

---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE**  
**BIODINÂMICA DA MOTRICIDADE HUMANA**

---

**Eduardo Zapatterra Campos**

**DETERMINAÇÃO DO MÁXIMO DÉFICIT ACUMULADO DE OXIGÊNIO DE**  
**NADADORES POR MEIO DA TÉCNICA DE RETRO EXTRAPOLAÇÃO**

**RIO CLARO**

**2015**

**Eduardo Zapaterra Campos**

**DETERMINAÇÃO DO MÁXIMO DÉFICIT ACUMULADO DE OXIGÊNIO DE  
NADADORES POR MEIO DA TÉCNICA DE RETRO EXTRAPOLAÇÃO**

Tese apresentada ao Instituto de  
Biotecnologia do Câmpus de Rio Claro,  
Universidade Estadual Paulista, como  
parte dos requisitos para obtenção do  
título de Doutor em Ciência da  
Motricidade

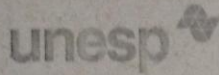
**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Papoti

**Rio Claro  
Julho - 2015**

797.21 Campos, Eduardo Zapatterra  
C198d Determinação do máximo déficit acumulado de oxigênio de nadadores por meio da técnica de retro extrapolação : determinação da capacidade anaeróbia pela técnica de retro extrapolação / Eduardo Zapatterra Campos. - Rio Claro, 2015  
153 f. : il., figs., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Biociências de Rio Claro  
Orientador: Marcelo Papoti

1. Natação. 2. Capacidade anaeróbia. 3. Retro extrapolação. 4. Consumo de oxigênio. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE RIO CLARO  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE RIO CLARO

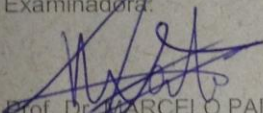
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

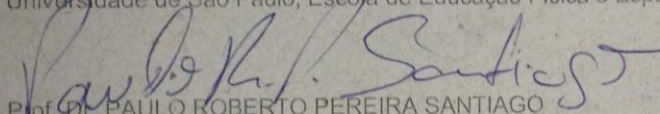
**TÍTULO:** Determinação do máximo déficit acumulado de oxigênio de nadadores por meio da técnica de retro extrapolação

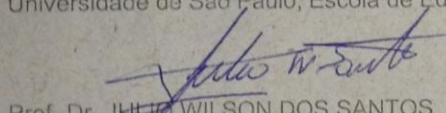
**AUTOR:** EDUARDO ZAPATERRA CAMPOS

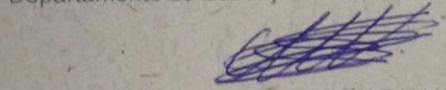
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. MARCELO PAPOTI

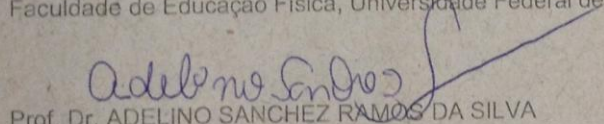
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE, Área: BIODINÂMICA DA MOTRICIDADE HUMANA, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. MARCELO PAPOTI  
Universidade de São Paulo, Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto / SP

  
Prof. Dr. PAULO ROBERTO PEREIRA SANTIAGO  
Universidade de São Paulo, Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto / SP

  
Prof. Dr. JULIO WILSON DOS SANTOS  
Departamento de Educação Física / Faculdade de Ciências de Bauru - SP

  
Prof. Dr. GUSTAVO GOMES DE ARAUJO  
Faculdade de Educação Física, Universidade Federal de Alagoas - Maceió/AL

  
Prof. Dr. ADELINO SANCHEZ RAMOS DA SILVA  
Universidade de São Paulo, Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto / SP

Data da realização: 17 de julho de 2015.







Dedico essa tese, primeiramente à Deus, que me deu a oportunidade de  
completar essa etapa tão importante na minha vida.  
Dedico à minha esposa Daniele Clebis Campos, ao meu filho Benjamin Clebis  
Campos, à meus pais (Mário Viotti Campos e Maria Cláudia Zapatterra  
Campos), minha irmã (Marília Campos Alfaro), cunhado (Daniel Alfaro), minha  
sobrinha (Lara Campos Alfaro), sogro e sogra (Antônio Emílio Clebis e Ananeri  
de Melo Clebis)





Agradeço a Deus por conseguir completar essa etapa. Reconheço Suas mãos ao longo de toda a minha caminhada e que, tudo que tive e tenho na minha vida (conquistas, títulos, “bolsas”, amigos, família, filho) veio e foi para o Senhor. Ao Senhor toda glória, honra e louvor! “Porque dele e por ele, e para ele são TODAS as coisas; glória, pois, a ele eternamente”.

Agradeço a minha esposa Daniele Campos (vida). Sem você não chegaria até aqui. Agradeço-te por me ajudar, amparar, alertar, consolar e, principalmente, me incentivar durante todo esse processo. Sempre paciente com as muitas viagens, se manteve firme quando ficamos distantes por 45 dias e correu risco de perder seu trabalho pelo Doutorado Sanduíche. Você é essencial. Tem sido uma mãe cuidadosa, dedicada, amorosa e me ensina muito! Te amo!

Apesar de pouco tempo comigo, parece que o conheço há anos! Benjamin (“benja”) veio para, não trazer, e sim aumentar (exponencialmente) a alegria na minha casa! Ainda sem entender o bem que me faz, seu sorriso me fortalece, revigora e traz um novo sentido à minha passagem aqui. Além disso, seu esforço para se desenvolver me ensinou o que é dar o máximo em tudo na vida. Papai te ama filhão!

Agradeço aos meus pais (Mário Viotti Campos e Maria Cláudia Zapatterra Campos). Me deram tudo. Dedico essa tese a vocês. Espero deixá-los ainda mais orgulhosos com o que faço. Mãe, obrigado pelas orações e conselhos nos momentos certos. Pai, me espelho em você. Tenho orgulho de ser filho de vocês!

Agradeço à minha irmã Marília Campos Alfaro (“lilined”). Lilined, você não tem idéia o bem que você me faz! Mesmo as vezes, distantes, tenho em você segurança e amizade. Como eu te amo lilined! Você é exemplo de dedicação e competência!

Agradeço ao sogrão e sogra (Toninho Clebis e Donana). Sempre me incentivando nos auxiliando durante a caminhada. Vocês são importantes para mim! Amo vocês!

Agradeço as cunhadas (Caimila e bel), cunhados (Gordo e Aran), primos (Digo, Gui, Jão, Samuka), primas (Gabi, Marina, Nath) e tios (são muitos)! Aqui vale um agradecimento mais que especial aos meus pais de Ribeirão Preto: Tio

Paulo e Tia Ângela vocês foram muito importantes para mim! Foi muito bom ser o filho único da casa por um tempo.

Mesmo não estando presente, agradeço o Vô Wado (me ensinou sobre o que é “gastar” tempo com as pessoas), Vô Zé (competente em todos os sentidos) e Vó Lúcia (ao pensar nela penso que ela se orgulharia muito de mim). Ainda em vida, agradeço a Vó Marô. Vó, desde a minha infância até os dias de hoje, quando penso e estou com você meu coração se enche de alegria!

Agradeço os meus amigos da vida: Josafá Cardoso (Josa), Christian Brandão (Crisera), Gabriel Plantier (Grilo), Willian da Cruz (Nego), Douglas Meireles (Douglão). Obrigado pelas risadas em todos os momentos! Agradeço também aos amigos Michel e Thamiris e Leandro e Rebeca, nossas células/jantar foram essenciais para meu desenvolvimento com pai, marido e profissional.

Ninguém faz ciência sozinho e, se estou aqui hoje agradeço aos que primeiro me auxiliaram: Lucas Bogaz (Luquinha Choro) e Samuel Simplício (Samuka choro). Amigos sempre. São muitas histórias (“bolsas”, OPEC, LAFE e etc) e ótimas risadas. Para quem já passou pelo LAFE, esses dois foram precursores do laboratório! A satisfação é ímpar em ter vocês como amigos.

Falando em LAFE, vale um agradecimento mais que especial ao meu orientador, professor e, principalmente amigo, Pedro Balikian Junior! Me incentivou na pesquisa e em como ser um bom professor na sala de aula. Te amo meu irmão!

Já na nova etapa em Ribeirão, ressalto a importância de vários que me ajudaram. Ricardo Barbieri (Rica): um irmão que ganhei; sempre disponível para tudo, você é fera!!! Carlos Kalva (Beissera): parceiro, amigo e competente; me ajudava até à 1 da manhã para escrever os artigos da tese. Além desses, Vitor Luiz de Andrade (Vitão; “aaa manooo”), José Gerosa Neto (Macaco; “resumindo a história”), João Paulo Loures (Paulera), Guilherme Schneider (Jogadô; “uuuuu”); Ronaldo Gobbi (Ronaldão; quebrou várias nesse *sprint* final); Fábio Milioni (Fabinho), Fabrício Rossi (Fião; oo fião), Tharine Arruda (foi essencial no tratamento dos dados); Isabela Alves (Harry), Nayara (Nay).

Agradeço aos professores que me auxiliaram muito nessa caminhada. Em especial a Profa. Fúlvia Machado e Prof. Cláudio Gobatto pelo auxílio desde o meu mestrado até agora, e pela ajuda essencial para a realização da presente tese. Agradeço também aos professores Paulo Santiago, Adelino Sanchez, Ismael Forte Freitas, Nikolai Noordsborg, Thomas Bonne e, mais recentemente Fábio Lira.

Em especial agradeço ao Prof. Alessandro Moura Zagatto pelas ajudas, conselhos durante toda minha caminhada. Me espelho em você.

Agradeço muito meu orientador Prof. Marcelo Papoti. Competência e caráter no mais alto nível. É um prazer trabalhar com o senhor. Obrigado pelas oportunidades que me deu. O senhor foi essencial na minha formação profissional e pessoal. Espero ter cumprido com êxito o processo de doutoramento. Obrigado pela sua dedicação intensa em nos fazer pessoas melhores e pesquisadores com excelência. Ressalto que, a mudança que o senhor tanto deseja “no sistema” tem sido realizada dentro dos seus alunos, eu inclusive. Muito Obrigado!

Por fim, agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro durante todo o doutorado.



“Não é na ciência que está a felicidade, mas na aquisição da ciência”. (Edgar Allan Poe)

“Ainda que (...) se não tiver amor, nada seria”  
(1º Coríntios 13: 2)

**APOIO FINANCEIRO**

**CAPES**

**Fundação de Amparo à pesquisa do  
Estado de São Paulo (FAPESP; nº  
2013/15322-31)**

## RESUMO

Devido à necessidade de otimização dos métodos de determinação da capacidade anaeróbia, o objetivo da presente tese de doutorado foi validar a avaliação do déficit acumulado de oxigênio (AOD) por meio da técnica de retro extrapolação (AOD<sub>RED</sub>). Para isso, 25 nadadores foram avaliados e quatro trabalhos foram desenvolvidos. O primeiro trabalho objetivou comparar o VO<sub>2Píco</sub> e a vVO<sub>2Píco</sub> de nadadores obtidos após esforço máximo de 400 m e teste incremental em nado livre. Onze nadadores realizaram esforço máximo de 400m e protocolo incremental para determinar ambas variáveis. Apesar de nenhuma diferença entre VO<sub>2Píco</sub> (3.86 ± 0.85 L·min<sup>-1</sup> vs. 4.09 ± 0.93 L·min<sup>-1</sup>), a vVO<sub>2Píco</sub> (1.39 ± 0.12 m·s<sup>-1</sup> vs. 1.34 ± 0.13 m·s<sup>-1</sup>) foi superior durante teste incremental. O segundo trabalho objetivou comparar o AOD<sub>RED</sub> (i.e. soma dos metabolismos láctico e alático) com o AOD após esforço máximo de 400m. Para isso seis atletas foram submetidos à quatro exercícios submáximos e um esforço máximo de 400m. O AOD foi considerado a diferença entre a demanda teórica (DT) e a contribuição aeróbia (Aer), enquanto o AOD<sub>RED</sub> foi avaliado pela soma dos metabolismos anaeróbios. Nenhuma diferença entre AOD (3.29 ± 1.34 LO<sub>2</sub>) e AOD<sub>RED</sub> (3.24 ± 1.56 L O<sub>2</sub>), correlações significantes (r = 0.95) e baixo erro médio de estimativa (0.04 L) foram encontrados entre as metodologias. Haja vista que nenhuma diferença foi encontrada, o terceiro estudo objetivou verificar a possibilidade de se estimar a Aer apenas pelo uso do AOD<sub>RED</sub>. Seis nadadores foram submetidos à um esforço máximo de 400m com snórquel. A Aer estimada pela demanda retangular (i.e. VO<sub>2Píco</sub>·tempo de esforço; Aer<sub>RD</sub>) não foi diferente da Aer (10.36 ± 1.56 L vs. 10.31 ± 1.48 L), além de apresentar baixo erro médio (-0.15 L). Dessa forma, como o AOD<sub>RED</sub> é determinado pelas concentrações pico de lactato e cinética *off* do consumo de oxigênio, seria possível avaliar o AOD<sub>RED</sub> pela técnica de retro extrapolação. Assim o quarto estudo teve como objetivo testar a reprodutibilidade e a validade o AOD<sub>RED</sub> em nado livre (i.e. retro extrapolação). Para isso oito sujeitos realizaram dois esforços de 400m sem snórquel separados por uma semana. Posteriormente seis atletas realizaram tanto um esforço de 400m livre como o protocolo de AOD convencional com snórquel. O AOD<sub>RED</sub> em nado livre apresentou reprodutibilidade, todavia apresentou apenas uma tendência de correlação (ICC= 0.63; p = 0.07). Nenhuma diferença foi observada entre AOD e AOD<sub>RED</sub> em nado livre e foram positivamente correlacionados (r = 0.82; p = 0.04), além disso os resultados apresentaram baixo erro médio (-0.75 L), contudo alto limite de concordância (0.77 e -2.72 L). Podemos concluir que o AOD<sub>RED</sub> é uma boa ferramenta para avaliação tanto da capacidade anaeróbia de nadadores como da contribuição aeróbia durante o nado. Além disso, a utilização do snórquel limita a velocidade do atleta, reduzindo o valor de AOD. Sugere-se a utilização do AOD<sub>RED</sub> em nado para avaliar a capacidade anaeróbia de nadadores.

**Palavras chave:** capacidade anaeróbia, déficit acumulado de oxigênio, natação, retro extrapolação, consumo de oxigênio



## ABSTRACT

Due to the need to optimize the methods of anaerobic capacity determination, the aim of the present doctor thesis was validate the evaluation of accumulated oxygen deficit (AOD) by the backward extrapolation technique (AOD<sub>RED</sub>). For this, 25 swimmers were evaluated and four scientific works were developed. The first study aimed to compare  $VO_{2Peak}$  and  $sVO_{2Peak}$  of swimmers obtained after a maximal 400 m effort and free-swimming incremental test. Eleven swimmers performed a maximal 400m effort and an incremental protocol to determine both variables. Besides no difference between  $VO_{2Peak}$  ( $3.86 \pm 0.85$  L·min<sup>-1</sup> vs.  $4.09 \pm 0.93$  L·min<sup>-1</sup>), the  $sVO_{2Peak}$  ( $1.39 \pm 0.12$  m·s<sup>-1</sup> vs.  $1.34 \pm 0.13$  m·s<sup>-1</sup>) was higher in the incremental test. The second study aimed compare AOD<sub>RED</sub> (i.e. sum of lactic and alactic metabolism) with the AOD after a maximal 400m effort. The AOD was considered as the difference between theoretical demand (TD) and aerobic contribution (Aer), while AOD<sub>RED</sub> was evaluated by the sum of anaerobic metabolisms. No difference between AOD ( $3.29 \pm 1.34$  LO<sub>2</sub>) and AOD<sub>RED</sub> ( $3.24 \pm 1.56$  L O<sub>2</sub>), significant correlation ( $r = 0.95$ ), and low mean standard estimative error (0.04 L) were found between the methodologies. Since no difference was found, the third study aimed to verify the possibility to estimate Aer only by the use of AOD<sub>RED</sub>. Six swimmers were submitted to a maximal 400m effort with snorkel. The Aer estimated by the rectangular demand (i.e.  $VO_{2Peak}$ ·effort time; Aer<sub>RD</sub>) was not different from Aer ( $10.36 \pm 1.56$  L vs.  $10.31 \pm 1.48$  L), and presented low mean error (-0.15 L). Thus, since AOD<sub>RED</sub> is determined by peak lactate concentration and off transient oxygen kinetics, it would be possible the AOD<sub>RED</sub> by the backward extrapolation technique. Thus, the fourth study aimed to test the reliability and validity of free-swimming AOD<sub>RED</sub> (i.e. backward extrapolation). For this, eight swimmers performed two 400m efforts without snorkel interspersed by one week. Thereafter, six swimmers performed a free-swimming maximal 400m effort as well as the conventional AOD with snorkel. The free-swimming AOD<sub>RED</sub> presented reliability, however its only tended to correlate (ICC = 0.63;  $p = 0.07$ ). No difference was observed between AOD and free-swimming AOD<sub>RED</sub>, and they were positively correlated ( $r = 0.82$ ;  $p = 0.04$ ), besides, the results presented low mean error (-0.75 L), nevertheless high limits of agreements (0.77 and -2.72 L). We can conclude that AOD<sub>RED</sub> is a good tool to evaluate both swimmers anaerobic capacity and aerobic contribution during swimming. In addition, the snorkel utilization limits athletes speed, reducing AOD value. It is suggested to use AOD<sub>RED</sub> in swimming to evaluate swimmers anaerobic capacity.

**Keywords:** anaerobic capacity, accumulated oxygen deficit, swimming, backward extrapolation, oxygen consumption.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Comportamento do $VO_2$ de um indivíduo se exercitando à 50% do $VO_{2max}$ (Figura 1A: dados brutos). Figura 1B: dados alisados; TA: tempo para atingir a amplitude (A); f: constante tempo; $VO_{2base}$ : consumo de oxigênio de repouso; A: amplitude.....	38
<b>Figura 2.</b> Comportamento do $VO_2$ de um indivíduo se exercitando à 90% do $VO_{2max}$ (Figura 2A: dados brutos). Figura 2B: dados alisados; TA <sub>1</sub> : tempo para atingir a amplitude (A <sub>1</sub> ); f <sub>1</sub> : constante tempo do componente rápido; f <sub>2</sub> : constante tempo do componente lento; A <sub>1</sub> : amplitude do componente rápido; A <sub>2</sub> : amplitude do componente lento; $VO_{2base}$ : consumo de oxigênio de repouso.....	40
<b>1º Trabalho</b>	
<b>Figure 1.</b> The values of oxygen uptake obtained during the first 30s after the efforts were log-transformed to determine the $VO_2$ using the backward extrapolation technique (B). For this specific subject, the $VO_2$ was 2.71 L.min <sup>-1</sup> (time zero value).....	62
<b>Figure 2.</b> Mean and standard deviation (bar plot) and individual values (scatter and line plot) of peak oxygen consumption obtained during the incremental test ( $VO_{2PeakInc}$ ) and after the 400m performance ( $VO_{2Peak400}$ ) (Left hand figure). The right hand figure demonstrates the values of $VO_{2PeakInc}$ speed ( $sVO_{2Peak}$ ) and mean speed during the 400m performance ( $s400m$ ). * denotes significant differences between efforts ( $p<0.05$ ).....	65
<b>Figure 3.</b> Correlations between peak oxygen consumption obtained during the incremental test ( $VO_{2PeakInc}$ ) and after the 400m performance ( $VO_{2Peak400}$ ) (Left hand figure). The right hand figure demonstrates the correlations between $VO_{2PeakInc}$ speed ( $sVO_{2Peak}$ ) and mean speed during the 400m performance ( $s400m$ ).....	65
<b>Figure 4.</b> Agreement analysis between oxygen consumption obtained during the incremental test ( $VO_{2PeakInc}$ ) and after the 400m performance ( $VO_{2Peak400}$ ) (left hand figure). The right hand figure demonstrates the agreement between $VO_{2PeakInc}$ speed ( $sVO_{2Peak}$ ) and mean speed during the 400m performance ( $s400m$ ).....	66
<b>2º Trabalho</b>	
<b>Figure 1.</b> $VO_2$ behavior during the maximal 400m (open circles), accumulated oxygen deficit during the effort (dark gray), and baseline area (light gray).....	81
<b>Figure 2.</b> Mean ± standard deviation for speed during the 400m partial (□; left axis), and theoretical demand calculated for each 25m partial (●; right axis).....	83
<b>Figure 3.</b> Association between AOD and AOD <sub>RED</sub> and linear regression of this correlation (A); Bland and Altman (1986) analysis between both methodologies.....	85
<b>3º Trabalho</b>	
<b>Figure 1.</b> $VO_2$ response during the 400m effort and the TD area (A). $VO_2$ response during the 400m effort and the RD area (B). Data retrieved from subject. TD: theoretical demand; RD: rectangular demand.....	98

<b>Figure 2.</b> Demand calculated from the product between $VO_{2Peak}$ and effort time (rectangular demand), and from the $VO_2$ -speed relationship (theoretical demand).....	101
<b>Figure 3.</b> Relation between theoretical demand (TD) and rectangular demand (RD).....	101
<b>Figure 4.</b> Bland JM and Altman DG [31]agreement analysis between rectangular demand (RD) and theoretical demand (TD).....	102
<b>Figure 5.</b> Agreement analysis (Bland and Altman, 1986) between $Aer_{REAL}$ and the aerobic contribution determined by the difference between theoretical demand and $AOD_{RED}$ (i.e. $Aer_{TD}$ ) (A). Bland and Altman (1986) agreement analysis between $Aer_{REAL}$ and $Aer_{RD}$ (B).....	104
4º Trabalho	
<b>Figure 1.</b> Mean and standard deviation of $VO_2$ behavior after free-swimming 400m maximal effort in test ( $\Delta$ ) and re-test ( $\bullet$ ). * significantly different from re-test condition.....	120
<b>Figure 2.</b> Correlation between AOD, and free-swimming $AOD_{RED}$ (A). Bland and Altman (1986) analysis of agreement between AOD and $AOD_{RED}$ (B).....	124

## LISTA DE TABELAS

### 1º Trabalho

<b>Table 1.</b> Parameters of linear relationship built to determine oxygen consumption ( $VO_2$ ) using the backward extrapolation technique applied during the incremental test and 400 m performance (n = 9).....	64
--	----

### 2º Trabalho

<b>Table 1.</b> Mean $\pm$ SD of accumulated oxygen deficit (AOD), and reduced accumulated oxygen deficit ( $AOD_{RED}$ ) parameters (n = 6).....	84
---	----

<b>Table 2.</b> Mean $\pm$ standard deviation of conventional accumulated oxygen deficit, and single effort accumulated oxygen deficit (n = 6).....	83
---	----

### 3º Trabalho

<b>Table 1.</b> Mean and standard deviation (SD) of parameters obtained before and after the maximal 400m effort (n = 6).....	103
---	-----

<b>Table 2.</b> Mean and standard deviation (SD) of $Aer_{REAL}$ , $Aer_{TD}$ , and $Aer_{RD}$ (n = 6).....	104
---	-----

### 4º Trabalho

<b>Table 1.</b> Mean $\pm$ standard deviation of fast component kinetics indexes for anaerobic alactic contribution assessment, lactate concentrations for anaerobic lactic contribution, and reduced accumulated oxygen deficit in both 400m effort (i.e. test and re-test) (n = 9).....	121
---	-----

<b>Table 2.</b> Mean and standard deviation of submaximal exercises velocities, and $VO_2$ -speed relation variables (n = 6).....	122
---	-----

<b>Table 3.</b> Mean and standard deviation (SD) of both anaerobic contribution, free-swimming reduced accumulated oxygen deficit ( $AOD_{RED}$ ), and conventional accumulated oxygen deficit (AOD) (n = 6)...	123
---	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS

[ADP]	Concentração de adenosina difosfato
[La <sup>-</sup> ] <sub>pico</sub> e [La <sup>-</sup> ] <sub>peak</sub>	Concentração pico de lactato
[La <sup>-</sup> ] <sub>rep</sub> e [La <sup>-</sup> ] <sub>rest</sub>	Concentração de lactato em repouso
[Pi]	Fosfato inorgânico
A <sub>1</sub>	Amplitude do primeiro componente
A <sub>2</sub>	Amplitude do segundo componente
Aer	Contribuição aeróbia
Aer <sub>RD</sub>	Contribuição aeróbia estimada pela demanda retangular
Aer <sub>REAL</sub>	Contribuição aeróbia real
Aer <sub>TD</sub>	Contribuição aeróbia estimada pela demanda teórica
Ana <sub>ALA</sub>	Contribuição anaeróbia alática
Ana <sub>LAC</sub>	Contribuição anaeróbia láctica
AOD	Déficit acumulado de oxigênio
AOD <sub>RED</sub>	Déficit acumulado de oxigênio reduzido
ATP	Adenosina trifosfato
CA	Capacidade anaeróbia
CV%	Coefficiente de variação
DT	Demanda teórica
EPOC	Consumo excessivo de oxigênio após o esforço
EPOC <sub>RAP</sub>	Componente rápido do consumo excessivo de oxigênio após o esforço
ES	Tamanho do efeito
FC	Frequência cardíaca
GE	<i>Gross efficiency</i>
H <sup>+</sup>	Íons hidrogênio
ICC	Coefficiente de correlação intraclasse
iVO <sub>2</sub> max	Intensidade relativa ao consumo máximo de oxigênio
LAn	Limiar anaeróbio
LL	Limiar de lactato
MAOD	Máximo déficit acumulado de oxigênio
MAOD <sub>RED</sub>	Máximo déficit acumulado de oxigênio reduzido
MC	Massa corporal

MFEL	Máxima fase estável de lactato
O <sub>2</sub>	Oxigênio
PCO <sub>2</sub>	Pressão parcial de gás carbônico
PCr	Creatina fosfato
r	Coefficiente de correlação
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
RD	Demanda retangular
RMSE	<i>Root mean square error</i>
s200m	Velocidade de 200 m na natação
s400m	Velocidade de 400 m na natação
Smax	Velocidade máxima no protocolo incremental
f <sub>1</sub>	Constante tempo do primeiro componente
f <sub>2</sub>	Constante tempo do segundo componente
TA <sub>1</sub>	Tempo para atingir primeira amplitude
TA <sub>2</sub>	Tempo para atingir segunda amplitude
TD <sub>1</sub>	<i>Time-delay</i> do primeiro componente
TD <sub>2</sub>	<i>Time-delay</i> do segundo componente
TE	Erro típico
T <sub>LIM</sub>	Tempo até a exaustão
VCO <sub>2</sub>	Produção de gás carbônico
VO <sub>2</sub>	Consumo de oxigênio
VO <sub>2</sub> base	Consumo de oxigênio em repouso
VO <sub>2</sub> max	Consumo máximo de oxigênio
VO <sub>2Peak</sub> e VO <sub>2Pico</sub>	Consumo pico de oxigênio
VO <sub>2Peak400</sub>	Consumo pico de oxigênio após esforço de 400 m
VO <sub>2PeakInc</sub>	Consumo pico de oxigênio no exercício incremental
VO <sub>2SC</sub>	Componente lento do consumo de oxigênio
vVO <sub>2Pico</sub> e vVO <sub>2Peak</sub>	Velocidade associada ao consumo pico de oxigênio
W'	Capacidade de trabalho anaeróbio
Δ[La <sup>-</sup> ]	Varição na concentração de lactato

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>20</b>
<b>2. Revisão de literatura.....</b>	<b>24</b>
2.1 Capacidade anaeróbia.....	24
2.1.1 Máximo déficit acumulado de oxigênio.....	27
2.1.2 Máximo déficit acumulado de oxigênio reduzido.....	31
2.1.3 Capacidade anaeróbia na natação.....	33
2.2 Cinética do consumo de oxigênio.....	35
2.2.1 Parâmetros da cinética do VO <sub>2</sub> .....	41
2.2.1.1 Constante tempo da fase rápida.....	42
2.2.1.2 Componente lento.....	44
2.3 Cinética do consumo de oxigênio na natação.....	47
2.4 Consumo de oxigênio pela técnica de retro extrapolação.....	50
<b>3. Justificativa.....</b>	<b>53</b>
<b>4. Objetivos.....</b>	<b>55</b>
4.1 Objetivo geral.....	55
4.2 Objetivos específicos.....	55
<b>5. Plano de trabalho.....</b>	<b>56</b>
1º Trabalho.....	57
2º Trabalho.....	75
3º Trabalho.....	92
4º Trabalho.....	113
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>132</b>
<b>7. Considerações finais.....</b>	<b>134</b>
<b>8. Referências bibliográficas.....</b>	<b>135</b>

## 1. Introdução

A capacidade anaeróbia (CA) é analisada como a energia derivada do metabolismo anaeróbio em esforço menor que 90 segundos até exaustão (Zupan et al., 2009). Contudo, Noordhof et al. (2009), consideram a CA como a máxima quantidade de ATP que pode ser ressintetizada pelo metabolismo anaeróbio (lático e alático), sendo essa, a definição mais aceita.

A CA é um importante preditor de exercício de alta intensidade (Noordhof et al., 2010. Midgley et al (2007) verificaram que, a capacidade do atleta em executar esforços intermitentes para aumento do consumo máximo de oxigênio ( $VO_2\text{max}$ ) depende da CA. Da mesma forma, Ramsbottom et al (1994) constataram uma elevada relação entre CA e desempenho em corrida de 800 metros, evidenciando que os aumentos da CA (metabolismos lático e alático) são mais sensíveis à alterações no desempenho de provas anaeróbias (800 m) (Craig & Morgan, 1998).

Considerando que os processos anaeróbios estão relacionados à produção de lactato e hidrólise da fosfocreatina (Medbo & Tabata, 1993), métodos de análise diretos ou indiretos têm sido utilizados para mensurar a quantidade de ATP ressintetizada por processos anaeróbios (Medbo & Tabata, 1993; Noordhof et al., 2010). No entanto os métodos diretos de avaliação da capacidade anaeróbia são invasivos e dispendiosos (Bangsbo et al., 1993; Medbo & Tabata, 1993).

