003; MIDGLEY; McNAUGHTON; CARROLL, 2006; THEVENET et al., 2007). Tem sido sugerido que a manutenção de valores elevados de  $\dot{V}O_2$  por períodos relativamente prolongados pode contribuir para as adaptações ao treinamento de alta intensidade (BILLAT, 2001; DEMARIE; KORALSZTEIN; BILLAT, 2000).

Em nosso estudo, os valores do  $\dot{V}O_{2pico}$  observados durante os protocolos experimentais foram semelhantes àqueles valores máximos observados durante o exercício incremental e contínuo. Dorado; Sanchis-Moysi; Calbet (2004), utilizando períodos de exercício com intensidade igual a 110% da potência máxima atingida em um exercício incremental ( $W_{max}$ ) realizados até a exaustão, entremeados por períodos de 5 minutos de recuperação ativa, passiva ou com exercícios de alongamento verificaram que durante a recuperação ativa (pedalando a 20%  $\dot{V}O_{2max}$ ) os valores de  $\dot{V}O_2$  ao final do protocolo foram maiores quando comparados à condição com recuperação passiva.

Chidnok et al. (2012) não verificaram diferença significante entre os valores de  $\dot{V}O_2$  pico obtidos durante os protocolos intermitentes quando comparados ao exercício contínuo e o  $\dot{V}O_{2max}$  obtido durante o protocolo incremental, exceto o  $\dot{V}O_{2pico}$  para o exercício intermitente com recuperação leve (20 W) que apresentou valores inferiores àqueles obtidos durante o exercício contínuo. Em nosso estudo, não foi verificada diferença significante entre os valores de  $\dot{V}O_{2pico}$  obtidos durante os protocolos experimentais e o  $\dot{V}O_{2max}$  observado durante o teste incremental não havendo também, diferença entre os protocolos intermitentes.

No entanto, Dupont et al. (2004), utilizando exercícios a 100%  $\dot{V}O_{2max}$  de 30 s de duração com 30 s de recuperação passiva ou ativa (40%  $\dot{V}O_{2max}$ ), verificaram também que durante o exercício realizado com recuperação passiva o  $\dot{V}O_2$  foi significativamente menor (48,9 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) quando comparado ao exercício

realizado com recuperação ativa ( $52,6 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ). A taxa média de diminuição da oxihemoglobina durante o exercício intermitente com recuperação passiva ( $2,9 \pm 2,4\%.\text{s}^{-1}$ ) foi significativamente menor comparada a diminuição observada na recuperação ativa ( $7,8 \pm 3,4\%.\text{s}^{-1}$ ). De acordo com os autores, em um período simples de exercício de alta intensidade e curta duração a maior parte do ATP para a atividade contrátil é suprida pelo metabolismo anaeróbio (CrP e glicólise) enquanto que a contribuição aeróbia aumenta quando o tipo de exercício é repetido com intervalos curtos de recuperação. O estudo sugere que as diferenças podem ser explicadas pelo menor declínio da oxihemoglobina e maior reoxigenação da mioglobina e maior ressíntese da fosfocreatina. As diferenças de protocolo, por exemplo duração do estímulo e relação esforço:pausa, utilizado no estudo de Dupont et al. (2004) podem ajudar a explicar as diferenças nos resultados obtidos comparados com nosso estudo.

