

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS**

**CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO NO DOMÍNIO SEVERO:  
COMPARAÇÃO ENTRE HOMENS E MULHERES SAUDÁVEIS E  
SEDENTÁRIOS**

**PAULO HENRIQUE SILVA MARQUES DE AZEVEDO**

**SÃO CARLOS**

**2007**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

A994cc

Azevedo, Paulo Henrique Silva Marques de.

Cinética do consumo de oxigênio no domínio severo :  
comparação entre homens e mulheres saudáveis e  
sedentários / Paulo Henrique Silva Marques de Azevedo. --  
São Carlos : UFSCar, 2007.  
78 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São  
Carlos, 2007.

1. Exercícios físicos – aspectos fisiológicos. 2. Cinética do  
consumo de oxigênio. 3. Gênero. 4. Teste de esforço. 5.  
Trocias gasosas. I. Título.

CDD: 612.76 (20ª)

Universidade Federal de São Carlos  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas

Defesa de Dissertação de PAULO HENRIQUE SILVA MARQUES DE AZEVEDO

Prof. Dr. Sérgio Eduardo de Andrade Perez.....

Prof. Dr. Cláudio Alexandre Gobatto.....

Profa. Dra. Audrey Borghi e Silva .....

Dedico este trabalho  
Aos meus Filhos Henrique e Vitor  
À minha namorada Andressa Meca  
Aos meus Pais Arquimedes e Maria Augusta  
Fontes de amor, perseverança, dedicação e paciência!

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Sérgio Eduardo de Andrade Perez, pela confiança em meu trabalho.

Aos meus filhos, Vitor e Henrique, por saber compreender a ausência do pai de vocês neste tempo todo, e as horas dedicadas em torno do computador, na busca de um futuro melhor para todos nós! Amo muito vocês!

À minha namorada, Andressa Meca, fonte de amor, dedicação e inspiração. Amo-Te!

Aos meus pais, que com dedicação nestes anos todos me aconselharam, educaram e direcionaram para que este momento especial fosse possível na minha vida.

À minha irmã Ana Paula e ao meu cunhado Alexandre pela moradia, conselhos e orientação na vida, pontos importantes para meu ingresso no mestrado e qualidade de vida.

Ao meu irmão Marco e cunhada Roama, pela ajuda de sempre

Ao Prof. MSc. João Carlos de Oliveira, “amigo é o irmão escolhido”. Obrigado pela ajuda constante e com afinco na coleta de dados, análise e discussões acadêmicas. Nossa caminhada continua, ombro a ombro, sempre!

Ao Prof. Dr. Herbert Gustavo Simões, pelo exemplo de pessoa e pela completa disponibilidade na orientação do meu trabalho, do seu início ao seu final.

Ao Prof. Dr. Vilmar Baldissera, pela disponibilidade, discussões científicas, e constante incentivo à minha carreira acadêmica.

Ao Prof. Dr. Cláudio Alexandre Gobatto, pela paciência e ensinamentos em fisiologia do exercício.

Ao Prof. Dr. Fabrizio Caputo, pelo ensinamento e ajuda na análise da cinética do VO<sub>2</sub>

Ao Prof. MSc Marcel Otavio Cerri pelos ensinamentos da modelação da cinética do VO<sub>2</sub>

Ao Prof. Dr. Roberto Landwehr, um dos meus maiores incentivadores pelo conhecimento científico e pela busca da quebra dos paradigmas em fisiologia do exercício.

Ao Prof. Dr. Victor Manuel Machado de Ribeiro Reis, pela prontidão em me aconselhar quanto às questões técnico-científicas relacionadas à fisiologia do exercício, mais especificamente quanto à cinética do VO<sub>2</sub> e protocolos de teste.

Ao Centro Esportivo Virtual (CEV), e ao seu criador, Laércio Elias Pereira, por proporcionar discussões acadêmicas do mais alto nível em várias temáticas ligadas às Ciências dos Esportes.

Aos estagiários participantes do projeto de pesquisa (Fabio Sawada, Hellen, Daniela, Grazielle, Josiane, Maria Inês), e a secretária do laboratório de fisiologia do exercício, Luciana Fernandes

Ao novo amigo, Mestrando João Elias Dias Nunes, pelas críticas construtivas quanto à minha pesquisa.

Aos voluntários desta pesquisa!

Aos ex-alunos Pedro e Adriana Coube, que sempre me influenciaram e aconselharam positivamente na vida.

A todos que sempre me incentivaram pela busca dos meus sonhos, mesmo quando estes pareciam distantes e impossíveis de serem alcançados, dentre estas pessoas destaco o amigo e irmão Prof. MSc Carlos Alberto Gomes Barbosa

Ao Presidente Fernando Foguinho.

Ao Técnico de Laboratório José Carlos Lopes

Ao CNPq, pelo apoio financeiro à este trabalho

Ao Prof. MSc Valter Brigueti pelo empréstimo do analisador metabólico de gases.

“... nós somos tendenciosos a interpretar as informações repassadas como um paradigma, obscurecendo o real significado da verdade que a informação nos trás. Por este motivo, todo e qualquer paradigma por si só deve ser questionado”

T.D. Noakes (1998).



## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar e comparar a cinética de consumo de oxigênio entre gêneros em corrida no domínio severo. Participaram do estudo nove homens e nove mulheres ( $25,2 \pm 2,6$  anos;  $22,1 \pm 1,8$  anos e,  $77,3 \pm 12,3$  kg;  $58,6 \pm 9,6$  kg, respectivamente). Foi realizado teste incremental em esteira rolante para determinação da velocidade associada ao  $VO_2\text{max}$  ( $vVO_2\text{max}$ ), e corrida até a exaustão ( $T_{lim}$ ) na  $vVO_2\text{max}$  para determinar a cinética do  $VO_2$ . O  $VO_2\text{max}$  ( $3,29 \pm 0,62$  vs  $1,90 \pm 0,39$ ) ( $p \leq 0,0001$ ),  $vVO_2\text{max}$  ( $14,0 \pm 2,0$  vs  $10,0$  ( $3,0$ )  $\text{km.h}^{-1}$ ) ( $p < 0,0108$ ) e a amplitude ( $3,0 \pm 0,7$  vs  $1,8 \pm 0,4$  L/min) ( $p < 0,0003$ ) ( $M \pm DP$ ) foram significativamente maiores para os homens. Não foi detectada diferença estatística entre homens e mulheres para a constante tempo ( $\tau$ ) [ $35,8$  ( $22,3$ ) s vs  $36,5$  ( $6,6$ ) s] ( $p < 0,2973$ ),  $T_{lim}$  [ $271,0$  ( $118,0$ ) vs  $261,0$  ( $73,0$ )] ( $p < 0,6849$ ), tempo para atingir o  $VO_2\text{max}$  ( $T_{AVO_2\text{max}}$ ) [ $142,3$  ( $84,5$ ) s vs  $175,8$  ( $24,6$ ) s] ( $p < 0,2973$ ), % $T_{lim}$  para  $T_{AVO_2\text{max}}$  [ $43,7$  ( $24,4$ ) vs  $72,5$  ( $17,7$ )] ( $p < 0,1903$ ); tempo mantido no  $VO_2\text{max}$  ( $TM_{VO_2\text{max}}$ ) [ $145,1$  ( $72,5$ ) s vs  $64,2$  ( $65,3$ ) s] ( $p < 0,1359$ ), valores expressos pela mediana e amplitude interquartil. Concluimos que a resposta da cinética do  $VO_2$  é semelhante entre homens e mulheres jovens sedentários, apesar do maior valor de  $VO_2\text{max}$  apresentado pelos homens.

**Palavras – chave:** Cinética  $VO_2$ ; Gênero; Domínio Severo

## ABSTRACT

The objective of the present study was to analyse and compare the kinetics of oxygen consumption between groups during running in severe domain. Eighteen healthy and sedentary participants were separated by sex, nine men and women ( $25,20 \pm 2,60$  years;  $22,10 \pm 1,80$  years and,  $77,30 \pm 12,30$  kg;  $58,60 \pm 9,60$  kg, respectively). An incremental test was realized at treadmill to determine the associated speed to  $VO_2\max$  ( $vVO_2\max$ ) and running to exhaustion ( $Tlim$ ) at  $vVO_2\max$  to determine the  $VO_2$  kinetics, with data expressed by average and standard deviation. The  $VO_2\max$  ( $3,29 \pm 0,62$  vs  $1,90 \pm 0,39$  L/min) ( $p < 0,0001$ );  $vVO_2\max$  ( $14 \pm 2$  vs  $10$  (3)  $km.h^{-1}$ ) ( $p < 0,0108$ ); amplitude ( $3 \pm 0,70$  vs  $1,80 \pm 0,40$  L/min) ( $p < 0,0003$ ) was significantly increased to men. There was not detected a statistic difference between men and women to the constant time [ $35,80$  (22,30) s vs  $36,50$  (6,60) s] ( $p < 0,2973$ );  $Tlim$  [ $271$  (118) s vs  $261$  (73) s] ( $p < 0,6849$ ); Target time to achieve  $VO_2\max$  [ $142,30$  (84,50) s vs  $175,80$  (24,60) s] ( $p < 0,2973$ ); % $Tlim$  to  $TAVO_2\max$  [ $43,70$  (24,40) vs  $72,50$  (17,70)] ( $p < 0,1903$ ); time maintained at  $VO_2\max$  ( $TMVO_2\max$ ) [ $145,10$  (72,50) s vs  $64,20$  (65,30) s] ( $p < 0,1359$ ), expressed values by median and interquartil amplitude. We conclude that the  $VO_2$  kinetics is similar between young and sedentary men and women, despite the biggest  $VO_2$  value demonstrated by men. The prescription value to the aerobic intervalled training do not have make off the proposed by literature for medium and high performance athletes.

**Keywords:**  $VO_2$  Kinetics, Gender, Severe Domain

## LISTA DE ABREVIATURAS

[ ] – Concentração

2-3-BPG – 2-3-Bifosfoglicerato

%FIO<sub>2</sub> – Fração inspirada de Oxigênio

[La] – concentração de lactato em mmol.L<sup>-1</sup>

A – Amplitude da resposta do VO<sub>2</sub> em L.min<sup>-1</sup>

ATP – Adenosina Trifosfato

C<sub>a</sub>O<sub>2</sub> – Conteúdo arterial de oxigênio

C<sub>v</sub>O<sub>2</sub> – Conteúdo venoso de oxigênio

COHb – Carboxihemoglobina

CP – Creatina Fosfato

Dmax – Distância máxima percorrida

FC – Frequência cardíaca

H<sup>+</sup> - Íons hidrogênio

HbO<sub>2</sub> – Oxi-hemoglobina

IVO<sub>2</sub>max – Menor intensidade que se obtém o VO<sub>2</sub>max

MCT – Transportador monocarboxilase

MSSL – Máxima fase estável de lactato

NAD – Nicotinamida adenina dinucleotídeo

NADH – Nicotinamida adenina dinucleotídeo reduzida

O<sub>2</sub> – Oxigênio

Pi – Fosfato inorgânico

PC – Potência crítica

PCO<sub>2</sub> – Pressão parcial de dióxido de carbono

pH – potencial hidrogenionico

PO<sub>2</sub> – Pressão parcial de oxigênio

QR – Quociente respiratório

$\tau$  – Constante tempo da cinética do VO<sub>2</sub>. Tempo requerido para alcançar 63% de A

TAI – Treinamento aeróbio intervalado

TAVO<sub>2max</sub> – Tempo para alcançar o VO<sub>2max</sub>

Tlim – Tempo limite. Capacidade do sujeito em sustentar determinado tempo numa dada intensidade de esforço

TMVO<sub>2max</sub> – Tempo mantido no VO<sub>2max</sub>

VE – Volume de sangue ejetado pelo ventrículo esquerdo

VO<sub>2</sub> – Consumo de oxigênio

VO<sub>2max</sub> – Consumo máximo de oxigênio

vVO<sub>2max</sub> – Menor velocidade que se obtém o VO<sub>2max</sub>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>17</b>
2.1 Consumo Máximo de Oxigênio	17
2.2 Cinética do Consumo de Oxigênio	21
2.3 Fases da Cinética do VO <sub>2</sub>	28
2.4 Intensidade associada ao VO <sub>2</sub> max e Tempo de Exaustão na vVO <sub>2</sub> max	30
2.5 Diferença entre gêneros	32
2.6 Efeito do Treinamento na Resposta do VO <sub>2</sub>	33
2.7 Cinética do VO <sub>2</sub> como Parâmetro de Intensidade para Treinamento Intervalado	36
<b>3 JUSTIFICATIVA</b>	<b>42</b>
<b>4 OBJETIVOS</b>	<b>43</b>
4.1 Objetivo geral	43
4.2 Objetivos específicos	43
<b>5 METODOLOGIA</b>	<b>45</b>
5.1 Sujeitos	45
5.2 Caracterização da amostragem	46
5.3 Material	46
5.4 Determinação do VO <sub>2</sub> max, vVO <sub>2</sub> max., Limiar Ventilatório 1 e Limiar Ventilatório 2	47
5.5 Determinação do Tlim na vVO <sub>2</sub> max e de Parâmetros da Cinética do VO <sub>2</sub>	48

<b>6 ANÁLISE ESTATÍSTICA</b>	<b>51</b>
<b>7 RESULTADOS</b>	<b>52</b>
<b>7.1 Correlações</b>	<b>48</b>
<b>8 DISCUSSÃO</b>	<b>57</b>
<b>9 CONCLUSÕES</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade física é um potente e importante estímulo para o aumento da atividade muscular, cárdio - respiratória e vascular. No início do exercício ou de qualquer outra atividade diária (transição repouso – atividade), em resposta ao aumento da intensidade de esforço e a necessidade de ressíntese de ATP nos músculos ativos, o metabolismo energético é acelerado e o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) é aumentado para que possa ocorrer a fosforilação oxidativa nos tecidos, e a conseqüente manutenção do exercício (XU; RHODES, 1999; GRASSI, 2000; DENADAI; CAPUTO, 2003). Contudo a velocidade com que o oxigênio é consumido é menor do que a potência gerada (GRASSI, 2000). O ajuste do metabolismo oxidativo é um dos fatores determinantes da maior ou menor tolerância ao exercício físico. Quanto mais rápido ocorrer o ajuste, menor será o distúrbio celular (GRASSI, 2001). Este ajuste é progressivo e dependente da intensidade, duração, modo de exercício e nível de aptidão física do sujeito, tendo como objetivo alcançar o estado estável, e retomar a homeostasia celular (DENADAI; CAPUTO, 2003). O estudo dos mecanismos fisiológicos responsáveis pela dinâmica da resposta do  $VO_2$  durante o exercício e sua subseqüente recuperação é conhecida como cinética do consumo de oxigênio (JONES; POOLE, 2005).

Tem sido demonstrado que um elevado nível de aptidão aeróbia é necessário para o sucesso em esportes de endurance (BASSET; HOWLEY, 2000; AKALAN; KRAVITZ; ROBERGS, 2004) e que o baixo nível de aptidão aeróbia está associado a um risco aumentado para várias doenças degenerativas (AKALAN;

KRAVITZ; ROBERGS, 2004). Para avaliar este nível de aptidão aeróbia, tem sido sugerido que o  $\text{VO}_2$ , medido por meio da ventilação pulmonar durante o exercício incremental ou de carga constante, é uma variável que reflete o ajuste sistêmico do transporte de  $\text{O}_2$  e do metabolismo muscular (XU; RHODES, 1999), bem como a integração entre os sistemas respiratório, cardíaco, vascular e muscular, responsáveis pela captação, transporte e utilização de  $\text{O}_2$  (GRASSI, 2000).

O estudo das trocas gasosas durante o esforço e, de interesse particular neste estudo, a transição do estado de repouso para exercício de alta intensidade, permite, por um lado, quantificar a produção aeróbia de ATP de forma indireta e, por outro, avaliar a cinética (tempo de resposta) do  $\text{VO}_2$  nesta transição de intensidade de esforço da chamada fase *off* (repouso) para a fase *on* (exercício).