Apesar dos métodos de avaliação anaeróbia não serem tão bem desenvolvidos como os que avaliam a CA, diversas pesquisas empenharam-se em desenvolver métodos indiretos da capacidade anaeróbia (Bar-Or, 1987, Medbo et al., 1988, Noordhof et al., 2010, Nummela et al., 1996, Vanhatalo et al., 2007)..

Medbo et al. (1988), demonstraram que o máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) expressava quantitativamente a CA. Esse método fundamenta-se na estimativa da demanda teórica (DT) de consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) para uma intensidade supramáxima (Medbo et al., 1988). A DT é calculada individualmente pela extrapolação da relação linear estabelecida entre intensidade (velocidade e/ou potência) e  $VO_2$ . O MAOD é estabelecido



pela subtração do  $VO_2$  consumido durante o exercício supramáximo da DT (Medbo et al., 1988). Apesar de Medbo e Burgers (1990) verificarem sensibilidade do MAOD em homens e não em mulheres após seis semanas de treinamento, Weber e Schneider (2002) constataram melhora no MAOD para homens e mulheres após oito semanas de treinamento e concluíram que o método é sensível para gêneros diferentes.

Weyand et al. (1994) verificaram que o MAOD é um excelente preditor de desempenho em corrida de curta e média distância. Por outro lado, Craig e Morgan (1998) não constataram relação entre corrida de 800 metros e MAOD. Além dessas limitações, Bangsbo (1992) questionou tanto a duração dos esforços submáximos proposto por Medbo et al. (1988) como a linearidade da relação intensidade e  $VO_2$ . Segundo o autor, a ausência de estabilização em esforços supra limiar devido o componente lento do  $VO_2$  poderia alterar o valor de MAOD em 25%, e Bickham et al. (2002) demonstraram que metade dos erros de estimativa do MAOD está relacionado à regressão linear.

Outra limitação está na dificuldade de aplicação no cotidiano dos treinamentos pelo elevado número de avaliações, tornando o método limitado para treinadores e atletas inviabilizando assim sua aplicação frequente no contexto esportivo.

Contudo, apesar das críticas (Bangsbo, 1992), o MAOD tem sido considerado o padrão ouro de determinação da capacidade anaeróbia (Medbo et al., 1988, Ravier et al., 2006, Reis et al., 2010a, Weber and Schneider, 2001, Weber and Schneider, 2002), principalmente pelo seu referencial teórico (Gastin, 1994) e como referência na validação de diferentes protocolos de determinação da capacidade anaeróbia (Bertuzzi et al., 2010, Minahan et al., 2007, Zagatto et al., 2011).

No sentido de tornar a avaliação da CA mais eficaz, recentemente foi proposto um novo método para determinação do MAOD de maneira “reduzida” por meio de um único esforço supramáximo realizado até a exaustão ( $MAOD_{RED}$ ) (Bertuzzi et al., 2010). Esta proposta leva em consideração o conceito de que a capacidade anaeróbia é a máxima quantidade de energia que provêm apenas dos metabolismos anaeróbios (alático e láctico) (Green & Dawson, 1993). A quantidade de energia, advinda do metabolismo anaeróbio

alático, pode ser obtida através da análise do componente rápido do consumo excessivo de oxigênio observado após o exercício ( $EPOC_{RAP}$ ) (Beneke et al., 2004, Bertuzzi et al., 2010, de Campos Mello et al., 2009), enquanto que, a quantidade de energia obtida através do metabolismo anaeróbio láctico é determinada pela diferença entre as concentrações de lactato ( $\Delta[La^-]$ ) observadas após o exercício e as de repouso, considerando que  $\Delta[La^-]$  de 1mM de lactato corresponde a  $3 \text{ ml.O}_2.\text{kg}^{-1}$  (di Prampero, 1981; di Prampero et al., 1976a). Desse modo, o  $MAOD_{RED}$  pode ser determinado a partir da soma das quantidades de energia advindas dos metabolismos anaeróbios alático e láctico. Assim, teoricamente é possível determinar a CA por meio de um único esforço supramáximo, facilitando a avaliação da CA sem interferência na rotina de treino.

Os protocolos que visam calcular o MAOD ou  $MAOD_{RED}$  utilizam exercícios de intensidade fixa e obrigam o atleta a sustentar o esforço por maior tempo possível (Bertuzzi et al., 2010; Medbo et al., 1988). Todavia, o método não reproduz o que atletas realizam durante a competição, na qual determinada distância deve ser completa em menor tempo (Foster et al., 2003; Hettinga et al., 2006). Dessa forma, alguns autores utilizam equipamentos de telemetria para determinar o  $VO_2$  durante provas simuladas e calcularem o MAOD e o  $MAOD_{RED}$  (Craig and Morgan, 1998, Reis and Carneiro, 2005, Reis et al., 2010a). Contudo esses equipamentos são pouco aplicáveis (Montpetit et al., 1981) e alteram o padrão de movimento dos atletas durante os testes, modificando a estratégia de prova em esforços máximos (Jalab et al., 2011).

Segundo Jalab et al. (2011), testes que simulam competições, em que os atletas geralmente são equipados com instrumentos por telemetria induzem os atletas a realizarem esforços com intensidades constantes não simulando portanto o decréscimo da velocidade ou potência inerente às competições. Além disso, na natação a utilização desses equipamentos impossibilita a virada e as ondulações durante a saída (Jalab et al., 2011) podendo comprometer a validade ecológica do teste. Uma alternativa para a análise do  $VO_2$  e  $VO_{2max}$  em diferentes modalidades esportivas como a corrida, ciclismo e especialmente a natação é a técnica de retro extrapolação (Costill et al., 1985, Jalab et al.,

2011, Jurimae et al., 2007, Leger et al., 1980, Zamparo et al., 2000) proposta inicialmente por di Prampero et al. (1976).

Resumidamente essa técnica consiste de uma regressão semi logarítmica de  $VO_2$  e tempo. Considerando o *delay* do fim do exercício entre dois a quatro segundos para a primeira captação do  $VO_2$  (Leger et al., 1980, Zamparo et al., 2005), é possível determinar tanto  $VO_2$  submáximos (Sleivert and Mackinnon, 1991, Zamparo et al., 2000) e  $VO_{2max}$  (Bickham et al., 2002, Costill et al., 1985, Leger et al., 1980) (Figura 3) pela extrapolação da regressão linear. Dessa maneira, por se tratar de um método válido (Leger et al., 1980, Sleivert and Mackinnon, 1991) e amplamente utilizado (Costill et al., 1985, Jalab et al., 2011, Jurimae et al., 2007, Zamparo et al., 2005, Zamparo et al., 2000) a retro extrapolação seria uma alternativa atraente para analisar o  $VO_2$  em testes de campo.

Ogita et al. (1996) foram os primeiros a realizarem o cálculo do MAOD em nadadores, todavia usaram o *swimming-flumme*, limitando a aplicação do método. Mais recentemente, Reis et al. (2010) e Reis et al. (2010), avaliaram o MAOD em nado livre com a utilização do snórquel. Diferentemente do proposto por Medbo et al. (1988), os autores não realizaram exercício incremental, mas, esforços submáximos para determinação da relação  $VO_2$ -intensidade e, por fim um esforço máximo de distância fixa. Reis et al. (2010b) relataram valores de MAOD inferiores aos encontrados por Ogita et al. (1996) após esforço até exaustão. Assim, além de limitar a técnica de nado (ausência de viradas, respiração lateral e ondulação), o equipamento de telemetria (snórquel) também reduz a velocidade de nado, não apresentando validade ecológica para avaliação da capacidade anaeróbia de nadadores.

Dessa forma, a presente tese de doutorado se empenhou em analisar a viabilidade da utilização da técnica de retro extrapolação e concentrações sanguíneas de lactato para estimativa indireta da capacidade anaeróbia, assumida como sendo o máximo déficit acumulado de oxigênio.

## 2. Revisão da literatura

### 2.1 Capacidade anaeróbia

A definição mais aceita para CA é a máxima quantidade de ATP que pode ser ressintetizada pelo metabolismo anaeróbio (lático e alático) (Noordhof et al., 2009). Todavia, ainda existem algumas divergências sobre qual a melhor forma de avaliar essa variável. Na extensa revisão apresentada por Green (1995), o autor identificou que, desde o início da década de 70, com a criação do protocolo de Wingate, a comunidade científica busca avaliações confiáveis da capacidade anaeróbia. Para Green (1995), testes que mensuram a capacidade anaeróbia podem ser classificados de acordo os que objetivam avaliar a CA ou prover uma um índice de capacidade anaeróbia através da medida do trabalho total gerado em um curto período (i.e. capacidade de trabalho anaeróbio).

O termo capacidade de trabalho anaeróbio foi proposto por Maisson e Broeker (1941) e pode ser definido como a quantidade de trabalho produzida durante um esforço exaustivo. Contudo, esse esforço deveria garantir que a maior parte da ressíntese de ATP fosse fornecida pelo metabolismo anaeróbio (Green, 1995). Para isso, tanto esforços até a exaustão como *all-out* poderiam ser utilizados. Os esforços de intensidade constante deveriam ser realizados em domínios acima da intensidade correspondente ao consumo máximo de oxigênio ( $VO_2\max$ ) ( $iVO_2\max$ ) durarem até um minuto (Green, 1995). Por outro lado, foi observado que atletas treinados conseguiram permanecer em intensidades elevadas por até dois minutos (Medbo et al., 1988) e, para os autores, esforços dessa duração não mais estimariam a capacidade anaeróbia, pois aumentaria a contribuição aeróbia acima de 50%.

Em comparação com testes de intensidade constante, Green (1995) sugere esforços em *all-out*, pois demandam menos tempo e garantem maiores informações a respeito da função anaeróbia (i.e. potência pico, trabalho total, potência média e índice de fadiga). Assim como nos esforços em intensidades constantes, a duração do exercício também era considerada um fator fundamental para avaliação da capacidade anaeróbia. Baseado no referencial

teórico de que, para garantir a mensuração da capacidade anaeróbia a demanda energética deveria ser predominantemente anaeróbia, esforços de 30 à 40 segundos foram sugeridos como ideais para avaliação desse índice (Davies & Sandstron, 1989). Apesar disso, alguns autores já questionavam a utilização de esforços máximos de 30 segundos (e.g. Teste de Wingate) para avaliação da capacidade anaeróbia, e defendiam que esses métodos poderiam representar potência anaeróbia (Bar-Or, 1987).

Recentemente, a CA tem sido aceita como o estoque de energia do metabolismo anaeróbio que pode ser utilizada para ressintetizar ATP (Noordhof et al., 2009). Para isso, esforços máximos com duração acima de dois minutos são necessários (Medbo et al., 1988), enquanto que esforços de 30 à 40 segundos são índices de potência anaeróbia (Kaminagamura et al., 2012).

Apesar de se reconhecer a importância dessa variável no esporte (Joyner & Coyle, 2008; Noordhof et al., 2009; Noordhof et al., 2013), ainda não é consenso na literatura qual a ferramenta mais eficaz para avaliação da capacidade anaeróbia (Noordhof et al., 2013; Zagatto et al., 2011). A biópsia muscular é o método mais fino de estimativa da CA local, contudo, devido ao protocolo ser extremamente invasivo, possuir alto custo operacional e dificuldade de estimar CA em atividades com diferentes grupos musculares limita a utilização dessa técnica. Assim, outras formas de determinar a CA têm sido utilizadas na literatura.

Dentre as metodologias de determinação da capacidade anaeróbia, o máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) é mais frequentemente utilizado e será apresentado posteriormente. Outras duas interessantes metodologias de determinação da CA são a capacidade de trabalho anaeróbio ( $W'$ ) (Monod & Scherrer, 1965) e o método de *gross efficiency* (GE), descrito primeiramente por Serresse et al. (1988).

Ao analisar a relação entre potência gerada em esforços monoarticulares exaustivos e o tempo até a exaustão ( $T_{LIM}$ ), Monod e Scherrer (1965) verificaram um comportamento hiperbólico. Segundo os autores, a assíntota dessa relação representava a potência/velocidade crítica; intensidade em que o atleta/sujeito conseguiria permanecer por um longo período de tempo sem exaustão (Jones et al., 2010; Monod & Scherrer, 1965). Essa variável é

bastante descrita na literatura e aceita como um índice aeróbio. Por outro lado, a curvatura da relação hiperbólica ( $W'$ ) foi assumida como um índice de capacidade anaeróbia. Posteriormente, o conceito de potência crítica foi aplicado para diferentes modalidades (Kalva-Filho et al., 2015; Loures et al., 2012; Moritani et al., 1981; Wakayoshi et al., 1992).

Assim, enquanto a potência/velocidade crítica era descrita como um estoque “infinito” de energia aeróbia, a  $W'$  foi assumida como a quantidade finita de trabalho que pode ser desempenhada acima da potência/velocidade crítica (“estoque de energia anaeróbia”; Jones et al., 2010) (Hill, 1993; Monod & Scherrer, 1965). Com objetivo de verificar se a  $W'$  representava o estoque de energia anaeróbia, Nebelsick-Gullett et al. (1988) a compararam com o desempenho no teste de Wingate (até então aceito como capacidade anaeróbia) (Minahan et al., 2008). Os autores verificaram correlação significativa ( $r = 0.74$ ;  $p < 0.05$ ) entre a  $W'$  e potência total gerada durante o teste de Wingate, confirmando a  $W'$  como um índice de CA.

Além disso, Bishop & Jenkins (1996) observaram que a  $W'$  é sensível ao treinamento resistido e, outros observaram que a variável parece se associar com o déficit acumulado em esforço de 90 segundos (Dekerle et al., 2006). Ainda, estudos verificaram que a  $W'$  é sensível tanto à suplementação de creatina como a depleção dos estoques de glicogênio (Miura et al., 2000; Miura et al., 1999). Por outro lado, apesar dos estudos acima garantirem que a  $W'$  possa ser usada para avaliação da capacidade anaeróbia várias investigações têm questionado essa variável (Berthoin et al., 2003; Bosquet et al., 2007). Assim, a validade da  $W'$  para estimar CA é questionável.

Outra metodologia bastante útil para mensuração da contribuição anaeróbia é o método GE (Serresse et al., 1988; Noordhof et al., 2013; Noordhof et al., 2010), inicialmente proposta por Serresse et al. (1988). Os autores analisaram as contribuições tanto do metabolismo aeróbio como anaeróbio durante esforços de 10, 30 e 90 segundos. O estudo observou que durante o esforço de 90 segundos a contribuição do metabolismo anaeróbio láctico é significativa. Assim, conforme já haviam observado Jacobs et al. (1982), esforços de 30 segundos seriam muito curtos para avaliar a capacidade anaeróbia. Em conjunto, Serresse et al. (1988) estabeleceram que esforços

mais longos que 90 segundos eram necessários para avaliar a capacidade anaeróbia e concluíram que o modelo matemático de GE permite uma aproximação válida tanto da potência e capacidade anaeróbia. Utilizando o modelo de GE, alguns estudos analisaram as contribuições metabólicas durante provas simuladas no cicloergômetro e corrida (Bijker et al., 2001; Foster et al., 2003), aumentando a aplicação dessa ferramenta por não utilizar esforços de intensidade constante ou *all-out*.

Mais recentemente, Noordhof et al. (2010) compararam o método GE com o MAOD. Ao contrário do método proposto por Medbo et al. (1988), a capacidade anaeróbia pelo GE é calculada pela diferença entre potência total e o cálculo da produção aeróbia. Nenhuma diferença foi encontrada entre os métodos, todavia os limites de concordância entre as metodologias foram muito elevados.

Assim, segundo Noordhof et al. (2013), o método GE, modelo potência crítica e o MAOD podem ser considerados úteis para determinação da capacidade anaeróbia, contudo esses valores não devem ser usados indistintamente. Além disso, o modelo potência crítica se mostra pouco confiável na tentativa de estimar a capacidade anaeróbia (Noordshof et al., 2013). Por outro lado, o método GE necessita ser estimado na máxima intensidade em que o equivalente respiratório seja menor ou igual a um (de Koning et al., 2013); já o MAOD, possui um referencial teórico bastante robusto.

### 2.1.1 Máximo déficit acumulado de oxigênio

Conforme já apresentado, a CA pode ser definida como a máxima quantidade de ATP formada pelos processos anaeróbios durante o exercício (Zupan et al., 2009; Gatin et al., 1994). Sendo assim, como os estoques de creatina fosfato e a capacidade de acúmulo de lactato são limitados, a capacidade anaeróbia é uma variável limitada, contudo as formas de avaliação dessa variável eram limitadas (Medbo et al. 1988). Assim, baseado no déficit de oxigênio, Medbo et al. (1988) propuseram uma forma de estimativa da capacidade anaeróbia: máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD).

Em 1920, Krogh e Lindhard introduziram o conceito de déficit de oxigênio. Os autores verificaram que sujeitos submetidos à esforços de intensidade constante no cicloergômetro não apresentavam aumento abrupto no  $VO_2$ , e que existia uma diferença entre o  $VO_2$  em estado estável e durante o início do exercício. Posteriormente, Hermansen (1969) reintroduziu o conceito ao apresentar quantitativamente o déficit acumulado de oxigênio como a diferença entre a demanda de oxigênio e a área do consumo de oxigênio. Assim, o modelo de déficit de oxigênio (Hermansen, 1969) foi utilizado extensivamente para quantificar a formação anaeróbica de ATP durante exercícios exaustivos em cicloergômetro (Karlsson et al., 1972; Karlsson et al., 1970; Medbo e Sejersted, 1985), contudo os estudos não demonstraram que os valores eram máximos.

Baseado nisso, Medbo et al. (1988) propuseram critérios que garantissem que o déficit acumulado de oxigênio forneça uma boa estimativa da capacidade anaeróbia: (i) estabilização do valor com a duração do exercício exaustivo, (ii) ser independente do  $VO_{2max}$  e (iii) possuir concordância com os métodos já existentes.

Medbo et al. (1988) submeteram onze sujeitos à (i) um protocolo incremental para determinação do  $VO_{2max}$ ; (ii) 20 esforços submáximos (35 – 100% do  $VO_{2max}$ ) de dez minutos para acessar o  $VO_2$  correspondente à cada intensidade; e (iii) esforços supramáximos que garantissem que o sujeito entrasse em exaustão em 15 e 30 segundos, um e dois minutos. Além desses protocolos, a fim de atender os critérios estabelecidos anteriormente, Medbo et al. (1988) também realizaram todos os protocolos acima em hipóxia, além de submeter cinco sujeitos à esforço supramáximo com duração maior que cinco minutos.

A relação linear entre a intensidade dos 20 esforços submáximos e o  $VO_2$  foi extrapolada para a intensidade dos esforços supramáximos. A demanda teórica (DT) foi assumida como o produto entre a demanda de oxigênio e o tempo de duração do exercício (i.e. assumindo que a demanda foi constante durante todo o exercício). A diferença entre a DT e o consumo de oxigênio observado durante o esforço foi assumida como MAOD. O valor de MAOD se estabilizou em, quando realizado em hipóxia, o MAOD não se



modificou, enquanto que o  $VO_2\text{max}$  foi significativamente inferior. As concentrações picos de lactato também se mantiveram constantes em esforços supramáximos com duração  $\geq 2$  minutos. Assim, Medbo et al. (1988) concluíram que o déficit acumulado de oxigênio (AOD) (1) alcança seu valor máximo em exercícios exaustivos com duração maior que dois minutos; (2) varia independentemente do  $VO_2\text{max}$ ; (3) possui concordância com a capacidade anaeróbia mensurada por outros componentes metabólicos; e (4) mais de 90% do MAOD é verdadeiramente advinda do metabolismo anaeróbio. Todavia, o método ainda apresenta limitações.

A principal limitação do MAOD está na relação linear entre intensidade e  $VO_2$  (Noordhof et al., 2009), a saber: duração do esforço submáximo e número de esforços submáximos (e intensidade). Na proposta inicial de Medbo et al. (1988), esforços de dez minutos foram utilizados para estabelecer a relação intensidade- $VO_2$ , todavia Bangsbo (1992) afirmou que a duração dos exercícios submáximos poderiam influenciar a relação intensidade- $VO_2$  e, conseqüentemente, o MAOD devido ao componente lento do  $VO_2$ . Ao construir duas relações intensidade- $VO_2$  com medidas de  $VO_2$  após 4-6 minutos e 8-10 minutos de exercício, observou que o valor de MAOD diferiu em  $10.5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ , com esforços mais longos exibindo maiores valores de MAOD. Bangsbo (1992) concluiu que é difícil validar o uso de uma regressão linear para determinação da capacidade anaeróbia. Tais achados foram reproduzidos por Buck e McNaughton (1999), todavia esses concluíram que esforços de dez minutos eram necessários para estabelecer relação intensidade- $VO_2$ . Conforme será apresentado posteriormente, em exercícios acima do limiar anaeróbio o componente lento do  $VO_2$  fica evidente e, quanto mais próxima a intensidade está do  $VO_2\text{max}$ , o componente lento é constante e o  $VO_2$  se aproxima do valor máximo. Assim, a relação intensidade- $VO_2$  pode não ser linear devido à existência do componente lento em intensidades acima do limiar anaeróbio (Noordhof et al. 2009).

O número de esforços submáximos e suas intensidades também parecem ser fatores limitantes no estabelecimento da relação intensidade- $VO_2$  (Green and Dawson, 1993). Buck e McNaughton (1999) estudaram o efeito de diferentes números – e intensidade – de esforços submáximo sobre a relação

intensidade- $\text{VO}_2$  e MAOD. Comparado com dez esforços submáximos, quando são retiradas as intensidades mais altas e/ou baixas, o valor de MAOD é significativamente influenciado. Por outro lado, quando as intensidades centrais foram retiradas, o valor de MAOD não sofreu influência. Assim, os autores concluíram que a mudança no número de esforços submáximos é dependente da intensidade dos mesmos (Noordshof et al., 2009; Buck e McNaughton, 1999). Green e Dawson (1993) observaram que o *slope* da relação linear intensidade- $\text{VO}_2$  é maior quando são utilizadas intensidades acima do limiar anaeróbio em comparação com regressões lineares com intensidades abaixo do limiar anaeróbio. Assim, fica evidente que a relação intensidade- $\text{VO}_2$ , necessária para se estabelecer o MAOD, não apresenta linearidade. Uma alternativa para corrigir essa limitação é a utilização de intercepto-y fixo (i.e.  $5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Assim, a utilização de intensidades acima e abaixo do limiar anaeróbio, e o intercepto-y fixo são necessários para determinação mais fidedigna do MAOD.

Medbo et al. (1988) apresentaram que o valor de MAOD é inalterado quando realizado esforços supramáximos acima de dois minutos e alguns estudos verificaram que o valor de MAOD é modificado de acordo com a intensidade, duração e protocolo (constante ou *all-out*) do exercício supramáximo. Quando comparado valores de MAOD obtidos em diferentes intensidades e protocolos, ciclistas de *endurance* apresentam maior valor após esforço em *all-out* de 300 segundos, enquanto que ciclistas de *sprint* apresentam maior MAOD após *all-out* de 70 segundos. Gastin et al. (1995) observou os sujeitos desempenham melhor o teste quando o mesmo é realizado em protocolo específico, além disso, sujeitos não treinados atingem maior MAOD em *all-out* enquanto que não treinados atingem maiores valores em esforços constantes. Assim, diferentes protocolos e intensidades podem ser utilizadas para obter o MAOD, contudo é extremamente importante que o protocolo seja o mais específico ao atleta.

Por fim, apesar das críticas o MAOD parece ser válido em estimar a CA (Bangsbo et al., 1990), contudo a sua reprodutibilidade ainda é questionada (Noordshof et al., 2009). Além disso, pelo seu referencial robusto a metodologia

proposta por Medbo et al. (1988) é utilizada para validar outras ferramentas anaeróbias (Zagatto et al., 2011; Bertuzzi et al., 2010).

### 2.1.2 Máximo déficit acumulado de oxigênio reduzido

Apesar do MAOD possuir grande aceitação científica e atualmente ser reconhecido como o método mais aceito para estimativa da capacidade anaeróbia, o grande número de avaliações para determiná-la, limita sua introdução na rotina de treinamento. Assim, Bertuzzi et al. (2010) propuseram uma nova forma de mensuração da capacidade anaeróbia, baseada na somatória das contribuições anaeróbias láctica e aláctica.

A contribuição anaeróbia aláctica ( $Ana_{ALA}$ ) pode ser avaliada através do consumo excessivo de oxigênio após o esforço (EPOC) (di Prampero e Margaria, 1968). Essa hipótese se baseia na relação entre débito de oxigênio e ressíntese de PCr após o esforço. Margaria e Dill (1933) indagaram a afirmativa de Hill (1924) de que o EPOC era necessário para remoção do lactato produzido durante o esforço prévio. Segundo os autores a remoção do lactato se caracterizava por um processo muito lento (15 minutos) e a primeira parte do EPOC não poderia ser considerada como responsável pela remoção de lactato (Margaria e Dill, 1933). Na época, os autores cogitaram que a fase rápida de declínio do consumo de oxigênio após o esforço era destinado a ressíntese da PCr. Margaria e Dill (1933) dividiram a recuperação do  $VO_2$  em dois componentes, sendo o rápido destinado à ressíntese de PCr. Essa relação foi confirmada em estudo que verificou que a fase rápida do EPOC está associada à cinética da PCr após o esforço (Rossiter et al. 2002). A fase rápida do consumo de oxigênio pode ser obtida por um ajuste biexponencial da recuperação do  $VO_2$  após o esforço. Assim a  $Ana_{ALA}$  pode ser determinada pela integral da parte rápida do EPOC (i.e.  $A_1 \cdot f_1$ ) (Equação 1).

$$\text{Eq1. } VO_2(t) = VO_{2\text{base}} + A_1[\exp^{-(t-TD1)/f_1}] + A_2[\exp^{-(t-TD1)/f_1}]$$

Onde  $VO_2(t)$  é o consumo de oxigênio em um determinado tempo (t),  $VO_{2\text{base}}$  é o consumo de oxigênio em repouso ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) mensurado com

o atleta na posição vertical na piscina com água até o pescoço (Costill et al., 1985),  $A_1$  é a amplitude do componente rápido ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ),  $TD_1$  e  $TD_2$  representam o tempo de atraso (i.e. *time delay*) de cada componente (i.e. rápido e lento) e  $f_1$  e  $f_2$  são as constantes tempo do componente rápido e lento (i.e. tempo para atingir 63% da respectiva fase).

Já a contribuição anaeróbia láctica ( $Ana_{LAC}$ ) pode ser estimada a partir da energia equivalente para formação de lactato através do *slope* da relação entre produção de lactato e carga metabólica em intensidades máximas de exercício com duração maior que 30 segundos (di Prampero e Ferretti, 1999). di Prampero e Ferretti (1999) observaram que o equivalente metabólico para formação do lactato durante o esforço varia entre 2.7 à 3.0  $\text{mLO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mM}^{-1}$ . Assim, os autores sugerem uma fixação em 3.0  $\text{mLO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mM}^{-1}$ , tornando possível estimar a  $Ana_{LAC}$  em litros apenas pela concentração pico de lactato (Equação 2)

$$\text{Eq2 } Ana_{LAC} = ((\Delta[\text{La}^-])\cdot 3)\cdot MC/1000$$

Onde  $\Delta[\text{La}^-]$  é a diferença na concentração de lactato de repouso ( $[\text{La}^-]_{\text{rep}}$ ) e pico ( $[\text{La}^-]_{\text{pico}}$ ) e MC é a massa corporal.

Sendo assim, partindo do pressuposto que o MAOD reflete a energia advinda do metabolismo anaeróbio durante o esforço, a somatória de  $Ana_{LAC}$  e  $Ana_{ALA}$  pode ser assumida como uma forma reduzida de cálculo do MAOD ( $MAOD_{RED}$ ). Essa metodologia já foi utilizada em diferentes estudos com objetivo de determinar as contribuições energéticas durante diferentes tipos de exercício (Zagatto e Gobatto, 2012; Bertuzzi et al., 2010; Kalva-Filho et al., 2015).

Até o presente momento apenas Kilding et al. (2005) analisaram a reprodutibilidade da  $Ana_{ALA}$  em corrida à 80% do  $VO_2\text{max}$ . Segundo os autores, apenas da assimetria entre a cinética *on* e *off* do consumo de oxigênio durante o esforço, tanto  $A_1$  com  $f_1$  forma reprodutíveis ( $1.81 \pm 0.22$  L e  $1.79 \pm 0.18$  L;  $24.5 \pm 2.3$  s e  $24.1 \pm 2.4$  s, respectivamente). Apesar de amplamente utilizado a fase rápida do EPOC não representa apenas a ressíntese de PCr, fatores como pH muscular parecem interferir no EPOC (Spencer et al., 2005). Já a

Ana<sub>LAC</sub> parece apresentar maiores limitações como o conteúdo disponível de glicogênio (Jacobs, 1981) e o equivalente metabólico para as concentrações de lactato (di Prampero e Ferretti, 1999).

Por outro lado, Bertuzzi et al. (2010) validaram o MAOD<sub>RED</sub> como uma ferramenta mais simples de determinação do MAOD. Os autores demonstraram correlação significativa ( $r = 0.78$ ;  $p < 0.05$ ) entre os índices durante exercício até a exaustão em ciclo ergômetro e elevados níveis de concordância. Assim, apesar das críticas, a soma das contribuições anaeróbias é um método eficaz e prático para estimativa da capacidade anaeróbia, sendo necessários estudos que investiguem a validade dessa ferramenta em outros protocolos e padrões de movimento.