Com relação ao tempo em que os valores de  $\dot{V}O_2$  permanecem elevados, em nosso estudo acima de  $97,5\% \dot{V}O_{2\text{max}}$  (TM $97,5\%$ ), não foi observado diferença estatística significativa entre os protocolos experimentais intermitentes para ambos os grupos. Apresentando este tempo como percentual do *tlim*, também não foi verificada diferença estatística significativa. Não foi observada diferença estatística significativa quando comparado o modo de recuperação (ativa e passiva) no tempo relativo gasto em alto percentual do  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  ( $t_{90}$  e  $t_{95} \%tlim$ ) o que, a princípio parece contradizer achados que indicam uma aceleração da cinética do  $\dot{V}O_2$  e, por consequência um maior tempo do  $\dot{V}O_2$  em valores elevados quando a recuperação é ativa. Thevenet et al. (2007) utilizaram sessões intermitentes que consistiam de períodos repetidos de 30 s de corrida a  $105\%$  da velocidade aeróbia máxima alternados por 30 s de recuperação passiva ou ativa ( $50\%$  da velocidade aeróbia máxima). Os autores não verificaram diferenças em  $t_{90}\dot{V}O_{2\text{max}}$  e  $t_{95}\dot{V}O_{2\text{max}}$  entre o exercício realizado com recuperação passiva ou ativa. Entretanto, quando expressos como percentual do *tlim*, ( $t_{90}\dot{V}O_{2\text{max}}$  e  $t_{95}\dot{V}O_{2\text{max}} \%tlim$ ) foram significativamente maiores para o exercício realizado com recuperação ativa. Os valores de  $\dot{V}O_{2\text{pico}}$  obtidos durante os protocolos intermitentes não foram diferentes do  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  obtido durante o teste incremental. Millet et al. (2003) utilizando protocolos intermitentes com diferentes durações (30:30 s; 60:30 s e  $\frac{1}{2}tlim:\frac{1}{2}tlim$ ) e intensidade de exercício e recuperação de  $100\%$  e  $50\% \dot{V}O_{2\text{max}}$  respectivamente, realizados de modo a obter

um tempo total semelhante para ambas as condições, os autores observaram que o  $\dot{V}O_{2\text{pico}}$  e a  $FC_{\text{pico}}$  foram menores na condição de 30:30 s quando comparado às demais condições. O tempo gasto acima de 90% e 95% do  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  foi significativamente maior nas condições de 60:30 e  $\frac{1}{2}tlim:\frac{1}{2}tlim$ . Os autores verificaram correlação negativa  $tlim$  e tempo (%) do tempo gasto acima de 90% do  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  na condição de 30:30 s. O  $tlim$  apresentou correlação com a diferença do tempo gasto acima de 90%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  entre 60:30 s e 30:30 s e entre  $\frac{1}{2}tlim:\frac{1}{2}tlim$  e 30:30 s. De acordo com os autores, longos intervalos de corrida são associados a maiores períodos de manutenção dos valores de  $\dot{V}O_2$  próximo do máximo.

Com o intuito de avaliar os efeitos da manipulação da relação esforço:pausa nas respostas metabólicas, Nicolò et al. (2013) utilizaram períodos de exercício e recuperação de (40:20 s e 30:30 s) a 135% da potência máxima entremeados por recuperação passiva sendo realizados até a exaustão. Embora os valores de  $\dot{V}O_{2\text{pico}}$  obtidos na condição 40:20 s tenham sido significativamente maiores que aqueles obtidos durante a condição de 30:30 s, os autores verificaram que enquanto o exercício com relação 40:20 s eleva os valores de  $\dot{V}O$  ao máximo em poucos minutos, o exercício com relação de 30:30 s permite a manutenção dos valores moderadamente elevados por longo período.

Diferente dos estudos apresentados que indicam que os valores de  $\dot{V}O_2$  permanecem elevados por maior tempo durante exercícios intermitentes com ciclos curtos de exercício quando comparado ao exercício contínuo de mesma intensidade, em nosso estudo isto não foi evidenciado. Um fator que pode ajudar a explicar este diferente resultado é a maior duração dos períodos de exercício utilizada, o que pode ter permitido um maior aumento do  $\dot{V}O_2$ .

Para Murgatroyd et al. (2011), o  $tlim$  durante exercício de alta intensidade é dependente da interação entre PC e  $W'$ , que é altamente variável entre os sujeitos embora, apresente forte relação inversa entre PC e  $\tau\dot{V}O_2$  e correlação positiva entre  $W'$  e  $\Delta CL$ , normalizados pelo  $tlim$ . Estas condições sugerem que um ajuste rápido do  $\dot{V}O_2$  no início do exercício permite que um estado de equilíbrio seja alcançado em taxas mais altas quando comparado com uma cinética mais lenta e, que a dinâmica do CL contribui para determinar a tolerância ao exercício acima da PC. De acordo com Turner et al. (2006), o ciclos anteriores de trabalho poderiam exercer um efeito prévio de modo a reduzir a elevação do CL nos períodos subsequentes (devido à

vasodilatação, dissociação de O<sub>2</sub> da hemoglobina ou alteração no recrutamento do tipo de fibra) como tem sido reportado para períodos de exercício de alta intensidade e longa duração. Assim, uma alteração na cinética do  $\dot{V}O_2$  poderia alterar a tolerância ao exercício.