Como consequência do treinamento físico sistematizado, ocorrem adaptações fisiológicas e bioquímicas, levando à melhora no desempenho de tarefas específicas. A natureza e magnitude destas adaptações são dependentes do tipo de atividade realizada, volume, intensidade, carga genética e nível de aptidão inicial. Estas adaptações esperadas só irão ocorrer caso o indivíduo realize atividade física regularmente, e em um nível superior ao seu habitual (MAUGHAN; GLEESON; GREENHAFF, 2000). Um dos meios mais utilizados na busca de melhor condicionamento físico é a corrida submáxima de longa duração (30 a 60 minutos) numa intensidade de 50% a 80% do  $\text{VO}_2\text{max}$ . Este tipo de treinamento parece ser eficiente na melhora da capacidade aeróbia (limiar anaeróbio), porém não tão eficiente para aumentar a potência aeróbia ( $\text{VO}_2\text{max}$ ), de acordo com Gaskill et al. (2001), que não observaram aumentos significativos do  $\text{VO}_2\text{max}$  e sua carga associada após treinamento nas



intensidades abaixo, acima e correspondente ao limiar ventilatório. Contudo, outros métodos de treinamento também podem ser empregados na melhora do condicionamento físico, e dentre estes se destaca o treinamento aeróbio intervalado de alta intensidade (TAI). É atribuído ao TAI a redução da fadiga, aumento da atividade das enzimas aeróbias e anaeróbias, aumento da capacidade tamponante do sistema, aumento da intensidade do limiar anaeróbio, aumento da intensidade do  $VO_2\text{max}$ , e aumento do trabalho muscular total realizado. A magnitude da atividade metabólica durante o exercício intervalado é dependente da intensidade do esforço, e duração das fases de sua execução e pausa (BROCHADO; KOKUBUN, 1997).

Para a prescrição de qualquer atividade física é necessária a determinação da intensidade de esforço, e com o TAI não é diferente. Tem sido sugerido como padrão para determinar a intensidade do TAI, a velocidade associada ao  $VO_2\text{max}$ , ou seja, a menor velocidade ou intensidade que o  $VO_2\text{max}$  é alcançado (BILLAT et al., 1994)

Pesquisadores compararam alguns parâmetros da cinética do  $VO_2$  entre homens e mulheres atletas de endurance. Como esperado, as mulheres apresentaram menores valores de  $VO_2\text{max}$  e da velocidade associada ao  $VO_2\text{max}$  ( $vVO_2\text{max}$ ), com um tempo limite de corrida na  $vVO_2\text{max}$  ( $T_{lim}$ ) maior em relação aos homens, contudo, sem diferenças significantes entre gêneros (BILLAT et al., 1996). A  $vVO_2\text{max}$  corresponde à intensidade de exercício no domínio severo (BILLAT et al., 2000), sendo que a cinética do  $VO_2$  nesta intensidade apresenta característica mono-exponencial (BILLAT et al. 2000; ÖZYENER et al., 2001). A cinética do  $VO_2$  na  $vVO_2\text{max}$  é utilizada para a prescrição do treinamento aeróbio intervalado (TAI) para atletas de elevada e moderada performance (BILLAT et al., 1994).

Frente ao exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar e comparar a cinética do consumo de oxigênio e os valores de referência para a prescrição do treinamento aeróbio intervalado (TAI) entre homens e mulheres jovens sedentários em corrida no domínio severo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Consumo Máximo de Oxigênio ( $VO_2\text{max}$ )

O Consumo Máximo de Oxigênio ( $VO_2\text{max}$ ) pode ser definido como o maior volume de oxigênio por unidade de tempo que um indivíduo consegue captar, transportar e metabolizar para a biossíntese oxidativa de ATP durante exercício máximo (WILMORE; COSTILL, 2001), mesmo que ocorra um aumento na intensidade de esforço (HILL; LONG; LUPTON, 1924). Este paradigma postula que:

1. é o limite superior para o  $VO_2$ ;
2. apresenta diferenças entre os indivíduos nos valores de  $VO_2\text{max}$ ;
3. elevado valor de  $VO_2\text{max}$  é pré-requisito para o sucesso em corridas de média e longa duração;
4. é limitado pela habilidade do sistema cárdio - respiratório no transporte de  $O_2$  aos músculos ativos (BASSET; HOWLEY, 2000).

Este índice fisiológico, de acordo com Denadai; Ortiz; Mello (2004), é o que melhor representa a potência aeróbia, medindo a quantidade máxima de energia que pode ser produzida pelo sistema oxidativo em determinada unidade de tempo. O  $VO_2\text{max}$  é influenciado pela idade, hereditariedade, gênero, composição corporal, estado de treinamento e modo de exercício (AKALAN; KRAVITZ; ROBERGS, 2004).

A performance do sistema fisiológico aumenta com a idade, alcançando seu máximo entre a adolescência e os 30 anos de idade, e após esta idade inicia-se o declínio do desempenho e a queda dos valores de  $VO_2\text{max}$  em cerca de 10% por década. O  $VO_2\text{max}$  de crianças é menor do que o dos adultos devido aos menores volumes de ejeção, de sangue, de hemoglobina além da imaturidade cardíaca, mas isto quando expresso de forma absoluta, porém quando expresso de forma relativa ao peso corporal, o  $VO_2\text{max}$  se torna equiparável (AKALAN; KRAVITZ; ROBERGS, 2004).

Ao analisar o  $VO_2$  em repouso ou exercício, este apresenta modificações severas devido à demanda de  $O_2$  pelos músculos ativos, sendo que estes valores podem ser superiores a 20 vezes àqueles observados em repouso. O caminho que o oxigênio assume da atmosfera até a célula segue uma via denominada “cascata de oxigênio”, termo que subentende concentrações paulatinamente menores desse gás desde o ar inspirado até a sua oferta final à célula. Esse processo envolve 4 etapas principais: 1 - Difusão do ar atmosférico para os alvéolos pulmonares (mecânica respiratória); 2 - difusão dos alvéolos para o sangue (membrana alvéolo-capilar); 3 - transporte pelo sangue até o endotélio capilar no tecido (mediado pela função cardíaca e pelas hemoglobinas) e 4 - difusão do sangue para a célula muscular. As três primeiras fases podem ser chamadas de centrais sendo a última periférica (no músculo).

Para a determinação laboratorial do  $VO_2\text{max}$ , geralmente, utilizam-se provas ergométricas máximas e a determinação é feita de forma direta. O  $VO_2\text{max}$  pode ser expresso de maneira absoluta em litros por minuto ( $L\cdot\text{min}^{-1}$ ) ou relativa à massa corporal por minuto ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (AKALAN; KRAVITZ; ROBERGS, 2004; SILVA; SANTOS, 2004). Os valores do  $VO_2\text{max}$  são afetados pelo modo de exercício, ou seja, é

dependente da massa muscular total envolvida no movimento. Geralmente o  $VO_2\text{max}$  é cerca de 10 a 15% menor em cicloergômetro quando comparado à corrida para sujeitos não ciclistas (AKALAN; KRAVITZ; ROBERGS, 2004).

Este parâmetro fisiológico tem sido utilizado como o modelo padrão na avaliação da aptidão cárdio - respiratória (DENADAI, 2000; GARRET; KIRKENDALL, 2003; AKALAN; KRAVITZ; ROBERGS, 2004), indicador da capacidade de endurance (RIBEIRO, 1995; DENADAI; ORTIZ; MELLO, 2004) e parâmetro para prescrição de treinamento, com seus valores podendo ser modificados pelo treinamento (RIBEIRO, 1995).

Determinações diretas do  $VO_2\text{max}$  realizadas em teste máximo são importantes indicadores do limite superior de tolerância máxima ao exercício aeróbio. Com o incremento da intensidade do esforço existe um aumento linear no  $VO_2$ , até o máximo de  $O_2$  que pode ser consumido pelo organismo, ponto este conhecido como  $VO_2\text{max}$  (LAUGHLIN, 1999). Eventualmente, a uma dada intensidade, a capacidade máxima de transporte de  $O_2$  para os músculos ativos é atingida e o  $VO_2$  entra num platô, ainda que por pouco tempo, apesar de continuar a existir um incremento da carga (HILL; LONG; LUPTON, 1924; LAUGHLIN, 1999). O aumento de carga é suprido pelo metabolismo anaeróbio para a ressíntese de ATP (LAUGHLIN, 1999). O valor de  $VO_2$  obtido nesse platô é considerado o  $VO_2\text{max}$  (SILVA; SANTOS, 2004).

Há controvérsias na literatura quanto à ocorrência ou não do platô do  $VO_2$  num esforço aparentemente máximo (ASTORINO et al., 2000; BASSET; HOWLEY, 2000; ROSSITER; KOWALCHUK; WHIPP, 2006). Astorino et al. (2000) realizaram teste máximo em cicloergômetro para determinar a ocorrência ou não do platô do  $VO_2$

em 16 sujeitos, e encontraram que em todos os sujeitos analisados o platô foi evidente quando os dados de respiração a respiração são tratados com média de 15 segundos ou 11 respirações ( $\Delta VO_2 \leq 50 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Intervalos maiores para a média das respirações subestima os valores de  $VO_{2\text{max}}$ , e ainda, o índice de aparecimento do platô diminui com o aumento do intervalo de tempo para a média das respirações. Portanto, a prevalência do platô do  $VO_2$  é fortemente afetada pela duração específica do intervalo de amostra usado. Quando o platô não é evidente, ao invés de  $VO_{2\text{max}}$ , alguns autores, como Astorino et al. (2000) sugerem o termo  $VO_{2\text{pico}}$ . Segundo Basset; Howley (2000), a não ocorrência do platô pode sugerir que o sistema cardiovascular não seja o fator limitante, mas sim o sistema muscular. Esta constatação é de fundamental importância para a prescrição do treinamento físico, direcionando os objetivos de treino para minimizar o fator limitante.

Para responder a pergunta se o consumo de oxigênio ao final de um exercício incremental até a fadiga é máximo ou pico, Rossiter; Kowalchuk; Whipp (2006) propuseram a realização de um teste de carga constante de 105% da intensidade do  $VO_{2\text{max}}$ , cinco minutos após o final do teste incremental, pois na intensidade acima da obtida num teste incremental para determinação do  $VO_{2\text{max}}$ , o consumo de oxigênio não deve aumentar (HILL; LONG; LUPTON, 1924). Os autores chegaram à conclusão que este procedimento é válido e que mesmo sem ocorrer o platô no consumo de  $O_2$  ao final do exercício, este pode ser chamado de  $VO_{2\text{max}}$ . Este seria o melhor critério para assumir que o  $VO_{2\text{max}}$  foi alcançado. Esta recomendação é diferente dos parâmetros subjetivos encontrados e sugeridos na literatura como a presença do platô do  $VO_2$ ;  $QR > 1.1$ ;  $[La] > 8.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ; frequência cardíaca máxima predita pela idade alcançada (220-idade).

Conforme dito acima os valores de  $VO_2\text{max}$  são aumentados com o treinamento (AKALAN; KRAVITZ; ROBERGS, 2004), e de acordo com Green et al. (1987), indivíduos sedentários e ativos obtiveram melhoras de performance aeróbia e de índices fisiológicos que predizem esta performance, após treinamento aeróbio realizado em intensidades submáximas. Já em indivíduos altamente treinados, um aumento no volume de treinamento aeróbio submáximo não modificou a performance aeróbia e nem suas variáveis fisiológicas associadas (LAKE; KAVANAGH, 1996). A não mudança destes índices e variáveis parece ser devido a uma limitação central da oferta de  $O_2$ , que, segundo Laughlin (1999), Denadai (2000), é influenciada pelo débito cardíaco e pelo conteúdo arterial de  $O_2$ , podendo ser explicado pela equação de Fick:  $VO_2 = (CaO_2 - CvO_2) \times (FC \times VE)$ . Onde:

$CaO_2$  = conteúdo arterial de  $O_2$ ;  $CvO_2$  = conteúdo venoso de  $O_2$ ;  $FC$  = frequência cardíaca;  $VE$  = volume de sangue ejetado pelo ventrículo esquerdo.

## **2.2 Cinética do Consumo de Oxigênio ( $VO_2$ )**

No momento da transição do repouso para o início do exercício, durante os primeiros segundos de atividade, o sistema energético do fosfagênio (ATP – CP) marca acentuadamente a ressíntese do ATP (HUGHSON; TSCHAKOVSKY; HOUSTON 2001) diminuindo sua participação com o prolongamento da atividade. Secundariamente, o sistema anaeróbio láctico é solicitado em maiores proporções, e de acordo com Hughson; Tschakovsky; Houston (2001), a ressíntese do ATP através da

glicólise é dependente das enzimas específicas (i.e. hexoquinase; fosfofrutoquinase) e das mudanças nas concentrações de substratos (i.e. G-6-P, Pi, ADP), e numa intensidade de 50% do  $\text{VO}_2\text{max}$  a fosforilação seria 100% oxidativa. Quando um indivíduo parte da situação de repouso para um exercício de alta intensidade (i.e. 100%  $v\text{VO}_2\text{max}$ ), a taxa de aumento na fosforilação oxidativa é igual a constante tempo ( $\tau$ ) para a cinética do  $\text{VO}_2$ . Quanto mais rápido ocorrerem os ajustes do metabolismo oxidativo, menor será o desgaste e conseqüentemente a fadiga será retardada (GRASSI, 2000; GRASSI, 2001).

O controle da oferta de  $\text{O}_2$  no início do exercício é realizado por feedback, sendo devido a 2 fatores, segundo Hughson, Tschakovsky e Houston (2001):

1. Metabólico: ADP, fosfato inorgânico (Pi), lactato, NADH,  $\text{H}^+$  dentre outros.
2. Afinidade do  $\text{O}_2$  com a hemoglobina ( $\text{HbO}_2$ ): durante o exercício, devido ao aumento da  $\text{PCO}_2$ , 2-3-BPG e das concentrações de  $\text{H}^+$ , a afinidade do  $\text{O}_2$  com a Hb diminui, favorecendo sua maior liberação para os músculos ativos (efeito Bohr).

Segundo Grassi (2000), na ausência de técnicas de medida direta para o estudo da cinética do  $\text{VO}_2$  têm sido utilizadas técnicas que inferem o  $\text{VO}_2$  muscular de humanos, tais como: 1 – extrapolação da cinética do  $\text{VO}_2$  pulmonar ou alveolar; 2 – modelos matemáticos baseados primariamente no  $\text{VO}_2$  pulmonar e alveolar; 3 – determinação por espectroscopia por ressonância nuclear magnética da degradação de fosfo-creatina no início do exercício.

Há um clássico debate sobre os fatores que limitam uma cinética mais favorável de consumo de oxigênio no início da atividade física, do repouso para uma demanda aumentada, em exercícios máximos e submáximos (BASSET; HOWLEY, 2000;



GRASSI, 2000; REIS, 2003; SCHEUERMANN; BARSTOW, 2003). Especula-se sobre a predominância de fatores limitantes de natureza central (pulmão, coração e transporte sanguíneo) ou de natureza periférica, por exemplo, demora para ativação do metabolismo à nova demanda energética (inércia metabólica - fator muscular) (GRASSI, 2001).

Alguns pesquisadores alegam que o principal fator limitante é a nível muscular. Nesta óptica, a limitação do aumento do  $VO_2$  é devido à inércia mitocondrial (disponibilidade do grupo acetil na mitocôndria, determinada pela atividade do complexo da piruvato desidrogenase) (GRASSI, 2000), e a passagem de  $O_2$  do sangue para a célula. Um potente fator limitante é o sarcolema, além da necessidade de uma baixa  $PO_2$  tecidual para que o  $O_2$  vá de uma região de alta pressão para outra de baixa pressão. Estes fatores seriam mais importantes que o sistema de transporte e oferta do  $O_2$ , pois foi notado em alguns estudos que o simples aumento do fluxo sanguíneo não é suficiente para aumentar o consumo de oxigênio (BASSET; HOWLEY, 2000).