### 2.1.3 Capacidade anaeróbia na natação

A natação representa uma modalidade bastante específica em termos de posicionamento do corpo e ambiente em que é praticada (Sousa et al., 2014). Avaliações realizadas com bastante facilidade na esteira ou cicloergômetros apresentam dificuldades inerentes quando aplicadas à natação. O alto custo do *swimming flume* é um fator que por muito tempo dificultou as avaliações de capacidade e potência aeróbia e anaeróbia de nadadores. Além disso, apesar do  $VO_2$  ser comumente associado à um índice aeróbio, o mesmo é essencial para determinação das capacidades e potências anaeróbias. Assim, a mensuração dessas variáveis em nadadores limitava-se à presença do *swimming flume*, que não possui validade ecológica com o nado livre. A utilização do snórquel favoreceu a utilização de analisadores de gases em ambiente específico, mesmo sendo pouco aplicável (Leger et al., 1981) e influenciar a técnica e velocidade de nado. Mais recentemente, Baldari et al. (2013) validaram o novo snórquel *aquatrainig* (Cosmed<sup>®</sup>, Roma, Itália), que reduziu drasticamente a resistência e a interferência durante o nado. Todavia, como na natação a técnica é extremamente importante, qualquer equipamento limita significativamente a técnica do nado e, conseqüentemente a velocidade do mesmo (Reis et al., 2010b).

O primeiro trabalho que avaliou a CA de nadadores foi realizado em 1996 por Ogita e colaboradores (Ogita et al., 1996) Realizado em *swimming flume*, os investigadores analisaram a diferença entre o MAOD dos braços, pernas e durante o nado completo. Posteriormente, o mesmo grupo observou que o MAOD durante o nado não sofreu influência da hipóxia, enquanto que o  $VO_2\text{max}$  dos nadadores reduziu significativamente, evidenciando, assim como Medbo et al. (1988), que o MAOD é sim um índice de CA. Além disso, o método também se mostrou sensível ao treinamento intermitente de alta intensidade na natação (Ogita et al., 2006). Zoeller et al. (2000) verificou que o MAOD em *swimming flume* apresenta correlação significativa com o desempenho em 50 jardas ( $r = 0.67$ ;  $p < 0.05$ ).

Com o advento dos equipamentos de snórquel mais sofisticados, Reis et al. (2010a) e Reis et al. (2010b) analisaram o MAOD em nado livre e peito, respectivamente. Dentre as diferentes distâncias analisadas, Reis et al. (2010b) constatou que a distância de 200m provocava o maior valor de MAOD. Mais recentemente Kalva-Filho et al. (2015) analisaram o MAOD em nado atado. Assim, as pesquisas com o MAOD na natação são limitadas pela sua dificuldade de aplicação.

Por outro lado, as contribuições láctica e aláctica na natação são bastante utilizada, contudo a somatória de ambas (i.e.  $MAOD_{RED}$ ) dificilmente é considerada como um índice de CA, principalmente por que o  $MAOD_{RED}$  na natação ainda não foi comparado com o MAOD.

Apesar de a  $Ana_{ALA}$  ser utilizada na natação (Kalva-Filho et al. 2015), a maioria dos estudos utilizam um modelo matemático para estimar a contribuição da PCr durante esforço de intensidade máxima (Figueiredo et al., 2011; Sousa et al., 2014; Zamparo et al., 2005; Zamparo et al., 2001). Esse modelo assume que a PCr é degradada com uma constante tempo fixa baseada na massa muscular ativa (Binzoni et al., 1992; Sousa et al., 2014). Sousa et al. (2013) não verificaram diferença entre a  $Ana_{ALA}$  determinada pelo EPOC ou modelo matemático após esforço máximo de 200m.

Basicamente, as contribuições anaeróbias durante a natação são utilizadas para analisar as contribuições metabólicas e o custo energético de

diferentes distâncias de nado (Sousa et al., 2012; Figueiredo et al., 2011; Reis et al., 2010b).

Ogita et al. (1996) observaram MAOD de 3.23 L de capacidade anaeróbia de nadadores submetidos à esforços até a exaustão, enquanto que Zoeller et al. (2000) evidenciaram valores de 2.7 L. Esses valores são bem acima dos encontrados por Reis et al. (2010b) após esforço máximo de 100, 200 e 400m, e pelo mesmo grupo no nado de peito. Provavelmente, a utilização do snórquel durante o nado no estudo de Reis et al. (2010b) pode ter reduzido a velocidade do nado. Além disso, atletas utilizam diferentes estratégias durante um esforço máximo e para o cálculo do MAOD, os autores utilizaram DT constante durante o nado, diferente do proposto recentemente por Kalva-Filho (2015). Esse último sugere que a DT seja estipulada de acordo com a estratégia de nado utilizada.

Kalva-Filho et al. (2015) observaram valor de MAOD<sub>RED</sub> ( $4.7 \pm 1.5$  L) bastante superior às capacidades anaeróbias determinadas pelo método convencional após esforço máximo de 400m. Todavia, conforme apresentado anteriormente, o MAOD<sub>RED</sub> (i.e. soma da Ana<sub>ALA</sub> e Ana<sub>LAC</sub>) é extensivamente utilizado na natação para cálculo do custo energético de nado. Dessa forma, os valores absolutos (L e mL·kg<sup>-1</sup>) são raramente apresentados, limitando uma revisão mais aprofundada.

Por fim, parece que o MAOD<sub>RED</sub> é um método promissor para estimar a capacidade anaeróbia de nadadores, principalmente por ser de fácil aplicação e necessitar apenas de uma única sessão de exercício. Além do mais, como as variáveis necessárias para o seu cálculo são obtidas antes (i.e. [La<sup>-</sup>]<sub>rep</sub>) e após o esforço (i.e. VO<sub>2</sub> e [La<sup>-</sup>]<sub>pico</sub>), é possível calcular a capacidade anaeróbia em nado livre, ou seja, sem o uso dos equipamentos que limitam a técnica, estratégia e velocidade de nado, pois o EPOC pode ser mensurado pela técnica de retro extrapolação que será apresentada nos próximos capítulos (Kalva-Filho et al. 2015).

## 2.2 Cinética do consumo de oxigênio

O consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) aumenta na transição repouso-exercício ou quando um exercício de maior intensidade é realizado, e essa transição dinâmica do  $VO_2$  no início do exercício é considerada uma “janela única” para entendimento do controle metabólico (Poole et al., 2008). Esse aumento é estimulado pelo aumento das concentrações de adenosina difosfato ([ADP]) e/ou fosfato inorgânico ([Pi]) ou pelo controle termodinâmico ( $[ATP]/[ADP][Pi]$ ) (Brown, 1992). Além disso, a quantidade de depleção da creatina fosfato (PCr) parece ter papel importante na cinética de  $VO_2$ , pois associa significativamente com a resposta do  $VO_2$  no início do exercício submáximo (Phillips et al., 1995) e está relacionado ao metabolismo da mitocôndria (Rossiter et al., 1999).

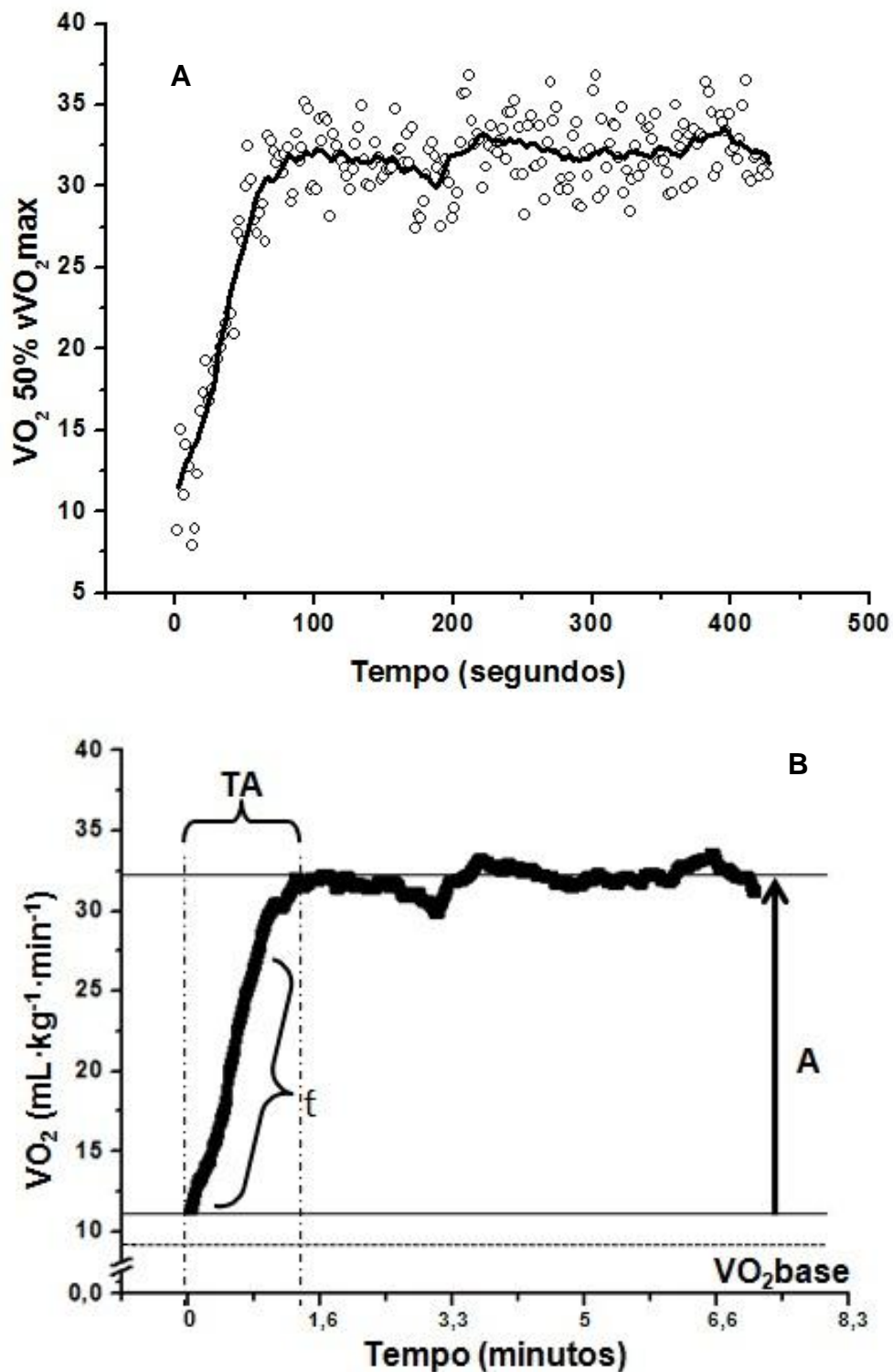
A cinética do aumento no consumo de oxigênio no começo do exercício é dependente do domínio de intensidade em que o exercício é realizado. Na transição repouso-exercício em intensidades abaixo do limiar de lactato (LL), a cinética do  $VO_2$  ocorre em três fases distintas: (i) fase 1; possui duração de  $\approx 15$  seg e é caracterizado como diminuição da saturação de oxigênio e aumento da pressão de  $CO_2$  no sangue venoso (i.e. aumento do  $VO_2$  nos músculos respiratórios e cardíacos) (Hughson et al., 2000), essa fase também é conhecida como cardiodinâmica; (ii) fase 2: a primeira fase do processo adaptativo reflete a mudança no metabolismo oxidativo com aumento do retorno venoso e extração do  $O_2$  com o exercício (Hughson et al., 2000). A fase 2 em exercício submáximo responde com uma função monexponencial; e (iii) fase 3: em exercícios abaixo do LL essa fase é representada por um estado estável no  $VO_2$  atingida por volta de 2-3 minutos (Hughson et al., 2000) enquanto que em intensidades entre o LL e a máxima fase estável de lactato (MFEL) (i.e. domínio pesado) e acima do LAn (i.e. domínio severo), é observado um aumento contínuo do  $VO_2$  denominado componente lento, sendo que, no domínio pesado, o estado estável ocorre após o componente lento. Em intensidades no domínio severo (i.e. acima da MFEL), o componente lento se torna expressivo e, dependendo da intensidade do exercício o  $VO_{2m\acute{a}x}$  é atingido. Em função da fase 1 não apresentar modificações metabólicas no músculo ativo, a mesma é retirada das análises (Whipp et al., 2005).



Dessa forma, o ajuste matemático que melhor representa a cinética do VO<sub>2</sub> em um exercício de intensidade moderada é o monoexponencial (Equação 3

$$\text{Eq 3. } VO_2(t) = VO_{2\text{base}} + A \times (1 - e^{-(t-TD)/f})$$

onde VO<sub>2</sub>(t) é o consumo de oxigênio em um determinado tempo (t), VO<sub>2</sub>base é o consumo de oxigênio em repouso (mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) mensurado com o atleta na posição vertical na piscina com água até o pescoço (Costill et al., 1985), A é a amplitude do componente rápido (mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>), TD representa o tempo de atraso (i.e. *time delay*) e f é a constante tempo, ou seja, o tempo para atingir 63% do platô dessa fase (Sousa et al., 2011) (i.e. A) (Figura 1).

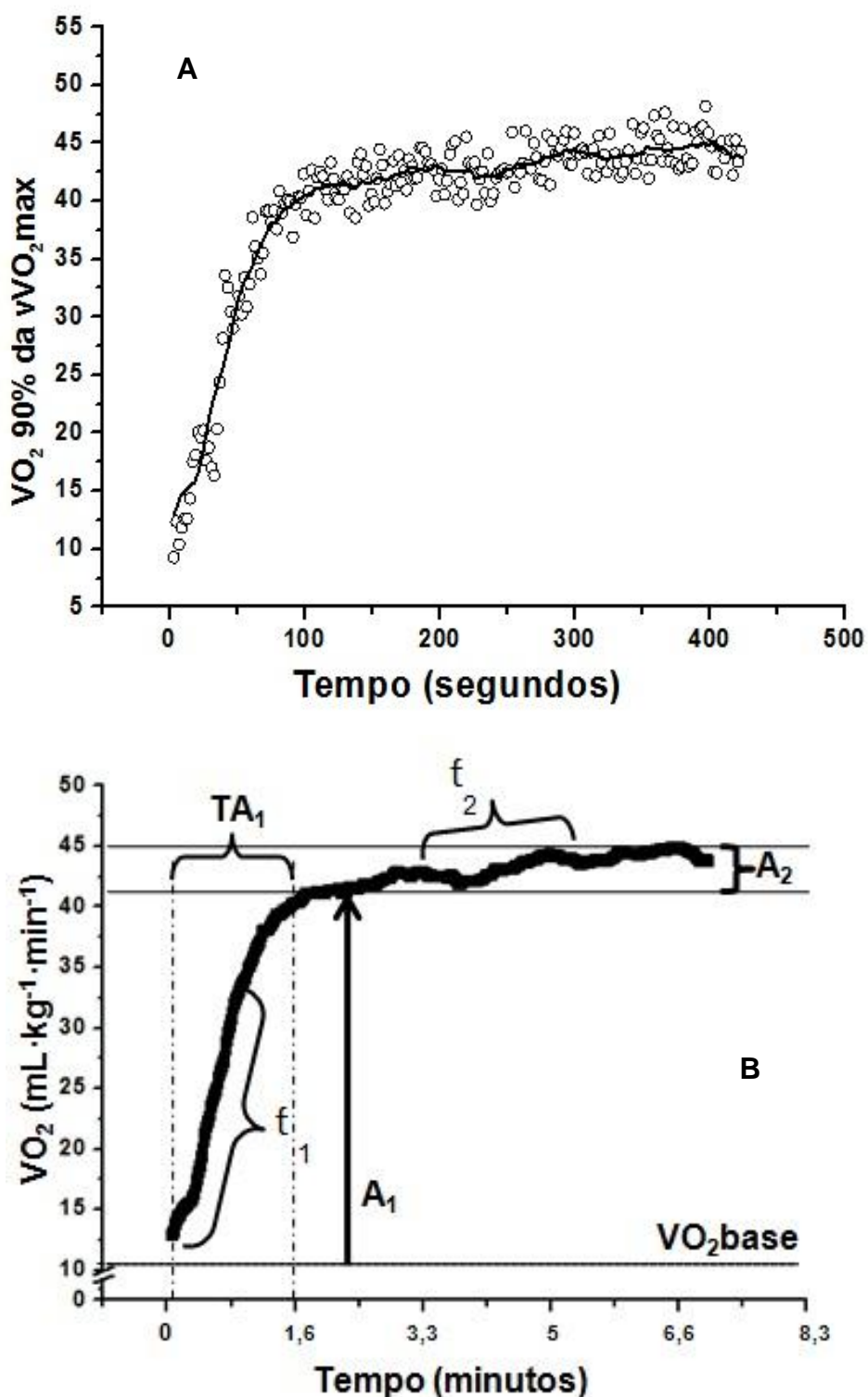


**Figura 1.** Comportamento do  $VO_2$  de um indivíduo se exercitando à 50% do  $VO_{2max}$  (Figura 1A: dados brutos). Figura 1B: dados alisados; TA: tempo para atingir a amplitude (A); f: constante tempo;  $VO_{2base}$ : consumo de oxigênio de repouso; A: amplitude.

Em exercícios no domínio pesado (i.e. entre LL e MFEL) e severo (i.e. acima da MFEL), o ajuste matemático que melhor representa essa cinética é o biexponencial (Equação 4).

$$\text{Eq 4. } \text{VO}_2(t) = \text{VO}_2\text{base} + A_1 \times (1 - e^{-(t-\text{TD}_1)/\tau_1}) + A_2 \times (1 - e^{-(t-\text{TD}_2)/\tau_2})$$

onde  $\text{VO}_2(t)$  é o consumo de oxigênio em um determinado tempo ( $t$ ),  $\text{VO}_2\text{base}$  é o consumo de oxigênio em repouso ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) mensurado com o atleta na posição vertical na piscina com água até o pescoço (Costill et al., 1985),  $A_1$  é a amplitude do componente rápido ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $\text{TD}_1$  e  $\text{TD}_2$  representam o tempo de atraso (i.e. *time delay*) de cada componente (i.e. rápido e lento) e  $\tau_1$  e  $\tau_2$  são as constantes tempo do componente rápido e lento (i.e. tempo para atingir 63% da respectiva fase), respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Comportamento do  $VO_2$  de um indivíduo se exercitando à 90% do  $VO_{2max}$  (Figura 2A: dados brutos). Figura 2B: dados alisados;  $TA_1$ : tempo para atingir a amplitude ( $A_1$ );  $f_1$ : constante tempo do componente rápido;  $f_2$ : constante tempo do componente lento;  $A_1$ : amplitude do componente rápido;  $A_2$ : amplitude do componente lento;  $VO_{2base}$ : consumo de oxigênio de repouso

Dependendo da intensidade (i.e. mais próximo do consumo máximo de oxigênio) e/ou duração do exercício, o  $\text{VO}_2$  no componente lento continua aumentar até atingir o  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (Jones and Poole, 2005). Maiores explicações e os fatores determinantes no componente lento serão discutidos posteriormente.

### 2.2.1 Parâmetros da cinética do $\text{VO}_2$

Dentre os parâmetros relacionados à cinética do  $\text{VO}_2$ , a amplitude do componente lento ( $A_2$ ) em exercícios realizados no domínio pesado e severo, bem como a  $f$  do componente rápido ( $f_1$ ) estão dentre as mais investigadas (Jones and Poole, 2005, Vanhatalo et al., 2011). O componente lento é geralmente associado à diminuição de eficiência mecânica (i.e. diminuição do metabolismo aeróbio e aumento da contribuição anaeróbia pelas fibras do tipo II) (Russell et al., 2003). Já a constante tempo do componente rápido ( $f_1$ ) é, matematicamente o tempo necessário para atingir 63% da amplitude final do componente rápido (Jones and Poole, 2005). Dessa forma, baixos valores de  $f_1$  representam ajustes “rápidos” do  $\text{VO}_2$  à demanda do exercício, enquanto altos valores significa “demora” em atingir o nível de  $\text{VO}_2$  referente ao componente rápido do  $\text{VO}_2$ . O produto entre  $f_1$  e a amplitude do componente rápido da cinética do  $\text{VO}_2$  (i.e. fase II) refletem o “déficit” de oxigênio no começo do exercício (Jones and Poole, 2005) e as alterações nessas variáveis podem reduzir o “deficit” de oxigênio.

O entendimento dos fatores que limitam a cinética do  $\text{VO}_2$  durante a transição repouso-exercício é importante, pois a taxa em que o metabolismo oxidativo muscular se adapta à nova demanda metabólica é um dos fatores que determinam a tolerância ao exercício. Ou seja, ajustes mais rápidos reduzem a necessidade de utilização da fosforização à nível de substrato (i.e. quebra da PCr e glicólise anaeróbia), e, consecutivamente, o distúrbio homeostático celular (Grassi, 2001, Poole et al., 2008). Além disso, geralmente, pacientes com insuficiência cardíaca e diabetes possuem cinética de  $\text{VO}_2$  mais lenta, diminuindo a tolerância ao exercício, dessa forma, entender as limitações da cinética são interessantes para facilitar o desenvolvimento de estratégias

terapêuticas para reverter esse problema (Poole et al., 2008). Alguns estudos apresentam a dinâmica e as limitações da cinética de  $\text{VO}_2$  durante exercício de intensidade moderada (Delp, 1999, Grassi, 2000). A capacidade de utilização e entrega do  $\text{O}_2$  e o controle metabólico são duas limitações levantadas para justificar o *delay* entre o começo do exercício e a resposta do  $\text{VO}_2$  (Grassi, 2001, Hughson et al., 2001). Contudo, considerando os diferentes domínios de intensidades, modalidades, envolvimento muscular, e fatores ambientais, é improvável que o *delay* da cinética de  $\text{O}_2$  seja devido à apenas um dos fatores postulados anteriormente (Grassi, 2001).

#### 2.2.1.1 Constante tempo da fase rápida

O  $\text{VO}_2$  mensurado por equipamentos especializados refletem o consumo de oxigênio pulmonar e é utilizado para estimar as alterações que ocorrem no músculo durante o exercício. A mensuração do  $\text{VO}_2$  muscular é extremamente invasiva, contudo, os valores de  $\text{VO}_2$  pulmonar são bem eficazes em refletir o consumo de oxigênio no músculo. Todavia, alguns fatores complicam essa comparação, especialmente a fase I do ajuste do  $\text{VO}_2$  ao exercício (Whipp and Wasserman, 1972). Esse componente adicional reflete o aumento do retorno venoso e  $\text{VO}_2$  no músculo cardíaco e respiratório (Jones and Poole, 2005), é por esse motivo que as análises matemáticas que envolvem a cinética do  $\text{VO}_2$  excluem os primeiros 20s da resposta do  $\text{VO}_2$  ao exercício físico (Christensen et al., 2012).

Como mencionado anteriormente, a inércia do metabolismo oxidativo e a entrega inadequada de  $\text{O}_2$  aos músculos ativos são os dois fatores principais se relacionam com o *delay* do  $\text{VO}_2$  durante a transição repouso-exercício. Segundo Jones & Poole (Jones and Poole, 2005), entender qual o fator que limita e/ou controla a cinética do  $\text{VO}_2$  no início do exercício vai além dos interesses acadêmicos e é considerado um fator preponderante no aumento da tolerância ao exercício em pessoas com insuficiência cardíaca e diabetes tipo II.

De acordo com Hughson et al. (2001), a questão de qual o fator determinante para *delay* do componente rápido da cinética do  $\text{VO}_2$  se resume-

se a: é possível que o suprimento de oxigênio durante a fase de adaptação seja antecipado ou exceda a demanda de  $O_2$ ?

Segundo os autores (Hughson et al., 2001), em caso afirmativo, o sistema de controle da disponibilidade de oxigênio ao músculo ativo funcionaria em um sistema de *feed forward*, ou seja, junto com o começo da contração muscular, sinais do cortex motor (comando central) reduziria a ativação parassimpática sobre a frequência cardíaca (FC). Além disso, a contração muscular funcionaria como uma bomba aumentando o fluxo sanguíneo e retorno venoso e, consecutivamente o débito cardíaco. Contudo, o *delay* que ocorre durante o início do exercício é devido ao sistema de *feedback* para aumento do fluxo e disponibilidade de oxigênio ao músculo ativo. Esse sistema é mediado por duas vias: (i) via metabólica, onde o aumento de metabólitos decorrentes do metabolismo aeróbio (i.e. oxigênio ligado à mioglobina) e anaeróbio (e.g. lactato,  $H^+$ , ADP, Pi) estimula tanto o sistema nervoso central como também promove a vasodilatação que, por sua vez, reduz a pressão arterial, estimulando o barorreflexo arterial à aumentar e reduzir a ativação simpática e parassimpática, respectivamente (Rowell, 1993); e (ii) o aumento progressivo que ocorre na  $PCO_2$  e  $H^+$  facilita a entrega de  $O_2$  ao músculo ativo. Dessa forma, a disponibilidade de oxigênio é limitada pelo mecanismo de *feedback* que ocorre durante o começo do exercício (i.e. limitação de disponibilidade de  $O_2$ ).

Essa limitação é justificada por estudos que demonstram que a  $t_1$  diminui (i.e. acelera a cinética) quando sujeitos são submetidos à exercícios de alta intensidade em ambientes de hiperóxia (Macdonald et al., 1997). Além disso, maiores níveis de oxigênio durante o exercício (i.e. hiperóxia) promove o controle do metabolismo oxidativo durante o início do exercício submáximo (Haseler et al., 1998). Recentemente, Christensen et al. (2013) verificaram que a diminuição do fluxo sanguíneo ao músculo ativo reduz a cinética do  $VO_2$  durante exercício intenso. Em conjunto, esses resultados sugerem a limitação da disponibilidade de  $O_2$  para a cinética de  $VO_2$  durante a transição repouso e exercício.

Por outro lado, Grassi (2001), apesar de considerar a interação entre os dois fatores limitantes, sugere que a inércia do metabolismo oxidativo parece

ser o principal fator limitante da cinética do  $VO_2$  durante o exercício. Assim, caso o ajuste do  $VO_2$  durante a transição repouso-exercício não seja alterado mesmo em ambiente com maior disponibilidade de oxigênio, a inércia do metabolismo oxidativo parece ser o principal fator que contribui para o atraso na cinética do consumo de oxigênio. Em estudo realizado *in situ*, Grassi et al. (2000) não verificaram alteração na cinética de  $VO_2$  no músculo de caninos submetidos à exercício à 60% do  $VO_{2max}$  com aumento na disponibilidade de oxigênio. Em outro estudo Grassi et al. (1998) aumentaram a difusão de oxigênio no músculo ativo e expuseram os animais à hiperóxia. Da mesma forma, a cinética do  $VO_2$  muscular não foi alterada em exercício à 60% do  $VO_{2max}$ . Por outro lado, em exercício à 100% do  $VO_{2max}$ , a maior disponibilidade de oxigênio acelerou a cinética de  $VO_2$ .

Parece que em maiores intensidades a disponibilidade de oxigênio possui influência na cinética do consumo de oxigênio, enquanto que, no domínio moderado-pesado, o aumento da disponibilidade de oxigênio não altera a cinética, indicando que a inércia do metabolismo oxidativo é o fator preponderante. Da mesma forma, os autores que defendem a inércia do metabolismo aeróbio como limitação da cinética concordam que a hipóxia aumenta o  $t_1$  (i.e. “atrasa” a cinética), contudo justificam que a desenhos experimentais com hipóxia são modelos em que claramente a disponibilidade é um fator limitante, e, que não necessariamente esses estudos refletem esse fator como limitante.

Dessa forma, vários são os fatores limitantes da cinética do  $VO_2$ , e a contribuição de cada fator pode diferir de acordo com o tipo de transição (i.e. repouso-exercício ou exercício-exercício) (Hughson and Morrissey, 1982); ambiente ou fatores exógenos e a presença de condição patológica (Grassi, 2001).

#### 2.2.1.2 Componente lento

Como descrito anteriormente, o consumo de oxigênio durante a transição repouso-exercício possui características distintas de acordo com a intensidade do exercício realizado. Em exercícios no domínio moderado, o  $VO_2$



pode ser ajustado por um modelo mono exponencial, no qual após um aumento do consumo de oxigênio (i.e. 2 – 3 minutos) existe um estado estável do  $VO_2$  (Xu and Rhodes, 1999). Já no domínio pesado e severo, o comportamento do  $VO_2$  parece ser melhor descrito por um ajuste bi exponencial, sendo que o  $VO_2$  não atinge o estado estável e continua aumentar durante a realização do exercício (Vanhatalo et al., 2011, Xu and Rhodes, 1999). Quanto mais próxima a intensidade do exercício for da intensidade relativa ao  $VO_{2max}$ , existe uma tendência ao  $VO_2$  continuar aumentando até atingir o  $VO_{2max}$  (Vanhatalo et al., 2011). Esse aumento contínuo e discreto do  $VO_2$  durante o exercício (Figura 2) é denominado componente lento da cinética de  $VO_2$ .

Para exercícios em intensidade pesada e severa, o componente lento do  $VO_2$  pode refletir um suprimento inadequado de  $O_2$  para os músculos ativos, resultando em ressíntese anaeróbia de ATP e, consecutivamente, o acúmulo de ácido láctico (Xu and Rhodes, 1999). Os mecanismos do componente lento do  $VO_2$  ainda são estudados na literatura, e alguns dos responsáveis para esse fenômeno fisiológico são: lactato, epinefrina, ventilação, temperatura corporal e recrutamento de fibras tipo IIb (Xu and Rhodes, 1999).

No estudo clássico de Whipp & Wasserman (1972), os autores identificaram uma associação entre o componente lento do  $VO_2$  e a concentração de lactato sanguíneo durante exercício constante acima do LL. Por essa razão, acreditava-se que, esse fenômeno fisiológico estaria envolvido com a anaerobiose ocorrida no músculo. Contudo, Poole et al. (1991) demonstraram que a infusão de lactato no músculo ativo não alterava o componente lento do  $VO_2$  durante exercício intenso. Outros estudos evidenciaram associação entre o componente lento e a concentração de lactato (Casaburi et al., 1989, Poole et al., 1988), e Stringer et al. (1994) justificaram essa associação devido à maior dissociação do  $O_2$  da hemoglobina em ambiente ácido (i.e. aumentando o  $VO_2$ ). Todavia, essa mudança da curva de dissociação parece ser pequena para gerar aumentos consideráveis no  $VO_2$  durante exercício de carga constante. É evidente que, em intensidades mais próximas ao  $VO_{2max}$  o componente lento da cinético é maior (Poole et al., 1991), dessa forma, como a concentração de lactato sanguíneo pode ser

utilizada como um marcador de intensidade de exercício, fica evidente a razão da associação entre concentração de lactato e componente lento do  $\text{VO}_2$ .