Com relação ao estudo da cinética do  $\dot{V}O_2$  verifica-se alguns dados aparentemente antagônicos. Alguns estudos demonstraram que o exercício prévio resulta em uma aceleração “total” da cinética do  $\dot{V}O_2$  durante exercício de alta intensidade subsequente, sendo esta atribuída geralmente a redução da amplitude do componente lento e é normalmente associado ao aumento da amplitude do componente fundamental. No entanto, tem sido verificada também redução do  $\tau$  (tau) da fase II da cinética em alguns estudos (GURD et al., 2005; DeLOREY et al., 2007). De acordo com Scheuermann et al. (2001) o  $\tau$ , a amplitude e o ganho da fase II não foram afetados pelo exercício prévio pesado quando a análise foi realizada utilizando 3 componentes exponenciais. DeLorey et al. (2007) também não verificaram alteração na amplitude da fase II. Nos estudos de DiMenna et al. (2008) e Jones et al. (2008) não foi verificada alteração na cinética do  $\dot{V}O_2$ . DiMenna et al. verificaram que o  $\dot{V}O_{2baseline}$  elevado não altera a cinética da fase II com realização do exercício prévio, embora uma resposta total mais rápida possa ser verificada devido a elevação absoluta da fase II e redução do componente lento.

Chidnock et al. (2012) verificaram redução significativa do *Slope* de acordo com a redução da intensidade abaixo da PC quando este é comparado com o exercício contínuo. Este resultado é similar ao verificado em nosso estudo (Cont - *Slope*: 0,16; Inter - *Slope*: ~0,02). Segundo Chidnock et al. (2012), durante o exercício contínuo no domínio severo, o CL aumenta irrefutavelmente até que o  $\dot{V}O_{2max}$  seja alcançado. Neste domínio, o desenvolvimento do CL e a depleção da *W'* ocorrem ao mesmo tempo, sendo proposto que essas características da resposta fisiológica do exercício severo são mecanicamente relacionadas e ambas poderiam estar relacionadas ao desenvolvimento da fadiga muscular.

Um  $\tau\dot{V}O_2$  mais rápido e um menor  $\Delta CL$  poderia reduzir a taxa de acúmulo do AOD e o alcance do  $\dot{V}O_{2max}$ , permitindo que o exercício possa ser sustentado por mais tempo (MURGATROYD et al., 2011). De acordo com os autores, seus dados suportam uma relação entre o CL e a *W'*. O mecanismo proposto para esta relação seria a ativação de uma “cascata” de eventos que envolvem a depleção dos

substratos musculares, fadiga muscular localizada e subsequente redução na eficiência do trabalho. Esta suposta “cascata” revela a mecânica da relação entre o CL e a  $W'$  que seria: a utilização dos estoques de energia no nível de fosforilação dos substratos; déficit de  $O_2$  relacionado ao acúmulo de substratos; distúrbio da homeostase iônica; fadiga muscular e aumento do *turnover* de ATP e aumento do consumo de  $O_2$  muscular. Estes dados e os dados apresentados por Chidnok et al. (2012) suportam a ideia de que a redução na taxa de incremento do  $\dot{V}O_2$  com o tempo, quando o exercício é realizado acima da PC, resulta em atraso do alcance do  $\dot{V}O_{2max}$  e aumento da tolerância ao exercício.

Em nosso estudo a despeito do maior *tlim* para Inter 1 com recuperação passiva, não foi observada diferença entre o *Slope* para esta condição e as demais condições intermitentes passiva ou ativas. Assim, a redução na taxa de desenvolvimento do CL somente talvez não explicaria a maior tolerância ao exercício observada nesta condição.

## CONCLUSÃO

Acreditamos ser, este trabalho, o primeiro a analisar o efeito da duração dos períodos de esforço e recuperação baseada na resposta da cinética do  $\dot{V}O_2$  a fim de determinar as possíveis influências destas durações de exercício e o tipo de recuperação sobre a cinética do  $\dot{V}O_2$ , a performance e a contribuição energética.