A favor desta hipótese, Davies; DiPrampo; Cerretelli (1972) demonstraram que o aumento do débito cardíaco era mais rápido do que o consumo de  $O_2$  na transição repouso para exercício. A  $PO_2$  não diminui significativamente no início do exercício, sugerindo que a disponibilidade de  $O_2$  não limita o metabolismo oxidativo nesta condição inicial da transição repouso – exercício (GRASSI, 2001). Reforçando este fato, na transição do repouso para o exercício, a oferta de  $O_2$  aos músculos aumenta rapidamente, porém a diferença artério-venosa de  $O_2$  demora a aumentar (GRASSI, 2000). Ainda de acordo com Grassi (2001), no início de exercícios submáximos (60%  $VO_{2pico}$ ) o fator limitante principal é a lentidão do metabolismo oxidativo (inércia metabólica). Apesar de, na transição do repouso para intensidade máxima (100%

VO<sub>2</sub>pico), a condução de O<sub>2</sub> para ser entregue aos músculos desempenhar um papel relativamente menor, isso pode ter alguma significância como fator limitante da cinética de O<sub>2</sub>. Portanto, o limiar ventilatório (LV) deve ser considerado como um indicador de intensidade de trabalho que contribui na identificação do fator limitante principal da cinética do VO<sub>2</sub>.

Uma dificuldade importante para se encontrar um denominador comum na interpretação geral dos fatores que limitam a cinética do oxigênio está na sua abrangência, ou seja, o exposto acima parece explicar razoavelmente esforços de músculos localizados (pequena massa muscular), não se aplicando portanto quando uma grande massa muscular estiver ativada. Nessas circunstâncias os elementos centrais devem necessariamente ser considerados.

Assim, uma outra corrente aponta para as variações na captação e transporte de O<sub>2</sub> como elementos limitantes do VO<sub>2</sub>, modulando a velocidade da cinética. Sabe-se que o início do exercício promove uma retirada vagal, com aumento da frequência cardíaca para cerca de 100 a 110 batimentos por minuto, no entanto, observa-se um retardo de aproximadamente 20 segundos no incremento do tônus simpático, o que acarreta um descompasso da função cardíaca com a real necessidade de oxigênio no músculo, ou seja a cinética de VO<sub>2</sub> sofre as conseqüências desse desajuste inicial na frequência cardíaca. Este fato indica uma limitação do transporte de O<sub>2</sub> no início do exercício, o que causa por conseqüência lentidão da cinética do VO<sub>2</sub> (HUGHSON; TSCHAKOVSKY; HOUSTON 2001).

O sistema pulmonar pode ser mais um destes fatores limitantes, principalmente em esforços máximos pois o elevado débito cardíaco em atletas faz com

que as células vermelhas do sangue passem tão rapidamente pelos pulmões, a ponto da sua completa saturação arterial de  $O_2$  ficar comprometida. Outro fator parece ser o débito cardíaco máximo, sendo afetado principalmente pelo volume de ejeção, dado que a frequência cardíaca máxima e a extração de  $O_2$  se alteram pouco (BASSET; HOWLEY, 2000). Ainda de acordo com Basset; Howley (2000), é estimado que 70 a 85% da limitação do  $VO_2$ max seja por conta do débito cardíaco, e que estudos longitudinais mostraram como principal fator de seu aumento o maior débito cardíaco e conseqüente aumento da diferença artério - venosa de  $O_2$ . O aumento na capacidade de transporte e conseqüente oferta de  $O_2$  é devido ao maior número de hemoglobinas, que ocorre como adaptação ao treinamento, aumentando o  $VO_2$ max (BASSET; HOWLEY, 2000).

Objetivando analisar o papel do transporte e difusão do  $O_2$  como fator limitante da cinética do  $VO_2$  Koike et al. (1990) investigaram o efeito do exercício em cicloergômetro durante 6 minutos, nas intensidades de 80% do limiar anaeróbio (domínio moderado), e 40% da diferença entre o limiar anaeróbio e o  $VO_2$ max (domínio pesado). Os exercícios foram realizados em condição normal, e com o nível da carboxihemoglobina (COHb) a 11 e 20%, dado que o monóxido de carbono apresenta maior afinidade à hemoglobina que o  $O_2$ , prejudicando assim o seu transporte e possivelmente sua utilização pelos músculos ativos, atrasando a cinética do  $VO_2$ . O experimento foi conduzido para que houvesse diminuição no conteúdo arterial de  $O_2$ , mas sem queda da  $PO_2$  ao nível pulmonar. Como resultado frente às condições experimentais a constante tempo aumentou significativamente com o aumento do nível de COHb e da concentração de lactato sanguíneo, além da pequena redução no transporte de  $O_2$ . A frequência cardíaca também aumentou em proporção ao aumento do nível da COHb,

possivelmente para compensar a disparidade entre oferta e necessidade de  $O_2$ . A cinética do  $VO_2$  foi mais lenta do que na condição normal, sendo atribuída ao reduzido conteúdo de  $O_2$  arterial e à diferença da  $PO_2$  capilar – mitocondrial, sendo que este efeito na cinética foi mais pronunciado no domínio pesado. Os autores concluíram que a lentidão encontrada na cinética do  $VO_2$  é explicada pela limitação no transporte e difusão de  $O_2$  para as mitocôndrias dos músculos ativos em intensidade moderada, assim como na pesada.

Hepple et al. (1997) analisaram a hipótese de que a capilarização muscular esquelética é determinante no  $VO_{2max}$ , sendo influenciada pela idade, inatividade física e treinamento aeróbio. Para isto sujeitos idosos realizaram treinamento resistido de 9 semanas, seguido de mais 9 semanas de treinamento aeróbio em cicloergômetro. Outro grupo realizou 18 semanas seguidas apenas de treinamento aeróbio. Foi verificada uma possível modificação na capilarização, interface fibra - capilar e no  $VO_{2pico}$ . Observou-se aumento similar do  $VO_{2pico}$ , interface superfície fibra – capilar em ambos os grupos, porém a densidade capilar aumentou significativamente apenas após treinamento aeróbio. Os autores sugerem que a permuta de  $O_2$  entre as fibras e os capilares indicam a capacidade de fluxo de  $O_2$ , demonstrando a importância dos capilares na resposta do  $VO_{2pico}$ .

Têm sido utilizado agentes  $\beta$  – bloqueadores para estudar uma possível limitação do sistema de transporte de  $O_2$  como fator limitante do  $VO_2$ . A administração deste fármaco resulta numa diminuição da velocidade de aumento do débito cardíaco, influenciando a cinética do  $VO_2$ , sugerindo uma limitação em nível do transporte de  $O_2$ . Esta limitação é encontrada comumente em pacientes com resposta lenta da frequência

cardíaca, os cardiopatas, os quais apresentam cinética do  $\text{VO}_2$  mais lenta que sujeitos saudáveis (HUGHSON; TSCHAKOVSKY, 1999).

Engelen; Porszasz; Riley (1996) encontraram um atraso na cinética do  $\text{VO}_2$  durante exercício em cicloergômetro acima do limiar de lactato através de uma diminuição da fração de  $\text{O}_2$  inspirado (hipóxia), aumentando o tempo de resposta, demonstrando assim uma limitação do transporte de  $\text{O}_2$ .

Em intensidades entre 40 e 60% do  $\text{VO}_{2\text{max}}$  há uma estabilização do volume de ejeção sanguíneo pelo ventrículo esquerdo, alcançando seu valor máximo. Por este fato, a resposta da cinética do  $\text{VO}_2$  é mais rápida na transição do repouso para o exercício moderado do que em intensidades maiores. Este atraso na cinética do  $\text{VO}_2$  deve ser compensado pelo aumento exclusivo da frequência cardíaca, diferente da transição repouso – exercício no domínio moderado, em que há contribuição significativa do volume sistólico e da frequência cardíaca, aumentando mais rapidamente o débito cardíaco.

Portanto, fatores que prejudicam o transporte de  $\text{O}_2$  contribuem para a lentidão da cinética do  $\text{VO}_2$  e conseqüentemente na adaptação da fosforilação oxidativa, como no caso do atraso do aumento do débito cardíaco e na condição de hipóxia. Contudo, de acordo com Richardson (2000) a hipóxia tecidual não ocorre, mas os valores alcançados de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  são dependentes da porcentagem de  $\text{O}_2$  inspirado ( $\%\text{FIO}_2$ ), denotando que este índice é realmente limitado pela capacidade de transporte de  $\text{O}_2$ . O maior suprimento de  $\text{O}_2$  eleva o gradiente de pressão, direcionando o  $\text{O}_2$  dos capilares para os tecidos, possibilitando o aumento do  $\text{VO}_2$  tecidual.

### 2.3 Fases da Cinética do VO<sub>2</sub>

Está bem documentado que a resposta do VO<sub>2</sub> durante o exercício é dependente da intensidade de esforço, que tem sido dividida em 3 domínios de intensidade: moderado, pesado e severo (XU; RHODES, 1999; BILLAT et al., 2000; HILL; POOLE; SMITH, 2002; DENADAI; CAPUTO, 2003; JONES; POOLE, 2005). Foi então proposto por estes autores que o domínio moderado compreende as intensidades de esforço realizadas sem modificação significativa na lactatemia em relação aos valores de repouso, e tem como limite superior o limiar de lactato. O domínio pesado começa a partir da intensidade do limiar de lactato, e apresenta a máxima fase estável de lactato (MSSL) como o limite superior, ou ainda a potência crítica (PC). E o domínio severo que corresponde à intensidade de esforço utilizada neste estudo, apresenta como limite inferior de intensidade a MSSL ou a PC. Portanto não há fase estável de lactato. Como limite superior para este domínio, Hill; Poole; Smith (2002) propuseram que fosse adotada a intensidade de exercício em que a duração de esforço fosse tão curta, que o VO<sub>2</sub>max não era atingido. Segundo Denadai; Caputo (2003), esta intensidade é de 136% da potência máxima atingida durante um teste incremental na bicicleta ergométrica.

Segundo Jones; Poole (2005), a cinética do VO<sub>2</sub> é diferente nestes três domínios, e apresenta ainda três fases fisiológicas distintas, expressas por modelos matemáticos, a saber:

Fase I – conhecida como fase cardiodinâmica, representa os primeiros 15-25 segundos de exercício, e o aumento do VO<sub>2</sub> se deve ao aumento no trabalho cardíaco (XU; RHOADES, 1999; JONES; POOLE, 2005) e da perfusão sanguínea nos alvéolos

(BARSTOW; MOLÉ, 1991). Esta fase geralmente é excluída dos ajustes exponenciais utilizados para descrever a cinética do  $VO_2$  (DENADAI; CAPUTO, 2003; SILVA; OLIVEIRA, 2004). Melhor visualizado quando a transição de intensidade de esforço é feita a partir do repouso do que quando é feita a partir de uma intensidade menor para outra maior.

Fase II – nesta fase há o contínuo aumento do retorno venoso e maior extração periférica de  $O_2$ . Reflete as mudanças no metabolismo oxidativo muscular e a chegada aos pulmões de sangue proveniente da musculatura ativa e, portanto, com menor conteúdo de  $O_2$  (BARSTOW; MOLÉ, 1991). É sugerido que esta fase, dependendo do domínio analisado, o  $VO_2$  pode apresentar um componente lento ou ainda dois componentes, sendo um primário seguido de um lento (DENADAI; CAPUTO, 2003). Na intensidade associada ao  $VO_{2max}$ , a cinética do  $VO_2$  volta a apresentar característica mono-exponencial (BILLAT et al., 2000; SILVA; OLIVEIRA, 2004).

Fase III – na intensidade de esforço correspondente ao domínio moderado o  $VO_2$  estabiliza, geralmente por volta de 3 minutos, e praticamente não varia até o final do esforço, representando uma estabilização metabólica, sendo esta a principal característica da fase III (BARSTOW; MOLÉ, 1991). Contudo, em intensidades acima do limiar de lactato o  $VO_2$  se encontra acima do predito pela relação  $VO_2$  – carga. O oxigênio consumido a mais é denominado componente lento do  $VO_2$ . No domínio severo, há uma tendência do  $VO_2$  aumentar progressivamente até atingir o  $VO_{2max}$  determinado em teste incremental (DENADAI; CAPUTO, 2003; SILVA; OLIVEIRA, 2004), não ocorrendo portanto o componente lento de  $VO_2$  (BILLAT et al., 2000), explicando a

utilização do modelo matemático mono-exponencial para análise da cinética do  $\text{VO}_2$  neste domínio de intensidade.

#### **2.4 Intensidade associada ao $\text{VO}_2\text{max}$ ( $\text{IVO}_2\text{max}$ ) e Tempo de Exaustão na $\text{vVO}_2\text{max}$ ( $\text{Tlim}$ )**

A intensidade do  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $\text{IVO}_2\text{max}$ ) pode ser definida como sendo a velocidade ou potência em que se obtém o  $\text{VO}_2\text{max}$  em teste incremental (BILLAT et al, 1994; DENADAI, 2000). Como o presente estudo utilizou a corrida como modo de exercício, é de interesse particular a velocidade associada ao  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $\text{vVO}_2\text{max}$ ). Segundo Denadai (2000), a  $\text{IVO}_2\text{max}$  é o índice que melhor representa a associação entre economia de movimento e a potência aeróbia máxima, diferenciando sujeitos que apresentam valores homogêneos de  $\text{VO}_2\text{max}$ , porém com valores diferentes da  $\text{IVO}_2\text{max}$ . Este índice pode ser usado como forma de predição da performance aeróbia. O critério para determinar a  $\text{IVO}_2\text{max}$  é a menor velocidade em que o  $\text{VO}_2\text{max}$  é alcançado num teste incremental (BILLAT et al., 1994; HILL; ROWELL, 1996; DENADAI, 2000).

O Tempo limite ( $\text{Tlim}$ ), chamado por alguns autores de  $\text{Tmax}$ , representa o tempo máximo que o sujeito consegue manter em exercício de carga constante, e é dependente da intensidade do esforço (BILLAT et al., 2000). Essa variável apresenta grande variabilidade entre indivíduos e tipos de exercício. Na  $\text{IVO}_2\text{max}$  tem sido encontrado um  $\text{Tlim}$  entre 2 minutos e 30 segundos à 10 minutos (DEMARIE; KORALSZTEIN; BILLAT, 2000). Além do  $\text{Tlim}$ , é importante a porcentagem do  $\text{Tlim}$



em que o  $VO_2\text{max}$  é alcançado ( $TAVO_2\text{max}$ ). Billat et al. (2000) demonstraram que a cinética do  $VO_2$  na  $vVO_2\text{max}$  apresenta característica mono-exponencial, e que nesta intensidade todos os sujeitos alcançaram o  $VO_2\text{max}$ , sendo que o  $TAVO_2\text{max}$  foi de  $54,7 \pm 26\%$  do  $Tlim$ . O  $Tlim$  e o  $TAVO_2\text{max}$  apresentam grande utilidade na prescrição do treinamento aeróbio de característica intervalada de maneira individualizada (BILLAT et al., 1994; BILLAT et al., 2000; DENADAI, 2000).

Apesar das controvérsias na literatura, alguns autores encontraram correlação inversa entre  $Tlim$  e  $IVO_2\text{max}$  em corredores de elite de longa distância (BILLAT et al., 1994; BILLAT et al., 1996). Billat et al. (1996) encontraram correlação positiva entre  $Tlim$  na  $vVO_2\text{max}$  e déficit acumulado de oxigênio para atletas homens, porém não para as mulheres. Demonstraram ainda correlação positiva entre  $Tlim$  na  $vVO_2\text{max}$  e  $VO_2\text{max}$  para mulheres, mas não para homens. Estes dados sugerem que o  $Tlim$  na  $vVO_2\text{max}$  é dependente das características aeróbia das mulheres e capacidade anaeróbia para homens.

Messonnier et al. (2002) investigaram a relação entre efluxo de lactato e habilidade para sua remoção, assim como a aptidão para exercício intenso prolongado na  $IVO_2\text{max}$  em cicloergômetro em 13 sujeitos não treinados (3 mulheres e 10 homens). O  $Tlim$  encontrado foi na média  $328 \pm 19$  s (192 a 438 s), e a concentração de lactato 3 minutos após o esforço de  $14,2 \pm 0,8$   $\text{mmol.L}^{-1}$ . Foi encontrada correlação positiva entre  $Tlim$  e efluxo de lactato, mostrando uma grande habilidade para manter o pH em níveis próximos ao normal visto que com a saída de uma molécula de lactato via transportador monocarboxilase (MCT), outra de íon  $H^+$  também sai, via co-transporte, retardando desta

maneira a fadiga. Ou seja, quem apresentava maior  $T_{lim}$  era mais hábil para remover lactato do músculo para o sangue.