Outro possível mecanismo responsável pelo componente lento do  $\text{VO}_2$  é a epinefrina, principalmente devido à semelhança entre o comportamento desse hormônio com o lactato (Turner et al., 1995). Contudo, apesar da epinefrina aumentar o  $\text{VO}_2$  de repouso, o componente lento do consumo de oxigênio não é causado pelo aumento da concentração de epinefrina (Xu and Rhodes, 1999).

Na tentativa de manter a efetividades da troca gasosa nos pulmões e para eliminar o dióxido de carbono produzido no metabolismo aeróbio e tamponamento da acidez, a ventilação aumenta; principalmente em exercícios de alta intensidade. Dessa forma, o aumento do trabalho respiratório aumentaria o  $\text{VO}_2$  nos músculos responsáveis pela hiperventilação, contudo a literatura ainda é muito divergente sobre o aumento do custo de  $\text{O}_2$  da ventilação (Aaron et al., 1992) e se o aumento desse custo teria influência no componente lento.

Outro possível mecanismo responsável pelo componente lento é a temperatura muscular. Com início da contração muscular, existe um aumento da produção de calor, e, temperatura muscular. De acordo com o efeito  $Q_{10}$ , o aumento da temperatura diminui a eficiência metabólica, aumentando a necessidade de consumo de oxigênio para a tarefa (Whipp, 1987). Contudo, Koga et al. (1997) relataram que o aumento da temperatura corporal em indivíduos submetidos à exercício do domínio pesado não contribuiu para elevação do componente lento do  $\text{VO}_2$ .

Na tentativa de elucidar se fatores centrais ou periféricos são mais preponderantes no componente lento da cinética  $\text{VO}_2$ , Poole et al. (1991) determinaram a relação entre mudanças periféricas e centrais no  $\text{VO}_2$  em exercício acima do LL. Segundo os autores, o componente lento do  $\text{VO}_2$  pulmonar durante exercício acima do LL reflete, predominantemente, um aumento do  $\text{VO}_2$  no músculo ativo (i.e. 86% do componente lento). Assim, parece que esse fenômeno fisiológico pode estar relacionado com modificações periféricas (i.e. recrutamento de fibras, aumento da temperatura muscular e redução da eficiência devido às alterações metabólicas) ou centrais

(i.e. aumento do trabalho dos músculos respiratórios, cardíacos e acessórios, temperatura corporal e metabolismo hepático) (Jones and Poole, 2005, Poole et al., 1991), sendo que o recrutamento de fibras tipo II parece ser o aspecto mais decisivo sobre o componente lento da cinética do  $\text{VO}_2$ . Corroborando para isso, Krustup et al. (2008) demonstraram que fibras do tipo II são menos eficientes que fibras do tipo I, e que a cinética de  $\text{O}_2$  é reduzida nas fibras tipo II. Dessa forma, em exercícios de acima do LL existe uma maior utilização de fibras tipo II, favorecendo o aparecimento do componente lento, além disso, também existe evidências de que sujeitos com maior quantidade de fibras tipo I possuem menor componente lento do  $\text{VO}_2$  do que sujeitos com predominância de fibras tipo II (72).

Por outro lado, em exercícios com características de *all-out* como o caso do 3-min *all-out test* proposto por Vanhatalo et al. (2007), o componente lento pode acontecer independentemente da maior ativação de fibras tipo II. Vanhatalo et al. (2011) demonstraram que durante o teste de 3-min, a característica de *all-out* inverte a relação de recrutamento de fibra, pois, desde o começo do exercício todas as fibras são recrutadas (i.e. maior eletromiografia do que o esforço contínuo de mesma duração), contudo, o componente lento da cinética do  $\text{VO}_2$  é maior durante o teste máximo de 3-min do que o exercício de carga constante. Segundo os autores (Vanhatalo et al., 2011), o componente lento não é devido, apenas, ao recrutamento de fibras tipo II, mas, de acordo com a intensidade do exercício, pode estar relacionado à menor eficiência das fibras devido à exaustão.

### 2.3 Cinética do consumo de oxigênio na natação

Inúmeros estudos analisaram a cinética do  $\text{VO}_2$  durante o nado (Demarie et al., 2001, Pessoa Filho et al., 2012, Reis et al., 2010a, Sousa et al., 2011), e, assim como apresentado nos tópicos anteriores, o comportamento do  $\text{VO}_2$  durante o esforço na natação é dependente da intensidade em que o mesmo é desempenhado.

Pessoa Filho et al (2012) analisaram a cinética do  $\text{VO}_2$  durante dois esforços de 7 min à 2,5% abaixo e acima do ponto de compensação

respiratória, e verificaram que a  $A_1$  é maior na intensidade acima do ponto de compensação respiratória, o componente lento do consumo de oxigênio ( $VO_{2SC}$ ) não diferiu entre as intensidades, contudo apenas no esforço mais intenso os sujeitos atingiram o  $VO_{2max}$  durante o teste. Todavia, o estudo de Pessoa Filho et al. (2012) é limitado, pois utilizou uma função monoexponencial para o ajuste dos valores de  $VO_2$ , enquanto que acima do LAn (i.e. até intensidade de  $VO_{2max}$ ), os ajustes biexponenciais são preconizados (Sousa et al., 2013).

Recentemente Sousa et al. (2014) analisaram a cinética do  $VO_2$  durante esforços relativos à 95%, 100% e 105% da velocidade associada ao  $VO_{2max}$  ( $vVO_{2max}$ ). Em todas essas intensidades (i.e. acima do LAn), foi adotado um ajuste biexponencial para análise dos dados. Nenhuma diferença foi encontrada na  $A_1$  dos esforços, contudo o  $VO_{2SC}$  e a  $f_2$  foi significativamente menor na intensidade de 105%. Assim, haja vista a ausência de diferenças entre os parâmetros no componente rápido da cinética do  $VO_2$ , parece que alterações em 5% da intensidade promove modificações no  $VO_{2SC}$  de nadadores. Durante os esforços de 95 e 100% da  $vVO_{2max}$ , o  $VO_{2SC}$  possuiu significado fisiológico (i.e.  $> 200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ) (Billat, 2000), enquanto que à 105% da  $vVO_{2max}$ , o tempo de exercício é relativamente curto, não permitindo tempo necessário para o componente lento ser observado (Sousa et al., 2014). Dessa forma, outro domínio de intensidade pode ser evidenciado – extremo – onde o  $VO_{2max}$  não é atingido, pois o exercício é interrompido antes (Sousa et al., 2014, Sousa et al., 2011) e a cinética de  $VO_2$  volta a ter característica monoexponencial novamente.

Além de esforços de tempo fixo (i.e. 7 min) ou até a exaustão, alguns estudos analisaram a cinética do  $VO_2$  em distâncias de provas da natação. Sousa et al. (2011) investigaram a cinética do  $VO_2$  em exercício extremo na natação (i.e. esforço máximo de 200m) e observaram menores valores de  $f_1$  quando comparado com o trabalho de Rodriguez et al. (2003), que avaliaram a cinética do  $VO_2$  durante esforço máximo de 100m e 400m. De acordo com Sousa et al. (2011), o nível de atletas que foram avaliados pode ter influenciado menores valores de  $f_1$ , por atletas aerobiamente treinados e com maior quantidade de fibras tipo I tendem a possuir menores valores de  $f_1$ , e,

consecutivamente, menor débito de  $O_2$  e distúrbio metabólico devido à produção de metabólitos do metabolismo anaeróbio. Um ponto a ser considerado é que Rodriguez et al. (2003) analisaram a cinética dos 400m com um ajuste monoexponencial, e, de acordo com o recente estudo de Sousa et al. (76), intensidades até 100%  $vVO_2max$  apresentam  $VO_2SC$  evidente. Geralmente, em esforço máximo de 400m nadadores possuem velocidade média abaixo da  $vVO_2max$  ( $\approx 95\%$ , dados não publicados). Dessa forma, a análise da cinética do  $VO_2$  em esforço de 400m deve considerar a velocidade em que o atleta desempenha a prova.

Ao considerar a velocidade do atleta, a estratégia em que ele desempenha a prova também é importante (Mauger et al., 2012). Segundo Mauger et al. (2012), a estratégia de começo rápido e manutenção da velocidade (i.e. *fast stat even*) e parabólica são as mais utilizadas e podem favorecer o desempenho na natação. Dessa forma, ao estudar a cinética do  $VO_2$  durante esforços na natação, a validade ecológica deve ser objetivada. Esforços de intensidade constante geralmente não são utilizados durante as atividades na natação e, a técnica de nado possui grande interferência no custo energético da natação. Dessa forma, a utilização de snórquel, apesar de ser essencial para validação de outras ferramentas e analisar o  $VO_2$  diretamente durante o nado, pode diminuir a validade ecológica por impossibilitar ondulações e viradas durante o esforço. Assim, a técnica de retro extrapolação pode ser uma saída para reconstrução da cinética de  $VO_2$  durante o nado (Jalab et al., 2011).

Para o nosso conhecimento, apenas Jalab et al. (2011) realizaram a reconstrução da cinética do  $VO_2$  durante um esforço máximo de 100m na natação pela técnica de retro extrapolação. Assim, os autores reconstruíram a cinética do 100m através de quatro esforços (i.e. 25m, 50m, 75m e 100m) com velocidade de acordo com o esforço máximo de 100m. O  $VO_2$  foi avaliado através da técnica de retro extrapolação após o esforço. O  $VO_2$  sofreu um aumento nas primeiras distâncias com uma redução no valor dos 100m. Durante o esforço máximo de 100m, 94% do  $VO_2max$  avaliado durante um esforço de 400m foi atingido nos primeiros 30 seg do teste. O maior valor atingido durante a reconstrução da cinética (i.e. 75m) não diferiu do  $VO_2max$  do

esforço de 400m, e os autores sugeriram que ao contrário do que Rodriguez et al. (2003) estipularam, o  $VO_2$  em um esforço de 100m atinge sim o  $VO_{2max}$  em nadadores, independentemente o nível.

Assim, a retro extrapolação parece ser viável e interessante para análise do  $VO_2$  em nadadores, inclusive para reconstrução da cinética dos 400m, contudo, para nosso conhecimento, nenhum estudo reconstruiu a cinética dos 400m conforme proposto por Jalab et al. (2011).

#### 2.4 Consumo de oxigênio pela técnica de retro extrapolação

A mensuração do  $VO_2$  durante o exercício é essencial para avaliação tanto do metabolismo aeróbio (Jalab et al., 2011a) como do metabolismo anaeróbio (Medbo et al., 1988). Em 1911, Douglas inventou um balão de plástico para coletar ar expirado para mensurar o  $VO_2$  e produção de gás carbônico ( $VCO_2$ ) no repouso e no exercício (Sousa et al., 2014). Essa técnica ainda é considerada o padrão ouro de determinação do  $VO_2$ , todavia, possui limitações consideráveis ao ser utilizado para avaliação do  $VO_2$  na natação, principalmente, pois leva em consideração a média de valores observados durante vários ciclos respiratórios.

Segundo Baldari et al. (2013), até a década de 1990, o  $VO_2$  na natação era feito na esteira aquática (*swimming flume*) ou no nado livre diretamente, pelo saco de Douglas. O surgimento de equipamentos por telemetria na década de 1990 (e.g. Cosmed K2, Italy), facilitou a utilização dessa ferramenta em situações mais específicas, e, com a fabricação do K4b<sup>2</sup> com análise respiração-respiração, a análise do  $VO_2$  durante o nado tem sido frequentemente utilizada (Baldari et al., 2013, Sousa et al., 2011).

Para análise do  $VO_2$  durante o nado é necessária a utilização de snórquel e, alguns equipamentos foram desenvolvidos ao longo dos anos (Baldari et al., 2013, Papoti et al., 2007, Toussaint et al., 1987). Papoti et al. (2008) adaptaram a máscara do equipamento  $VO_{2000}^{\text{®}}$  para um snórquel e validaram o mesmo para avaliação do  $VO_{2max}$  em nado atado. Toussaint et al. (1987) desenvolveram um equipamento com sistema de válvulas e com baixo arrasto para análise do  $VO_2$ . Ao compararem o snórquel desenvolvido pela

Cosmed<sup>®</sup> - *Aquatrainer* – Gayda et al. (2010) verificaram altos erros de concordância entre o snórquel e a máscara e concluíram que o *Aquatrainer* não poderia ser utilizado para análise do  $VO_2$  na natação. Em carta ao editor, Brugnoli (2010) refutou a conclusão de Gayda et al. (2010) e propuseram um novo estudo. Assim, recentemente, Baldari et al. (2013) não verificaram diferença entre o *Aquatrainer* (duas válvulas) e o *new Aquatrainer* (quatro válvulas), tornando ambos válido para análise do  $VO_2$  durante o nado.

Contudo, a utilização de snorquel durante o nado livre impossibilita os atletas executarem padrões de movimento realizado durante o nado sem o snorquel (i.e. ausência de respiração lateral). Além disso, as válvulas e bocais impedem o atleta de realizar viradas e ondulações, tornando o nado menos específico (Sousa et al., 2014). Para superar essa dificuldade alguns estudos coletaram amostras consecutivas de ar expirado ao final do nado (i.e. 8, 20, ou 40 segundos) (Di Prampero et al., 1976a, Leger et al., 1980, Montpetit et al., 1981) e observaram que esses valores representam o  $VO_2$  do nado realizado anteriormente.

A amostra do  $VO_2$  durante os 20 segundos de recuperação após um esforço foi usado primeiramente por di Prampero et al. (1976a) em patinação de velocidade, contudo usaram apenas dois sujeitos em exercício de intensidade moderada. Posteriormente a validade e reprodutibilidade do método foram testadas e comprovadas para o ciclismo, corrida, exercício de braço (Carre et al., 1994, Leger et al., 1980, Morgan et al., 1991, Sleivert and Mackinnon, 1991).

Testes com snorquel usualmente influenciam a mecânica de nado, podendo interferir no valor de  $VO_2$  observado durante o nado, assim, Montpetit et al. (1981) compararam os valores de  $VO_{2\text{pico}}$  durante um esforço máximo de 400m usando técnicas convencionais (i.e. snorquel) e a retro extrapolação. Os autores compararam o  $VO_{2\text{pico}}$  observado em um teste incremental pelo método convencional e pela retro extrapolação e não observaram diferença significativa entre os métodos ( $3,81 \pm 0,59 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $3,79 \pm 0,66 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , respectivamente). Além disso, os autores verificaram que o  $VO_{2\text{pico}}$  observado após um esforço máximo de 400m foi maior do que o mensurado em esteira ( $3,37 \pm 0,77 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $3,23 \pm 0,59 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , respectivamente). Assim, Montpetit

et al. (1981) concluíram que a mensuração do  $VO_{2\text{pico}}$  durante o nado pode ser feito em condições reais com boa acurácia e sem equipamentos. Por outro lado, a retro extrapolação superestima o  $VO_2$  durante o nado, e apesar de ser relativamente fácil de aplicar, possui algumas fontes de erros: (i) tempo necessário para acoplar o sujeito à máscara; (ii) a possibilidade de vazamento; e (iii) erros potenciais na análise de respiração-respiração (Sousa et al., 2014).

Léger et al. (1980) testaram e constataram a validade e a reprodutibilidade da técnica em exercício na esteira. Segundo os autores, o ajuste mono exponencial da média da respiração dos quatro primeiros 20 segundos de recuperação é eficaz em predizer o  $VO_2$  no nado. Zamparo et al. (2000) utilizaram uma análise linear dos primeiros 120 segundos de recuperação para determinar o  $VO_{2\text{pico}}$  após esforço máximo de 400m, todavia parece que o  $VO_2$  durante os primeiros 20 segundos é a melhor forma de estipular o metabolismo aeróbio durante o nado (Sousa et al., 2014).

Nos últimos anos, a técnica de retro extrapolação tem sido utilizada na natação para mensuração do custo energético do nado, principalmente por não interferir na técnica de nado (Jurimae et al., 2007, Zamparo et al., 2005, Zamparo et al., 2000). Dessa forma, a técnica é promissora para ser utilizada em diferentes modalidades, porém ainda necessita de mais estudos que comprovem sua eficácia em mensurar o  $VO_2$  executado durante o esforço livre, principalmente pela inovação dos equipamentos de mensuração de  $VO_2$  (respiração-respiração) e facilidade de acoplamento do sujeito à máscara após o esforço (< 1 segundo).



### 3. Justificativa

Considerando que no esporte em geral, procedimentos experimentais são realizados no intuito de prescrever intensidades e monitorar os efeitos dos programas de treinamento, estes devem ser condizentes com as situações de treinamento e/ou competição. Com isso, a presente tese de doutorado justifica-se pela necessidade e possibilidade de otimização das ferramentas de avaliação da capacidade anaeróbia em natação. Além de considerar a determinação dessa variável inerente ao processo do treinamento, o método mais aceito de determinação da CA (MAOD) (Medbo et al., 1988) é limitado operacionalmente. Porém, é necessária a utilização de analisador de gases durante as avaliações para determinação da CA devido ao referencial teórico robusto do método clássico de determinação do MAOD e MAOD<sub>RED</sub>.

Bertuzzi et al. (2010) demonstrou um método otimizado de determinação do MAOD (MAOD<sub>RED</sub>) em que os atletas devem desempenhar um esforço de carga constante até exaustão, ou mensuração contínua (respiração a respiração) do VO<sub>2</sub> durante prova simulada (de Campos Melo et al., 2009). Contudo, essas técnicas não são interessantes para a natação, pois eliminam a estratégia de competição, alteram o padrão de movimento dos nadadores, e o esforço até a exaustão não é utilizado na rotina de treinamento de nadadores.

Considerando que a determinação do VO<sub>2</sub> em esforços submáximos já foi validada em diferentes modalidades pela técnica da retro extrapolação e, (Carre et al., 1994, Di Prampero et al., 1976a, Foster et al., 2003, Montpetit et al., 1981, Sleivert and Mackinnon, 1991), que não existe diferença entre MAOD e MAOD<sub>RED</sub> no ciclismo, e que o MAOD<sub>RED</sub> pode ser analisado sem a utilização do snórquel (i.e. concentração pico de lactato e cinética *off* do VO<sub>2</sub>) acreditamos ser possível determinar o MAOD durante esforços livres de equipamentos.

Assim, utilizar a técnica da retro extrapolação, proposta por di Prampero et al. (1976a) concomitantemente ao modelo utilizado por Jalab et al. (2011) e Sousa et al (2011) e o MAOD<sub>RED</sub> apresentado por Bertuzzi et al. (2011), será possível determinar o MAOD convencional pela técnica de retro extrapolação. Acreditamos ainda que, se for possível determinar o déficit acumulado de

oxigênio (AOD), em seu ambiente real de treinamento e competição, sem o comprometimento da mecânica de nado, contribuiremos significativamente para a otimização das ferramentas que são frequentemente utilizadas nas avaliações em natação.

A partir do exposto anteriormente pode-se elaborar a seguinte pergunta central:

O déficit acumulado de oxigênio na natação pode ser estimado por meio da técnica de retro extrapolação do consumo de oxigênio?

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo geral

Determinar o déficit acumulado de oxigênio de nadadores por meio da técnica de retro extrapolação.

### 4.2 Objetivos específicos

- Comparar o consumo pico de oxigênio ( $VO_{2Peak}$ ) e a velocidade associada ao  $VO_{2Pico}$  determinados em esforço máximo de 400m e durante teste incremental;
- Verificar se o déficit acumulado de oxigênio reduzido é capaz de estimar o déficit acumulado de oxigênio convencional;
- Estimar a contribuição aeróbia e anaeróbia a partir de um único esforço máximo;
- Analisar a reprodutibilidade e a validade do déficit acumulado de oxigênio reduzido em nado livre determinado pela técnica de retro extrapolação;

## **5. Plano de trabalho**

A presente tese de doutorado foi composta de uma série de trabalhos científicos de modo a responder a pergunta central. De maneira geral, cada trabalho apresentado contempla um objetivo específico apresentado na seção anterior. Nesses trabalhos optou-se por utilizar a nomenclatura de déficit acumulado de oxigênio (AOD) pois utilizou-se somente um esforço máximo de 400m e não esforço até exaustão voluntária.

1º Trabalho:

**COMPARAÇÃO ENTRE O  $VO_{2PICO}$  E SUA VELOCIDADE ASSOCIADA DETERMINADO POR ESFORÇO MÁXIMO DE 400M E TESTE INCREMENTAL.**

*Pergunta Central:*

A velocidade associada ao  $VO_{2Pico}$  e o valor de  $VO_{2Pico}$  observados após esforço máximo de 400m livre e teste incremental são os mesmos?

*Justificativa:*

Montpetit et al. (1981) observaram que o esforço máximo de 400m é uma avaliação válida para mensurar o  $VO_{2Peak}$ , contudo o estudo avaliou após nado com snórquel. Além disso, a velocidade associada ao  $VO_{2Pico}$  ( $vVO_{2pico}$ ) é essencial para prescrição do treinamento e nenhum estudo comparou as velocidades (após 400m e teste incremental), nem os valores de  $VO_{2Pico}$  mensurados em nado livre.

## COMPARISON BETWEEN $VO_{2PEAK}$ AND $sVO_{2PEAK}$ OBTAINED THROUGH A 400M MAXIMAL EFFORT AND FREE SWIMMING INCREMENTAL TEST

### Abstract

Both 400m peak oxygen consumption ( $VO_{2Peak}$ ), calculated using the backward extrapolation technique, and mean 400m speed are widely used in swimming for training prescription. However, no comparison has been made between these variables observed after a 400m effort and a free swimming incremental test, during which higher velocities may be attained than in an incremental test with a snorkel. Thus, the aims of this study were to verify whether a single 400m effort is able to estimate  $VO_{2Peak}$  and the maximal speed of a free swimming incremental test. Nine swimmers underwent a maximal 400m effort, and an incremental test consisting of six 200m-stages. After the 400m effort, and each stage of the incremental test, oxygen consumption was assessed through the backward extrapolation technique. The Student's t-test and Pearson correlation were adopted to analyze the results. Agreement analysis was also performed. No significant difference ( $p=0.21$ ) was observed between the  $VO_{2Peak}$  after the 400m effort ( $3.86\pm 0.85 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) and the incremental test ( $4.09\pm 0.93 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ). A strong correlation was observed between the values ( $r=0.85$ ;  $p<0.05$ ). The mean error was  $0.23 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  and the limit of agreement  $\pm 0.98 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . The speed associated with  $VO_{2Peak}$  ( $1.39\pm 0.12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) was higher ( $\approx 3.6\%$ ;  $P=0.001$ ) than the mean speed of the 400m effort ( $1.34\pm 0.13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), and they were highly associated ( $r=0.96$ ,  $P<0.01$ ). Thus, a 400m effort to determine maximal aerobic speed and  $VO_{2Peak}$  in swimming should be used with caution, since the free swimming incremental test elicits different aerobic speed.

Key Words: Peak Oxygen Consumption; Backward Extrapolation; Swimming; Incremental Test

## Introduction

Swimming performance is multifactorial, being dependent on mechanical and physiological parameters (Zamparo et al., 2005). Therefore, determination of peak oxygen consumption ( $VO_{2Peak}$ ) in swimmers is important since it presents a high correlation with performance (Costill et al., 1985).

The determination of  $VO_{2Peak}$  in swimming has always faced the barrier of testing specificity (Rodriguez, 2000, Sousa et al., 2014), and is usually assessed through tethered or free swimming with a snorkel, in a traditional swimming pool or swimming flume (Rodriguez, 2000, Schuller et al., 2014, Sousa et al., 2014, Kalva et al., 2015). Although the use of a snorkel system is considered the gold standard for determination of oxygen consumption ( $VO_2$ ) during free swimming, some studies have reported influences on the swimmer's speed and technique (Jalab et al., 2011, Reis et al., 2010). In this context, the speed seems to decrease mainly due to the higher drag resistance, impairing maximal effort (Reis et al., 2010). Moreover, swimming with a snorkel is performed without turns or a respiration phase, which impairs the ecological validity of the measurements (Jalab et al., 2011).

Thus, the backward extrapolation technique has received some attention due to its applicability and accuracy for swimming (Costill et al., 1985, Latt et al., 2010, Zamparo et al., 2005, Zamparo et al., 2000, Lavoie et al., 1981, Montpetit et al., 1981). This technique uses the  $VO_2$  recovery curve to determine  $VO_{2Peak}$  (Costill et al., 1985, Kalva et al., 2015, Latt et al., 2010, Montpetit et al., 1981), allowing the evaluation of aerobic parameters without any apparatus that could impair pacing or technique during swimming efforts. Frequently, an incremental test is performed to determine  $VO_{2Peak}$  ( $VO_{2PeakInc}$ ) and the speed that elicits these peak values ( $sVO_{2Peak}$ ), which can be used to prescribe and monitor training-response (Fernandes et al., 2008). However, previous studies have demonstrated that although step duration can change the  $sVO_{2Peak}$  it has no effects on  $VO_{2PeakInc}$  (Adami et al., 2013). Moreover, the incremental test uses several fixed-speed efforts, which is unspecific to normal training stimulus in swimming (i.e., fixed-distance efforts (Alberty et al., 2006)).

A method to determine both  $VO_{2PeakInc}$  and  $sVO_{2Peak}$ , using a fixed-distance effort and without impairing the swimming mechanics, would enhance the specificity and practicality of measurements during the training routine. According to Termin and Pendergast (2000) and Montpetit et al. (1981),  $VO_{2Peak}$  and  $sVO_{2Peak}$ , could be assessed using the backward extrapolation technique after a 400 m distance performance ( $VO_{2Peak400}$  and  $s400m$ ). However, these above mentioned studies compared the  $VO_{2Peak400}$  to the  $VO_{2PeakInc}$  obtained using a snorkel system (Costill et al., 1985, Montpetit et al., 1981).

Therefore, no studies have compared the physiological variables obtained in a 400 m effort to those determined during an incremental test, both performed in totally free swimming with  $VO_2$  values determined using the backward extrapolation technique. This approach will permit the determination of these aerobic parameters with greater ecological validity, approximating the values of  $VO_{2PeakInc}$  and  $sVO_{2Peak}$  to those observed during specific swimming performance.

Thus, the present study aimed to analyze whether a 400 m maximal free swimming effort elicits the same  $VO_{2PeakInc}$  and  $sVO_{2Peak}$ . In all tests the  $VO_2$  values were determined through the backward extrapolation technique. The hypothesis of the present study was that, since both protocols use totally free swimming, no difference would be found between efforts.

## **Methods**

### ***Participants***

Nine swimmers (six male and three female; 55.6% medium/long distance; 44.4% sprinters);  $18 \pm 3$  yrs,  $61.91 \pm 7.32$  Kg, and  $167.39 \pm 8.02$  cm, volunteered to participate in the investigation. All the subjects had been swimming training for at least two years and trained approximately  $7000 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$ , with a frequency of  $5 \text{ day} \cdot \text{week}^{-1}$ . The athletes were of state and national level and their personal bests were  $77.5 \pm 10.0\%$  of the world record (age related). The efforts were performed at the beginning of the periodization (i.e., endurance phase), and no significant differences were observed between the performances of sprinters and medium/long distance swimmers. All procedures



were approved by the University's Institutional Review Board for Human Subjects (Human Research Ethics Committee). Athletes and their parents, when pertinent, were informed about the experimental procedures and risks, and signed an informed consent prior to participation in the study.

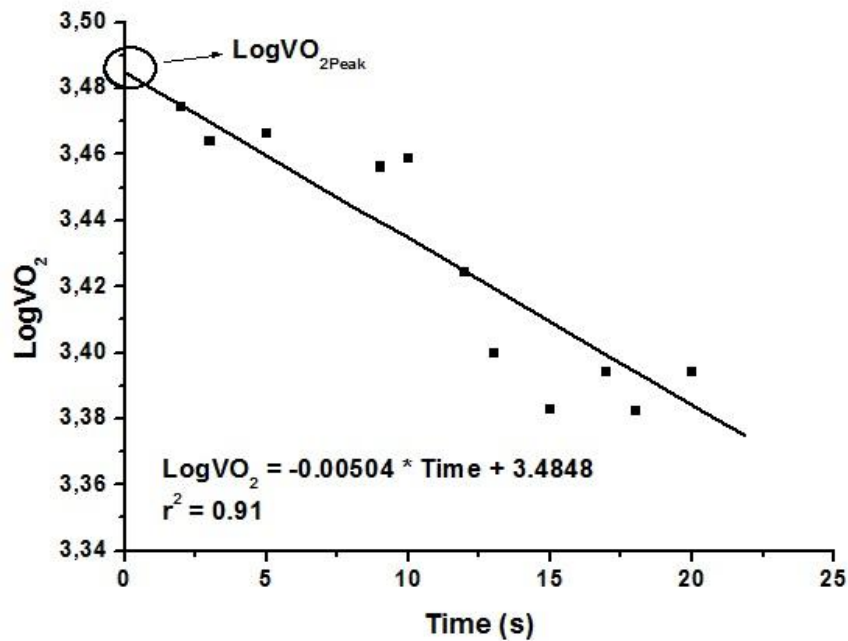
### ***Experimental Design***

All swimmers were submitted to three days of tests performed in a 25-m swimming pool with a water temperature of  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . On the first day, the athletes performed a maximal 200m effort to determine mean speed (s200m). After 48h of recovery, the swimmers performed a maximum 400m effort to determine mean speed (i.e., s400m) and  $\text{VO}_{2\text{Peak}400}$ . After 72h, the subjects underwent an incremental test to determine  $\text{VO}_{2\text{PeakInc}}$  and  $\text{sVO}_{2\text{Peak}}$ . The velocities of each stage during the incremental test were prescribed according to the s200m (80 - 100% of s200m). Before each test, a warm up was performed consisting of approximately 1000m front crawl stroke of low to moderate intensity, determined subjectively by the swimmers. Participants were instructed not to engage in strenuous activity during the experimental procedures and to maintain a consistent routine with regard to training, sleeping and diet throughout the duration of the study.