Durante o exercício intermitente submáximo de alta intensidade (domínio severo) a manipulação da duração dos períodos de exercício e da ação na recuperação parece não influenciar o desenvolvimento do CL (*Slope*) de modo que, o  $\dot{V}O_2$  alcança os valores máximos quando da exaustão.

Para uma mesma intensidade de exercício realizado no domínio severo, a realização do exercício de forma intermitente resulta em maior *tlim* quando comparado com o exercício contínuo e, quando os ciclos de trabalhos realizados são curtos, a recuperação passiva apresenta melhor performance. Na recuperação passiva, durante o exercício realizado com ciclos de exercício curtos realizados no domínio severo, a restauração das reservas dos fosfagênios, mais que a remoção de lactato ou outros fatores que podem estar envolvidos durante a recuperação ativa poderiam ser mais importantes para o aumento da tolerância ao exercício.

Com relação à participação dos sistemas de transferência de energia considerando o tempo total de exercício, nas condições intermitentes a contribuição aeróbia e anaeróbia tende a ser maior quando comparado à condição contínua.

De acordo com as condições do presente estudo, a adoção de exercício intermitente no domínio severo deve ser considerada a partir de alguns critérios, tais como o sistema de transferência de energia no qual se pretende a sobrecarga ou o tempo de exercício pois, a manipulação da duração dos períodos de exercício acarretam potenciais diferenças metabólicas e cardiorrespiratórias o que pode, em última instância, gerar adaptações ao treinamento distintas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÅSTRAND, P.O.; SALTIN, B. Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. **J Appl Physiol**, v. 16, p. 971 - 976, 1961.
- BAILEY, S. J. et al. Influence of repeated sprint training on pulmonary O<sub>2</sub> uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. **J Appl Physiol**, v. 106(6), p. 1875 - 1887, 2009.
- BAKER, J. S.; MCCORMICK, M. C.; ROBERGS, R. A. Interaction among skeletal muscle metabolic energy systems during Intense exercise. **J Nutr Metab**, v. 2010, p. 1 - 13, 2010.
- BANGSBO, J. The physiology of soccer-with special reference to intense intermittent exercise. **Acta Physiol Scand Suppl**, v. 619, p. 1-155, 1994.
- BARSTOW, T. J. Characterization of  $\dot{V}O_2$  kinetics during heavy exercise. **Med and Sci Sports Exerc**, v. 26(11), p. 1327-1334, 1994.
- BARSTOW, T. J. et al. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. **J Appl Physiol**, v. 81(4), p. 1642-1650, 1996.
- BELARDINELLI, R. et al. Skeletal muscle oxygenation during constant work rate exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 27(4), p. 512-519, 1995.
- BERGER, N. J. A et al. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38(3), p. 504-512, 2006
- BENEKE, R. et al. Effect of test interruptions on blood lactate during constant workload testing. **Med Sci Sports Exerc**, v. 35(9), p. 1626-1630, 2003.
- BILLAT, V. L.; KORALSZTEIN, J. P. Significance of the velocity at  $\dot{V}O_{2max}$  and time to exhaustion at this velocity. **Sports Medicine**, v. 22(2), p. 90-108, 1996.
- BILLAT, V. L. et al. The  $\dot{V}O_2$  slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. **J Appl Physiol**, Rockville, v. 85(6), p. 2118-2124, 1998.
- BILLAT, V. L.  $\dot{V}O_2$  slow component and performance in endurance sports. **Br J Sports Med**, v. 34(2), p. 83-85, 2000.
- BILLAT, V. L. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle-and long-distance running. Part I: Aerobic Interval Training. **Sports Medicine**. v. 31 (1), p. 13-31, 2001.
- BILLAT, V. L. et al. Effect of training in humans on off- and on-transient oxygen uptake kinetics after severe exhausting intensity runs. **Eur J Appl Physiol**, v. 87(6), p. 496-505, 2002.



BONEN, A.; BELCASTRO, A.N. Comparison of self-selected recovery methods on lactic-acid removal rates. **Med Sci Sports Exerc**, v. 8(3), p. 176-178, 1976.

BORRANI, F. et al. Is the  $\dot{V}O_2$  slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners? **J Appl Physiol**, v. 90(6), p. 2212-2220, 2001.

BURNLEY, M.; DOUST, J. H.; JONES, A. M. Effects of prior heavy exercise, prior sprint exercise and passive warming on oxygen uptake kinetics during heavy exercise in humans. **Eur J Appl Physiol**, v. 87(4-5), p. 424-432, 2002.