## 2.5 Diferença Entre Gêneros

Há uma grande diferença na potência aeróbia entre gêneros. Homens adultos apresentam cerca de 20 a 30% a mais nos valores de  $VO_2max$  em relação a mulheres (WILMORE; COSTILL, 2001). Tal diferença está aparentemente relacionada com a composição corporal, que na mulher adulta apresenta cerca de 10% a mais de gordura corporal total (aproximadamente 25% gordura corporal), e os homens (aproximadamente 15% gordura corporal) maior quantidade de massa magra, os quais necessitam de mais  $O_2$  para a biossíntese oxidativa de ATP (WILMORE; COSTILL, 2001; AKALAN; KRAVITZ; ROBERGS, 2004). Importante também nesta diferença é o fato de os homens apresentarem maiores concentrações de hemoglobina do que as mulheres e maior volume de sangue total, o que garante que mais  $O_2$  seja carregado e ofertado aos tecidos.

A  $IVO_2max$  geralmente é mais elevada em homens do que em mulheres. Este fato parece estar relacionado ao menor valor de  $VO_2max$  alcançado pelas mulheres, e também à maior economia de movimento exibida pelos homens (DENADAI, 2000). No estudo de Billat et al. (1996), como esperado, as mulheres apresentaram menor valor de  $VO_2máx$  ( $63,2 \pm 4,2$  vs  $77,7 \pm 6,4$  mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>), de  $vVO_2max$  ( $17,28 \pm 0,70$  vs  $20,88 \pm$

1,08 km.h<sup>-1</sup>) e um Tlim maior ( $421 \pm 129$  vs  $367 \pm 118$  s) em relação aos homens, porém não foi detectada diferença significativa no Tlim na vVO<sub>2</sub>max entre gêneros.

## 2.6 Efeito do Treinamento na Resposta do VO<sub>2</sub>

A prática de exercícios aeróbios realizados de forma sistemática é importante componente da aptidão física relacionada à saúde. É atribuída a este tipo de exercício a melhora na tolerância à glicose, redução da resistência periférica à insulina, diminuição do colesterol circulante, a redução da gordura corporal, e aumento da capacidade funcional relacionada à captação, transporte e utilização de O<sub>2</sub>.

Estudos que analisaram o efeito do treino na cinética do VO<sub>2</sub>, especialmente o treinamento de endurance, demonstraram uma adaptação positiva aumentando a velocidade da cinética, reduzindo o período de adaptação a transições de intensidade, e acelerando a obtenção do estado estável do consumo de oxigênio.

A cinética do VO<sub>2</sub> apresenta algumas características, segundo Grassi (2001):

1. mais rápida em sujeitos treinados;
2. adaptação após poucos dias de treinamento (maior velocidade da cinética do VO<sub>2</sub>);
3. velocidade da cinética é mais lenta em sujeitos sedentários;

4. maior velocidade quando recrutadas fibras Tipo I (oxidativas) do que Tipo II (glicolíticas);
5. maior velocidade em crianças quando comparado a adultos;
6. mais lenta em idosos do que em jovens quando submetidos a exercício de ciclismo, porém não quando utilizados os músculos solicitados no dia-a-dia;
7. mais lento em sujeitos com doenças cardio-respiratórias, cardíaca, diabetes tipo II, transplante de coração e de pulmão quando comparado a jovens sedentários.

É sugerido portanto, que o aumento da velocidade da cinética do  $VO_2$  resulta do efeito combinado do treino aeróbio tanto no transporte do  $O_2$ , como também da sua utilização, ampliando a capacidade de geração de ATP via fosforilação oxidativa. Além dos fatos supracitados o treinamento específico do metabolismo aeróbio adapta as fibras de características essencialmente anaeróbias, produzindo nestas características oxidativas.

O treinamento aeróbio induz à adaptações principalmente sobre os sistemas cardiovascular e respiratório. Estas adaptações positivas são o aumento do volume cardíaco, aumento do volume plasmático sanguíneo, diminuição da frequência cardíaca de repouso, maior volume de ejeção, maior força de contratilidade do miocárdio, maior débito cardíaco, maior extração de  $O_2$ , aumento do fluxo sanguíneo, dentre outros (MAUGHAN; GLEESON; GREENHAFF, 2000).

Millet et al. (2002) analisaram a possibilidade do treinamento apenas de endurance, e o de força associado ao de endurance (treinamento concorrente) em triatletas bem treinados interferirem na cinética do  $VO_2$  e na economia de corrida, visto

que esta variável é útil na predição de performance. O grupo endurance (E) realizou apenas corridas na intensidade de 70% do  $\text{VO}_2\text{max}$ . O grupo de treinamento concorrente (TC) realizou corrida a 70% do  $\text{VO}_2\text{max}$  associado a treino resistido de força máxima 2 vezes na semana, com 3-5 séries de 3-5 repetições, e carga acima de 90% de 1-RM. Ambos os grupos treinaram por 14 semanas no período de base dos atletas, período este em que não competiram. A cinética do  $\text{VO}_2$  foi analisada na intensidade severa, chamada pelos autores de velocidade  $\Delta 25\%$ , onde  $\Delta 25\% = \text{VO}_2\text{LV2} + 0,25 \times (\text{VO}_2\text{max} - \text{VO}_2\text{LV2})$ . O grupo que realizou o TC aumentou significativamente a  $v\text{VO}_2\text{max}$ , apresentou maior economia de corrida, gastando menos energia que o grupo E. A amplitude da componente lenta não alterou entre os grupos, porém o grupo TC apresentou menor constante tempo (deslocando a curva para a esquerda) na fase II e III da cinética do  $\text{VO}_2$  quando comparado ao grupo E. Não houve mudança significativa na cinética do  $\text{VO}_2$  em ambos os grupos, apesar do aumento da velocidade associada ao  $\text{VO}_2\text{max}$ . Este fator associado a nenhuma mudança nos parâmetros fisiológicos centrais (coração) levou os autores a sugerirem que o principal fator limitante da performance é o periférico.

Com o objetivo de analisar a influência do treinamento na constante tempo ( $\tau$ ) Koppo; Bouckaert; Jones (2004) compararam 7 ciclistas ( $\text{VO}_2\text{max} = 66,6 \pm 2,5 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) e 8 sujeitos sedentários ( $\text{VO}_2\text{max} = 42,9 \pm 5,1 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) a pelo menos 2 anos. Foi realizado teste de carga constante na intensidade de 60 e 80% do limiar ventilatório, e na intensidade de  $\Delta 50\%$ . A amplitude da resposta do  $\text{VO}_2$ , expresso em  $\text{mLO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{w}^{-1}$ , foi maior para os sujeitos treinados nas três intensidades. A constante tempo mostrou-se maior em função da intensidade em ambos os grupos, mas foi menor no grupo treinado para todas as intensidades, o que significa uma maior velocidade da

cinética do  $\text{VO}_2$ . A explicação destas diferenças, feita pelos autores, é a de que sujeitos sedentários apresentam menor densidade capilar. Outro fator seria o recrutamento de fibras Tipo II (princípio do tamanho) na intensidade acima do limiar ventilatório, gastando mais ATP por unidade de tempo, causando uma lentidão da cinética do  $\text{VO}_2$ . O aumento da velocidade da cinética do  $\text{VO}_2$  como adaptação ao treinamento é explicada, fisiologicamente, pelas diferenças e/ou mudanças nos tipos de fibras, aumento da densidade mitocondrial, melhora na atividade das enzimas oxidativas, maior oferta de  $\text{O}_2$ , aumento na densidade capilar e na perfusão muscular. Foi concluído que o treinamento promove um aumento da velocidade do consumo de oxigênio em direção ao estado estável, e que a lentidão da cinética do  $\text{VO}_2$  em intensidade acima do limiar ventilatório é devida a fatores como o recrutamento de fibras de alto limiar.

## **2.7 Cinética do $\text{VO}_2$ como Parâmetro de Intensidade para Treinamento Intervalado**

Vários parâmetros são usados para prescrição da intensidade de treinamento como o limiar anaeróbio e potência crítica, e mais recentemente a  $\text{IVO}_2\text{max}$  (SMITH; McNAUGHTON; MARSHALL, 1999; CAPUTO; DENADAI, 2005), que é definida como a mínima velocidade de corrida ou qualquer outro esforço em que se atinge o  $\text{VO}_2\text{max}$  (BILLAT, 2002). A determinação da  $\text{IVO}_2\text{max}$  também serve para prever performance em corridas de 1500 a 5000 metros (SMITH et al., 1999; DENADAI; ORTIZ; MELLO 2004).

Uma opção para o aumento dos valores do  $VO_2\text{max}$  e da intensidade a ele associada, é o treinamento intervalado de característica aeróbia (DEMARIE; KORALSZTEIN; BILLAT, 2000). Este tipo de treinamento aumenta a contribuição do sistema oxidativo na ressíntese de ATP, e aumenta o tempo até a exaustão se instalar ( $T_{lim}$ ) (HARMER et al, 2000; SILVEIRA; DENADAI, 2002) por aumentar a eficiência da ATPase Na/K na célula muscular. O treinamento reduz a concentração de  $K^+$  no plasma sanguíneo venoso e arterial. O aumento da performance em exercício de alta intensidade está relacionado com o incremento do transporte de lactato e íon  $H^+$  do músculo para o sangue, devido ao aumento dos transportadores MCT1 e MCT4, além do aumento do número de trocador  $Na^+/H^+$  (MAcDOUGALL et al., 1998; NORDSBORG; BANGSBO; PILEGAARD, 2003). Como benefício decorrente do treinamento de alta intensidade temos o aumento da atividade das enzimas glicolíticas, dentre elas a fosfofrutocinase (PFK) (MAcDOUGALL et al., 1998; HARMER et al., 2000). Por outro lado a enzima PFK tem sua atividade diminuída em decorrência do treinamento em intensidade submáxima e de longa duração (NORDSBORG; BANGSBO; PILEGAARD, 2003). Além da atividade das enzimas oxidativas e anaeróbias aumentarem no período pós-treino intervalado intenso (MAcDOUGALL et al., 1998; HARMER et al., 2000), há aumento também do  $VO_2\text{max}$  e da atividade da bomba  $Na^+/K^+$  (MAcDOUGALL et al., 1998).

Para que estas adaptações sejam conseguidas o estímulo deve ser adequado e otimizado, e para que isto efetivamente aconteça três princípios do treinamento esportivo devem ser respeitados: a interdependência volume x intensidade, a especificidade, e a individualidade biológica. O volume e a intensidade de treinamento

para a obtenção deste objetivo deve ser aquele que permita realizar o esforço na intensidade associada ao  $VO_2\text{max}$  de cada sujeito, e/ou que permita que o  $VO_2\text{max}$  seja alcançado (SMITH; McNAUGHTON; MARSHALL, 1999; DEMARIE; KORALSZTEIN; BILLAT, 2000; LAURSEN, et al., 2002; CAPUTO; DENADAI, 2005;), priorizando o treinamento qualitativo em detrimento do quantitativo (DEMARIE; KORALSZTEIN; BILLAT, 2000). A vantagem de utilizar o treinamento intervalado de alta intensidade em relação ao contínuo, segundo Smith; Mcnaughton; Marshall (1999), é que este tipo de treino permite maior desempenho nos treinos e menor fadiga.

Para que o treinamento seja o mais próximo possível do ideal alguns parâmetros devem ser levados em consideração (LAURSEN et al., 2002):

1. a  $vVO_2\text{max}$  que é utilizada para individualizar a intensidade de treino;
2.  $T_{lim}$  que é utilizado para individualizar a duração de cada esforço;
3. o tempo de corrida na  $vVO_2\text{max}$  entre 50 e 70% do  $T_{lim}$ .

O estudo de Laursen et al. (2002), levou à conclusão de que estímulos na  $IVO_2\text{max}$ , com tempo de 60% do  $T_{lim}$  e recuperação de 65% da frequência cardíaca máxima são bons parâmetros para a prescrição do treinamento intervalado intenso, porém este intervalo não foi diferente estatisticamente da pausa com tempo fixo.

Objetivando analisar o efeito do treino individualizado na  $vVO_2\text{max}$  em atletas de endurance no período de quatro semanas, Smith; McNaughton; Marshall (1999) submeteram 5 atletas a treinar de maneira periodizada em intensidade de 60 a 75% do  $T_{lim}$ , 2 vezes na semana, com um dia de corrida recuperativa de 30 minutos a 60% da  $vVO_2\text{max}$ . Esses autores encontraram diminuição no tempo de corrida dos 3000 metros e



conseqüente aumento da velocidade média. O  $\text{VO}_2\text{max}$  aumentou de  $61,50 \pm 2,90$  para  $64,45 \pm 2,19 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , a velocidade Pico de  $20,60 \pm 0,92$  para  $21,60 \pm 0,92 \text{ km.h}^{-1}$ , a  $v\text{VO}_2\text{max}$  foi de  $20,50 \pm 0,87$  para  $21,30 \pm 0,80 \text{ km.h}^{-1}$ , e o  $T_{\text{lim}}$  que era de  $225,50 \pm 16,60$  segundos foi para  $300,90 \pm 34,60$  segundos. Portanto, esta é uma excelente ferramenta para prescrição do treinamento com finalidade de aumento da performance aeróbia. Para sujeitos sedentários, os principais benefícios a este tipo de treino seria o retardo da fadiga e o menor volume de treino, os quais são compatíveis com os dias atuais em que o tempo para realizar atividades físicas é escasso e o cansaço físico diário é uma constante.

De acordo com Silveira; Denadai (2002), a via glicolítica é atenuada com o aumento da produção aeróbia de ATP, devido ao aumento das concentrações de citrato intramuscular, potente inibidor da enzima PFK, uma enzima chave da glicólise. Com esta afirmativa, os autores hipotetizaram que o exercício intermitente de característica aeróbia também exerce efeito inibitório na via glicolítica, com menor acúmulo de metabólitos e maior tempo de exaustão. Para confirmar tal hipótese, 8 sujeitos do sexo masculino ( $22,1 \pm 3$  anos) praticantes regulares de ciclismo participaram voluntariamente da pesquisa, e foram divididos em 2 grupos: grupo intermitente e grupo contínuo. Foi determinado o limiar anaeróbio através do protocolo de lactato mínimo. Os sujeitos realizaram 5 esforços contínuos e 5 intermitentes, ambos até a exaustão na intensidade de 10, 20, 30, 40 e 50% acima da intensidade do limiar de lactato. O tempo até a exaustão foi significativamente maior para o grupo intermitente nas cinco intensidades. A concentração de lactato foi significativamente maior em todos os esforços para o grupo contínuo, sugerindo que o exercício intermitente possui forte efeito inibitório sobre a

produção de lactato. A concentração de glicose aumentou significativamente nas intensidades de 20 a 50% no exercício intermitente, contudo, no exercício contínuo não houve alteração em nenhuma das intensidades. A frequência cardíaca não diferiu dentro do grupo ou entre eles. Um resultado importante deste estudo, e que demonstra a importância do treinamento intervalado para sujeitos sedentários, é o de que a percepção subjetiva de esforço é maior em exercício contínuo do que no intermitente. A menor produção de lactato associado ao maior tempo até a exaustão durante exercício intermitente sugere que este induz à uma potente inibição sobre a via glicolítica, seguido de um provável aumento da ressíntese oxidativa de ATP. Os autores concluem que o exercício intermitente constitui-se num importante protocolo de treinamento da via oxidativa.

Foi demonstrado por Harmer et al. (2000) que o treino intervalado de alta intensidade durante sete semanas diminui o distúrbio iônico e metabólico quando comparado a mesma carga no pós-treino. Há diminuição da glicogenólise, da concentração de lactato e da concentração de íons  $H^+$ . O  $T_{lim}$  aumentou, apesar do não aumento do metabolismo anaeróbio, sugerindo a ocorrência de maiores adaptações aeróbias, uma vez houve aumento do  $VO_2max$  em 7% e aumento de 7,5% na  $IVO_2max$ .