### ***Oxygen consumption analysis***

After the 400m and each 200m stage of the incremental test, the subjects were instructed to breathe immediately into a face mask (Hans Rudolph, Kansas City, MO, USA) connected to a breath-by-breath gas analyses system (Quark PFT, Cosmed<sup>®</sup>, Rome, Italy) (Bonne et al., 2014). The equipment was calibrated immediately before the test according to the manufacturer's instructions. Following removal of outliers to exclude discrepant breaths, breath-by-breath data were interpolated to give 1 s intervals (OriginPro 8.0, OriginLab Corporation, Microcal, Massachusetts, USA) to enhance the underlying response characteristics (Zagatto et al., 2011). The  $\text{VO}_{2\text{Peak}400}$  and  $\text{VO}_{2\text{PeakInc}}$  values were calculated using a 30s backward extrapolation technique described elsewhere (Bonne et al., 2014, Latt et al., 2010). The  $\text{VO}_{2\text{PeakInc}}$  was assumed as the maximal value obtained during the incremental test.

In the backward extrapolation technique, the  $VO_2$  values were transformed in  $\log VO_2$ , and plotted against time. Through a linear regression the y-intercept was considered as  $VO_{2Peak}$  (after the maximal 400m effort and final stage of the incremental test) and  $VO_2$  of each stage (i.e., time zero  $VO_2$ ) (Figure 1).



**Figure 1.** The values of oxygen uptake obtained during the first 30s after the efforts were log-transformed to determine the  $VO_2$  using the backward extrapolation technique (B). For this specific subject, the  $VO_2$  was  $2.71 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  (time zero value).

### Incremental test

To assess the  $VO_{2PeakInc}$  the subjects were submitted to an intermittent incremental test. The test consisted of six stages of 200m with intensities relative to the s200m (80 – 100%), and a 30 second interval between each stage. The swimmers were instructed to swim the first 5 stages at a constant effort, and the final stage at maximal effort as proposed by Schuller et al. (2014). The coach accompanied the swimmers during the incremental test and gave visual feedback with respect to their speed. As proposed by Rodríguez (1999),  $VO_2$  demonstrates linearity with swimming speed, and the anaerobic threshold of swimmers is near to 88% of maximal speed, thus, the initial speed of the incremental test was set at 80% of s200m. After each stage, the

swimmers breathed into the face mask for 30 seconds and then began the next stage. The  $VO_2$  was determined after each stage through the backward extrapolation technique (Bonne et al., 2014), the highest value was assumed as the incremental ( $VO_{2PeakInc}$ ). The  $sVO_{2Peak}$  was assumed as the lowest speed that elicited  $VO_{2Peak}$ .

### Statistical Analysis

The normality of the data was tested and confirmed by the Shapiro-Wilk test, which permitted the use of parametric tests and the data are presented as mean  $\pm$  standard deviation. The comparison of  $VO_2$  at each stage of the incremental test was performed using ANOVA for repeated measurements, and the Tukey *post-hoc*, when necessary. For comparison between the  $VO_{2Peak}$  of the 400m and incremental test, a student t-test for paired samples was used. Moreover, the possible associations and agreements between the two methodologies were tested through the Pearson correlation test and Bland & Altman analysis (Bland and Altman, 1986), respectively. The Pearson correlation was also used to test the heteroscedasticity in the agreement analysis. A significance of 5% was used.

### Results

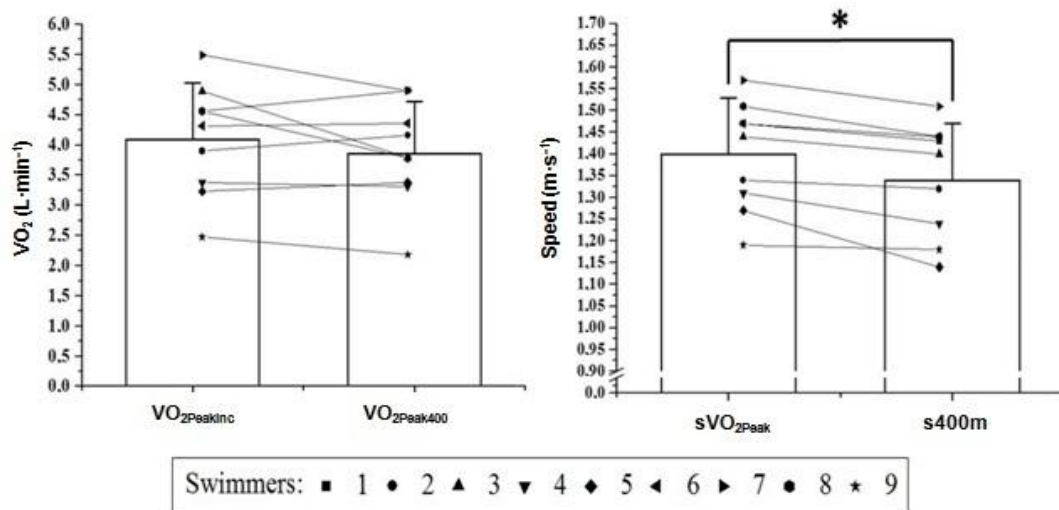
Table 1 presents the characteristics of the linear regressions used for the determination of  $VO_2$  using backward extrapolation, at each stage of the incremental test and after the 400m performance. The speed increment at each stage presented linear behavior ( $r^2 = 0.99$ ), as well as the mean  $VO_2$  ( $r^2 = 0.95$ ). The  $VO_2$  of the first stage was significantly lower than the fourth, fifth, and sixth stages. No difference was found between the  $VO_2$  of the fifth and sixth stages. No difference was found among the slopes of the incremental test stages, and the last three stages presented higher y-intercept than the first and second stages. No difference was found between the y-intercept ( $p = 0.62$ ), slope ( $p = 0.15$ ), and determination coefficients ( $p = 0.09$ ) relative to linear regressions built to determine  $VO_{2PeakInc}$  and  $VO_{2Peak400}$  (Table 1).

**Table 1.** Relative intensity of the incremental test and the linear regression parameters of each stage (n = 9).

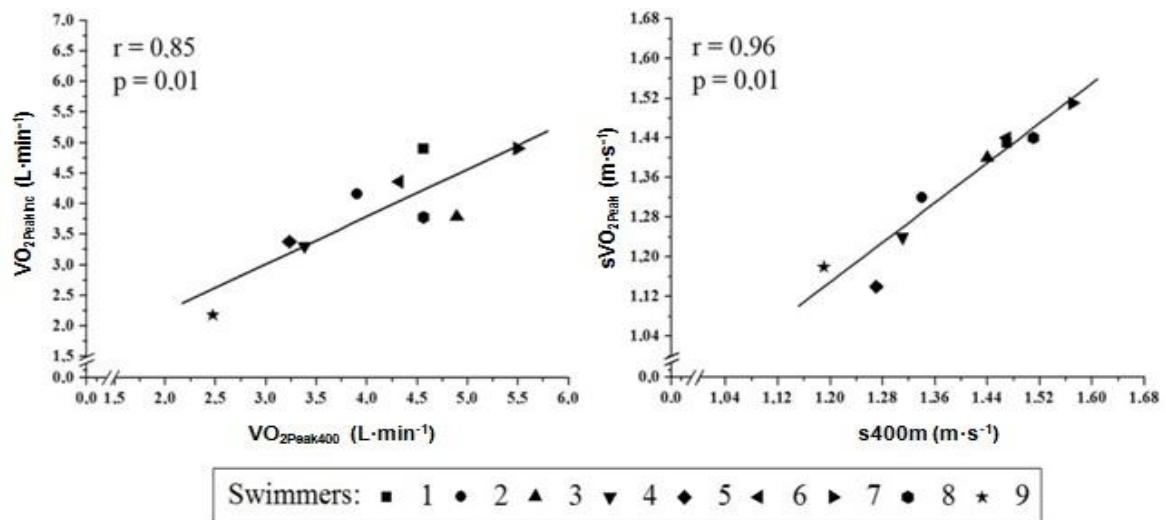
Intensities	Backward extrapolation parameters			
	a (LogVO <sub>2</sub> ·s)	B (LogVO <sub>2</sub> )	r <sup>2</sup> u.a.	VO <sub>2</sub> (L·min <sup>-1</sup> )
1 <sup>st</sup> stage	-0.008 ± 0.005	3.41 ± 0.15	0.94 ± 0.05	2.61 ± 0.96
2 <sup>nd</sup> stage	-0.008 ± 0.001	3.48 ± 0.11	0.95 ± 0.02	3.13 ± 0.76
3 <sup>rd</sup> stage	-0.008 ± 0.001	3.45 ± 0.21	0.93 ± 0.04	3.14 ± 1.26
4 <sup>th</sup> stage	-0.008 ± 0.002	3.51 ± 0.09 <sup>ab</sup>	0.92 ± 0.02	3.51 ± 0.83 <sup>ab</sup>
5 <sup>th</sup> stage	-0.005 ± 0.004	3.56 ± 0.10 <sup>ab</sup>	0.94 ± 0.04	3.79 ± 0.88 <sup>ab</sup>
6 <sup>th</sup> stage	-0.005 ± 0.001	3.60 ± 0.11 <sup>ab</sup>	0.94 ± 0.04	4.12 ± 0.98 <sup>ab</sup>

a: angular coefficient; b: linear coefficient; r<sup>2</sup>: determination coefficient; VO<sub>2</sub>: oxygen consumption. a: significantly different from 1<sup>st</sup> stage; b: significantly different from 2<sup>nd</sup> stage; c: significantly different from 3<sup>rd</sup> stage.

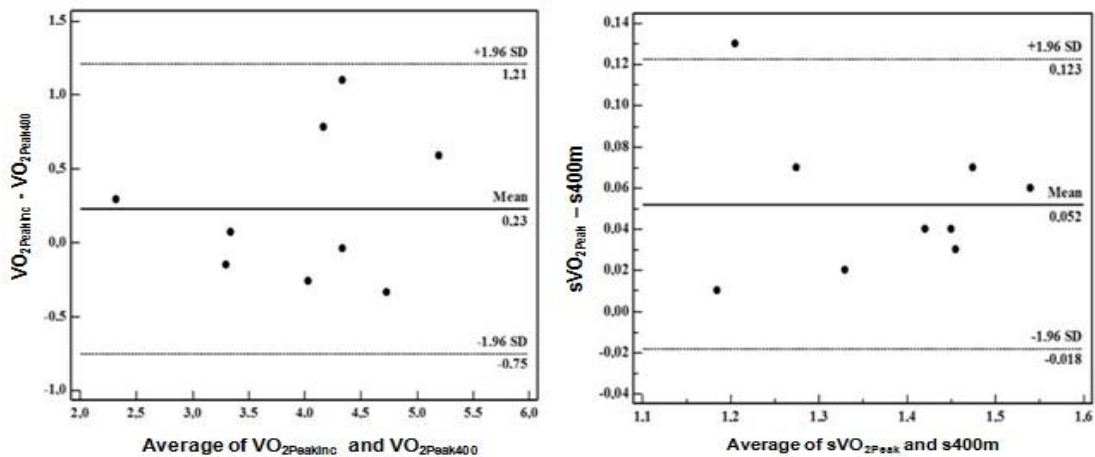
No difference was observed between the VO<sub>2Peak400</sub> (3.86 ± 0.85 L·min<sup>-1</sup>) and the VO<sub>2PeakInc</sub> (4.09 ± 0.93 L·min<sup>-1</sup>) (p = 0.21). However, the sVO<sub>2Peak</sub> (1.39 ± 0.12 m·s<sup>-1</sup>) was +3.66% higher than s400m (1.34 ± 0.13 m·s<sup>-1</sup> [mean time of 299.92 ± 30.30 s]) (p = 0.001). The comparisons between tests are presented in Figure 2. A significant correlation was observed between VO<sub>2PeakInc</sub> and VO<sub>2Peak400</sub> (Figure 3). This correlation was also observed between sVO<sub>2Peak</sub> and s400m (Figure 3). Finally, Figure 4 demonstrates the Bland & Altman analysis (Bland and Altman, 1986). Although the observed dispersion was homogenous and not tendentious (r = - 0.16 and p = 0.67), a high mean error and limits of agreement were observed between the VO<sub>2Peak400</sub> and VO<sub>2PeakInc</sub>. Differently, the agreement analysis between the sVO<sub>2Peak</sub> and s400m demonstrated low values of mean error accompanied by tight limits of agreement. For the velocities, the dispersion was also homogenous and not tendentious (r = 0.16 and p = 0.69).



**Figure 2.** Mean and standard deviation (bar plot) and individual values (scatter and line plot) of peak oxygen consumption obtained during the incremental test ( $VO_{2PeakInc}$ ) and after the 400m performance ( $VO_{2Peak400}$ ) (Left hand figure). The right hand figure demonstrates the values of  $VO_{2PeakInc}$  speed ( $sVO_{2Peak}$ ) and mean speed during the 400m performance ( $s400m$ ). \* denotes significant differences between efforts ( $p < 0.05$ ).



**Figure 3.** Correlations between peak oxygen consumption obtained during the incremental test ( $VO_{2PeakInc}$ ) and after the 400m performance ( $VO_{2Peak400}$ ) (Left hand figure). The right hand figure demonstrates the correlations between  $VO_{2PeakInc}$  speed ( $sVO_{2Peak}$ ) and mean speed during the 400m performance ( $s400m$ ).



**Figure 4.** Agreement analysis between oxygen consumption obtained during the incremental test ( $VO_{2PeakInc}$ ) and after the 400m performance ( $VO_{2Peak400}$ ) (left hand figure). The right hand figure demonstrates the agreement between  $VO_{2PeakInc}$  speed ( $sVO_{2Peak}$ ) and mean speed during the 400m performance ( $s400m$ ).

## Discussion

The present study aimed to analyze whether a totally free swimming 400m effort would elicit the same  $VO_{2Peak}$  speed as that obtained during an incremental test. Differently from previous studies, all  $VO_2$  values were determined using the backward extrapolation technique, which increases the ecological validity of the measurements (i.e., without changes in pacing or swimming mechanics). Although no differences and significant correlations were found between the  $VO_{2Peak400}$  and  $VO_{2PeakInc}$ , large limits of agreement were evidenced. Moreover, contrary to our initial hypothesis, a significant difference was observed between the  $sVO_{2Peak}$  and  $s400m$  (i.e., +3.66%). These differences must be considered in prescription and monitoring of training-responses.

During the incremental protocol, one subject did not achieve the sixth stage. Even though no differences were found between the  $VO_2$  of the last two completed stages, the present protocol did not reach maximal oxygen consumption, since no plateau was observed (i.e.,  $VO_2$  difference between two final stages of  $5.84 \pm 3.17 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). The linear relationship performed in each stage for determination of  $VO_2$  (i.e., backward extrapolation technique),

demonstrated similar values for slope, evidencing a similar behavior of the oxygen off-kinetics during the incremental protocol.

Adami et al. (2013) observed an influence of stage duration on  $sVO_{2Peak}$ . The present study used a 6 x 200-m incremental test to assess the swimmers'  $VO_{2Peak}$ . Fernandes et al. (2011) stated that 7 x 200-m is better than 7 x 400-m to determine the anaerobic threshold and estimate maximal lactate steady state. The same group and other research (Schuller et al., 2014) also used 200 m stage lengths to determine the maximal oxygen consumption of swimmers. In the present study, the speed of the final incremental stage was very close to the subjects' maximal  $s200m$  (ranging from 96 – 100%), which may have ensured the attainment of  $VO_{2Peak}$ , especially due to the slow component of  $VO_2$  kinetics (Laursen and Jenkins, 2002). However, the present study did not use a paced speed during the incremental test, which is unspecific to normal training stimulus in swimming (i.e., fixed-distance efforts (Alberty et al., 2006)) and, therefore, this can be considered a limitation of this study. On the other hand, the speed increased constantly during the test, since linear behavior was found, and, as proposed by Schuller et al. (2014), the final stage was performed at maximal speed (i.e.,  $s200m$ ). Thus, even given the methodological limitation we do consider that the protocol was sufficient to attain  $VO_{2Peak}$ .

The maximal 400m effort and backward extrapolation technique have been used to evaluate maximal aerobic swimming power (Costill et al., 1985, Latt et al., 2010, Montpetit et al., 1981). Although some researchers have questioned the backward extrapolation technique (Lavoie et al., 1981, Sousa et al., 2014), if the analysis is performed in the first 20 – 30 seconds, it might be considered able to evaluate  $VO_{2Peak}$  (Costill et al., 1985). The decision to use the 400m effort to evaluate  $VO_{2Peak}$  was due to its similarity to the incremental test (Costill et al., 1985, Montpetit et al., 1981), however, Costill et al. (1985) compared the backward extrapolation technique after an exercise performed with a snorkel, which may have interfered in the swimmer's technique (Jalab et al., 2011). The present study observed no difference between  $VO_{2Peak400}$  and  $VO_{2PeakInc}$ , and they were significantly correlated, which indicates that the  $VO_2$  value can be attained even after a single 400m effort or free swimming

incremental test. Even though studies have evaluated the maximal oxygen consumption during an incremental test, they have used a snorkel during the test (Baldari et al., 2013, Fernandes et al., 2008) which may reduce the speed, and, quite probably the aerobic power (Reis et al., 2010). Thus, it would be interesting to use a free swimming incremental test to assess aerobic power and speed.

Although no significant differences were found between the  $VO_{2Peak}$ s, the mean error and limits of agreement were considered high (Figure 4). The high limits of agreement observed between these methodologies and the slightly superior  $VO_{2PeakInc}$  may be explained by the consistent increase in intensity throughout the six stages of the incremental test, which continuously imposes a higher demand on the system, speeding the  $VO_2$  kinetics and increasing  $VO_2$  throughout the test until reaching  $VO_{2Peak}$  (Laursen and Jenkins, 2002, Reis et al., 2012). Another possible reason for these limits of agreement is the difference observed between the s400m and  $sVO_{2Peak}$ . On the other hand, considering the applicability of the  $VO_2$  value to swimming training, as long as the same methodology is performed before and after training, both techniques used to calculate  $VO_{2Peak}$  are feasible and both the 400m and incremental  $VO_{2Peak}$  presented correlations with s400m ( $r = 0.84$  and  $0.92$ ;  $p < 0.05$ , respectively). Nevertheless the swimming speed is determinant for training prescription.

Coaches generally use the s400m to prescribe aerobic training, especially since it is easy to apply during training routines. Although Termin and Pendergast (2000) speculated that the s400m is similar to  $sVO_{2Peak}$ , the present study disagrees with this assumption, since a significant difference was found between them ( $1.34 \pm 0.13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  and  $1.39 \pm 0.12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectively). Thus, even though the use of s400m for aerobic training prescription might ensure aerobic adaptation, it is likely that  $sVO_{2Peak}$  is more effective since it represents the athlete's maximal aerobic speed (incremental test). Furthermore, training to enhance aerobic power must ensure the athletes spend more time at maximum oxygen consumption (Buchheit and Laursen, 2013). However, future studies should monitor an acute training session and compare the effectiveness of aerobic training prescribed by both aerobic speeds. On the other hand, both



velocities were highly associated ( $r = 0.96$ ;  $p < 0.05$ ) using the linear regression below (equation 1). Thus, coaches can still use the s400m to calculate the swimming aerobic power speed.

$$\text{Equation 1: } sVO_{2\text{Peak}} = 1.004 * s400m - 0.05 \quad (r^2 = 0.92; p = 0.0001)$$

Even though the athletes were instructed to maintain a constant speed (prescribed relative to s200m), the absence of speed control (visual or sonorous control) may have limited the results. However, this protocol is easy to perform during the training routine, thus being of interest to swimming coaches. Moreover, the present study demonstrates that the backward extrapolation technique is a good tool, allowing the determination of  $VO_2$  values with high levels of ecological validity. However, future studies should investigate the reproducibility of the backward extrapolation technique applied in different efforts (incremental, submaximal, maximal and all-out).

## **Conclusion**

In summary, no differences were found between the  $VO_{2\text{Peaks}}$ , however high limits of agreement were found. It is likely that the slow component during the incremental test influenced this result. Moreover, contrary to our hypothesis,  $sVO_{2\text{Peak}}$  was higher than s400m. Thus the  $\approx 3.6\%$  difference between the velocities should be taken into account when prescribing aerobic training at maximal aerobic speed, applying the linear regression observed.

## **Acknowledgments**

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP; nº 2013/15322-31)

## References

- Adami, A., Sivieri, A., Moia, C., Perini, R. & Ferretti, G. (2013). Effects of step duration in incremental ramp protocols on peak power and maximal oxygen consumption. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 2647-53.
- Alberty, M., Sidney, M., Huot-Marchand, F., Dekerle, J., Bosquet, L., Gorce, P. & Lensel, G. (2006). Reproducibility of performance in three types of training test in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 623-8.
- Baldari, C., Fernandes, R. J., Meucci, M., Ribeiro, J., Vilas-Boas, J. P. & Guidetti, L. (2013). Is the new AquaTrainer(R) snorkel valid for VO<sub>2</sub> assessment in swimming? *International Journal of Sports Medicine*, 34, 336-44.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1, 307-10.
- Bonne, T. C., Lundby, C., Jorgensen, S., Johansen, L., Mrgan, M., Bech, S. R., Sander, M., Papoti, M. & Nordsborg, N. B. (2014). "Live High-Train High" increases hemoglobin mass in Olympic swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 1439-49.
- Buchheit, M. & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, 43, 313-38.
- Costill, D. L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R. & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 266-70.
- Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., Colaco, P., Querido, A. J., Machado, L. J., Morais, P. A., Novais, D. Q., Marinho, D. A. & Vilas Boas, J. P. (2008). Time limit at VO<sub>2</sub>max velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29, 145-50.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L. & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 940-6.
- Jalab, C., Enea, C., Delpech, N. & Bernard, O. (2011). [Dynamics of oxygen uptake during a 100 m front crawl event, performed during competition ]. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 36, 219-25.

- Kalva, C. A., Zagatto, A. M., Araujo, M. I. C., Santiago, P. R. P., Da Silva, A. S. R., Gobatto, C. A. & Papoti, M. (2015). Relationship between Aerobic and Anaerobic Parameters from 3-Minute All-out Tethered Swimming and 400-M Maximal Front Crawl Effort. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 238-245.
- Latt, E., Jurimae, J., Maestu, J., Purge, P., Ramson, R., Haljaste, K., Keskinen, K. L., Rodriguez, F. A. & Jurimae, T. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 398-404.
- Laursen, P. B. & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training - Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32, 53-73.
- Lavoie, J. M., Taylor, A. W. & Montpetit, R. R. (1981). Physiological effects of training in elite swimmers as measured by a free swimming test. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 21, 38-42.
- Montpetit, R. R., Leger, L. A., Lavoie, J. M. & Cazorla, G. (1981). VO<sub>2</sub> peak during free swimming using the backward extrapolation of the O<sub>2</sub> recovery curve. *European Journal of Applied Physiology*, 47, 385-91.
- Reis, J. F., Alves, F. B., Bruno, P. M., Vleck, V. & Millet, G. P. (2012). Oxygen uptake kinetics and middle distance swimming performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15, 58-63.
- Reis, V. M., Marinho, D. A., Policarpo, F. B., Carneiro, A. L., Baldari, C. & Silva, A. J. (2010). Examining the accumulated oxygen deficit method in front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 421-7.
- Rodriguez, F. A. (2000). Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running and cycling tests in competitive swimmers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40, 87-95.
- Rodríguez, F. A. (1999). Cardiorespiratory and metabolic field testing in swimming and water polo: from physiological concepts to practical methods. *Biomechanics and medicine in swimming VIII*. Jyväskylä: Gummerus Printing, 219-226.

- Schuller, T., Hoffmann, U., Iglesias, X., Chaverri, D. & Rodríguez, F. (2014). Concurrent validity of a new model for estimating peak oxygen uptake based on post exercise measurements and heart rate kinetics in swimming. *Proceedings of the XIIIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*. Canberra: Australian Institute of Sports, 506-511.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Pendergast, D., Kjendlie, P. L., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2014). Critical Evaluation of Oxygen-Uptake Assessment in Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 190-202.
- Termin, B. & Pendergast, D. R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *Journal of Swimming Research*, 14.
- Zagatto, A., Redkva, P., Loures, J., Kalva Filho, C., Franco, V., Kaminagakura, E. & Papoti, M. (2011). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports*, 21, e222-30.
- Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F. & Capelli, C. (2005). Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 94, 697-704.
- Zamparo, P., Capelli, C., Cautero, M. & Di Nino, A. (2000). Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 83, 487-91.

### Key Points

- The free swimming incremental test elicits similar  $VO_{2Peak}$  values than the already used 400m, and both are related to 400m performance.
- Although the similarity between  $VO_{2Peak}$ , the speed related to  $VO_{2Peak}$  ( $sVO_{2Peak}$  and  $s400m$ ) were different, but highly correlated.
- Coaches can use the 400m effort to find the aerobic power training intensity if they use the linear regression of the present study to calculate  $sVO_{2Peak}$ , since the effectiveness of aerobic power training is related to time spent at  $VO_{2Peak}$ .

### Figure Legends

**Figure 1.** The values of oxygen uptake obtained during the first 30s after the efforts were log-transformed to determine  $VO_2$  using the backward extrapolation technique (B). For this specific subject, the  $VO_2$  was  $2.71 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  (time zero value).

**Figure 2.** Mean and standard deviation (bar plot) and individual values (scatter and line plot) of peak oxygen consumption obtained during the incremental test ( $VO_{2PeakInc}$ ) and after the 400m performance ( $VO_{2Peak400}$ ) (Left hand figure). The right hand figure demonstrates the values of  $VO_{2PeakInc}$  speed ( $sVO_{2Peak}$ ) and mean speed during the 400m performance ( $s400m$ ). \* denotes significant differences between efforts ( $p < 0.05$ ).

**Figure 3.** Correlations between peak oxygen consumption obtained during the incremental test ( $VO_{2PeakInc}$ ) and after the 400m performance ( $VO_{2Peak400}$ ) (Left hand figure). The right hand figure demonstrates the correlations between  $VO_{2PeakInc}$  speed ( $sVO_{2Peak}$ ) and mean speed during the 400m performance ( $s400m$ ).

**Figure 4.** Agreement analysis between oxygen consumption obtained during the incremental test ( $VO_{2PeakInc}$ ) and after the 400m performance ( $VO_{2Peak400}$ ) (left hand figure). The right hand figure demonstrates the agreement between  $VO_{2PeakInc}$  speed ( $sVO_{2Peak}$ ) and mean speed during the 400m performance ( $s400m$ ).

#### **Table legend**

**Table 1.** Parameters of linear relationship built to determine oxygen consumption ( $VO_2$ ) using the backward extrapolation technique applied during the incremental test and 400 m performance ( $n = 9$ ).

2º Trabalho:

### **COMPARAÇÃO ENTRE O AOD CONVENCIONAL E O AOD<sub>RED</sub>**

*Pergunta central:*

Existe diferença entre o AOD convencional de um esforço máximo de 400m e o AOD<sub>RED</sub>?

*Justificativa:*

Apesar de extremamente importante, o padrão ouro de determinação da capacidade anaeróbia, tal metodologia é pouco viável para ser aplicada na rotina de treinamento. O modelo de AOD<sub>RED</sub> proposto por Bertuzzi et al. (2010), por necessitar de apenas uma sessão de avaliação apresentou-se como um método atrativo e válido para estimar AOD no ciclismo. Todavia essa hipótese ainda não foi testada na natação.

## **A new methodology for predicting anaerobic capacity of young swimmers**

### **Abstract**

The anaerobic metabolism has becoming important for swimming evaluations. The most acceptable methodology to evaluate anaerobic capacity is the maximal accumulated oxygen deficit (MAOD), however it needs several days of evaluation. A reduced AOD (AOD<sub>RED</sub>) estimative have been proposed, however have never been compared to conventional protocol in swimming. Thus, the aim of the present study was to compare the AOD with AOD<sub>RED</sub> determined in a maximal 400m effort. Six swimmers were submitted to one 400m maximal effort, and four sub maximal constant effort lasting at least five minutes. The AOD was determined by the difference between the theoretical demand calculated by linear regression of sub maximal efforts and accumulated oxygen during the entire effort (aerobic contribution). The AOD<sub>RED</sub> was assumed as the sum of latic and alactic anaerobic contributions, which were determined by the net lactate accumulation and off-transient oxygen kinetics, respectively. The comparison between the methods was made by the Student t test, Pearson correlation and graphical agreement analysis. No difference was observed between AOD ( $3.29 \pm 1.34$  L O<sub>2</sub>) and AOD<sub>RED</sub> ( $3.24 \pm 1.56$  L O<sub>2</sub>), and they were significantly correlated ( $r = 0.95$ ;  $p < 0.05$ ). The agreement analysis presented very low mean error between methodologies (0.04 L), with limits of agreement equivalent to 0.97 L and -0.88 L. Thus, even though high limits of agreement were found, the AOD<sub>RED</sub> determination seems to be a feasible tool to determine anaerobic contribution during swimming efforts.