BURNLEY, M.; DOUST, J. H.; JONES, A. M. Time required for the restoration of normal heavy exercise  $\dot{V}O_2$  kinetics following prior heavy exercise. **J Appl Physiol**, v. 101(5), p. 1320-1327, 2006.

BURNLEY, M. et al. Influence of blood donation on  $O_2$  uptake on-kinetics, peak  $O_2$  uptake and time to exhaustion during severe-intensity cycle exercise in humans. **Exp Physiol**, v. 91(3), p. 499-509, 2006.

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(1), p. 47-57, 2008.

CARTER, H. et al. Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. **Eur J Appl Physiol**, v. 86(4), p. 347-354, 2002.

CARTER, H. et al. Muscle glycogen depletion alters oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36(6), p. 965-972, 2004.

CARTER, H. et al. Effect of prior exercise above and below critical power on exercise to exhaustion. **Med Sci Sports Exerc**, v. 37(5), p. 775-781, 2005.

CARTER, H. et al. Oxygen uptake kinetics during supra  $\dot{V}O_{2max}$  treadmill running in humans. **Int J Sports Med**, v. 27(2), p. 149-157, 2006.

CHIDNOK, W. et al. Exercise tolerance in Intermittent cycling: application of the critical power concept. **Med Sci Sports Exerc**, v. 44(5), p. 966-976, 2012.

CASABURI, R. et al. Influence of work rate on ventilatory and gas exchange kinetics. **J Appl Physiol**, v. 67(2), p. 547-555, 1989.

CLEUZIQU, C. et al. Oxygen uptake kinetics during moderate and heavy intensity exercise in humans: the influence of hypoxia and training status. **Int J Sports Med**, v. 26(5), p. 356-362, 2005.

CROW, M. T.; KUSHMERICK, M. J. Chemical energetics of slow- and fast-twitch muscles of the mouse. **J Gen Physiol**, v. 79(1), p. 147-166, 1982.

DeLOREY, et al. Prior exercise speeds pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics by increases in both local muscle O<sub>2</sub> availability and O<sub>2</sub> utilization. **J Appl Physiol**, v. 103(3), p.771-778, 2007.

DENADAI, B. S.; GRECO, C. C. **Prescrição do treinamento aeróbio: teoria e prática**. 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

DEMARIE, S.; KORALSZTEIN, J. P.; BILLAT, V. L. Time limit and time at  $\dot{V}O_{2max}$  during a continuous and an intermittent run. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 40(2), p. 96-102, 2000.

DEMARIE, S. et al. Decrease of O<sub>2</sub> deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. **J Appl Physiol**, v. 90(3), p. 947-953, 2001.

DiMENNA, F. et al. Influence of priming exercise on pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics during transitions to high-intensity exercise from an elevated baseline. **J Appl Physiol**, v. 105(2), p. 538-546, 2008.

DiMENNA, F. J. **The influence of muscle fibre recruitment on  $\dot{V}O_2$  kinetics**. 2010. 270 f. Tese (Doutorado em Filosofia por Pesquisa em Ciências do Esporte e Saúde) - Universidade de Exeter, Exeter, 2010.

DODD, S. et al. Blood lactate disappearance at various intensities of recovery exercise. **J Appl Physiol**, v. 57(5), p. 1462-1465, 1984.

DORADO, C.; SANCHIS-MOYSI, J.; CALBET, J. A. L. Effects of recovery mode on performance, O<sub>2</sub> uptake, and O<sub>2</sub> deficit during high-intensity intermittent exercise. **Can J Appl Physiol**, v. 29(3), p. 227-244, 2004.

DUPONT, G.; BLONDEL, N.; BERTHOIN, S. Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery. **Eur J Appl Physiol**, v.89(6), p. 548-554, 2003.

DUPONT, G.; BERTHOIN, S. Time Spent at a high percentage of  $\dot{V}O_{2max}$  for short intermittent runs: active versus passive recovery. **Can J Appl Physiol**, v. 29(Suppl: S3 - S16), 2004.

DUPONT, G. et al. Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36(2), p. 302-308, 2004.