Com a intenção de individualizar a duração e a intensidade de esforço Demarie; Koralsztein; Billat (2000) realizaram um estudo para determinar se o  $VO_2max$  poderia ser alcançado na intensidade de 50% da diferença entre o limiar anaeróbio e a  $vVO_2max$  ( $v\Delta 50\%$ ). Quinze atletas de categoria sub-elite, corredores de provas longas participaram do experimento. Foi realizada corrida contínua na  $v\Delta 50\%$ , e corrida intermitente com razão esforço/pausa de 2:1 na  $v\Delta 50\%$ , com duração de 50% do  $T_{lim}$ ,

com pausa de  $\frac{1}{4}$  do Tlim e com velocidade de 50% da  $v\Delta 50\%$ . O  $VO_2$ pico foi maior no exercício intermitente do que no contínuo, sendo que ambos foram mais elevados que o  $VO_2$ max encontrado no teste crescente. O Tlim do teste contínuo foi de  $10:23 \pm 1:26$  min. Na corrida intermitente a soma dos períodos de exercício resultou em  $19:38 \pm 5:10$  min. Tempo no  $VO_2$ max foi de  $5:07 \pm 3:03$  min na corrida contínua e  $10:23 \pm 5:51$  na intermitente. Os autores concluíram que para corredores de sub-elite de longa distância o treinamento intermitente na  $v\Delta 50\%$  é adequada para estimular o  $VO_2$ max. O protocolo intermitente foi mais eficiente que o contínuo, por estimular o metabolismo aeróbio em seus valores máximos por maior período até a exaustão, por produzir elevado  $VO_2$ pico e menor  $\Delta$ Lactato. Concluíram ainda que a prescrição individualizada do exercício pode ser feita por meio de 2 testes, sendo um crescente e outro de carga retangular.

Caputo; Denadai (2005) demonstraram que em triatletas o  $TAVO_2$ max foi mais demorado em cicloergômetro do que em corrida na mesma intensidade ( $IVO_2$ max), apesar da similaridade do  $VO_2$ , Tlim, frequência cardíaca e [La] pico. Apesar disto, o  $TAVO_2$ max ficou em torno de 50% do Tlim em ambos os tipos de exercício.

### 3. JUSTIFICATIVA

Fatores diversos como o tipo de exercício, intensidade do esforço, idade dos sujeitos e condições patológicas (i.e. DPOC, doenças coronarianas) (JONES; POOLE, 2005) parecem influenciar a cinética do  $VO_2$ . Porém, não é de nosso conhecimento que outro estudo tenha investigado a cinética do  $VO_2$  em sujeitos adultos jovens, sedentários e de ambos os gêneros em exercício na  $vVO_{2max}$  (domínio severo) em esteira rolante.

A importância deste estudo está no entendimento dos ajustes da cinética do  $VO_2$  de homens e mulheres com o mesmo nível de condicionamento, em exercício no domínio severo, o que presumivelmente poderia acelerar a cinética do  $VO_2$  para os sujeitos com maiores valores de  $VO_{2max}$ . A cinética do  $VO_2$  na  $vVO_{2max}$  é útil para a prescrição do treinamento aeróbico intervalado (TAI) para atletas de elevada e moderada performance (BILLAT et al., 1994), porém pouco se conhece sobre este parâmetro para sujeitos sedentários, e especialmente se há diferença entre os gêneros.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo analisar e comparar a cinética do consumo de oxigênio e os valores de referência para a prescrição do treinamento aeróbio intervalado (TAI), entre homens e mulheres jovens sedentários em corrida no domínio severo ( $v\dot{V}O_2\text{max}$ ).

### 4.2 Objetivos específicos

- Determinar a cinética do  $\dot{V}O_2$ , verificando se há possíveis diferenças entre gêneros.
- Estudar se há relação entre o  $T_{lim}$  com o  $\dot{V}O_2\text{max}$ , com o limiar ventilatório 1 (LV1), e o limiar ventilatório 2 (LV2), e a  $v\dot{V}O_2\text{max}$  e a constante tempo em corrida no domínio severo.
- Estudar se há relação entre a constante tempo em corrida no domínio severo com: o  $\dot{V}O_2\text{max}$ , o limiar ventilatório 1 (LV1), o limiar ventilatório 2 (LV2) e a  $v\dot{V}O_2\text{max}$ .

- Comparar os valores de referência para a prescrição do treinamento aeróbio intervalado em atletas com os obtidos pelos homens e mulheres sedentários.

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 Sujeitos**

Participaram do estudo nove homens e nove mulheres, sedentários e saudáveis, sem prática de qualquer atividade física há pelo menos 6 meses, com idades entre 20 e 30 anos, não fumantes e sem qualquer impedimento de ordem cardiológica, endócrino-metabólica, cárdio-respiratória ou músculo-articular.

Todos os participantes desta investigação foram informados textualmente e verbalmente dos possíveis riscos e benefícios intrínsecos aos testes realizados e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (anexo IV). A pesquisa foi cadastrada no conselho nacional de pesquisa, sob o protocolo CAAE – 0060.0.135.000-06, e posteriormente aprovada pelo comitê de ética e pesquisa da Universidade Federal de São Carlos (Parecer nº 147/2006).

Aos voluntários desta pesquisa foi oferecido suporte adequado aos que por ventura sofressem danos físicos decorrentes dos exercícios propostos, o que não houve necessidade. Foi também garantida aos participantes a liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sendo que a retirada do consentimento não implicaria em qualquer prejuízo de qualquer natureza ao voluntário.

## 5.2 Caracterização da Amostragem

Os indivíduos foram estudados antropométricamente com auxílio de um estadiômetro do tipo trena da marca Seca® mod. 206 em seguida pesados em uma balança da marca Tanita®, modelo Body Composition Analyzer - TBF310, no modo “standard”, observando sempre 12 hs de jejum prévio, no período entre 10 e 12 hs, com bexiga urinária vazia.

## 5.3 Material

Os testes foram realizados em esteira rolante motorizada (Pro Action BH Fitness – Explorer G. 635 - Alemanha) mantida com inclinação de 1% (JONES e DOUST, 1996). As variáveis respiratórias foram medidas usando o analisador de gases (modelo Aerograph VO2000 - Medical Graphics Corporation, St. Paul, MN 55127-U.S.A.), coletando os gases expirados com média de 20 segundos para o teste incremental. Para o teste de carga constante na  $v\dot{V}O_2\text{max}$  foram coletados os dados pelo método *breath by breath* com média de 3 ciclos respiratórios. Os dados foram processados pelo software Aerograph e posteriormente transferidos para o software Microcal Origin 7.0, Northampton, MA, USA.



Cada voluntário participou de 2 sessões experimentais, realizadas em dias diferentes e consecutivos, sendo orientados a comparecerem aos testes descansados, alimentados e hidratados.

#### **5.4 Determinação do $VO_2\text{max}$ , $vVO_2\text{max}$ ., Limiar Ventilatório 1 e Limiar Ventilatório 2**

Todos os voluntários foram avaliados de acordo com o seguinte procedimento experimental para a determinação do  $VO_2\text{max}$ ., da velocidade associada ao  $VO_2\text{max}$  ( $vVO_2\text{max}$ ), velocidade associada ao limiar ventilatório 1 ( $vLV1$ ), e velocidade associada ao limiar ventilatório 2 ( $vLV2$ ), em teste incremental, a saber: a) aquecimento realizado antes do início do teste, feito à vontade, sem interferência do pesquisador; b) porcentagem de inclinação da esteira durante todos os estágios permaneceu em 1% para simular esforço de corrida/caminhada em terreno plano e ao ar livre (JONES; DOUST, 1996); c) velocidade inicial foi de  $4 \text{ km.h}^{-1}$ , com aumento de velocidade da ordem de  $1 \text{ km.h}^{-1}$ , a cada três (3) minutos; d) o final do teste foi determinado pela exaustão voluntária dos sujeitos, mesmo após incentivo pelo pesquisador, padronizado para todos os sujeitos.

O mais alto  $VO_2$  obtido durante 20 segundos foi considerado como o  $VO_2\text{max}$ . A  $vVO_2\text{max}$  foi considerada como sendo a menor velocidade em que o  $VO_2\text{max}$  foi obtido (BILLAT et al., 2000)

O limiar ventilatório 1 (LV1) foi determinado por meio de três parâmetros ventilatórios: (1) primeira perda na linearidade da ventilação; (2) aumento da curva representativa do equivalente ventilatório de oxigênio ( $VE/VO_2$ ), sem concomitante aumento do equivalente ventilatório de  $CO_2$ ; (3) aumento da fração expirada de oxigênio ( $\%FeO_2$ ). O LV1 foi determinado através de inspeção visual, por 2 pesquisadores experientes e independentes.

O limiar ventilatório 2 (LV2) foi determinado por meio de três parâmetros ventilatórios: (1) segunda perda na linearidade da ventilação; (2) aumento da curva representativa do equivalente ventilatório de  $CO_2$  ( $VE/VCO_2$ ); (3) diminuição da fração expirada de  $CO_2$  ( $\%FeCO_2$ ). O LV2 foi determinado através de inspeção visual, por 2 pesquisadores experientes e independentes.

### **5.5 Determinação do Tlim na $vVO_{2max}$ e de Parâmetros da Cinética do $VO_2$**

No dia seguinte os sujeitos realizaram um teste de carga constante na  $vVO_{2max}$  para determinação do tempo limite (Tlim), tempo para atingir o  $VO_{2max}$  (TAVO<sub>2max</sub>), tempo mantido no  $VO_{2max}$  (TMVO<sub>2max</sub>), distância total percorrida (Dmax) e constante tempo ( $\tau$ ). Os testes de carga constante foram realizados no mesmo horário do teste incremental, com variação de  $\pm 2$  horas (CARTER et al., 2002).

Inicialmente os sujeitos realizaram aquecimento muscular à vontade. Após aquecimento, permaneceram por três minutos em repouso para a coleta dos gases expirados de repouso (basal). A velocidade foi ajustada para a intensidade associada ao

VO<sub>2</sub>max de cada sujeito determinada previamente como descrito acima. Quando atingido o tempo de três minutos de repouso o sujeito se posicionava sobre a esteira rolante, apoiado inicialmente no corrimão da esteira e soltando do mesmo assim que ajustasse sua velocidade de corrida com a da esteira. Neste momento era acionado o cronômetro manual, que era encerrado com a exaustão do sujeito.

O Tlim foi considerado como o tempo total de corrida mantida na vVO<sub>2</sub>max, sendo o tempo expresso em segundos. A cinética de aumento no VO<sub>2</sub> foi descrita por uma função mono-exponencial para os testes de carga constante por meio de um modelo de regressão não-linear (BILLAT et al., 2000) (Microcal Origin 7.0, Northampton, MA, USA) utilizando os dados do VO<sub>2</sub> com média de três (3) ciclos respiratórios:

$$VO_2(t) = VO_2base + A \cdot (1 - e^{-(t/\tau)}) \quad (1)$$

Onde: o VO<sub>2</sub>(t) = consumo de oxigênio em litros por minuto em determinado tempo dado em segundos;

VO<sub>2</sub>base = consumo de oxigênio em litros por minuto ao início de teste;

A = amplitude no consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>assimptota - VO<sub>2</sub>base) em litros por minuto;

(τ) = constante temporal da equação dada em segundos.

O VO<sub>2</sub> foi considerado máximo quando o valor do termo  $(1 - e^{-(t/\tau)})$  a partir da equação 1 fosse igual a 0,99 (i.e. para 99% do valor da A), ou seja com  $t = (4,6 \cdot \tau)$ , assumindo que o VO<sub>2</sub> projetado é igual ao VO<sub>2</sub>max (HILL et al. 2002). Portanto, para cada teste, o TAVO<sub>2</sub>max foi definido como  $4,6 \cdot \tau$ . O tempo mantido no VO<sub>2</sub>max

( $TMVO_2max$ ) foi calculado subtraindo-se o  $Tlim$  do  $TAVO_2max$  (BILLAT et al., 2000).

A distância percorrida foi calculada pelo produto da velocidade pelo tempo.

## 6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi empregada a prova de Shapiro-Wilk's e de Bartlet para verificar a distribuição dos dados e sua variabilidade. Para verificar a influência do gênero sobre as variáveis dependentes com distribuição normal empregou-se o teste t, de Student, não pareado, e os valores expressos em média e desvio padrão. Por sua vez, nas variáveis que não apresentaram distribuição normal utilizou-se o teste estatístico de Mann-Whitney, sendo os valores expressos em mediana e intervalo interquartil. Foi realizada correlação dos dados pelo teste de Spearman para todos os casos. Aceitou-se a significância estatística em  $\alpha \leq 0,05$ . Todo o processamento estatístico foi realizado utilizando-se o ambiente estatístico R (software livre versão 2.3.1, R Development Core Team, 2006).

## 7. RESULTADOS

**Tabela 1. Comparação das variáveis antropométricas entre os gêneros. Os valores são apresentados como média (desvio padrão)**

Variável	Masculino (n = 9)	Feminino (n = 9)	P
<i>Idade (anos)</i>	25,2 (2,6)	22,1 (1,8)	0,011
<i>Massa corporal (kg)</i>	77,3 (12,3)	58,6 (9,6)	0,002
<i>Estatura (cm)</i>	175,6 (7,5)	164,8 (5,4)	0,0034

Pode-se observar nos resultados apresentados na Tabela 1, que os voluntários do gênero masculino eram significativamente mais pesados, altos e com maior idade.

**Tabela 2. Comparação das variáveis da composição corporal entre os gêneros. Os valores são apresentados como média (desvio padrão)**

Variável	Masculino (n = 9)	Feminino (n = 9)	P
<i>Percentual de gordura (%)</i>	16,9 (5,7)	26,7 (5,7)	0,0022
<i>Massa isenta de gordura (kg)</i>	64,0 (10,2)	42,6 (5,2)	0,0001

Além de apresentarem maior massa corporal, os homens tinham um menor percentual de gordura e maior massa isenta de gordura, conforme demonstrado na Tabela .

**Tabela 2. Comparação do Consumo de oxigênio em repouso e máximo entre os gêneros.. Os valores são apresentados como média (desvio padrão)**

Variável	Masculino (n = 9)	Feminino (n = 9)	P
<i>VO<sub>2</sub> repouso (L.min<sup>-1</sup>)</i>	0,33 (0,05)	0,25 (0,12)	0,24
<i>VO<sub>2</sub>max (L.min<sup>-1</sup>)</i>	3,29 (0,62)	1,90 (0,39)	≤0,0001

Em relação ao consumo de oxigênio, verificou-se que durante o repouso ambos os gêneros apresentavam  $VO_2$  semelhantes, por sua vez, o  $VO_{2max}$  dos homens foi significativamente superior aos das mulheres.

**Tabela 3. Comparação da Velocidade e do Percentual da  $vVO_2$  max no LV1, LV2 e  $VO_{2max}$  entre os gêneros. Os dados são apresentados como mediana (amplitude interquartil).**

Variável	Masculino (n = 9)	Feminino (n = 9)	P
<i>Velocidade (km.h<sup>-1</sup>)</i>			
<b>LV1</b>	8,0 (3,0)	6,0 (2,0)	0,054
<b>LV2</b>	12,0 (4,0)	9,0 (2,0)	0,06
<b><math>VO_{2max}</math></b>	14,0 (2,0)	10,0 (3,0)	0,01
<i>Percentual da <math>vVO_{2max}</math> (%)</i>			
<b>LV1</b>	60,0 (16,7)	62,5 (3,6)	0,98
<b>LV2</b>	80,0 (10,7)	81,8 (16,1)	0,44

Conforme indicado na Tabela 3, em geral os homens apresentaram maiores velocidades tanto para capacidade como para potência aeróbia, porém somente para a  $vVO_{2max}$  observou-se uma diferença estatisticamente significante.