**Key words:** Anaerobic capacity; swimming; accumulated oxygen deficit



## Introduction

The energetic cost per distance unit of swimming can be attained dividing net metabolic power expenditure (in kilojoules) by distance swam (Di Prampero, 1986, Zamparo et al., 2011), and has received great attention (Capelli et al., 1998, Figueiredo et al., 2011, Reis et al., 2010b, Zamparo et al., 2011). The metabolic power expenditure in intense efforts, can be represent by the sum of aerobic and anaerobic metabolism during the effort (Figueiredo et al., 2011). The aerobic contribution can be assessed by the oxygen consumption ( $VO_2$ ) during entire effort (Sousa et al., 2014, Zamparo et al., 2005, Zamparo et al., 2011). However, different analysis have been used to determine anaerobic contribution during swimming, which compromises the comparison between studies (Capelli et al., 1998, Ogita et al., 2003, Reis et al., 2010b, Zamparo et al., 2000).

Medbo et al. (1988) have proposed the anaerobic metabolism calculation by the accumulated oxygen deficit (AOD), which is the most acceptable method for anaerobic contribution determination during exercise. To assess AOD in aquatic environment, previous studies have used a snorkel, and valve system in swimming flume (Ogita et al., 1996) or in traditional swimming pool (Reis et al., 2010a, Reis et al., 2010b). The relation between AOD and anaerobic metabolism of swimmers was evidenced by no effect of acute hypoxia exposition (Ogita, 2006), significant correlations with short distances performances (Zoeller et al., 2000), and the sensibility to high intensity training (Ogita, 2006). Thus, AOD is a useful tool for monitoring anaerobic adaptations induced by swimming training.

However, AOD determination needs several submaximal and maximal efforts (e.g. at least six) separated by satisfactory recovery phase (Noordhof et al., 2010), reducing the applicability of this procedure during training routine. Therefore, previous studies have demonstrate that anaerobic contribution can be assumed by sum of anaerobic lactic ( $Ana_{LAC}$ ) and alactic ( $Ana_{ALA}$ ) contributions observed in a single effort (Figueiredo et al., 2011, Kalva et al., 2015a, Sousa et al., 2013, Zamparo et al., 2005, Zamparo et al., 2000). For this,  $Ana_{LAC}$  is assessed by the net lactate accumulation during the effort (Bertuzzi et al., 2010, di Prampero and Ferretti, 1999, Lätt et al., 2009, Zamparo

et al., 2005, Zamparo et al., 2000), and  $Ana_{ALA}$  is estimated by the fast component of the off-transient  $VO_2$  kinetics (Di Prampero and Margaria, 1968, Kalva et al., 2015a, Sousa et al., 2013). Thus, the estimation of a reduced AOD (i.e. sum of  $Ana_{LAC}$  and  $Ana_{ALA}$ ;  $AOD_{RED}$ ) decreases the number of evaluations, and increases its applicability on training routine.

Although the  $AOD_{RED}$  has been compared with AOD in running (Bertuzzi et al., 2010), in swimming its validation has yet to be held. This information is very important to implement  $AOD_{RED}$  during training routine, facilitating the determination of anaerobic contribution during swimming. Thus, the aim of the present study was to compare AOD and  $AOD_{RED}$  determined in a maximal swimming effort with duration ranging between 4 to 6 min. The hypothesis was that no difference would be found between both methods.

## **Methods**

### ***Participants***

The sample size was calculated based on the assumption that AOD would present a significant and strong correlation with  $AOD_{RED}$  higher than 0.78 (Bertuzzi et al., 2010). We used G\*Power 3.1 software (Düsseldorf, Germany) to determine that a sample size of six subjects was the minimal necessary to provide a statistical power of 80% with an alpha of 0.05 for the analysis. Thus, six swimmers with mean age, height and total body mass of  $15.15 \pm 1.86$  years,  $165.76 \pm 8.62$  cm,  $59.53 \pm 11.75$  kg, respectively, volunteered to participate in the investigation. All the subjects had at least two years of swimming training (mean volume of  $7000 \text{ m}\cdot\text{day}^{-1}$  and frequency of  $5 \text{ day}\cdot\text{week}^{-1}$ ). All procedures were approved by the University's Institutional Review Board for Human Subjects (Human Research Ethics Committee) and were conducted according to the Declaration of Helsinki. Athletes and their parents, when pertinent, were informed about experimental procedures and risks, and signed an informed consent before their participation in the study.

### ***Experimental design***

The swimmers were submitted to two days of test, interspersed by 24h. In the first visit, subjects performed three submaximal efforts aiming to establish  $\text{VO}_2$ -speed relationship. In the second day, subjects were submitted to other submaximal exercise and a maximal 400 m effort. As proposed by Reis et al. (2010b), no warming-up was performed before the tests, and the subjects started each trial when their  $\text{VO}_2$  values exhibited two consecutive values within  $2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  from that recorded before the first submaximal exercise (observed in the first day). Athletes were instructed to maintain a consistent routine with regard to training, sleeping and diet throughout the two days. The tests were performed on a 25 m swimming pool with water temperature of  $25 \pm 1^\circ \text{C}$ .

### ***Data collection***

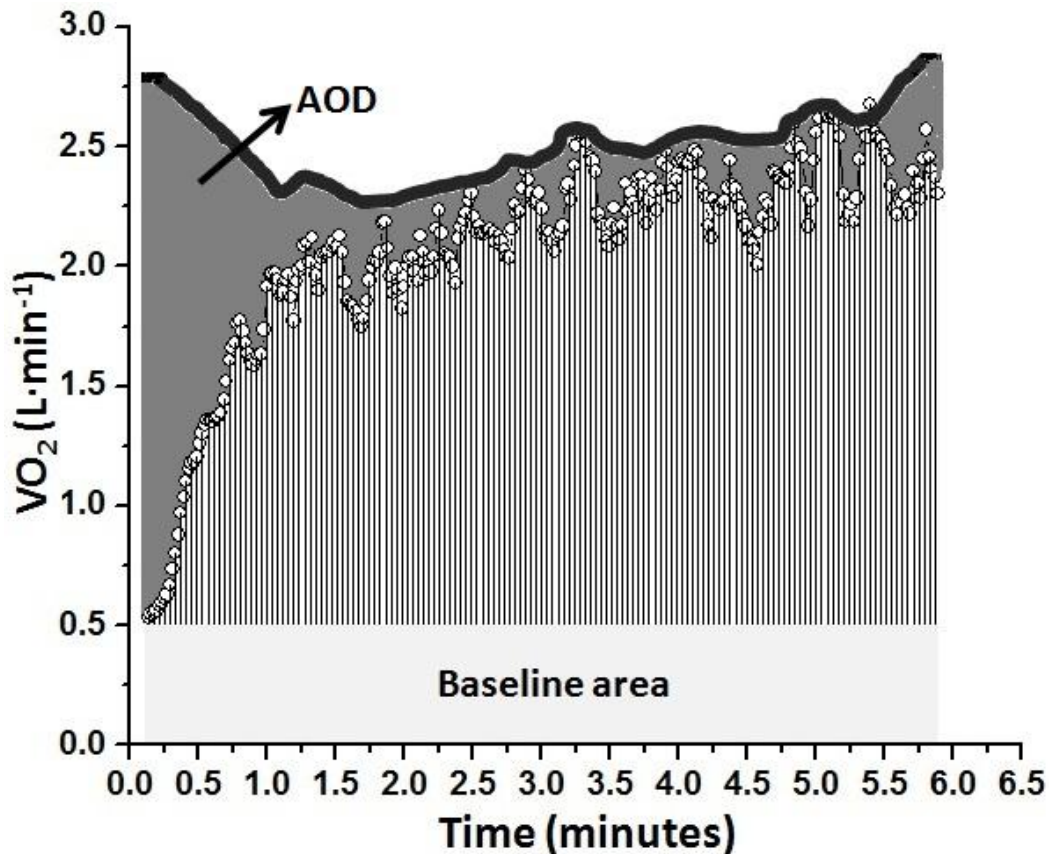
During all procedures expired gases were collected breath-by-breath and analyzed by a K4b<sup>2</sup> gas analyzer (Cosmed<sup>®</sup>, Rome, Italy) connected to an Aquatrainer snorkel (Cosmed<sup>®</sup>, Rome, Italy) (Gayda et al., 2010). The gas analyzers were calibrated immediately before and verified after each test using a certified gravimetrically determined gas mixture, while the ventilometer was calibrated pre-exercise and verified post-exercise using a 3 L syringe in accordance with the manufacturer's instructions. Following removal of outliers to exclude discrepant breaths, breath-by-breath data were interpolated to give 1 s values (OriginPro 8.0, OriginLab Corporation, Microcal, Massachusetts, USA) to enhance the underlying response characteristics (Zagatto et al., 2011a). Before the maximal 400 m and three, five and seven minutes of recovery, blood samples were collected to determine lactate concentrations ( $[\text{La}^-]$ ) using a blood lactate analyzer YSI-2300 (Yellow Springs Instruments<sup>®</sup>, OH, USA).

### ***Conventional accumulated oxygen deficit***

The submaximal exercises were performed according to the personal best 400 m performance done one week before the tests. The swimmers were instructed to maintain a constant speed during the four submaximal efforts accompanying sonorous stimulus with mark placed at the bottom of the pool.

The distance swam in submaximal exercises varied between 250 – 400 m. These distances were chosen to ensure a minimal of five minutes of effort, which was related to  $VO_2$  plateau attained at 2 – 3 min (Grassi, 2000). Thus, the mean  $VO_2$  observed at last 30 s of submaximal effort was assumed by steady-state  $VO_2$  for the corresponding speed. The linear  $VO_2$ -speed relationship was constructed with five efforts (four submaximal, and 400 m maximal effort). The mean speed and  $VO_2$  related to 400m maximal effort was also used in the linear regression since its speed is lower than speed associated to maximal oxygen consumption ( $VO_{2MAX}$ ) ( $\approx 96\%$ ) (Reis et al., 2010b).

The accumulated oxygen deficit (AOD) was assumed as the difference between theoretical demand calculated  $VO_2$ -speed linear regression extrapolation, and maximal effort  $VO_2$  (Medbo et al., 1988). Since the athletes during a maximal swimming effort do not use continuous pacing, the theoretical demand was estimated for each 25 m. AOD values were presented in absolute (L), relative to body mass ( $mL \cdot Kg^{-1}$ ) and in calorific equivalent values (kJ) considering  $20.9 \text{ kJ} \cdot L^{-1}O_2$  (Zamparo et al., 2000). Baseline  $VO_2$  (measured before the first submaximal exercise) was subtracted of both theoretical demand and  $VO_2$  area (i.e. aerobic contribution). The AOD error was also assessed as proposed by Reis et al. (2010b).



**Figure 1.**  $VO_2$  behavior during the maximal 400 m (open circles), accumulated oxygen deficit during the effort (dark gray), and baseline area (light gray).

### ***Reduced accumulated oxygen deficit ( $AOD_{RED}$ )***

The  $AOD_{RED}$  was calculated by the sum of  $Ana_{ALA}$  and  $Ana_{LAC}$  (Bertuzzi et al., 2010, Kalva et al., 2015a, Zagatto et al., 2011b).  $Ana_{ALA}$  was assumed as the fast component of excess post-oxygen consumption (EPOC). For this EPOC, obtained breath-by-breaths during five minutes of recovery, were adjusted in function of the time using bi-exponential model (Eq. 1). The product between amplitude ( $A_1$ ) and fast component time constant ( $f_1$ ) was assumed as  $Ana_{ALA}$  (Eq. 2) (Di Prampero and Margaria, 1968). The  $Ana_{LAC}$  was determined by net lactate accumulation (i.e. difference between  $[La^-]$  peak and baseline values;  $\Delta[La^-]$ ), considering a metabolic equivalent of  $3 \text{ mL}\cdot\text{O}_2\cdot^{-1}\text{kg}^{-1}$  for each unit of lactate elevated with maximal effort (Zamparo et al., 2000). Thus,  $AOD_{RED}$  was assumed by the sum of  $Ana_{ALA}$  and  $Ana_{LAC}$  (Eq. 3). These procedures were similar to those performed by others (Bertuzzi et al., 2010,

Zagatto et al., 2011b), including in swimming (Kalva et al., 2015a). AOD<sub>RED</sub> values were presented in absolute (L), relative to body mass (mL.Kg<sup>-1</sup>), and kJ, considering 20.9 kJ·L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> (Zamparo et al., 2000).

$$\text{(Eq. 1) } VO_{2(t)} = VO_{2\text{BASE}} + A_1[e^{-(t-\delta)/f_1}] + A_2[e^{-(t-\delta)/f_2}]$$

$$\text{(Eq. 2) } Ana_{\text{ALA}} = A_1 \cdot f_1$$

$$\text{(Eq. 3) } AOD_{\text{RED}} = Ana_{\text{ALA}} + Ana_{\text{LAC}}$$

Where in *Equation 1 (Eq. 1)*:  $VO_{2(t)}$  is the oxygen uptake at time  $t$  in recovery time,  $VO_{2\text{BASE}}$  is the oxygen uptake at baseline,  $A$  is the amplitude,  $\delta$  is the time delay,  $f$  is the time constant (tau) and  $f_1$  and  $f_2$  denote fast and slow components, respectively. *Equation 2 (Eq. 2)*:  $Ana_{\text{ALA}}$  is alatic anaerobic contribution. *Equation 3 (Eq. 3)*:  $AOD_{\text{RED}}$ : reduced method to determine anaerobic contribution in a single effort;  $Ana_{\text{LAC}}$ : latic contribution.

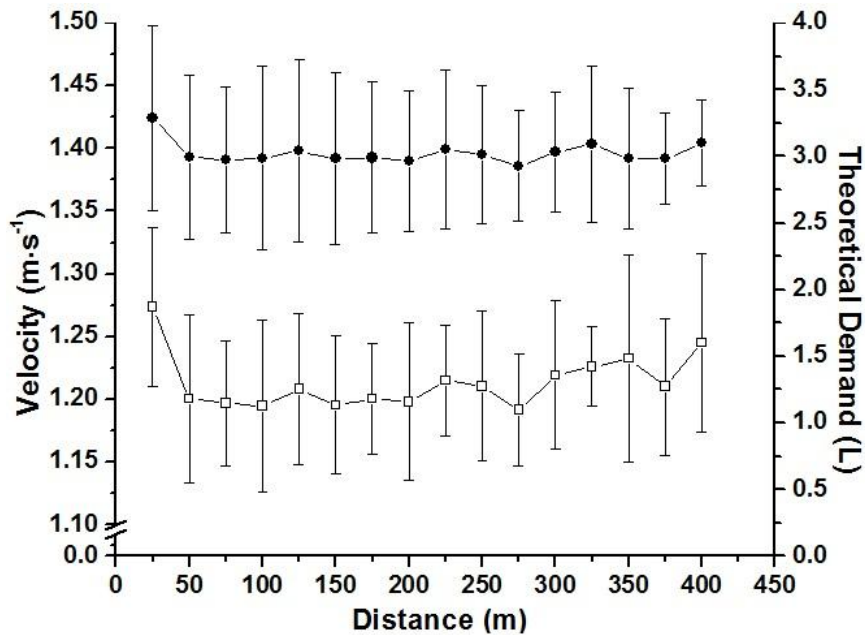
### **Statistical analysis**

Data normality was tested and confirmed by Shapiro-Wilk test, which permitted use parametric tests and present the data in mean  $\pm$  standard deviation (SD). To comparison between AOD and AOD<sub>RED</sub> the Student t test for paired sample was used together with effect size (ES) determination. Moreover, the possible correlations and agreements between the two methodologies were tested by the Pearson's test and Bland and Altman (1986) analysis, respectively. Pearson's correlation was also used to test the heterocedasticity. ES was classified as negligible (<0.35), small (0.35 to 0.80), moderate (0.80 - 1.5) and large (> 1.5) (Rhea, 2004). The correlation coefficients were classified in: very small (0.0 – 0.2), small (0.2 – 0.4), moderate (0.4 – 0.7), strong (0.7 – 0.9), and very strong (0.9 – 1.0) (Rowntree, 1981). A significance of 5% was used.

### **Results**

In submaximal efforts the speed ranged between  $64.42 \pm 0.93$  to  $80.30 \pm 6.85$  % of 400m performance. The mean time for 400m was  $330.59 \pm 13.20$  s (mean speed =  $1.20 \pm 0.04$  m·s<sup>-1</sup>) and the  $VO_{2\text{Peak}}$  was  $3.07$  L·min<sup>-1</sup>. The  $VO_{2\text{-speed}}$

relationship presented values of angular, linear and determination coefficients of  $4.00 \pm 1.22 \text{ (L}\cdot\text{min)}\cdot\text{(m}\cdot\text{s}^{-1})^{-1}$ ,  $1.82 \pm 1.06 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , and  $0.94 \pm 0.02$ , respectively. Linear regression error of estimative was  $0.27 \pm 0.23 \text{ L}$ . Figure 2 demonstrate the pacing used by swimmers during maximal 400 m effort. Table 1 summarizes all parameters related to AOD and AOD<sub>RED</sub>.



**Figure 2.** Mean  $\pm$  standard deviation for speed during the 400 m partial ( $\square$ ; left axis), and theoretical demand calculated for each 25m partial ( $\bullet$ ; right axis).

**Table 1.** Mean  $\pm$  SD of accumulated oxygen deficit (AOD), and reduced accumulated oxygen deficit (AOD<sub>RED</sub>) parameters (n = 6).

	Mean	SD
AOD		
Theoretical demand (L)	13.60	2.79
Accumulated VO <sub>2</sub> (L)	10.31	1.48
AOD error (L)	1.54	1.25
AOD <sub>RED</sub>		
A <sub>1</sub> (L.min <sup>-1</sup> )	1.19	0.44
f <sub>1</sub> (s)	1.02	0.36
Ana <sub>ALA</sub> (L)	1.36	0.61
[La <sup>-</sup> ] in baseline (mM)	1.30	0.27
[La <sup>-</sup> ] peak (mM)	10.98	4.07
$\Delta$ [La <sup>-</sup> ] (mM)	9.67	3.90
Ana <sub>LAC</sub> (L)	1.87	1.07

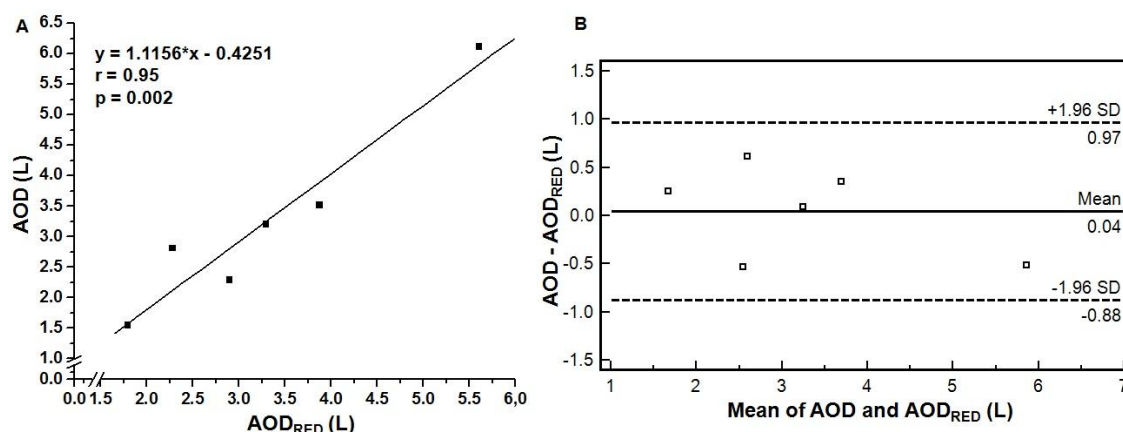
A<sub>1</sub>: fast component amplitude; f<sub>1</sub>: fast component time constant; Ana<sub>ALA</sub>: alactic anaerobic contribution; [La<sup>-</sup>]: lactate concentration;  $\Delta$ [La<sup>-</sup>]: net lactate accumulation; Ana<sub>LAC</sub>: lactic anaerobic contribution

No difference was found between AOD and AOD<sub>RED</sub> determined on the 400m maximal effort (ES < 0.35; negligible) (Table 2). These methodologies also present very strong correlations. The agreement analysis showed homogeneous and no tendentious dispersions (heterocedasticity: r = -0.47; p-value = 0.34), with low mean error, but considerable high limits of agreement (Figure 3). All results are presented in absolute (L), relative to weight (mL.Kg<sup>-1</sup>) or in calorific equivalent (kJ) (Table 2 and Figure 3). Using AOD, the aerobic contribution (i.e. accumulated VO<sub>2</sub>) during maximal 400 m effort was 76.59  $\pm$  4.75% and anaerobic contribution was 23.40  $\pm$  4.75%. AOD<sub>RED</sub> was constructed by 56.62  $\pm$  12.85% of Ana<sub>LAT</sub> and 43.37  $\pm$  12.85% of Ana<sub>ALA</sub>.



**Table 2.** Mean  $\pm$  standard deviation of conventional accumulated oxygen deficit, and single effort accumulated oxygen deficit (n = 6).

	AOD	AOD <sub>RED</sub>	<i>p</i> -value
Absolute (L)	3.29 $\pm$ 1.34	3.24 $\pm$ 1.56	0.82
Relative to weight (mL.Kg <sup>-1</sup> )	51.80 $\pm$ 12.23	50.57 $\pm$ 14.33	0.71
Calorific equivalent (kJ)	68.79 $\pm$ 28.18	67.86 $\pm$ 32.78	0.82



**Figure 3.** Association between AOD and AOD<sub>RED</sub> and linear regression of this correlation (A); Bland and Altman (1986) analysis between both methodologies.

## Discussion

The aim of the present was to compare conventional AOD with reduced method to estimate anaerobic contribution using a single effort (i.e. AOD<sub>RED</sub>). The main findings were that no difference was found between AOD and AOD<sub>RED</sub>, they were strongly correlated ( $r = 0.95$ ;  $p$ -value = 0.002), and presented low levels of mean estimative error and limits of agreements. Thus, the AOD<sub>RED</sub> can be used to estimate conventional AOD in swimmers, enhancing its application on every-day evaluation.

It has been suggested that combining intensities sub and supra anaerobic threshold (i.e. 30 – 90% of VO<sub>2Max</sub>) would affect model precision and validity (Bearden and Moffatt, 2001, Buck and McNaughton, 1999). We did not

analyzed swimmers' anaerobic threshold, but ensure intensities higher of this physiological index using 400 m mean speed as well as a submaximal intensity (i.e. 95% of  $VO_{2PEAK}$ ; unpublished data). Thus, we build  $VO_2$ -speed relationship with five submaximal efforts, which is more than previous studies used (Reis et al., 2010a, Reis et al., 2010b). Finally, the coefficient of determination present high values, and the  $VO_2$ -speed relation presented low values of standard error ( $0.27 \pm 0.23$  L). However, higher value of AOD error was observed when compared with Reis et al. (2010b) study. These authors have demonstrated that 400m effort presented higher error than 100m and 200m free-style swimming effort, mainly due to longer effort time. Thus, the linear regression is the major concern for AOD calculation, but, this method is still considered the gold standard for anaerobic evaluation (Noordhof et al., 2010, Reis et al., 2010b).

The values of AOD observed in present study were similar to those observed in exhaustive efforts (Ogita et al., 2003), but higher than others investigations that used fixed distances maximal efforts (Reis et al., 2010a, Reis et al., 2010b). Ogita et al. (2003) have investigated the possible influence of exercise duration on AOD values obtained in swimming flume. These authors observed that anaerobic contribution was similar when exhaustion occur between one ( $\approx 2.8$  L) and five minutes ( $\approx 2.9$  L), with maximal values attained in 2-3 min ( $\approx 3.2$  L). Thus, the maximal AOD values (i.e. anaerobic capacity) can be determinate in 200 m effort (2-3 min to exhaustion), with no significant difference in relation to 400 m maximal effort (4-5 min to exhaustion) (Ogita et al., 2003). However, Reis et al. (2010c) observed lower values of AOD in 400 m than in 200m, and 100m maximal effort performed in crawl style ( $\approx 11.9 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $\approx 17.5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ , and  $\approx 21.0 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively). These results are confirmed in breaststroke for 200m and 100m ( $\approx 23.1 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$  and  $22.2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively) (Reis et al., 2010a). Different of present study, the AOD calculation performed in these abovementioned studies used the effort mean speed for theoretical demand, ignoring the pacing strategy observed during the effort. Thus, we calculated the theoretical demand for each 25 m during maximal effort (Figure 1), increasing the precision of this measurements. This approach together with the five points in  $VO_2$ -speed relationship, indicate that

AOD values were determined in a robust way during present study, allowing its use to validate the AOD<sub>RED</sub>.

This is the first study to compare conventional AOD in maximal swimming effort with AOD<sub>RED</sub> in swimming. Bertuzzi et al. (2010) have compared conventional and reduced method to determine anaerobic contribution during exhaustive running effort. These authors observed similar values, positive significant correlation ( $r = 0.78$ ) and mean error very close to zero (Bertuzzi et al., 2010). The values of amplitude ( $A_1$ ) and, consequently, Ana<sub>ALA</sub> contribution ( $28.62 \pm 12.85$  kJ) were slightly lower than recently presented by Sousa et al. (2013) ( $32.6 \pm 2.8$  kJ) after a maximal 200 m effort. In the same distance effort and using the same method to determine anaerobic contribution, Kalva et al. (2015b) observed similar values of AOD ( $2.9 \pm 1.1$  L). Thus, these differences between studies can be explained by swimmers' level differences, since trained subjects may elicit higher anaerobic capacity than lower level swimmers (Lindh et al., 2008), and by the differences in distance performed. Moreover, these results agree with Ogita et al. (2003) that observed no significant differences between 200 m (2-3 min to exhaustion) and 400 m (4-5 min to exhaustion) in swimming flume. Therefore, the difficulties implemented by the need of submaximal exercises to estimate VO<sub>2</sub>-speed relationship are overcome in the reduced method. Finally, the AOD<sub>RED</sub> determination allows the calculus of Ana<sub>LAT</sub> and Ana<sub>ALA</sub> separately, enabling the investigation of different training models on these two metabolisms.

Although present study has a statistical power of 80%, the main limitation was the reduced number of participants, which does not allow the extrapolation of our results to different levels of swimmers. This fact also contributes to relatively larger limits of agreement observed (Hopkins, 2000). However, we believe that our results indicate that AOD can be estimated by sum of both EPOC analysis, and lactate accumulation during exercise, increasing the possible use of AOD<sub>RED</sub> during daily routine of swimmers. Thus, future studies should increase the number of participants, investigating the AOD<sub>RED</sub> in different distances and its sensibility of high intensity training or supplementation related to anaerobic metabolism (e.g. creatine, sodium bicarbonate, and caffeine).

The results of this study indicate that AOD<sub>RED</sub> is a good method to evaluate swimmers anaerobic contribution, since does not present difference with conventional AOD, is strongly correlated ( $r = 0.95$ ;  $p < 0.05$ ), and presents mean estimative error very close to zero. Thus, the AOD<sub>RED</sub> can be used to calculate anaerobic contribution in swimming, enhancing the applicability of the anaerobic investigation to different swimming distance.

## References

- Bearden, S. E. & Moffatt, R. J. (2001). VO<sub>2</sub> slow component: to model or not to model? *Med Sci Sports Exerc*, 33, 677-80.
- Bertuzzi, R. C., Franchini, E., Ugrinowitsch, C., Kokubun, E., Lima-Silva, A. E., Pires, F. O., Nakamura, F. Y. & Kiss, M. A. (2010). Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. *Int J Sports Med*, 31, 477-81.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1, 307-10.
- Buck, D. & Mcnaughton, L. (1999). Changing the number of submaximal exercise bouts effects calculation of MAOD. *Int J Sports Med*, 20, 28-33.
- Capelli, C., Pendergast, D. R. & Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 78, 385-93.
- Di Prampero, P. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med*, 7, 55-72.
- Di Prampero, P. & Margaria, R. (1968). Relationship between O<sub>2</sub> consumption, high energy phosphates and the kinetics of the O<sub>2</sub> debt in exercise. *Pflügers Archiv*, 304, 11-19.
- Di Prampero, P. E. & Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol*, 118, 103-15.
- Figueiredo, P., Zamparo, P., Sousa, A., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2011). An energy balance of the 200 m front crawl race. *Eur J Appl Physiol*, 111, 767-777.
- Gayda, M., Bosquet, L., Juneau, M., Guiraud, T., Lambert, J. & Nigam, A. (2010). Comparison of gas exchange data using the Aquatrainer system and

the facemask with Cosmed K4b2 during exercise in healthy subjects. *Eur J Appl Physiol*, 109, 191-9.

Grassi, B. (2000). 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. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 108-16.

Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 30, 1-15.

Kalva, C. A., Zagatto, A. M., Araujo, M. I. C., Santiago, P. R. P., Da Silva, A. S. R., Gobatto, C. A. & Papoti, M. (2015a). Relationship between Aerobic and Anaerobic Parameters from 3-Minute All-out Tethered Swimming and 400-M Maximal Front Crawl Effort. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 238-245.

Kalva, C. A., Zagatto, A. M., Araujo, M. I. C., Santiago, P. R. P., Da Silva, A. S. R., Gobatto, C. A. & Papoti, M. (2015b). Relationship between Aerobic and Anaerobic Parameters from 3-Minute All-out Tethered Swimming and 400-M Maximal Front Crawl Effort. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 238-245.

Lätt, E., Jürimäe, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P. & Jürimäe, T. (2009). Physical development and swimming performance during biological maturation in young female swimmers. *Collegium Antropologicum*, 33, 117-122.

Lindh, A. M., Peyrebrune, M. C., Ingham, S. A., Bailey, D. M. & Folland, J. P. (2008). Sodium bicarbonate improves swimming performance. *Int J Sports Med*, 29, 519-23.

Medbo, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O. & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol* (1985), 64, 50-60.

Noordhof, D. A., De Koning, J. J. & Foster, C. (2010). The maximal accumulated oxygen deficit method. *Sports Med*, 40, 285-302.

Ogita, F. (2006). INVITED CONTRIBUTION. *Rev Port Cien Desp*, 6, 117-182.

Ogita, F., Hara, M. & Tabata, I. (1996). Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiol Scand*, 157, 435-41.