ENDO, M. et al. Kinetics of pulmonary  $\dot{V}O_2$  and femoral artery blood flow and their relationship during repeated bouts of heavy exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 95(5-6), p. 418-430, 2005.

FAWKNER, S.G.; ARMSTRONG, N. Oxygen uptake kinetics response to exercise in children. **Sports Med**, v. 33(9), p. 651-669, 2003.

FRANCH, J. et al. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilator demands. **Med Sci Sports Exerc**, v. 30(8), p. 1250-1256, 1998.

GAESSER, G. A. Influence of endurance training and catecholamines on exercise  $\dot{V}O_2$  response. **Med Sci Sports Exerc**, v. 26(11), p. 1341-1346, 1994.

GAESSER, G. A.; POOLE, D. C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 24, p. 35-70, 1996., 2005.

GEOR, R. J.; MCCUTCHEON, L. J.; INCHCLIFF, K. W. Effects of warm-up intensity on kinetics of oxygen consumption and carbon dioxide production during high-intensity exercise in horses. **Am J Vet Res**, v. 61(6), p. 638-645, 2000.

GERBINO, A.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. **J Appl Physiol**, v. 80(1), p. 99-107, 1996.

GLAISTER, M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. **Sports Medicine**, v. 35(9), p. 757-777, 2005.

GOROSTIAGA, E. M. et al. Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. **Eur J Appl Physiol**, v. 63(2), p. 101-107, 1991.

GRECO, C. C. et al. Is maximal lactate steady state during intermittent exercise cycling different for active compared with passive recovery? **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 37(6), p. 1147-1152, 2012.

GREENWOOD, J. D. Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance. **Journal of Sports Sciences**, v. 26(1), p. 29, 2008.

GUEDES, D. P.; GUEDES, J. E. R. P. **Controle do peso corporal: composição corporal, atividade física e nutrição**. Londrina, PR: Midiograf, 1998.

GUPTA, S. et al. Comparative study of lactate removal in short massage of extremities, active recovery and a passive recovery period after supramaximal exercise sessions. **Int J Sports Med**, v. 17(2), p. 106-110, 1996.

GURD, B. J. et al. Prior heavy intensity exercise speeds  $O_2$  kinetics during moderate-intensity exercise in young adults. **J Appl Physiol**, v. 98(4), p. 1371-1378, 2005.

HAGBERG, J. M.; NAGLE, F. J.; CARLSON, J. L. Transient  $O_2$  uptake response at the onset of exercise. **J Appl Physiol**, v. 44(1), p. 90-92, 1978.

HASELER, L. J. et al. Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on  $O_2$  availability. **J Appl Physiol**, v. 86(6), p. 2013-2018, 1999.

HERMANSEN, L.; STENSVOLD, I. Production and removal of lactate during exercise in man. **Acta Physiol Scand**, v. 86(2), p. 191-201, 1972.

HILL, A. V.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **QJM**, v. 16, p. 135-171, 1924.

HILL, D. W.; SMITH, J. C. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 34(1), p. 23-37, 1994.

HILL, D. W.; POOLE, D. C.; SMITH, J. C. The relationship between power and time to achieve  $\dot{V}O_{2max}$ . **Med Sci Sports Exerc**, v. 34(4), p. 709-714, 2002.

JONES, A. M. et al. 'Priming' exercise and  $O_2$  uptake kinetics during treadmill running. **Resp Physiol Neuro**, v. 161(2), p. 182-188, 2008.

JONES, A. M. et al. Critical power: implications for determination of  $\dot{V}O_{2max}$  and exercise tolerance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 42(10), p. 1876-1890, 2010.

JONES, A. M; et al. Slow Component of  $\dot{V}O_2$  kinetics: mechanistic bases and practical applications. **Med Sci Sports Exerc**, v.43(11), p. 2046-2062, 2011.

KARLSSON, J.; SALTIN, B. Lactate, ATP, and CP in working muscles during exhaustive exercise in man. **J Appl Physiol**, v. 29(5), p. 596-602, 1970.

KROGH, A.; LINDHARD, J. The changes in respiration at the transition from work to rest. **J Physiol**, v. 53(6), p. 431 - 439, 1920.

KRUSTRUP, P. et al. Slow-twitch fiber glycogen depletion elevates moderate-exercise fast-twitch fiber activity and  $O_2$  uptake. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36(6), p. 973-982, 2004.