**Tabela 4. Comparação do Consumo de oxigênio e do Percentual do  $VO_{2max}$  no LV1, LV2 e  $VO_{2max}$  entre os gêneros. Os valores são apresentados como média (desvio padrão).**

Variável	Masculino (n = 9)	Feminino (n = 9)	P
<i>Consumo de oxigênio (mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</i>			
<b>LV1</b>	26,18 (6,54)	19,37 (4,75)	0,023
<b>LV2</b>	33,54 (4,10)	25,30 (6,82)	0,008
<b><math>VO_{2max}</math></b>	42,66 (4,50)	32,92 (6,03)	0,001
<i>Percentual do <math>VO_{2max}</math> (%)</i>			
<b>LV1</b>	61,7 (14,9)	58,8 (10,6)	0,6487
<b>LV2</b>	79,1 (10,2)	76,4 (12,7)	0,6240

Ao se avaliar a resposta do consumo de oxigênio no LV1, LV2 e  $VO_{2max}$ , verificou-se que os homens apresentaram valores significativamente superiores aos

valores observados para as mulheres, a diferença variou entre 6,8 e 9,7 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>. Porém, ao se considerar o LV1 e LV2 relativos ao VO<sub>2</sub>max, não foram observadas diferenças entre os gêneros.

**Tabela 6. Comparação das variáveis da cinética do consumo de oxigênio entre os gêneros.**

<sup>a</sup> Dados apresentados na forma de média (desvio padrão).

<sup>b</sup> Dados apresentados na forma de mediana (amplitude interquartil).

Variável	Masculino (n = 9)	Feminino (n = 9)	P
<i>VO<sub>2</sub>max (L.min<sup>-1</sup>)</i> <sup>a</sup>	3,8 (0,8)	2,3 (0,4)	≤0,0001
<i>Tlim (s)</i> <sup>b</sup>	271,0 (118,0)	261,0 (73,0)	0,68
<i>TAVO<sub>2</sub>max (s)</i> <sup>b</sup>	142,3 (84,5)	175,8 (24,6)	0,29
<i>TAVO<sub>2</sub>max (%)</i> <sup>b</sup>	43,7 (24,4)	72,5 (17,7)	0,19
<i>TMVO<sub>2</sub>max (s)</i> <sup>b</sup>	145,1 (72,5)	64,2 (65,3)	0,13
<i>Distância (m)</i> <sup>b</sup>	1007,4 (213,1)	775,6 (153,4)	0,007
<i>τ (s)</i> <sup>b</sup>	35,8 (22,3)	36,5 (6,6)	0,29
<i>Amplitude (L.min<sup>-1</sup>)</i> <sup>a</sup>	3,0 (0,7)	1,8 (0,4)	0,0003

Conforme descrito na Tabela 6, os homens apresentaram valores superiores aos das mulheres no VO<sub>2</sub>max, na distância percorrida e na amplitude.

## 7.1 Correlações

**Tabela 7. Matrix de correlação para Tlim e variáveis de velocidade no LV1, no LV2 e no VO<sub>2</sub>max nos gêneros. Os dados são apresentados na forma de correlação (P).**

	vLV1	vLV2	vVO <sub>2</sub> max
<b><i>Tlim</i></b>			
<i>Masculino</i>	-0,12 (0,75)	-0,07 (0,84)	-0,16 (0,68)
<i>Feminino</i>	-0,18 (0,63)	-0,10 (0,79)	-0,54 (0,13)
<i>Geral</i>	-0,10 (0,69)	-0,03 (0,91)	-0,24 (0,33)

Conforme indicado na Tabela 7, o Tlim não apresentou relação com nenhuma das velocidades obtidas no teste incremental, seja ela a vLV1, vLV2 ou vVO<sub>2</sub>max. Tal comportamento foi independente do gênero considerado.



**Tabela 8. Matrix de correlação para Tlim e o percentual das velocidades em relação a vVO<sub>2</sub>max nos gêneros. Os dados são apresentados na forma de correlação (P).**

	vLV1/vVO <sub>2</sub> max	vLV2/vVO <sub>2</sub> max
<b><i>Tlim</i></b>		
<i>Masculino</i>	0,01 (0,98)	0,12 (0,75)
<i>Feminino</i>	0,64 (0,06)	0,86 (0,002)
<i>Geral</i>	0,25 (0,31)	0,49 (0,04)

Conforme descrito na Tabela 8, houve correlação estatisticamente significativa entre o Tlim e o percentual da vVO<sub>2</sub>max que podia ser sustentado no LV2 para as mulheres.

**Tabela 9. Matrix de correlação para Tlim e variáveis de consumo de oxigênio no LV1, no LV2 e no VO<sub>2</sub>max nos gêneros. Os dados são apresentados na forma de correlação (P).**

	VO <sub>2</sub> LV1	VO <sub>2</sub> LV2	VO <sub>2</sub> max
<b><i>Tlim</i></b>			
<i>Masculino</i>	-0,07 (0,88)	-0,01 (0,98)	-0,53 (0,14)
<i>Feminino</i>	-0,42 (0,26)	-0,10 (0,81)	-0,48 (0,19)
<i>Geral</i>	-0,16 (0,53)	0,04 (0,87)	-0,28 (0,26)

Assim como para as velocidades, o Tlim não apresentou correlação com o consumo de oxigênio no LV1, LV2 ou no VO<sub>2</sub>max (Tabela 9).

**Tabela 10. Matrix de correlação para Tlim e o Percentual de consumo de oxigênio no LV1 e no LV2 em relação ao VO<sub>2</sub>max nos gêneros. Os dados são apresentados na forma de correlação (P).**

	VO <sub>2</sub> LV1/VO <sub>2</sub> max	VO <sub>2</sub> LV2/VO <sub>2</sub> max
<b><i>Tlim</i></b>		
<i>Masculino</i>	-0,07 (0,88)	0,17 (0,67)
<i>Feminino</i>	-0,15 (0,70)	0,33 (0,38)
<i>Geral</i>	-0,09 (0,73)	0,23 (0,36)

Pode-se observar que o Tlim não apresentou relação com o percentual do VO<sub>2</sub>max que podia ser sustentado no LV1 e LV2, de acordo com os resultados dispostos na Tabela 0.

**Tabela 11. Matrix de correlação para constante de tempo, no tempo limite, no VO<sub>2</sub>max e no vVO<sub>2</sub>max entre os gêneros. Os dados são apresentados na forma de correlação (P).**

	Tlim	VO <sub>2</sub> max	vVO <sub>2</sub> max
<b><i>T</i></b>			
<i>Masculino</i>	0,88 (0,003)	-0,45 (0,22)	-0,12 (0,75)
<i>Feminino</i>	-0,25 (0,52)	-0,32 (0,41)	-0,51 (0,15)
<i>Geral</i>	0,38 (0,11)	-0,38 (0,11)	-0,31 (0,20)

Na Tabela 1 pode-se verificar que o tau apresentou relação somente com o Tlim em homens. Para as outras variáveis a relação com o tau foi trivial.

## 8. DISCUSSÃO

Os principais achados do presente estudo mostram que, apesar dos maiores valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  dos homens, a cinética do  $\text{VO}_2$  é semelhante entre os gêneros e não influencia diretamente no  $T_{\text{lim}}$ . Os valores encontrados para prescrição do treinamento aeróbio intervalado (TAI) não fogem aos demonstrado pela literatura corrente para atletas de alta e moderada performance.

Scheuermann e Barstow (2003) analisaram a cinética do  $\text{VO}_2$  na intensidade de 100% do  $\text{VO}_2\text{max}$  em cicloergômetro, em sujeitos de ambos os sexos em conjunto, e com características fisiológicas semelhantes a dos sujeitos do presente estudo. Esses autores demonstraram uma amplitude de  $2,165 \pm 517 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , valores estes semelhantes aos apresentados pelas mulheres ( $1,8 \pm 0,4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) no presente estudo, porém menores do que os homens ( $3 \pm 0,7 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ). A diferença entre os gêneros no presente estudo mostrou-se estatisticamente significativa a qual é devida ao maior valor de  $\text{VO}_2\text{max}$  apresentado pelos homens em relação às mulheres (Tabela 3). Scheuermann e Barstow (2003) relacionaram os baixos valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  com a baixa atividade da enzima citrato sintase (CS), ou seja, o  $\text{VO}_2\text{max}$  seria limitado por fatores periféricos (DAVIES, DiPRAMPERO e CERRETELLI, 1972; GRASSI, 2000; GRASSI, 2001), assim como centrais, responsáveis pela oferta de  $\text{O}_2$  aos músculos (HUGHSON, TSCHAKOVSKY e HOUSTON, 2001; BASSET e HOWLEY, 2000; KOIKE et al., 1990; HUGHSON e TSCHAKOVSKY, 1999; ENGELEN, PORSZASZ e RILEY 1996).

Quando um indivíduo parte da situação de repouso para um exercício de alta intensidade (i.e. 100%  $v\text{VO}_2\text{max}$ ), a frequência de aumento na fosforilação oxidativa

é igual a constante tempo ( $\tau$ ) para a cinética do  $VO_2$ . Segundo Korzeniewski; Zoladz (2004), o principal fator determinante do aumento da fosforilação oxidativa é a diminuição da concentração de fosfocreatina e aumento da concentração de creatina livre. Quanto mais rápido ocorrerem os ajustes do metabolismo oxidativo, menor será o desgaste e conseqüentemente a fadiga será retardada (GRASSI, 2000; GRASSI, 2001), devido ao menor déficit de  $O_2$ , pequeno aumento nas  $[H^+]$ , menor utilização do sistema creatina – fosfato e reduzida degradação do glicogênio muscular, sendo que os valores de tau são dependentes também do tipo de fibra muscular e capilarização (PRINGLE et al., 2003). A constante tempo apresenta grande utilidade clínica para diagnosticar doenças cardiovasculares e pulmonares, aptidão física e efeitos do treinamento (MARKOVITZ et al., 2004). Reflete a adaptação da resposta do sistema cardiovascular e muscular à carga de trabalho (MARKOVITZ et al., 2004), sendo que uma lentidão no valor do  $\tau$  indica uma reduzida disponibilidade de oxigênio ou alguma disfunção fisiológica como por exemplo a alcalose respiratória e hipocapnia, que pode ser causada por uma hiperpnéia, resultando num deslocamento da curva de dissociação da oxi-hemoglobina para a esquerda (HAYASHI et al., 1999). A manutenção dos valores do  $\tau$  pós treinamento demonstra ainda que a oferta de  $O_2$  não é o fator limitante, e que a cinética do  $VO_2$  é controlada e/ou limitada por processos intracelulares (CARTER et al., 2002). No presente estudo não houve diferença estatística significativa entre gêneros para o  $\tau$  expresso em segundos (Tabela 6). Os valores ficaram dentro do reportado pela literatura corrente (35 a 50 segundos). Nossos achados, conduzidos em esteira rolante, são superiores aos demonstrados por Scheuermann; Barstow (2003), em exercício no cicloergômetro, que encontraram correlação inversa entre o  $\tau$ ,  $VO_{2max}$  e atividade da CS. Essa diferença pode

ser explicada considerando as diferentes massas musculares envolvidas, ajustes centrais (mecanismo de Frank – Starling) e periféricos (oclusão vascular durante o ato de pedalar), produzidos por modificações posturais e biomecânicas nos diferentes ergômetros. Esta correlação inversa entre  $\tau$  e atividade da CS reforça a teoria da limitação periférica para o  $\text{VO}_2$  (inércia metabólica). Caputo (2006) submeteu 3 grupos distintos a exercício na  $\text{IVO}_2\text{max}$  em cicloergômetro. Grupos de corredores (COR), ciclistas (CIC) e sedentários (SED). Foram demonstrados os seguintes valores do  $\tau$ : SED:  $49,4 \pm 11,8$  s; COR:  $44,2 \pm 8,7$  s; CIC:  $33,1 \pm 9,1$  s. Os valores do  $\tau$  foram semelhantes entre SED e COR porém maiores que CIC, demonstrando adaptações específicas ao ergômetro utilizado no treino e no teste. Em outro estudo Caputo (2003) submeteu quatro grupos distintos à corrida em esteira rolante na  $v\text{VO}_2\text{max}$ , sendo triatletas (TR), corredores (COR), ciclistas (CIC) e sedentários (SED). Os valores de tau expressos em segundos foram de SED:  $58,0 \pm 11,8$ ; COR:  $28,5 \pm 8,5$ ; CIC:  $25,4 \pm 8,4$ ; TR:  $26,9 \pm 5,6$ . O tau para o grupo SED é superior aos apresentados pelos homens e mulheres analisados no presente estudo. Tal diferença talvez seja devida aos analisadores metabólicos de gases utilizados nos estudos. O utilizado por nós faz a análise com média de 3 ciclos respiratórios, o que pode influenciar nos valores reais do tau. Já o equipamento utilizado no estudo de Caputo (2003) realiza medições ciclo a ciclo respiratório. Os menores valores do  $\tau$  apresentados pelos sujeitos treinados em relação aos sedentários podem ser devidas às adaptações específicas ao ergômetro usado nos treinos e avaliações, às adaptações periféricas e centrais advindas do treinamento sistematizado, à genética, e possivelmente à maior porcentagem de fibras do tipo I (HAN et al., 2003), dado este corroborado por Short et al. (2005) que

demonstraram em um estudo de 16 semanas que o treinamento de endurance resulta numa maior expressão gênica da miosina de cadeia pesada I e IIa.

O treinamento sistematizado pode acelerar a cinética do  $VO_2$ , refletida pelos menores valores do  $\tau$ , como demonstrado por Smith, McNaughton; Marshall (1999), Koppo; Bouckaert; Jones (2004) e Berger et al. (2006). Diferentemente de Millet et al. (2002) que não observaram mudanças no  $\tau$  após treinamento de endurance ou endurance combinado com resistido durante 18 semanas. Entretanto foram observados aumentos nas velocidades associadas ao  $VO_{2max}$  e  $LV_2$ , sugerindo desta forma a limitação periférica para a cinética do  $VO_2$  e para a performance. Conhecendo-se a origem da limitação da performance o treinamento pode ser direcionado para minimizá-la. Um dos principais métodos de treinamento para aumentar a atividade das enzimas aeróbias e anaeróbias, o fluxo sanguíneo local e maior extração de  $O_2$  (KRUSTRUP; HELLSTEN; BANGSBO, 2004) e conseqüentemente acelerar a cinética do  $VO_2$ , é o treinamento intervalado. Neste tipo de treinamento o  $VO_2$  deve alcançar seu valor máximo para cada sujeito e ser mantido por longos períodos. Em nosso estudo não foi encontrada correlação entre o  $\tau$  e o  $VO_{2max}$  (Tabela 11), assim como observado por Berger et al. (2006) com ciclistas em exercício no domínio severo pós-treinamento. Este fato sugere que o valor do  $VO_{2max}$  não é fator determinante do  $\tau$ . Os resultados do presente estudo mostram uma correlação positiva entre o  $\tau$  e o  $T_{lim}$  para homens (Tabela 11), o que poderia indicar uma dependência maior dos homens ao metabolismo anaeróbio para suportar exercício de alta intensidade (i.e.  $vVO_{2max}$ ). No grupo das mulheres nenhuma correlação foi encontrada.

O  $T_{lim}$  representa o tempo máximo que o sujeito consegue manter uma atividade física antes da instalação da fadiga, sendo dependente de 5 fatores: a)  $VO_{2max}$ ;

b) limiar anaeróbio; c) eficiência mecânica; d) constante tempo para o  $\text{VO}_2$  ( $\tau\text{VO}_2$ ) (MARKOVITZ et al., 2004); e) capacidade anaeróbia refletida pelo déficit acumulado de oxigênio (FAINA et al., 1997; CARTER et al., 2006). Exercícios de alta intensidade levam à fadiga em poucos minutos, devido ao recrutamento das fibras musculares tipo II, que possuem reduzida capacidade oxidativa, levando à acidose, a hipercalcemia dentre outros sinais típicos da fadiga. Tem sido demonstrado que o  $T_{lim}$  na intensidade associada ao  $\text{VO}_{2max}$  ( $\text{IVO}_{2max}$ ) fica entre 2 minutos e 30 segundos à 10 minutos (BILLAT et al., 1996; DEMARIE; KORALSZTEIN; BILLAT, 2000). Poucos estudos foram realizados nesta intensidade, que permite alcançar o  $\text{VO}_{2max}$ , e a fadiga é instalada rapidamente (BILLAT et al., 2000; HILL; POOLE; SMITH, 2002). Este índice apresenta grande utilidade para prescrição do treinamento aeróbio intervalado (BILLAT et al., 1994; SMITH; McNAUGHTON; MARSHALL, 1999), por permitir alcançar o  $\text{VO}_{2max}$  e realizar várias séries de corrida com o mínimo de fadiga (HILL; ROWELL, 1996), tanto para atletas como para sujeitos sedentários (BILLAT et al., 2000). Apesar das divergências na literatura, alguns autores encontraram correlação inversa entre  $T_{lim}$  e  $v\text{VO}_{2max}$  em corredores de elite de longa distância (BILLAT et al., 1994). Porém, no presente estudo, com populações diferentes da estudada por Billat et al. (1994), não foi encontrada mesma relação entre o  $T_{lim}$  e a  $v\text{VO}_{2max}$ ,  $\text{VO}_{2max}$  e o  $\tau$  (Tabelas 7, 9 e 11) nos diferentes gêneros, assim como nos dois grupos em conjunto. Concordando com Caputo (2006) que não observou correlações significantes entre o  $T_{lim}$  e o  $\text{VO}_{2max}$ ,  $\text{IVO}_{2max}$ , LL, OBLA e o  $\tau$  para o grupo sedentário. Em consonância, Millet et al. (2003) também não observaram correlação entre  $T_{lim}$  e  $\text{VO}_{2max}$ . Ainda, o  $T_{lim}$  na  $v\text{VO}_{2max}$  parece ser influenciado pela capacidade anaeróbia, como demonstrado por Carter et al.