Ogita, F., Onodera, T., Tamaki H, Toussaint, H. M., Hollander, A. & Wakayoshi, K. (2003). Metabolic profile during exhaustive arm stroke, leg kick, and whole

body swimming lasting 15s to 10min. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, 6.

Reis, V. M., Marinho, D. A., Barbosa, F. P., Reis, A. M., Guidetti, L. & Silva, A. J. (2010a). Examining the accumulated oxygen deficit method in breaststroke swimming. *Eur J Appl Physiol*, 109, 1129-35.

Reis, V. M., Marinho, D. A., Policarpo, F. B., Carneiro, A. L., Baldari, C. & Silva, A. J. (2010b). Examining the accumulated oxygen deficit method in front crawl swimming. *Int J Sports Med*, 31, 421-7.

Reis, V. M., Marinho, D. A., Policarpo, F. B., Carneiro, A. L., Baldari, C. & Silva, A. J. (2010c). Examining the accumulated oxygen deficit method in front crawl swimming. *Int J Sports Med*, 31, 421-7.

Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res*, 18, 918-20.

Rowntree, D. 1981. *Statistics without tears: A primer for non-mathematicians*, Scribner Book Company.

Sousa, A., Figueiredo, P., Pendergast, D., Kjendlie, P. L., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2014). Critical Evaluation of Oxygen-Uptake Assessment in Swimming. *Int J Sports Physiol Perform*, 9, 190-202.

Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2013). Anaerobic alactic energy assessment in middle distance swimming. *Eur J Appl Physiol*, 113, 2153-8.

Zagatto, A., Redkva, P., Loures, J., Kalva Filho, C., Franco, V., Kaminagakura, E. & Papoti, M. (2011a). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scand J Med Sci Sports*, 21, e222-30.

Zagatto, A., Redkva, P., Loures, J., Kalva Filho, C., Franco, V., Kaminagakura, E. & Papoti, M. (2011b). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21, e222-30.

Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F. & Capelli, C. (2005). Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 94, 697-704.

Zamparo, P., Capelli, C., Causero, M. & Di Nino, A. (2000). Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 83, 487-91.

Zamparo, P., Capelli, C. & Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: a historical perspective. *Eur J Appl Physiol*, 111, 367-78.

Zoeller, R. F., Nagle, E. F., Robertson, R. J., Moyna, N. M., Lephart, S. M. & Goss, F. L. (2000). Peak blood lactate and accumulated oxygen deficit as indices of freestyle swimming performance in trained adult female swimmers. *Journal of Swimming Research*, 14.

3º Trabalho:

**ESTIMATIVA DAS CONTRIBUIÇÕES AERÓBIAS E ANAERÓBIAS PELO  $AOD_{RED}$ .**

*Pergunta central:*

É possível estimar as contribuições aeróbias e anaeróbias apenas a partir do  $AOD_{RED}$ ?

*Justificativa:*

Considerando que nenhuma diferença foi observada entre AOD e  $AOD_{RED}$  e que, a demanda aeróbia é equivalente à diferença entre DT (demanda teórica a partir da relação velocidade- $VO_2$ ) e AOD (ou  $AOD_{RED}$ ), seria possível estimar a contribuição dos três sistemas a partir apenas do  $AOD_{RED}$ . Se tal hipótese for confirmada, o cálculo das demandas energéticas podem ser realizados por meio da técnica de retro extrapolação.



## Estimative of aerobic and anaerobic contribution during maximal 400m swimming by reduced accumulated oxygen deficit

### Abstract

Although widely used, the aerobic contribution during swimming presents some technical limitations. Moreover, since no difference exist between conventional maximal accumulated oxygen deficit in swimming, and reduced accumulated oxygen deficit ( $AOD_{RED}$ ), it would be possible to estimate aerobic metabolism by subtracting  $AOD_{RED}$  from total demand. Thus the aims of the present study were to (i) compare theoretical demand (TD) calculated by  $VO_2$ -speed relation with rectangular demand (RD) (i.e.  $VO_{2Peak} \cdot \text{effort time}$ ), and (ii) compare real aerobic contribution ( $Aer_{REAL}$ ) with aerobic contribution by subtracting  $AOD_{RED}$  from TD ( $Aer_{TD}$ ), and RD ( $Aer_{RD}$ ). Six swimmers were submitted to four submaximal exercises and one maximal 400 m effort. The  $VO_2$  of each exercise and mean speed were used to determine  $VO_2$ -speed linear relation to estimate TD for each 25m partial, while the  $VO_{2Peak}$  after the 400 m effort was used to calculate RD. For phase two the  $Aer_{REAL}$  was assessed by the  $VO_2$  integral during the effort, and  $Aer_{TD}$  by subtracting  $AOD_{RED}$  from TD and  $Aer_{RD}$  by subtracting  $AOD_{RED}$  from RD. The comparison between RD and TD was made by the Student t test, Pearson correlation, and Bland & Altman agreement analysis. The comparison between  $Aer_{REAL}$ ,  $Aer_{TD}$ , and  $Aer_{RD}$  was performed by ANOVA one-way for repeated measures and Bland & Altman analysis. No difference, strong association, and reduced mean standard error were found between TD ( $13.60 \pm 2.79$  L) and RD ( $13.71 \pm 2.89$  L) ( $r = 0.97$ ;  $p\text{-value} = 0.001$ ). No difference was found between  $Aer_{REAL}$  ( $10.31 \pm 1.48$  L),  $Aer_{TD}$  ( $10.36 \pm 1.56$  L), and  $Aer_{RD}$  ( $10.46 \pm 1.43$  L). Low mean standard error and limits of agreements were found when comparing  $Aer_{TD}$  and  $Aer_{RD}$  with  $Aer_{REAL}$ . Thus, besides the similar TD and RD values, aerobic contribution can be calculated the sum of anaerobic metabolism ( $AOD_{RED}$ ). Therefore, this result increases the application of  $AOD_{RED}$  method to estimate both anaerobic and aerobic contribution.

**Key Words:** anaerobic capacity; aerobic contribution; anaerobic contribution; swimming.

## Introduction

Swimming performance depends of technical, mechanical, and physiological variables (Jurimae et al., 2007, Kalva et al., 2015, Zamparo et al., 2005). From the physiological variables, aerobic contribution to different swimming distance (100 to 1500 m) has been receiving great attention due to its relation with performance (Kalva et al., 2015, Laffite et al., 2004, Latt et al., 2010, Sousa et al., 2014a). Even though the aerobic contribution through the in swimming oxygen consumption ( $\text{VO}_2$ ) analysis (i.e. snorkel) is the gold standard, some studies have been using a fixed  $\text{VO}_2$  time constant ( $\approx 24$  s) (Capelli et al., 1998), and the difference between peak oxygen consumption ( $\text{VO}_{2\text{Peak}}$ ) and baseline  $\text{VO}_2$  (Jurimae et al., 2007) to measure aerobic contribution. However both methods are limited because oxygen kinetics vary with exercise intensity (Sousa et al., 2014c), and they do not take into account  $\text{VO}_2$  slow component. Furthermore, the use of snorkel is also limited since reduces swimming speed (Jalab et al., 2011, Reis et al., 2010b).

In relation to anaerobic metabolism, it was disregarded when analyzing swimming energy cost (Barbosa et al., 2006, Chatard et al., 1990), however, some studies have recently devoted attention to this variable (Kalva et al., 2015, Papoti et al., 2013, Zamparo et al., 2000). Different methods have been proposed to analyze anaerobic metabolism in swimming (di Prampero and Ferretti, 1999, Laffite et al., 2004, Reis et al., 2010a, Reis et al., 2010b). The accumulated oxygen deficit (AOD) can be considered the gold-standard protocol to determine anaerobic contribution, since take into account a theoretical energy demand from a linear regression established from submaximal exercises (Medbo et al., 1988, Ogita et al., 1996, Reis et al., 2010b). The subtracting of aerobic contribution (i.e. aerobic area) from theoretical energy demand gives the AOD (Medbo et al., 1988). However, this evaluation requires at least four continuous bouts (Reis et al., 2010b) for the calculation of linear  $\text{VO}_2$ -speed regression, and the use of snorkel for determination of aerobic area from the  $\text{VO}_2$  integral.

On the other hand, the sum of both anaerobic lactic and alactic metabolism is widely used in swimming (Capelli et al., 1998, Figueiredo et al., 2013, Figueiredo et al., 2011, Sousa et al., 2013), being the anaerobic lactic

determined by the net lactate appearance (di Prampero and Ferretti, 1999), and the anaerobic alactic through both fast-component  $VO_2$  off-transient kinetic (Di Prampero and Margaria, 1968, Di Prampero, 1981, Margaria et al., 1933) and kinetics of maximal phosphocreatine splitting at the contracting muscle (Sousa et al., 2013, Zamparo et al., 2005). No difference has been observed on both methods of anaerobic alactic contribution calculation (Sousa et al., 2013). Our group has verified no difference, significant association ( $r = 0.95$ ;  $p < 0.05$ ), and low mean error of estimative between conventional AOD and, a reduced AOD ( $AOD_{RED}$ ) determined by the sum of net lactate appearance and fast-component  $VO_2$  off-transient kinetics (Bertuzzi et al., 2010).

Therefore, since  $AOD_{RED}$  is calculated after the effort (i.e. lactate withdrawal before and after the effort, and  $VO_2$  off-transient), it could be determined without swimming with snorkel (i.e. backward extrapolation). Moreover, given that no difference exists between AOD and  $AOD_{RED}$ , it is tempting to affirm that would be possible to calculate aerobic contribution (Aer) through subtracting theoretical energetic demand from  $AOD_{RED}$ . However this would still need to perform submaximal intensities to determine  $VO_2$ -speed relationship. To calculate Aer from  $AOD_{RED}$  without submaximal exercise it would be necessary to estimate theoretical energetic demand by a rectangle estimated by the product between peak oxygen consumption ( $VO_{2Peak}$ ) attained at the end of a 400m effort (Montpetit et al., 1981) and effort time (Jurimae et al., 2007).

Thus, considering the possibility to determine Aer from  $AOD_{RED}$  (i.e. subtracting it from theoretical energetic demand, and/or rectangular energetic demand), and the need to compare  $VO_2$ -speed theoretical energetic demand with rectangular energetic demand, the aims of the present study were (i) to compare two methods to calculate total energetic swimming demand (i.e. theoretical demand and rectangular demand), and (ii) determine whether is possible find out aerobic contribution by subtracting  $AOD_{RED}$  from both theoretical and rectangular energetic swimming demand. The hypothesis of the present study were that no difference would be found between methodologies of energetic demand estimation, and that would be possible to calculate aerobic and anaerobic contribution using by  $AOD_{RED}$ .

## Methods

### **Subjects**

Six recreational swimmers with mean age, height and total body mass of  $15.15 \pm 1.86$  years,  $165.76 \pm 8.62$  cm,  $59.53 \pm 11.75$  kg, respectively, volunteered to participate in the investigation. All the subjects had at least two years of swimming training, and trained approximately  $7000 \text{ m}\cdot\text{day}^{-1}$ , with a frequency of  $5 \text{ day}\cdot\text{week}^{-1}$ . All procedures were approved by the University's Institutional Review Board for Human Subjects (Human Research Ethics Committee; Unesp) and were conducted according to the Declaration of Helsinki. Athletes and their parents, when pertinent, were informed about experimental procedures and risks, and signed an informed consent before their participation in the study.

### **Experimental design**

To verify whether is possible to calculate Aer using  $\text{AOD}_{\text{RED}}$ , the present study was divided in two phases. The first phase aimed to compare the theoretical energetic demand (TD) estimated by the  $\text{VO}_2$ -speed regression (Reis et al., 2010; Medbo et al., 1988) with rectangular energetic demand (RD) (i.e.  $\text{VO}_{2\text{Peak}} \cdot \text{effort time}$ ). The second phase compared the real aerobic contribution during the 400 m effort ( $\text{Aer}_{\text{REAL}}$ ) with Aer estimated by subtracting  $\text{AOD}_{\text{RED}}$  of TD and RD. For this, subjects were submitted to four continuous bouts (5 – 6 minutes) to determine  $\text{VO}_2$  related to each speed. After, they performed a maximal 400m effort with snorkel to determine  $\text{Aer}_{\text{REAL}}$  and maintained to breathe in the snorkel for five minutes after the effort to determine  $\text{VO}_2$  off-transient fast-component. Blood samples were taken to determine peak lactate concentration ( $[\text{La}^-]_{\text{peak}}$ ). All the exercises were done with snorkel (*Aquatrainner*<sup>®</sup>, Cosmed, Rome, Italy) (Gayda et al., 2010). Athletes were instructed to maintain a consistent routine with regard to training, sleeping and diet throughout the two days. The tests were performed on a 25 m swimming pool with water temperature of  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . No warming-up was performed before the test, and the subjects started each trial when their  $\text{VO}_2$  values exhibited two

consecutive values within  $2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  from that recorded before the first submaximal exercise (observed in the first day) (Reis et al., 2010b).

### **Data collection**

During all procedures expired gases were collected breath-by-breath and analyzed by a K4b<sup>2</sup> gas analyzer (Cosmed<sup>®</sup>, Rome, Italy) connected to an Aquatrainer snorkel (Cosmed<sup>®</sup>, Rome, Italy). The gas analyzers were calibrated immediately before and verified after each test using a certified gravimetrically determined gas mixture, while the ventilometer was calibrated pre-exercise and verified post-exercise using a 3 L syringe in accordance with the manufacturer's instructions. Following removal of outliers to exclude discrepant breaths, breath-by-breath data were interpolated to give 1 s (OriginPro 8.0, OriginLab Corporation, Microcal, Massachusetts, USA) to enhance the underlying response characteristics (Zagatto et al., 2011a). Immediately before the maximal 400 m blood samples were collected to determine  $[\text{La}^-]_{\text{rest}}$  and three, five and seven minutes after the end of the effort, to determine  $[\text{La}^-]_{\text{peak}}$ . The  $[\text{La}^-]$  was assessed using a blood lactate analyzer YSI-2300 (Yellow Springs Instruments<sup>®</sup>, Ohio, USA).

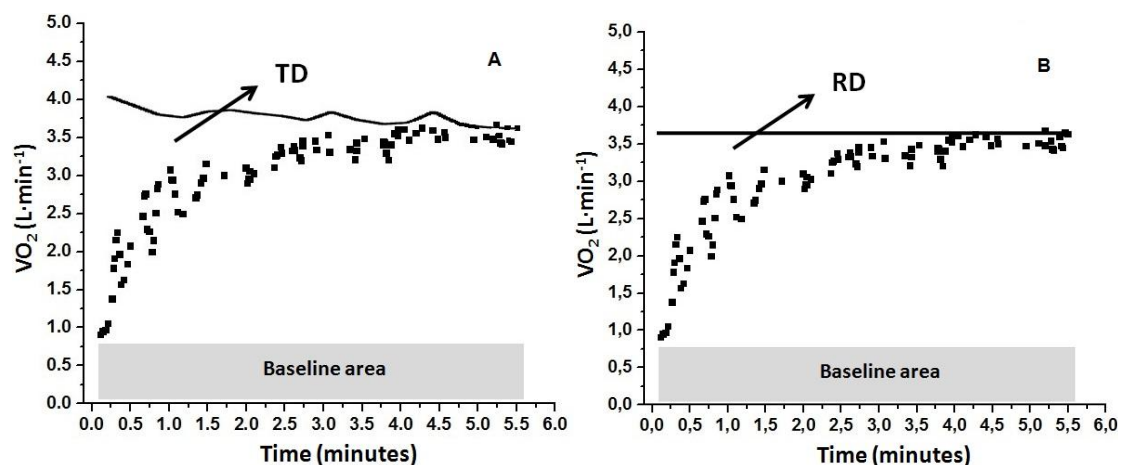
## **Phase 1**

### ***Theoretical demand and rectangular energetic demand***

The TD was determined by submaximal swimming efforts. The submaximal exercises were performed according to the personal best 400 m performance done one week before the tests. The swimmers were instructed to maintain a constant speed during the four submaximal efforts accompanying sonorous stimulus with mark placed at the bottom of the pool. The distance swam in submaximal exercises varied between 250 - 350 m, and were chosen to ensure a minimal of five minutes of effort, since  $\text{VO}_2$  plateau is usually attained at 2 – 3 minutes (Grassi, 2000). To guarantee that supra anaerobic threshold intensity would be used in the linear  $\text{VO}_2$ -speed regression, the 400m maximal effort was also used in the linear regression since its speed is lower than speed associated to maximal oxygen consumption ( $\text{VO}_{2\text{Max}}$ ) ( $\approx 96\%$ ) (Reis et al., 2010b). The  $\text{VO}_2$  related with each speed was assumed as the mean

from the last 30 seconds (Zagatto et al., 2011b). The  $VO_2$  values and their respective swimming speed were plotted and a linear regression was calculated for each swimmer. During the maximal 400 m effort, swimming speed was calculated for each 25 m, giving therefore a theoretical demand for each 25 m partial (Figure 1A). The TD was assumed as the integral area minus baseline area ( $VO_2$  at baseline\*effort time).

The RD was calculated through the product between  $VO_{2Peak}$  observed at the end of 400 m and the effort time (Montpetit et al., 1981), as proposed by Jurimae et al. (2007). The  $VO_2$  baseline was also retrieved from the RD integral. (Figure 1B).



**Figure 1.**  $VO_2$  response during the 400m effort and the TD area (A).  $VO_2$  response during the 400 m effort and the RD area (B). Data retrieved from subject. TD: theoretical demand; RD: rectangular demand.

## Phase 2

### ***Real aerobic contribution and reduced accumulated oxygen deficit***

The swimmers performed a maximal 400 m effort. The  $Aer_{REAL}$  was assumed as the integral  $VO_2$  area during the effort minus the baseline  $VO_2$  area (i.e. baseline  $VO_2$ \*effort time). The  $AOD_{RED}$  was determined by the sum of lactic ( $Ana_{LAC}$ ) and alactic ( $Ana_{ALA}$ ) anaerobic metabolism (Bertuzzi et al., 2010, Di Prampero, 1981, di Prampero and Ferretti, 1999). To determine the  $Ana_{ALA}$ , the oxygen uptake values obtained breath-by-breath during five minutes of recovery were adjusted in function of the time using bi-exponential model (Equation 1).

This adjustment allowed the excess post-oxygen consumption (EPOC) fast component determination (i.e. product between amplitude and tau (Bertuzzi et al., 2010) (Equation 2). The  $Ana_{LAC}$  was determined by lactate concentration ( $[La^-]$ ) accumulation through the difference between peak  $[La^-]$  ( $[La^-]_{peak}$ ) and rest  $[La^-]$  ( $[La^-]_{rest}$ ), considering a metabolic equivalent of  $3 \text{ mL} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$  for each 1mM of blood lactate concentration increase (di Prampero and Ferretti, 1999, Kalva et al., 2015, Zamparo et al., 2011).  $AOD_{RED}$  was assumed by the sum of  $Ana_{ALA}$  and  $Ana_{LAC}$  (Equation3).

$$\text{Equation 1: } VO_{2(t)} = VO_{2BASE} + A_1[e^{-(t-\delta)/f1}] + A_2[e^{-(t-\delta)/f2}]$$

$$\text{Equation 2: } Ana_{ALA} = A_1 \cdot f_1^{-1}$$

$$\text{Equation 3: } AOD_{RED} = Ana_{ALA} + Ana_{LAC}$$

Where:  $VO_{2(t)}$  is the oxygen uptake at time  $t$  in recovery time,  $VO_{2BASE}$  is the oxygen uptake at baseline,  $A$  is the amplitude,  $\delta$  is the time delay,  $f$  is the time constant (tau) and  $f_1$  and  $f_2$  denote fast and slow components, respectively. In equation 2 (Eq 2),  $Ana_{ALA}$  is alatic anaerobic contribution.

### ***Determination of aerobic contribution through alternative accumulated oxygen deficit***

The aerobic contribution through the TD ( $Aer_{TD}$ ) was determined by the difference between TD and  $AOD_{RED}$ , while the aerobic contribution by the RD ( $Aer_{RD}$ ) was assumed as the difference between RD and  $AOD_{RED}$ .

### ***Statistical Analysis***

For phase 1, data normality was tested and confirmed by Shapiro-Wilk test, which permitted use parametric tests and present the data in mean  $\pm$  standard deviation (SD). To compare TD and RD we used the Student t test for paired sample together with effect size (ES) determination. Moreover, the possible correlations and agreements between the two methodologies were tested through the Pearson correlation test and Bland and Altman (1986) analysis, respectively. Pearson's correlation was also used to test the

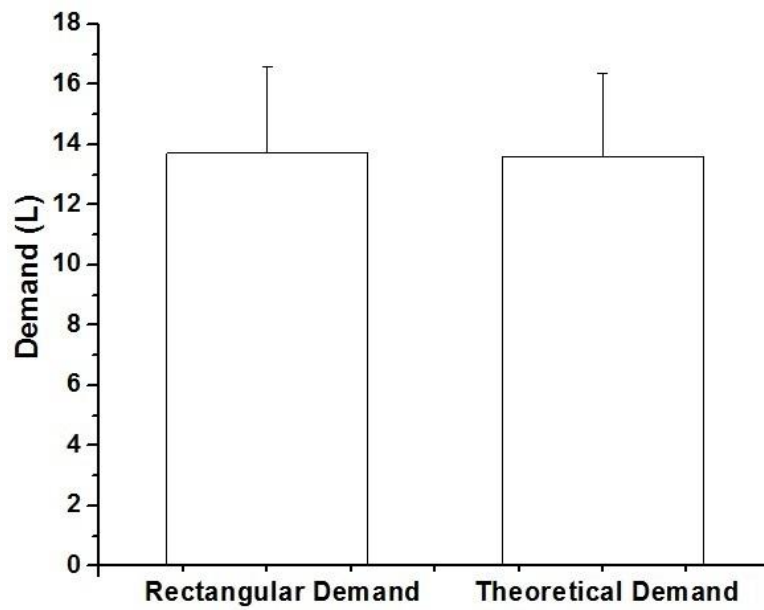
heterocedasticity. ES was classified as negligible ( $<0.35$ ), small (0.35 to 0.80), moderate (0.80 - 1.5) and large ( $> 1.5$ ) (Rhea, 2004). The correlation coefficients were classified in: very small (0.0 – 0.2), small (0.2 – 0.4), moderate (0.4 – 0.7), strong (0.7 – 0.9), and very strong (0.9 – 1.0) (Rowntree, 1981). For phase 2 the sphericity was analyzed by the *Mauchly's test*, and, when necessary, corrected by the *Greenhouse-Geisser's test*. The ANOVA one-way for repeated measures with the Bonferroni post hoc test was used to verify the differences between  $Aer_{REAL}$ ,  $Aer_{TD}$ , and  $Aer_{RD}$ . Afterwards, the Altman and Bland (1986) analysis was used to compare  $Aer_{REAL}$  with both  $Aer_{TD}$  and  $Aer_{RD}$ . In all cases a significance of 5% was used.

## Results

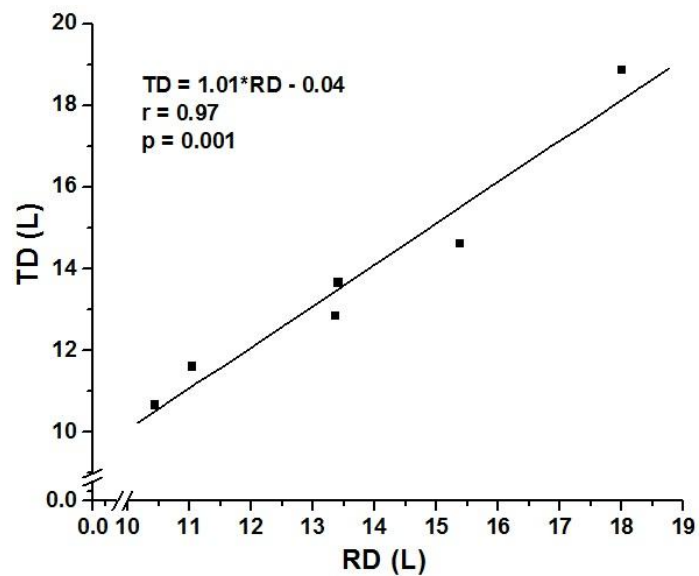
### Phase 1

The linear regression of  $VO_2$ -speed for TD determination presented  $4.00 \pm 1.22$  (L·min) $\cdot$ (m·s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>,  $1.82 \pm 1.06$  L·min<sup>-1</sup>, and  $0.94 \pm 0.02$  of angular coefficient, linear coefficient, and coefficient of determination, respectively. Linear regression error of estimative was  $0.27 \pm 0.23$  L. No difference was observed between TD ( $13.60 \pm 2.79$  L) and RD ( $13.71 \pm 2.89$  L) (Figure 2) (ES  $< 0.35$ ; negligible;  $t = -0.416$ ;  $p = 0.69$ ), and very strong association was found between them (Figure 3). Low levels of mean standard error and limits of agreements were observed between both methodologies to estimate total demand (Figure 4).

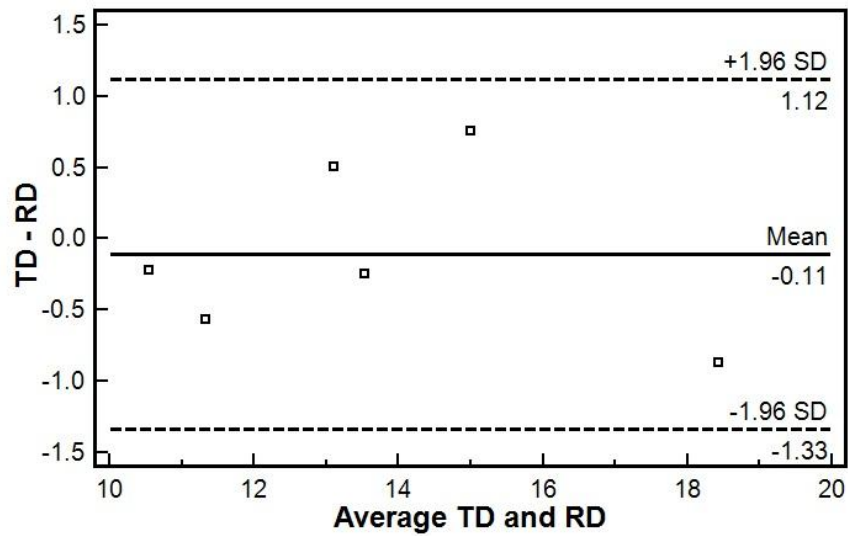




**Figure 2.** Demand calculated from the product between  $VO_{2Peak}$  and effort time (rectangular demand), and from the  $VO_2$ -speed relationship (theoretical demand).



**Figure 3.** Relation between theoretical demand (TD) and rectangular demand (RD).



**Figure 4.** Bland and Altman (1986) agreement analysis between rectangular demand (RD) and theoretical demand (TD).

### **Phase 2**

Table 1 summarizes the physiological parameters during the maximal 400m swimming effort, and parameters to  $AOD_{RED}$  calculation. No difference was found between  $Aer_{REAL}$ ,  $Aer_{TD}$ , and  $Aer_{RD}$  (Table 2). The Bland and Altman (1986) agreement analysis between  $Aer_{REAL}$  and  $Aer_{TD}$  (Figure 5A), and  $Aer_{REAL}$  and  $Aer_{RD}$  (Figure 5B) were homogeneous and no tendentious (heterocedasticity:  $r = -0.10$  and  $0.16$ ;  $p < 0.05$ , respectively), demonstrated very low mean standard error ( $-0.15$  to  $-0.04$  L) and limits of agreement (average ranging 8.8 to  $-9.4\%$ ).

**Table 1.** Mean and standard deviation (SD) of parameters obtained before and after the maximal 400m effort (n = 6).

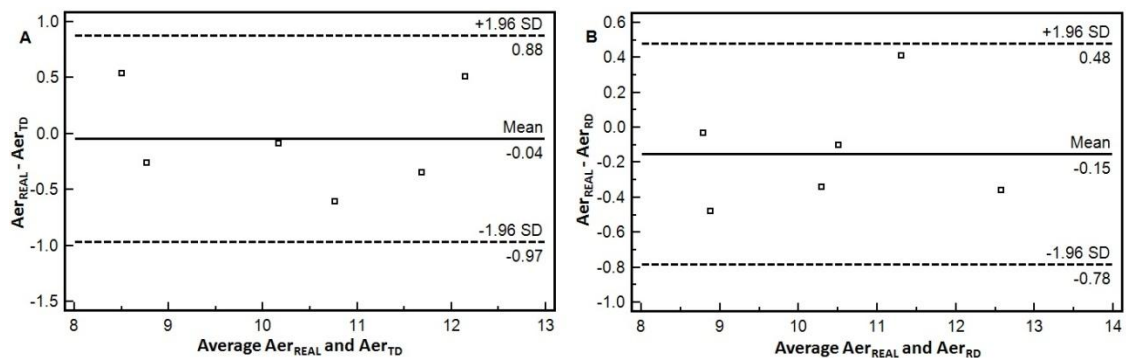
	Mean	SD
$VO_{2Peak}$ (L·min <sup>-1</sup> )	3.17	0.52
$VO_{2Peak}$ (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	53.52	8.61
AOD <sub>RED</sub>		
$A_1$ (L·min <sup>-1</sup> )	1.19	0.44
$f_1$ (min)	1.02	0.36
Ana <sub>ALA</sub> (L)	1.36	0.61
[La <sup>-</sup> ] <sub>rest</sub> (mM)	1.30	0.27
[La <sup>-</sup> ] <sub>peak</sub> (mM)	10.98	4.07
$\Delta$ [La <sup>-</sup> ] (mM)	9.67	3.90
Ana <sub>LAC</sub> (L)	1.87	1.07

$VO_{2Peak}$ : peak oxygen consumption; AOD<sub>RED</sub>: reduced accumulated oxygen deficit;  $A_1$ : fast component amplitude;  $f_1$ : fast component time constant; Ana<sub>ALA</sub>: alactic anaerobic contribution; [La<sup>-</sup>]: lactate concentration;  $\Delta$ [La<sup>-</sup>]: net lactate accumulation; Ana<sub>LAC</sub>: lactic anaerobic contribution

**Table 2.** Mean and standard deviation (SD) of  $Aer_{REAL}$ ,  $Aer_{TD}$ , and  $Aer_{RD}$  ( $n = 6$ ).

	Mean	SD	p-value
<b>L</b>			
$Aer_{REAL}$	10.31	1.48	
$Aer_{TD}$	10.36	1.53	
$Aer_{RD}$	10.46	1.43	0.74
<b>mL·kg<sup>-1</sup></b>			
$Aer_{REAL}$	168.52	18.92	
$Aer_{TD}$	169.74	25.12	
$Aer_{RD}$	171.06	18.54	0.72
<b>kJ</b>			
$Aer_{REAL}$	215.59	31.01	
$Aer_{TD}$	216.52	32.09	
$Aer_{RD}$	218.74	29.96	0.74

$Aer_{REAL}$ : aerobic contribution analyzed by the  $VO_2$  area obtained during the 400m effort;  $Aer_{TD}$ : aerobic contribution determined by the difference between total theoretical demand and single effort accumulated oxygen deficit;  $Aer_{RD}$ : aerobic contribution assessed by the difference between rectangular demand and single effort accumulated oxygen deficit.