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(1), p. 53-73, 2002.

LUCÍA, A; HOYOS, J; CHICHARRO, J. L. The slow component of  $\dot{V}O_2$  in professional cyclists. **Br J Sports Med**, v. 34(5), p. 367-374, 2000.

MACDONALD, M. J.; PEDERSEN, P. K.; HUGHSON, R. L. Acceleration of  $\dot{V}O_2$  kinetics in heavy submaximal exercise by hyperoxia and prior high-intensity exercise. **J. Appl. Physiol**, v. 83(4), p. 1318-1325, 1997.

MACDONALD, M. J. et al. Peripheral circulatory factors limit rate of increase in muscle  $O_2$  uptake at onset of heavy exercise. **J. Appl. Physiol**, v. 90(1), p. 83-89, 2001.

McAINCH, A. J. et al. Effect of active versus passive recovery on metabolism and performance during subsequent exercise. **Int J Sport Nutr Exerc Metab**, v. 14(2). p. 185-96, 2004.

MEDBO, J. L. et al. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated  $O_2$  deficit. **J. Appl. Physiol**, v. 64(1), p. 50-60, 1988.

MILLET, G. P. et al.  $\dot{V}O_2$  responses to different intermittent runs at velocity associated with  $\dot{V}O_{2max}$ . **Can J Appl Physiol**, v. 28(3), p. 410-423, 2003.

MIDGLEY, A. W.; McNAUGHTON, L. R.; CARROLL, S. Reproducibility of time at or near  $\dot{V}O_{2max}$  during intermittent treadmill running. **Int J Sports Med**, v. 28(1), p. 40-47, 2007.

MURGATROYD, S. R. et al. Pulmonary  $O_2$  uptake kinetics as a determinant of high-intensity exercise tolerance in humans. **J. Appl. Physiol**, v. 110(6), p. 1598-1606, 2011.

NICOLÒ, A. et al. Neuromuscular and metabolic responses to high-intensity intermittent cycling protocols with different work-to-rest ratios. **Int j Sports Physiol Perform**, 2013. [*ahead of print*]

OZYENER, F. et al. Influence of exercise intensity on the on-and-off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **J Physiol**, v. 533(3), p. 891-902, 2001.

OZYENER, F. et al. Negative accumulated oxygen deficit during heavy and very heavy intensity cycle ergometry in humans. **Aur J Appl Physiol**. v. 90(1-2), p. 185-190, 2003.

PATERSON, D. H.; WHIPP, B. J. Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. **J Physiol**, v. 443, p. 575-586, 1991.

POOLE, D. C. et al. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. **Ergonomics**, v. 31(9), p. 1265-1279, 1988.

POOLE, D. C. et al. Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **J Appl Physiol**, v. 71(4), p. 1245-1260, 1991.

POOLE, D. C. Role of exercising muscle in slow component of  $\dot{V}O_2$ . **Med Sci Sports Exerc**, v. 26(11), p. 1335-1340, 1994.

POOLE, D. C.; RICHARDSON, R. S. Determinants of oxygen uptake. Implications for exercise testing. **Sports Med**, v. 24(5), p. 308-320, 1997.

POOLE, D. C. et al. The final frontier: oxygen flux into muscle at exercise onset. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 35(4), p. 166-173, 2007.

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

PRINGLE, J. S. et al. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity "submaximal" exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. **Eur J Appl Physiol**, v. 89(3-4), p. 289-300, 2003.

ROSSITER, H. B., et al. Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O<sub>2</sub> uptake between the on- and offtransients of moderate- and high-intensity exercise in humans. **J Physiol**, v. 541(3), p. 991-1002, 2002.

ROSSITER, H. B. et al. Effects of dichloroacetate on  $\dot{V}O_2$  and intramuscular 31P metabolite kinetics during high-intensity exercise in humans. **J Appl Physiol**, v. 95(3), p. 1105-1115, 2003.

SCHEUERMANN, B. W. et al. The slow component of O<sub>2</sub> uptake is not accompanied by changes in muscle EMG during repeated bouts of heavy exercise in humans. **J Physiol**, v. 15, p. 245-256, 2001.