(2006), e Faina (1997) que demonstrou correlação positiva entre o déficit acumulado de  $O_2$  e o Tlim e correlação inversa entre o Tlim e o  $VO_{2max}$ . A contribuição anaeróbia é cerca de  $15,2 \pm 6\%$  do total do gasto energético na  $IVO_{2max}$  (FAINA et al., 1997), sendo diminuída com o treinamento intervalado no domínio severo, assim como ocorre uma diminuição do déficit acumulado de oxigênio (DUFFIELD; EDGE; BISHOP, 2006). Foi também demonstrado por Faina et al. (1997) que o ganho do  $VO_2$  ( $VO_2$ /carga de trabalho) se apresenta diminuído com o aumento da velocidade de corrida. Tal fator pode influenciar no Tlim, ou solicitar maior atividade do metabolismo anaeróbio para ressintetizar ATP, visto que a fosforilação oxidativa estaria diminuída, com o conseqüente surgimento precoce da acidose metabólica e a fadiga.

Caputo (2006) com indivíduos sedentários, corredores e ciclistas, Caputo e Denadai (2005) em estudo com triatletas, Denadai; Ortiz; Mello (2004) com atletas de endurance, ambos em corrida na esteira, e Messonier et al. (2002) em cicloergômetro encontraram valores de Tlim superiores aos encontrados por nós (Tabela 6), considerando que nossos sujeitos eram sedentários. Contudo nossos dados são semelhantes aos apresentados por Millet et al. (2003), com sujeitos triatletas bem treinados (Tlim =  $235,6 \pm 49,2$  s). Além disso, no presente estudo não houve diferença significativa entre os gêneros para o Tlim, porém foi observada grande variabilidade interindividual, assim como nos estudos citados, o que pode influenciar efetivamente na prescrição do TAI.

No estudo realizado com ciclistas, Caputo et al. (2001) encontraram boa correlação do *sprint* máximo de 2 km (que correspondeu a  $100,4 \pm 6,2\%$  do  $VO_{2max}$ ) com o  $VO_{2max}$  (0,93) e a  $IVO_{2max}$  (0,95). Estes dados são diferentes dos nossos achados, em que o Tlim não foi correlacionado com o  $VO_{2max}$  (-0,53) e  $vVO_{2max}$  (-



0,16). Talvez a menor potência aeróbia dos sujeitos analisados no presente estudo em relação aos desenvolvidos por Caputo et al (2001) explique essas diferenças. Outro fator potencial talvez seja o fato das fibras do tipo II apresentarem, com o treinamento aeróbio sistematizado, características de fibras tipo I, aumentando a capacidade de fosforilação oxidativa, e a maior expressão de mRNA de miosina de cadeia pesada tipo I e IIa que ocorre devido ao treinamento de endurance (SHORT et al., 2005).

No trabalho de Billat et al. (1996) com grupo homogêneo, as mulheres apresentaram menor valor de  $VO_2\text{max}$  ( $63,2 \pm 4,2$  vs  $77,7 \pm 6,4$  mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) e de  $vVO_2\text{max}$  ( $17,28 \pm 0,7$  vs  $20,88 \pm 1,08$  km.h<sup>-1</sup>) em relação aos homens, porém o  $T_{lim}$  foi maior ( $421 \pm 129$  vs  $367 \pm 118$  s), contudo sem diferença significativa entre os gêneros. No presente estudo houve diferença significativa na  $vVO_2\text{max}$  (Tabela 4) e no  $VO_2\text{max}$  (Tabela 3) entre gêneros assim como os dados de Billat et al. (1996), porém não para o  $T_{lim}$  (Tabela 6). Os maiores valores de  $T_{lim}$  demonstrados no estudo de Billat et al. (1996), em comparação com nossos achados, podem ser devidos há uma melhor potência e capacidade anaeróbia dos sujeitos como demonstrado por Weyand et al. (1999), submetendo os sujeitos a realizarem esforços até a exaustão em condições de hipóxia e normóxia. Os autores concluíram que em normóxia a ressíntese anaeróbia de ATP não está no seu fluxo máximo, pois ele ainda é aumentado na condição de hipóxia. Adicionalmente Linossier et al. (2000) demonstraram que o exercício realizado na  $IVO_2\text{max}$  em condição de hiperóxia aumenta o tempo até a exaustão, quando comparado ao exercício em normóxia, devido ao atraso na instalação da acidose metabólica, visto que a ocorrência da fadiga nas duas situações se deu quando a  $[H^+]$  foi semelhante. Estes estudos nos ajudam a entender o fato de que os homens do presente estudo apresentaram

maiores valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  do que as mulheres, apesar de o  $T_{\text{lim}}$  ser semelhante. O treinamento anaeróbio está inserido nos programas de treinamento dos atletas de alto nível, mesmo nos de endurance. Adicionalmente aos dados de Billat et al. (1996) que analisaram atletas de endurance de alta performance e mesmo nível de desempenho entre gêneros, este parece ser o primeiro trabalho a comparar o  $\text{TMVO}_2\text{max}$ ,  $\text{TAVO}_2\text{max}$ ,  $\tau$ ,  $T_{\text{lim}}$ ,  $D_{\text{max}}$  e  $v\text{VO}_2\text{max}$  entre homens e mulheres sedentários saudáveis no domínio severo em esteira rolante.

A importância deste estudo está no fato de se entender os ajustes da cinética do  $\text{VO}_2$  de homens e mulheres com o mesmo nível de condicionamento, em exercício no domínio severo, o que presumivelmente poderia acelerar a cinética do  $\text{VO}_2$  para os sujeitos com maiores valores de  $\text{VO}_2\text{max}$ , o que não ocorreu no presente estudo.

Vários parâmetros são usados para prescrição da intensidade de treinamento como o limiar anaeróbio e potência crítica, parâmetros estes submáximos, que parecem ser eficientes na melhora da capacidade aeróbia (limiar anaeróbio), porém não são tão eficientes para aumentar a potência aeróbia ( $\text{VO}_2\text{max}$ ), como reportado por Gaskill et al. (2001). Esses autores não observaram aumentos significativos do  $\text{VO}_2\text{max}$  e sua carga associada após treinamento nas intensidades abaixo, acima e correspondente ao limiar ventilatório. Estes dados são semelhantes aos de Slawinski et al. (2001), com atletas bem treinados, que treinaram na intensidade de 50% da diferença entre o limiar de lactato e a  $v\text{VO}_2\text{max}$ , e apesar do aumento da  $v\text{VO}_2\text{max}$  e da economia de corrida, os valores do  $\text{VO}_2\text{max}$  não aumentaram.

Mais recentemente a intensidade associada ao  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $\text{IVO}_2\text{max}$ ) (SMITH; McNAUGHTON; MARSHALL, 1999; CAPUTO; DENADAI, 2005), que é

definida como a mínima intensidade de esforço em que se atinge o  $VO_2\text{max}$  (BILLAT et al., 1994; HILL; ROWELL, 1996), vem sendo utilizada para a prescrição do treinamento aeróbio de característica intervalada (TAI). O TAI é definido e caracterizado por solicitar mais o metabolismo aeróbio do que o anaeróbio para a ressíntese de ATP, sendo estimado pela razão entre o déficit acumulado de  $O_2$  e o  $VO_2$  durante um treinamento intervalado (BILLAT, 2001). Há também trabalhos e programas de treinamento que utilizam uma intensidade intermediária entre o limiar anaeróbio e o  $VO_2\text{max}$ , argumentando que esta intensidade já é suficiente para que os valores de  $VO_2\text{max}$  sejam atingidos (BILLAT et al., 2000). Lepretre; Koralsztein; Billat (2004) demonstraram que apesar do  $VO_2\text{max}$  ser alcançado, o débito cardíaco não é máximo nas intensidades entre o limiar anaeróbio e o  $VO_2\text{max}$ , ou seja, não apresenta os mesmos valores do teste crescente. A causa desse fato talvez seja devido a um volume de ejeção submáximo, visto que a frequência cardíaca alcançou os valores máximos do teste crescente. Já na intensidade associada ao  $VO_2\text{max}$  todos os valores são máximos, e estes fatores podem influenciar efetivamente na aplicação do treinamento e nas adaptações central (coração) e periférica (músculo).

O critério chave para a prescrição eficiente do TAI é a porcentagem do  $VO_2\text{max}$  e o tempo de corrida que é mantido durante o treinamento (MILLET et al., 2003). Segundo Laursen et al. (2002), geralmente as corridas intervaladas na  $vVO_2\text{max}$  devem ocorrer entre 50 e 70% do  $T_{lim}$ , pois este tempo é suficiente para que sejam alcançados os valores do  $VO_2\text{max}$  ( $TAVO_2\text{max}$ ). De acordo com Seiler; Sjursen (2004), o treinamento intervalado deve ter uma duração mínima de 2 minutos para que as variáveis fisiológicas atinjam seus valores máximos. Os nossos resultados mostram um

tempo médio de 142,3 s para os homens e 175,8 s para as mulheres. O treinamento intervalado é benéfico tanto para atletas de alta performance como para sujeitos com doença arterial coronariana, como demonstrado por Warburton et al. (2005), assim como para indivíduos idosos por aumentar a variabilidade da frequência cardíaca em repouso, dado que a diminuição deste índice está associada com o risco aumentado de morte (PICHOT et al., 2005).

Em 2003 Millet et al. demonstraram que as corridas na  $vVO_2max$  com 50% do  $Tlim$  e pausas de 50% do  $Tlim$  foram mais efetivas que treinamento de corrida de 30 segundos com pausa de 30 segundos, porém não diferentes de corridas de 60 segundos e pausa de 30 segundos com relação ao tempo mantido no  $VO_2max$ . Esta recomendação está de acordo com nossos achados, dado que a porcentagem do  $Tlim$  em que o  $VO_2max$  foi atingido, tanto para homens como para mulheres está próximo desta faixa, não sendo diferente estatisticamente entre gêneros. Contudo os valores percentuais para as mulheres foram mais elevados do que para os homens (43,7 % para os homens e 72,5 % para as mulheres - Tabela 6), o que pode influenciar no tempo de exaustão ou número de séries de corrida durante a sessão de treino. Este fato sugere que o TAI seja individualizado (MILLET et al., 2003), como preconizado por Hill; Rowell (1997), que encontraram valores de 80% do  $Tlim$  para o  $TAVO_2max$ . Na prática as recomendações de Laursen et al. (2002) são adequadas, pois os treinadores apresentam grande capacidade de realizar “ajuste fino” nas intensidades de treino para cada indivíduo. Tais recomendações também podem ser utilizadas para sujeitos sedentários e saudáveis, visto que nossos dados estão de acordo com a faixa estipulada. Os dados do presente estudo corroboram com os de Caputo; Denadai (2005) para os valores de  $TAVO_2max$ ,  $TMVO_2max$ , % $Tlim$  para

alcançar o  $\text{VO}_2\text{max}$ , em estudo realizado com atletas. Foi demonstrada correlação positiva entre  $T_{\text{lim}}$  e  $T\text{AVO}_2\text{max}$  ( $r = 0,68$ ,  $p = 0,02$ ), fato que não ocorreu no presente estudo. Portanto, para a população estudada, o  $T\text{AVO}_2\text{max}$  parece não explicar os valores de  $T_{\text{lim}}$ . Ainda Caputo (2006), encontrou o  $T\text{AVO}_2\text{max}$  em cicloergômetro em sujeitos sedentários:  $227,2 \pm 54,4$  s; corredores:  $203,3 \pm 40,1$  s; ciclistas:  $152,5 \pm 41,8$  s.  $T\text{MVO}_2\text{max}$  sedentários:  $131,5 \pm 82,7$  s; corredores:  $200,7 \pm 84,9$  s; ciclistas:  $285,2 \pm 130,5$  s. Foi observada diferença entre o grupo de ciclistas e sedentários, porém ambos foram semelhantes ao grupo de corredores. O tempo mantido no  $\text{VO}_2\text{max}$  é uma variável importante, dado que reflete a capacidade de sustentar um exercício de elevada intensidade ( $v\text{VO}_2\text{max}$ ) às custas do metabolismo aeróbio predominantemente, exigindo menos do metabolismo anaeróbio para a ressíntese de ATP.

## 9. CONCLUSÕES

A cinética do  $\text{VO}_2$  é semelhante entre homens e mulheres jovens sedentários e saudáveis. O  $T_{lim}$  na  $v\text{VO}_{2max}$  não difere entre os grupos, assim como o  $\tau$ , o  $T\text{AVO}_{2max}$  e o  $T\text{MVO}_{2max}$ . Para a prescrição do TAI os parâmetros de referência não são diferentes dos encontrados na literatura para atletas de alta e moderada performance. A confirmação destes dados para a prescrição do TAI para sujeitos sedentários de ambos os sexos é importante, pois nem todos os centros de treinamento possuem analisadores de gases, portáteis ou não, e estes parâmetros podem ser utilizados nas sessões de treino que objetivam alcançar o  $\text{VO}_{2max}$ .

**REFERENCIAS**

- AKALAN, C.; KRAVITZ, L.; ROBERGS, R.A. VO<sub>2</sub>max: Essentials of the most widely used test in exercise physiology. **Health & Fitness Journal**. v. 8, n. 3, p. 5 – 9, 2004.
- ASTORINO, T.A.; ROBERGS, R.A.; GHIASVAND, F.; MARKS, D.; BURNS, S. Incidence of the oxygen plateau at VO<sub>2</sub>max during exercise testing to volitional fatigue. **Journal of Exercise Physiology**. v. 3, n. 4, p. 1 – 12, 2000.
- BARSTOW, T.J.; MOLÉ, P.A. Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**. v. 71, n. 6, p. 2099 – 2106, 1991.
- BASSET, D.R.; HOWLEY, E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 32, n. 1, p. 70-84, 2000.
- BERGER, N. J. A.; TOLFREY, K.; WILLIAMS, A. G.; JONES, A. M. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 38, n. 3, p. 504 – 512, 2006.
- BILLAT, V. 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, n. 1, p. 13 – 31, 2001.
- BILLAT, V. Fisiología y metodología Del entrenamiento: de la teoría a la práctica. **Editora Pai do Tribo**, Barcelona – Esp., 2002.
- BILLAT, V.; BEILLOT, J.; JAN, J.; ROCHCONGAR, P.; CARRE, F. Gender effect on the relationship of time limit at 100% ·VO<sub>2</sub>max with other bioenergetic characteristics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.28, p. 1049-1055, 1996.
- BILLAT, V.; MORTON, R. H.; BLONDEL, N.; BERTHOIN, S.; BOCQUET, V.; KORALSZTEIN, J. P.; BARSTOW, T. J. Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. **European Journal of Applied Physiology**. v. 82, p. 178-187, 2000.

BILLAT, V.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; RENOUX, J.C.; KORALSZTEIN, P. Time to exhaustion at 100% of velocity at  $VO_2$ max and modeling of the relation time-limit/velocity in elite long distance runners. **European Journal of Applied Physiology**, v. 69, p. 271-273, 1994.

BILLAT, V.; SLAWINSKI, J.; BOCQUET, V.; DEMARLE, A.; LAFITTE, L.; CHASSAING, P.; KORALSZTEIN, J.-P. Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enable subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal run. **European Journal of Applied Physiology**. v. 81, p. 188 – 196, 2000.

BROCHADO, M.M.V.; KOKUBUN, E. Treinamento intervalado de corrida de velocidade: efeitos da duração da pausa sobre o lactato sanguíneo e a cinemática da corrida. **Revista Motriz**, v.3, n.1, p. 11-19, 1997.

BURROWS, M.; BIRD, S. R. Velocity at  $vVO_2$ max and peak treadmill velocity are not influenced within or across the phases of the menstrual cycle. **European Journal of Applied Physiology**. v. 93, n. 5-6, p. 575-580, 2005.

CAPUTO, F. **Efeitos do treinamento aeróbio e da especificidade do movimento sobre a aptidão aeróbia, tempo máximo de exercício e cinética do consumo de oxigênio: comparação entre corredores, ciclistas, triatletas e sedentários**. Dissertação de Mestrado. Rio Claro (SP): Universidade Estadual Paulista, 2003.

CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. **European Journal of Applied Physiology**. v. 93, p. 87-95, 2004.

\_\_\_\_\_. Exercise mode affects the time to achieve  $VO_2$ max without influencing maximal exercise time at the intensity associated with  $VO_2$ max in triathletes. **International Journal of Sports Medicine**. v. 26, p. 1 – 6, 2005.

CAPUTO, F.; LUCAS, R.D.; MANCINI, E.; DENADAI, B.S. Comparação de diferentes índices obtidos em testes de campo para predição da performance aeróbia de curta duração no ciclismo. **Revista Brasileira Ciência e Movimento**. v. 9, n. 4, p. 13-17, 2001.



- CARTER, H.; JONES, A.M.; MAXWELL, N.S.; DOUST, J.H. The effect of interdiurnal and diurnal variation on oxygen uptake kinetics during treadmill running. **Journal of Sports Science**. v. 20, p. 901 – 909, 2002.
- CARTER, H.; PRINGLE, J.S.M.; JONES, A.M.; DOUST, J.H. Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. **European Journal of Applied Physiology**. v. 86, p. 347 – 354, 2002.
- \_\_\_\_\_. Oxygen uptake kinetics during supra  $VO_2$ max treadmill running in humans. **International Journal of Sports Medicine**. v. 27, p. 149 – 157, 2006.
- DAVIES, C.T.; DiPRAMPERO, P.E.; CERRETELLI, P. Kinetics of cardiac output and respiratory gas Exchange during exercise and recovery. **Journal of Applied Physiology**, v. 32, p. 618-625, 1972.
- DEMARIE, S.; KORALSZTEIN, J.P.; BILLAT, V. Time limit and time at  $VO_2$ max, during a continuous and an intermittent run. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 40, n. 2, p. 96 – 102, 2000.
- DENADAI, B.S. Avaliação Aeróbia: Determinação Indireta da Resposta do Lactato Sanguíneo. **Motrix**, Rio Claro – S.P., 2000.
- \_\_\_\_\_. Intensidade e tempo de exaustão a 100%  $VO_2$ máx: implicações para o treinamento e a performance. **Revista de Educação Física**, v.124, p. 23-30, 2000.
- DENADAI, B.S.; CAPUTO, F. Efeitos do treinamento sobre a cinética do consumo de oxigênio durante o exercício realizado nos diferentes domínios de intensidade de esforço. **Revista Motriz**, v.9, n.1, supl., p.S1-S7, 2003.
- DENADAI, B.S.; ORTIZ, M.J.; MELLO, M.T. Índices fisiológicos associados com a “performance” aeróbia em corredores de “endurance”: efeitos da duração da prova. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. v. 10, n. 5, p. 401 – 404, 2004.
- DUFFIELD, R.; EDGE, J.; BISHOP, D. Effects of high-intensity interval training on the  $VO_2$  response during severe exercise. **Journal of Science and Medicine in Sport**. v. 9, p. 249 – 255, 2006.

ENGELLEN, M.; PORZASZ, J.; RILEY, M. Effect of hypoxic hypoxia on O<sub>2</sub> uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**. v. 81, p. 2500-2508, 1996.

FAINA, M.; BILLAT, V.; SQUADRONE, R.; DE ANGELIS, M.; KORALSZTEIN, J.P.; DAL MONTE, A. Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. **European Journal of Applied Physiology**. v. 73, p. 13 – 20, 1997.

GARRET Jr., W.E.; KIRKENDALL, D.T. A ciência do exercício e dos esportes. **Editora Artmed**, Porto Alegre, 2003.

GASKILL, S.E.; WALKER, A.J.; SERFASS, R.A.; BOUCHARD, C.; GAGNON, J.; RAO, D.C.; SKINNER, J.S.; WILMORE, J.H.; LEON, A.S. Changes in ventilatory threshold with exercise training in a sedentary population: the heritage family study. **International Journal of Sports Medicine**. v. 22, p. 586 – 592, 2001.

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

\_\_\_\_\_. Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? **Exercise and Sport Sciences Reviews**. v. 29, n.3, p.134 – 138, 2001.

GREEN, H. J.; JONES, L. L.; HUGHSON, R. L.; PAINTER, D. C.; FARRANCE, B. W. Training-induced hypervolemia: lack of an effect on oxygen utilization during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 19, p. 202-206, 1987.

GREEN, H.; GOREHAM, C.; OUYANG, J.; BALL-BURNETT, M.; RANNEY, D. Regulation of Fiber Size, Oxidative Potential, and Capillarization in Human Muscle by Resistance Exercise. **American Journal Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**. v. 276, n. 2, p. R591-R596, 1998.

HAN, Y-S.; GEIGER, P.C.; CODY, M.J.; MACKEN, R.L.; SIECK, G.C. ATP consumption rate per cross bridge depends on myosin heavy chain isoform. **Journal of Applied Physiology**. v. 94, p. 2188 – 2196, 2003.

HARMER, A.R.; McKENNA, M.J.; SUTTON, J.R.; SNOW, R.J.; RUELL, P.A.; BOOTH, J.; THOMPSON, M.W.; MACKAY, N.A.; STATHIS, C.G.; CRAMERI, R.M.; CAREY, M.F.; EAGER, D.M. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. **Journal of Applied Physiology**. v. 89, p. 1793 – 1803, 2000.

HAYASHI, N.; ISHIHARA, M.; TANAKA, A.; YOSHIDA, T. Impeding O<sub>2</sub> unloading in muscle delays oxygen uptake response to exercise onset in humans. **American Journal of Physiology. (Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 46)**. v. 277, p. R1274 – R1281, 1999.

HEPPLER, R.T.; MACKINNON, GOODMAN, J.M.; THOMAS, S.G.; PLYLEY, M.J. Resistance and aerobic training in older men: effects on VO<sub>2peak</sub> and the capillary supply to skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**. v. 82, n. 4, p. 1305 – 1310, 1997.

HILL, A.V.; LONG, C.N.H.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen – VII-VIII. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character**. v. 97, p. 155-167, 1924.

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

HILL, D., ROWELL, A.L. Running velocity at VO<sub>2max</sub>. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 28, n. 1, p. 114 – 119, 1996.

HUGHSON, R.L., TSCHAKOVSKY, Cardiovascular dynamics at the onset of exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 37, n. 7, p. 1005 – 1010, 1999.

HUGHSON, R.L., TSCHAKOVSKY, M.E., HOUSTON, M.E. Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 29, n. 3, p. 129 – 133, 2001.

JONES, A.M.; DOUST, J.H. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. **Journal of Sports Science**. v. 15, p. 321 – 327, 1996.

JONES, A.M.; POOLE, D.C. Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine. **Editora Routledge**, New York – N.Y., 2005.

KOIKE, A.; WASSERMAN, K.; MCKENZIE, D.K.; ZANCONATO, S.; WEILERRAVEL, D. Evidence that diffusion limitation determines oxygen uptake kinetics during exercise in humans. **Journal Clinical Investigation**, v. 86, p. 1698 – 1706, 1990.

KOPPO, K.; BOUCKAERT, J.; JONES, A.M. Effects of training status and exercise intensity on phase II  $\text{VO}_2$  kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 36, n. 2, p. 225-232, 2004.

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

LAKE, M.J.; CAVANAGH, P.R. Six Weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 28, p. 860-869, 1996.

LAUGHLIN, M.H. Cardiovascular response to exercise. **Advances in Physiology Education**. v. 22, n. 1, p. S244 – S259, 1999.

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

LEPRETRE, P.-M.; KORALSZTEIN, J.-P.; BILLAT, V.L. Effect of exercise intensity on relationship between  $\text{VO}_2\text{max}$  and cardiac output. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 36, n. 8, p. 1357 – 1363, 2004.

LINOSSIER, M.-T.; DORMOIS, D.; ARSAC, L. DENIS, C.; GAY, J.-P.; GEYSSANT, A.; LACOUR, J.-R. Effect of hyperoxia on aerobic and anaerobic performances and

- muscle metabolism during maximal cycling exercise. **Acta Physiologica Scandinavica**. v. 168, p. 403 – 411, 2000.
- MACDOUGALL, J.D.; HICKS, A.L.; MacDONALD, J.R.; McKELVIE, R.S.; GREEN, H.J.; SMITH, K.M. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. **Journal of Applied Physiology**. v. 84, n. 6, p. 2138-2142, 1998.
- MARKOVITZ, G. H.; SAYRE, J. W.; STORER, T. W.; COOPER, C. B. On issues of confidence in determining the time constant for oxygen uptake kinetics. **British Journal of Sports Medicine**. v. 38, p. 553-560, 2004.
- MAUGHAN, R.; GLEESON, M.; GREENHAFF, P.L. Bioquímica do Exercício e do Treinamento. 1ª edição. **Editora Manole Ltda**, Barueri – S.P. - 2000.
- MESSONIER, L.; FREUND, H.; DENIS, C.; DORMOIS, D.; DUFOUR, A.-B.; LACOUR, J.-R. Time to exhaustion at  $VO_2$ max is related to the lactate exchange and removal abilities. **International Journal of Sports Medicine**. v. 23, p. 433 – 438, 2002.
- MILLET, G.P.; CANDAU, R.; FATTORI, P.; BIGNET, F.; VARRAY, F.  $VO_2$  response to different intermittent runs at velocity with  $VO_2$ max. **Canadian Journal of Applied Physiology**. v. 28, n. 3, p. 410-423, 2003.
- MILLET, G.P.; JAOUEN, B.; BORRANI, F.; CANDAU, R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and  $VO_2$  kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 34, n.8, p. 1351-1359, 2002.
- NORDSBORG, N.; BANGSBO, J.; PILEGAARD, H. Effect of high-intensity training on exercise-induced gene expression specific to ion homeostasis and metabolism. **Journal of Applied Physiology**. v. 95, p. 1201 – 1206, 2003.
- ÖZYENER, F.; ROSSITER, H. B.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. Influence of exercise intensity on the on – and – off transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **Journal of Physiology**. v. 533, n. 3, p. 891-902, 2001.
- PICHOT, V.; ROCHE, F.; DENIS, C.; GARET, M.; DUVERNEY, D.; COSTES, F.; BARTHÉLÉMY, J.-C. Interval training in elderly men increases both heart rate

- variability and baroreflex activity. **Clinical Autonomic Research**. v. 15, p. 107 – 115, 2005.
- PRINGLE, J.S.M.; DOUST, J.H.; CARTER, H.; TOLFREY, K.; CAMPBELL, I.T.; JONES, A.M. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity submaximal exercise in humans: the influence of muscle fiber type and capillarisation. **European Journal of Applied Physiology**. v. 89, p. 289 – 300, 2003.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2006. Disponível online. URL: <http://www.R-project.org>. Capturado em: 04/07/2006.
- REIS, V. M. M. R. **O Método de Estimativa do Défice de Oxigênio Acumulado na Corrida em Tapete Rolante**. Tese de Doutorado. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 2003.
- RIBEIRO, J.P. Limiares Metabólicos e Ventilatórios Durante o Exercício. Aspectos Fisiológicos e Metodológicos. **Arquivo Brasileiro de Cardiologia**, v. 64, n. 2, p. 171-180, 1995.
- RICHARDSON, R.S. What governs skeletal muscle  $VO_{2max}$ ? New evidence. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 1, p. 100 – 107, 2000.
- ROSSITER, H.B.; KOWALCHUK, J.M.; WHIPP, B.J. A test to establish maximum  $O_2$  uptake despite no plateau in the  $O_2$  uptake response to ramp incremental exercise. **Journal of Applied Physiology**. v. 100, p. 764-770, 2006.
- SCHEUERMANN, B.W.; BARSTOW, T.J.  $O_2$  uptake kinetics during exercise at peak  $O_2$  uptake. **Journal of Applied Physiology**. v. 95, p. 2014 – 2022, 2003.
- SEILER, S.; SJURSEN, J.E. Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. **Scandinavian Journal of Medicine Science and Sports**. v. 14, p. 318 – 325, 2004.
- SHORT, K.R.; VITTONI, J.L.; BIGELOW, M.L.; PROCTOR, D.N.; COENEN-SCHIMKE, J.M.; RYS, P.; NAIR, K.S. Changes in myosin heavy chain mRNA and

- protein expression in human skeletal muscle with age and endurance exercise training. **Journal of Applied Physiology**. v. 99, p. 95 – 102, 2005.
- SILVA, A.E.M.; OLIVEIRA, F.R. Consumo de Oxigênio durante o exercício físico: aspectos temporais e ajustes de curvas. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**. v. 6, n. 2, p. 73-82, 2004.
- SILVA, P.; SANTOS, P. Uma Revisão Sobre Alguns Parâmetros de Avaliação Metabólica – Ergometria, VO<sub>2</sub>máx, Limiar Anaeróbio e Lactato. **Revista Digital**. Buenos Aires – Ano 10, n. 78, Novembro de 2004.
- SILVEIRA, L.R.; DENADAI, B.S. Efeito modulatório de diferentes intensidades de esforço sobre a via glicolítica durante o exercício contínuo e intermitente. **Revista Paulista de Educação Física**, v.16, n. 2, p. 186 – 197, 2002.
- SLAWINSKI, J.; DEMARLE, A.; KORALSZTEIN, J.-P.; BILLAT, V. Effect of supra-lactate threshold training on the relationship between mechanical stride descriptors and aerobic energy cost in trained runners. **Archives of Physiology and Biochemistry**. v. 109, n. 2, p. 110 – 116, 2001.
- SMITH, T.; McNAUGHTON, L.R.; Marshall, K.J. Effects of 4-wk training using V<sub>max</sub>/T<sub>max</sub> on VO<sub>2</sub>max and performance in athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, n. 6, p. 892 – 896, 1999.
- WARBURTON, D.E.R.; McKENZIE, D.C.; HAYKOWSKY, M.J.; TAYLOR, A.; SHOEMAKER, P.; IGNASZEWSKI, A.P.; CHAN, S.Y. Effectiveness of high-intensity interval training for the rehabilitation of patients with coronary artery disease. **American Journal of Cardiology**. v. 95, n. 9, p. 1080 – 1084, 2005.
- WEYAND, P.G.; LEE, C.S.; MARTINEZ-RUIZ, R.; BUNDLE, M.W.; BELLIZZI, M.J.; WRIGHT, S. High-speed running performance is largely unaffected by hypoxic reductions in aerobic power. **Journal of Applied Physiology**. v. 86, n. 6, p. 2059 – 2064, 1999.
- WILMORE, J.H.; COSTILL, D.L. Fisiologia do esporte e do exercício. **Editores Manole**, 1ª edição, Barueri – S.P., 2001.

XU, F.; RHODES, E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports Medicine.**, v. 27, n. 5, p. 313-327, 1999.

KORZENIEWSKI, B.; ZOLADZ, J.A. Factors determining the oxygen consumption rate ( $\text{VO}_2$ ) on-kinetics in skeletal muscle. **Biochemistry Journal.** v. 379, p. 703 – 710, 2004.