SCHEUERMANN, B. W.; BARSTOW, T. O<sub>2</sub> uptake uptake kinetics during exercise at peak O<sub>2</sub> uptake. **J Appl Physiol**, v. 95(5), p. 2014-2022, 2003.

SEILER, S.; HETLELID, K. J. The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. **Med Sci Sports Exerc**, v. 37(9), p. 1601-1607, 2005.

SIGNORITE, J. F.; INGALLS, C.; TREMBLAY, L. M. The effects of active and passive recovery on short-term, high intensity power output. **Can J Appl Physiol**, v. 18(1), p. 31-42, 1993.

SHINOHARA, M.; MORITANI, T. Increase in neuromuscular activity and oxygen uptake during heavy exercise. **Ann Physiol Anthropol**, v. 11(3), p. 257-262, 1992.

SIRI, W. E. Body composition from fluid and density: analysis of methods. In: BROZEK, J., HERSCHEL, A. **Techniques for Measuring Body Composition**, (Eds.) Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, p. 233-244, 1961.

SJØGAARD, G. Exercise-induced muscle fatigue: the significance of potassium. **Acta Physiol Scand**, v. 593, p. 1-63, 1990.

SMITH, T. P.; MCNAUGHTON, L. R.; MARSHALL, K. J. Effects of 4-wk training using V<sub>max</sub>/T<sub>max</sub> on  $\dot{V}O_{2max}$  and performance in athletes. **Med Sci Sports Exerc**, v. 31(6), p. 892-896, 1999.

SOUZA, M. R. et al. Efeito da recuperação na máxima fase estável de lactato sanguíneo. **Motriz**, v. 17(2), p. 311-317, 2011.

SPENCER, M. et al. Metabolism and performance in repeated cycle sprints: Active versus passive recovery. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38(8), p. 1492-1499, 2006.

TAOUTAOU, Z. et al. Lactate kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes. **Eur J Appl Physiol**, v. 73(5), p. 465-470, 1996.

THEVENET, D. et al. Influence of recovery mode (passive vs. active) on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young and endurance-trained athletes. **Eur J Appl Physiol**, v. 99(2), p. 133-142, 2007.

TURNER, A. P. et al. Oxygen uptake and muscle desaturation kinetics during intermittent cycling. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38(3), p. 492-503, 2006.

WASSERMAN, K.; STRINGER, W. W.; CASABURI, R. Is the slow component of  $\dot{V}O_2$  a respiratory adaptation to anaerobiosis? **Adv Exp Med Biol**, v. 393, p. 187-194, 1995.

WHIPP, J.B.; WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. **J Appl Physiol**, v. 33(3), p. 351-356, 1972.

WHIPP, B. J. et al. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. **J Appl Physiol**, v. 52(6), p. 1506-1513, 1982.

WHIPP, B. J. The slow component of  $O_2$  uptake kinetics during heavy exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 26(11), p. 1319-1326, 1994.

WHIPP, B. J.; ROSSITER, H. B.; WARD, S. A. Exertional oxygen uptake kinetics: a stamen of stamina? **Biochem Soc Trans**, v. 30(2), p. 237-247, 2002.

WOMACK, C. J. et al. Slow component of  $O_2$  uptake during heavy exercise: adaptation to endurance training. **J Appl Physiol**, v. 79(3), p. 838-845, 1995.

XU, F.; MONTGOMERY, D. L. Effect of prolonged exercise at 65 and 80% of  $\dot{V}O_{2max}$  on running economy. **Int J Sports Med**, v. 16(5), p. 309-313, 1995.

XU, F.; RHODES, E. C. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports Med**, Auckland, v. 27(5), p. 313-327, 1999.

YOSHIDA, T. et al. Day-to-day changes in oxygen uptake kinetics at the onset of exercise strenuous endurance training. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 64(1), p. 78-83, 1992.

YOSHIDA, T.; WATARI, H.; TAGAWA, K. Effects of active and passive recoveries on splitting of the inorganic phosphate peak determined by  $^{31}P$ -nuclear magnetic resonance spectroscopy. **NMR Biomed**, v. 9(1), p. 13-19, 1996.

ZOLADZ, J. A.; KORZENIEWSKI, B. Physiological background of the change point in  $\dot{V}O_2$  and the slow component of oxygen uptake kinetics. **Journal of Physiol Pharmacol**, v. 52(2), p. 167-184, 2001.