**Figure 5.** Agreement analysis (Bland and Altman, 1986) between  $Aer_{REAL}$  and the aerobic contribution determined by the difference between theoretical demand and  $AOD_{RED}$  (i.e.  $Aer_{TD}$ ) (A). Bland and Altman (1986) agreement analysis between  $Aer_{REAL}$  and  $Aer_{RD}$  (B)

## Discussion

This study aimed to (i) investigate whether the theoretical demand (TD) used to calculate accumulated oxygen deficit (Medbo et al., 1988) is different from a rectangular demand (RD) calculated from the product between  $VO_{2Peak}$  and effort time (Jurimae et al., 2007), and (ii) determine whether  $AOD_{RED}$  can be used to estimate aerobic contribution by subtracting it from TD and RD. The main findings of the present study were that no significant difference exist between TD and RD, and aerobic contributions determine by  $AOD_{RED}$  (i.e.  $Aer_{TD}$  and  $Aer_{RD}$ ) are not different and present high level of agreement with  $Aer_{REAL}$ .

The gold standard for total demand (i.e. aerobic and anaerobic) calculation is the theoretical demand proposed by Medbo et al. (1988) to calculate AOD. The calculation of TD is based on the linear relationship between effort speed and  $VO_2$ , however, the  $VO_2$ -speed relation is responsible for the main criticism over AOD (Bangsbo, 1992b). Some studies have observed that the linear regression modifies MAOD when only below anaerobic threshold intensities are used in comparison with above anaerobic threshold intensities (Noordhof et al., 2010). This result agrees with Bangsbo (1992a) that have stated that due to  $VO_2$  slow component, the  $VO_2$ -speed linearity is lost when performing above anaerobic threshold intensities (Noordhof et al., 2010). On the other hand, studies have observed that intensities below and above anaerobic threshold are necessary to guarantee linear regression robustness (Noordhof et al., 2010), since small alterations are observed in MAOD when central submaximal intensities are removed from  $VO_2$ -speed relation. Therefore we included 400m effort in  $VO_2$ -speed relation, since mean 400 m speed is  $\approx$  96% of  $sVO_{2Max}$ , and intensities close to  $VO_{2Max}$  are required (Reis and Carneiro, 2005), and have been used (Spencer and Gustin, 2001). In addition, the 400m effort ensures that above anaerobic threshold speed was used to calculate  $VO_2$ -speed relation (Noordhof et al., 2010).

Moreover, the number and intensity of submaximal efforts also influences the  $VO_2$ -speed relation, and consequently, TD value (Buck and McNaughton, 1999, Reis and Carneiro, 2005). Originally Medbo et al. (1988) have proposed the utilization of at least ten submaximal exercises to calculate  $VO_2$ -speed relation; however two to eight bouts to determine have been used in the

literature to determine it (Craig and Morgan, 1998, Ravier et al., 2006). The use of ten submaximal exercises limits the application of this methodology in the every-day sport routine, since at least four days of evaluation would be necessary, including an incremental test to assess efforts intensity.

The y-intercept of  $VO_2$ -speed regression is also a major concern to calculate TD (Russell et al., 2000). The present study did not fix y-intercept because the linear regression robustness decreased considerably ( $R^2 = 0.66 \pm 0.12$ ). This might be a limitation of the present study, however, we do not believe that this may have influenced TD, since our classical accumulated oxygen deficit were similar in comparison with other (Ogita et al., 1996). On the other hand, we estimated TD for each 25 m partial. This method may be more robust to determine TD, since swimmers use different strategy during 400 m swimming efforts (Mauger et al., 2012). Thus, when analyzing AOD in performance trial, the variation in intensity/speed must be taken into account.

Despite the several limitations on  $VO_2$ -speed linear regression, it still is the gold standard for evaluation of accumulated oxygen deficit, however the needed of previous evaluation limits its application in training routine. The rectangular demand can be assessed by the product between mean of the last 30 s of 400 m effort and time (Jurimae et al., 2007). No difference was found between both methodologies of total energetic demand, they were strongly associated, and low level of mean standard error was found. To the best of our knowledge no study has compared both methods, limiting the comparison with other data. This result would also allow the determination of RD by the backward extrapolation technique (Di Prampero et al., 1976), since  $VO_{2Peak}$  can be attained by the 400 m effort (Jurimae et al., 2007, Montpetit et al., 1981). However, even determining total demand by the backward extrapolation technique (i.e. rectangular demand), the aerobic contribution would be limited since the oxygen kinetics vary with exercise intensity (Sousa et al., 2014c), and its estimation by a fixed time constant ( $\approx 24$  s) (Capelli et al., 1998) is limited because do not take into account  $VO_2$  slow component. Thus, since  $AOD_{RED}$  represents the anaerobic metabolism contribution during the effort, it would be possible to calculate aerobic contribution subtracting  $AOD_{RED}$  from RD or TD (i.e.  $Aer_{RD}$  and  $Aer_{TD}$ , respectively).

Therefore, no difference was found between  $Aer_{RD}$  and  $Aer_{TD}$ , and the  $Aer_{REAL}$ . Furthermore the Bland and Altman (1986) analysis have presented mean standard error of -0.04 L and -0.15 L when comparing  $Aer_{RD}$  and  $Aer_{TD}$  with  $Aer_{REAL}$ , respectively. The limits of agreement were no higher than 9.4%, evidencing that  $Aer_{RD}$  and  $Aer_{TD}$  can be used to estimate  $Aer_{REAL}$  in a 400m swimming effort. When compared with  $Aer_{REAL}$ ,  $Aer_{TD}$  presented lower mean standard error than  $Aer_{RD}$ . This is likely because TD take into account velocities variation during the maximal 400 m effort, which also generates modifications in  $VO_2$  during the effort. Nevertheless the  $Aer_{TD}$  requires to execute submaximal intensities – below and above anaerobic threshold – to determine the  $VO_2$ -speed relation, which would reduce  $Aer_{TD}$  feasibility.

On the other hand, since no difference and low values of mean standard error was observed between  $Aer_{REAL}$  and  $Aer_{RD}$ , it is possible to evaluate both aerobic and anaerobic contribution through one trial. The sum of anaerobic lactic and alactic metabolism has been widely used in swimming (Capelli et al., 1998, Figueiredo et al., 2011, Kalva et al., 2015, Sousa et al., 2013, Zamparo et al., 2005). Albeit some limitations exist in  $[La^-]$   $O_2$  equivalent (di Prampero and Ferretti, 1999), since lactate concentrations in intra- and extracellular water is not taken into account. However, when used with some caution, this tool is extremely useful for estimating lactic anaerobic energy expenditure during maximal efforts (di Prampero and Ferretti, 1999, Figueiredo et al., 2011, Zamparo et al., 2005). Two different methods have been used to estimate alactic anaerobic metabolism in swimming (Kalva et al., 2015, Sousa et al., 2014b, Sousa et al., 2013). One calculate alactic anaerobic metabolism considering that phosphocreatine degradation occurs by a known amount and a fixed time constant, and other is based on rapid component of post exercise oxygen consumption (di Prampero and Ferretti, 1999, Zamparo et al., 2005). Sousa et al. (2013) have observed no difference between both methods of alactic anaerobic contribution calculation after a 200 m maximal effort, evidencing the feasibility of both techniques.

The main limitation of the present study is the sample size, however, the high values of association between TD and RD ( $r = 0.97$ ;  $p < 0.05$ ), and good

agreements between  $Aer_{REAL}$  with  $Aer_{TD}$  and  $Aer_{RD}$ , strongly suggest the use of rectangular demand and  $AOD_{RED}$  to calculate aerobic contribution to 400m effort. In future, other may want to detect whether is possible to calculate aerobic, anaerobic lactic, and alactic contribution of different swimming distance without snorkel during swimming (i.e. backward extrapolation technique). This post-effort method to measure  $VO_2$  is interesting and easy to apply on every-day training routine.

In conclusion, no difference was found between TD and RD, which enable us to verify whether was possible to determine aerobic contribution by subtracting  $AOD_{RED}$  (i.e. total anaerobic metabolism) from both TD and RD. No difference was found between  $Aer_{REAL}$  and  $Aer_{TD}$ , and  $Aer_{RD}$ . Thus, it is possible to estimate metabolic contribution through the  $AOD_{RED}$ , enhancing its applicability during swimming. Moreover, to calculate  $AOD_{RED}$  no previous evaluation is necessary (i.e. submaximal exercises), and the alactic and lactic metabolism are estimated before and after the effort, it would be possible to determine the aerobic and anaerobic contribution through backward extrapolation technique, however, this statement is yet to be held.

## References

- Altman, D. G. & Bland, J. M. (1986). Comparison of methods of measuring blood pressure. *J Epidemiol Community Health*, 40, 274-7.
- Bangsbo, J. (1992a). Is the O<sub>2</sub> deficit an accurate quantitative measure of the anaerobic energy production during intense exercise? *J Appl Physiol* (1985), 73, 1207-9.
- Bangsbo, J. (1992b). Is the O<sub>2</sub> deficit an accurate quantitative measure of the anaerobic energy production during intense exercise? *J Appl Physiol* (1985), 73, 1207-1209.
- Barbosa, T. M., Fernandes, R., Keskinen, K. L., Colaco, P., Cardoso, C., Silva, J. & Vilas-Boas, J. P. (2006). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *Int J Sports Med*, 27, 894-9.



- Bertuzzi, R. C., Franchini, E., Ugrinowitsch, C., Kokubun, E., Lima-Silva, A. E., Pires, F. O., Nakamura, F. Y. & Kiss, M. A. (2010). Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. *Int J Sports Med*, 31, 477-81.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical Methods for Assessing Agreement between Two Methods of Clinical Measurement. *Lancet*, 1, 307-310.
- Buck, D. & Mcnaughton, L. (1999). Changing the number of submaximal exercise bouts effects calculation of MAOD. *Int J Sports Med*, 20, 28-33.
- Capelli, C., Pendergast, D. R. & Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 78, 385-93.
- Chatard, J. C., Lavoie, J. M. & Lacour, J. R. (1990). Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 61, 88-92.
- Craig, I. & Morgan, D. (1998). Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 30, 1631-1636.
- Di Prampero, P. & Margaria, R. (1968). Relationship between O<sub>2</sub> consumption, high energy phosphates and the kinetics of the O<sub>2</sub> debt in exercise. *Pflügers Archiv*, 304, 11-19.
- Di Prampero, P. E. 1981. Energetics of muscular exercise. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology, Volume 89*. Springer.
- Di Prampero, P. E., Cortili, G., Mognoni, P. & Saibene, F. (1976). Energy cost of speed skating and efficiency of work against air resistance. *J Appl Physiol* (1985), 40, 584-91.
- Di Prampero, P. E. & Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol*, 118, 103-15.
- Figueiredo, P., Pendergast, D. R., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2013). Interplay of biomechanical, energetic, coordinative, and muscular factors in a 200 m front crawl swim. *Biomed Research International*, 2013.
- Figueiredo, P., Zamparo, P., Sousa, A., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2011). An energy balance of the 200 m front crawl race. *Eur J Appl Physiol*, 111, 767-777.
- Gayda, M., Bosquet, L., Juneau, M., Guiraud, T., Lambert, J. & Nigam, A. (2010). Comparison of gas exchange data using the Aquatrainer system and

the facemask with Cosmed K4b2 during exercise in healthy subjects. *Eur J Appl Physiol*, 109, 191-9.

Grassi, B. (2000). 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. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 108-16.

Jalab, C., Enea, C., Delpech, N. & Bernard, O. (2011). [Dynamics of oxygen uptake during a 100 m front crawl event, performed during competition ]. *Applied Physiology Nutrition Metabolism*, 36, 219-25.

Jurimae, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Latt, E., Purge, P., Leppik, A. & Jurimae, T. (2007). Analysis of swimming performance from physical, physiological, and biomechanical parameters in young swimmers. *Pediatr Exerc Sci*, 19, 70-81.

Kalva, C. A., Zagatto, A. M., Araujo, M. I. C., Santiago, P. R. P., Da Silva, A. S. R., Gobatto, C. A. & Papoti, M. (2015). Relationship between Aerobic and Anaerobic Parameters from 3-Minute All-out Tethered Swimming and 400-M Maximal Front Crawl Effort. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 238-245.

Laffite, L. P., Vilas-Boas, J. P., Demarle, A., Silva, J., Fernandes, R. & Billat, V. L. (2004). Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee*, 29 Suppl, S17-31.

Latt, E., Jurimae, J., Maestu, J., Purge, P., Ramson, R., Haljaste, K., Keskinen, K. L., Rodriguez, F. A. & Jurimae, T. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 398-404.

Margarita, R., Edwards, H. & Dill, D. B. (1933). The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *American Journal of Physiology--Legacy Content*, 106, 689-715.

Mauger, A. R., Neuloh, J. & Castle, P. C. (2012). Analysis of pacing strategy selection in elite 400-m freestyle swimming. *Med Sci Sports Exerc*, 44, 2205-12.

Medbo, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O. & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol* (1985), 64, 50-60.

- Montpetit, R. R., Leger, L. A., Lavoie, J. M. & Cazorla, G. (1981). VO<sub>2</sub> peak during free swimming using the backward extrapolation of the O<sub>2</sub> recovery curve. *Eur J Appl Physiol*, 47, 385-91.
- Noordhof, D. A., De Koning, J. J. & Foster, C. (2010). The maximal accumulated oxygen deficit method. *Sports Med*, 40, 285-302.
- Ogita, F., Hara, M. & Tabata, I. (1996). Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiol Scand*, 157, 435-41.
- Papoti, M., Da Silva, A. S., Araujo, G. G., Santiago, V., Martins, L. E., Cunha, S. A. & Gobatto, C. A. (2013). Aerobic and anaerobic performances in tethered swimming. *Int J Sports Med*, 34, 712-9.
- Ravier, G., Dugue, B., Grappe, F. & Rouillon, J. (2006). Maximal accumulated oxygen deficit and blood responses of ammonia, lactate and pH after anaerobic test: a comparison between international and national elite karate athletes. *Int J Sports Med*, 27, 810-817.
- Reis, V. M. & Carneiro, A. L. (2005). Metodologia de estimativa do Deficit de Oxigênio Acumulado. *Rev. bras. ciênc. mov*, 13, 35-42.
- Reis, V. M., Marinho, D. A., Barbosa, F. P., Reis, A. M., Guidetti, L. & Silva, A. J. (2010a). Examining the accumulated oxygen deficit method in breaststroke swimming. *Eur J Appl Physiol*, 109, 1129-35.
- Reis, V. M., Marinho, D. A., Policarpo, F. B., Carneiro, A. L., Baldari, C. & Silva, A. J. (2010b). Examining the accumulated oxygen deficit method in front crawl swimming. *Int J Sports Med*, 31, 421-7.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res*, 18, 918-20.
- Rowntree, D. 1981. *Statistics without tears: A primer for non-mathematicians*, Scribner Book Company.
- Russell, A., Le Rossignol, P. & Lo, S. (2000). The precision of estimating the total energy demand: implications for the determination of the accumulated oxygen deficit. *J Exerc Physiol*, 3, 1-10.

- Sousa, A., Figueiredo, P., Pendergast, D., Kjendlie, P. L., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2014a). Critical Evaluation of Oxygen-Uptake Assessment in Swimming. *Int J Sports Physiol Perform*, 9, 190-202.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Pyne, D. B., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2014b). Exercise Modality Effect on Bioenergetical Performance at VO<sub>2</sub>max Intensity. *Med Sci Sports Exerc*.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2013). Anaerobic alactic energy assessment in middle distance swimming. *Eur J Appl Physiol*, 113, 2153-8.
- Sousa, A. C., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2014c). VO<sub>2</sub> kinetics and metabolic contributions whilst swimming at 95, 100, and 105% of the velocity at VO<sub>2</sub>max. *Biomed Research International*, 2014, 675363.
- Spencer, M. R. & Gatin, P. B. (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 33, 157-62.
- Zagatto, A., Redkva, P., Loures, J., Kalva Filho, C., Franco, V., Kaminagakura, E. & Papoti, M. (2011a). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scand J Med Sci Sports*, 21, e222-30.
- Zagatto, A., Redkva, P., Loures, J., Kalva Filho, C., Franco, V., Kaminagakura, E. & Papoti, M. (2011b). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21, e222-30.
- Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F. & Capelli, C. (2005). Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 94, 697-704.
- Zamparo, P., Capelli, C., Cautero, M. & Di Nino, A. (2000). Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 83, 487-91.
- Zamparo, P., Capelli, C. & Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: a historical perspective. *Eur J Appl Physiol*, 111, 367-78.

4º Trabalho:

### **VALIDADE E REPRODUTIBILIDADE O AOD<sub>RED</sub> EM NADO LIVRE**

*Pergunta central:*

O AOD<sub>RED</sub> realizado em nado livre é reprodutível e válido para estimar o AOD?

*Justificativa:*

A partir dos estudos apresentados nos trabalhos anteriores, foi constatado que não existe diferença entre AOD e AOD<sub>RED</sub> (ambos avaliados com snórquel). Como o AOD<sub>RED</sub> é avaliado pelo EPOC e concentração de lactato, ambos sendo analisados após o esforço (retro extrapolação e concentração pico, respectivamente), acredita-se na possibilidade de se determinar a capacidade anaeróbia em nado livre. Contudo sua validade e reprodutibilidade ainda não foi testada.

## **Validity and reproducibility of free-swimming reduced accumulated oxygen deficit in swimmers.**

### **Abstract**

Estimating reduced accumulated oxygen deficit ( $AOD_{RED}$ ) in free-swimming would be enhance its applicability in swimming, however it would be necessary to test its reproducibility and validity. Thus, the aims of the present study were to test both reproducibility and validity of free-swimming  $AOD_{RED}$ . Firstly, nine swimmers were submitted to two maximal 400 m maximal efforts to test  $AOD_{RED}$  reproducibility.  $AOD_{RED}$  was assumed as the sum of alactic and lactic anaerobic contribution ( $Ana_{ALA}$  and  $Ana_{LAC}$ , respectively). The  $Ana_{ALA}$  was calculated by the fast component of the off transient oxygen consumption kinetics. This last was assessed by the backward extrapolation technique. Secondly, six swimmers were submitted to one free-swimming 400 m to calculate  $AOD_{RED}$  (as presented before), and one 400 m with snorkel to measure conventional AOD. Before this maximal 400 m swimmers performed four submaximal exercises to establish speed- $VO_2$  relation and theoretical demand. For the reliability, Student t test, coefficient of variation (CV%), typical error (TE), and effect size (ES) were used, while for validity, Student t test, Pearson correlation, and Bland and Altman agreement analysis. No difference on performance and peak oxygen consumption was observed between the 400m effort.  $Ana_{LAC}$  and  $Ana_{ALA}$  in test ( $2.45 \pm 0.83$  L and  $1.95 \pm 0.58$  L, respectively) and re-test ( $2.34 \pm 0.57$  L and  $2.09 \pm 0.54$  L, respectively) were not different however they did not correlate and presented high CV% (23% for both).  $AOD_{RED}$  presented TE, CV% and ICC of 0.74 L, 16%, and 0.63 ( $p = 0.07$ ). No difference was found between free-swimming  $AOD_{RED}$  ( $4.03 \pm 0.94$  L) and AOD ( $3.29 \pm 1.34$  L), and they were significantly associated ( $r = 0.82$ ), however four out of six subjects presented higher  $AOD_{RED}$  than AOD (increasing negative limit of agreement; -2.27 L). Thus, free-swimming  $AOD_{RED}$  is partially reproducible, since no ICC, and high CV% was found (likely due to sample size), and free-swimming  $AOD_{RED}$  seems to be higher than AOD due to the absence of snorkel device.

**Keywords:** accumulated oxygen deficit, swimming, validity, reliability, anaerobic capacity.

## Introduction

The anaerobic contribution in swimming has been receiving great attention in literature (Capelli et al., 1998, Kalva Filho et al., 2015, Zamparo et al., 2011), since it presents correlation with swimming performance (Kalva Filho et al., 2015, Papoti et al., 2013). The more acceptable tool to evaluate anaerobic metabolism is the accumulated oxygen deficit (AOD), however it does not distinguishes between alactic and lactic anaerobic metabolism, and requires submaximal exercises to establish  $\text{VO}_2$ -speed relation to determine theoretical demand (Medbo et al., 1988, Reis et al., 2010a, Reis et al., 2010b). On the other hand, the sum of alactic and lactic metabolism through off-transient  $\text{VO}_2$  kinetics or fixed phosphocreatine degradation time constant, and net lactate appearance, respectively, is widely used in swimming (Figueiredo et al., 2011, Sousa et al., 2014, Zamparo et al., 2005).

Bertuzzi et al. (2010) have validated the sum of alactic and lactic anaerobic contribution ( $\text{AOD}_{\text{RED}}$ ) for determination of AOD in running, and, we have recently found that  $\text{AOD}_{\text{RED}}$  is also valid to estimate AOD after a 400 m maximal swimming. Moreover, the  $\text{AOD}_{\text{RED}}$  can be used to estimate total aerobic metabolism by subtracting  $\text{AOD}_{\text{RED}}$  from total swimming demand calculated by peak oxygen consumption ( $\text{VO}_{2\text{PEAK}}$ ) and effort time product ( $\text{VO}_{2\text{PEAK}} \times \text{time effort}$ ). Thus, since the alactic metabolism is determined by the off-transient  $\text{VO}_2$  kinetics after the effort, and lactic metabolism from lactate accumulation, it would be possible to estimate both  $\text{AOD}_{\text{RED}}$  (i.e. anaerobic metabolism) after a free-swimming exercise, reducing technical and mechanical interferences of snorkel to effort (Kalva Filho et al., 2015).

Kalva Filho et al. (2015) have analyzed swimmers  $\text{AOD}_{\text{RED}}$  after a maximal 400 m effort, and evidenced positive relation with 400 m speed ( $r = 0.44$ ;  $p = 0.04$ ), evidencing the feasibility of this method to analyze swimmer's anaerobic metabolism, its application to monitoring training effects, and enabling the calculation of anaerobic contribution to different swimming distances and strokes. The authors have evaluated  $\text{VO}_2$  off-transient kinetics by the backward extrapolation technique (Campos et al., 2015, Di Prampero and Margaria, 1968, Kalva Filho et al., 2015, Montpetit et al., 1981), since this

methodology is valid to estimate  $VO_{2PEAK}$  in swimmers (Campos et al., 2015, Montpetit et al., 1981).

However, even though these procedures (i.e. alactic and lactic anaerobic contribution) have been used in swimming (Figueiredo et al., 2011, Sousa et al., 2014, Sousa et al., 2013, Zagatto et al., 2011, Zamparo et al., 2005), the reproducibility and validity of free-swimming  $AOD_{RED}$  (i.e. without snorkel) has never been tested. Thus the aims of the present study were to test the reliability of free-swimming  $AOD_{RED}$ , and its validity to predict conventional AOD.

## **Methods**

### ***Participants***

Fifteen swimmers participated in the present study. They were divided in phase 1 (n = 9;  $19.7 \pm 3.3$  years,  $76.28 \pm 8.62$  kg, and  $180.11 \pm 8.22$  cm), and phase 2 (n = 6;  $15.15 \pm 1.86$  years,  $59.53 \pm 11.75$  kg, and  $165.76 \pm 8.62$  cm). All the subjects had at least two years of swimming training (mean volume of  $7000 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$  and frequency of  $5 \text{ day} \cdot \text{week}^{-1}$ ). All procedures were approved by the University's Institutional Review Board for Human Subjects (Human Research Ethics Committee) and were conducted according to the Declaration of Helsinki. Athletes and their parents, when pertinent, were informed about experimental procedures and risks, and signed an informed consent before their participation in the study.

### ***Experimental design***

To test the reproducibility and validity of the free-swimming  $AOD_{RED}$  the present study was divided in two phases. The phase 1 aimed to test the reproducibility of the method, while phase 2 tested its validity. In phase 1 the subjects were submitted to two free-swimming 400 m effort, interspersed by one-week. Before the trials, a warm up was performed consisting of approximately 1000m front crawl stroke of low to moderate intensity, determined subjectively by the swimmers. The phase 2 aimed to test the free-swimming  $AOD_{RED}$  validity. The swimmers were submitted to three days of test, interspersed by 24 to 48h. In the first visit, subjects performed three submaximal efforts aiming to establish  $VO_2$ -speed relationship. In the second



day, subjects were submitted to other submaximal exercise and a maximal 400 m effort with snorkel (AOD). After 48h from the 400 m effort the subjects performed a maximal free-swimming 400m (AOD<sub>RED</sub>) As proposed by Reis et al. (2010b), no warming-up was performed before the submaximal tests, and the subjects started each trial when their  $\dot{V}O_2$  values exhibited two consecutive values within  $2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  from that recorded before the first submaximal exercise (i.e. observed in the first day). Athletes were instructed to maintain a consistent routine with regard to training, sleeping and diet throughout the days. The tests were performed on a 25-m swimming pool with water temperature of  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

### ***Data collection***

During phase 1 and phase 2 free-swimming AOD<sub>RED</sub> the expired gases were collected breath-by-breath and analyzed by a Quark CPET gas analyzer (Cosmed<sup>®</sup>, Rome, Italy), while the expired gases during the submaximal exercises and the maximal 400 m were collected breath-by-breath and analyzed by a K4b<sup>2</sup> gas analyzer connected to an Aquatrainer snorkel (Cosmed<sup>®</sup>, Rome, Italy) (Grassi, 2000). The gas analyzers were calibrated immediately before and verified after each test using a certified gravimetrically determined gas mixture, while the ventilometer was calibrated pre-exercise and verified post-exercise using a 3-L syringe in accordance with the manufacturer's instructions. Following removal of outliers to exclude discrepant breaths, breath-by-breath data were interpolated to give 1 s values (OriginPro 8.0, OriginLab Corporation, Microcal, Massachusetts, USA) to enhance the underlying response characteristics (Zagatto et al., 2011). Before the maximal 400m and three, five and seven minutes of recovery, blood samples were collected to determine lactate concentrations ( $[\text{La}^-]$ ) using a blood lactate analyzer YSI-2300 (Yellow Springs Instruments<sup>®</sup>, OH, USA).

### ***Conventional accumulated oxygen deficit***

The submaximal exercises were performed according to the personal best 400 m performance done one week before the tests. The swimmers were instructed to maintain a constant speed during the four submaximal efforts

accompanying sonorous stimulus with mark placed at the bottom of the pool. The distance swam in submaximal exercises varied between 250 – 400 m. These distances were chosen to ensure a minimal of five minutes of effort, which was related to  $\text{VO}_2$  plateau attained at 2 – 3 min (Grassi, 2000). Thus, the mean  $\text{VO}_2$  observed at last 30s of submaximal effort was assumed by steady-state  $\text{VO}_2$  for the corresponding speed. The linear  $\text{VO}_2$ -speed relationship was constructed with five efforts (four submaximal, and 400 m maximal effort). The mean speed and  $\text{VO}_2$  related to 400m maximal effort was also used in the linear regression since its speed is lower than speed associated to maximal oxygen consumption ( $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ ) ( $\approx 96\%$ ) (Campos et al., 2015).

The accumulated oxygen deficit (AOD) was assumed as the difference between theoretical demand calculated  $\text{VO}_2$ -speed linear regression extrapolation, and maximal effort  $\text{VO}_2$  (Medbo et al., 1988). Since the athletes during a maximal swimming effort do not use continuous pacing, the theoretical demand was estimated for each 25m. AOD values were presented in absolute (L), relative to body mass ( $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ) and in calorific equivalent values (kJ) considering  $20.9 \text{ kJ}\cdot\text{L}^{-1}\text{O}_2$  (Zamparo et al., 2005). Baseline  $\text{VO}_2$  (measured before the first submaximal exercise) was subtracted of both theoretical demand and  $\text{VO}_2$  area (i.e. aerobic contribution).

### ***Reduced accumulated oxygen deficit***

The  $\text{AOD}_{\text{RED}}$  was calculated by the sum of  $\text{Ana}_{\text{ALA}}$  and  $\text{Ana}_{\text{LAC}}$  (Bertuzzi et al., 2010, Kalva et al., 2015, Zagatto et al., 2011).  $\text{Ana}_{\text{ALA}}$  was assumed as the fast component of excess post-oxygen consumption as used by others (Di Prampero and Margaria, 1968, Margaria et al., 1933). The  $\text{Ana}_{\text{LAC}}$  was determined by net lactate accumulation (i.e. difference between  $[\text{La}^-]$  peak and baseline values;  $\Delta[\text{La}^-]$ ), considering a metabolic equivalent of  $3 \text{ mL}\cdot\text{O}_2\cdot^{-1}\text{kg}^{-1}$  for each unit of lactate elevated with maximal effort (Zamparo et al., 2000). These procedures were similar to those performed by others (Bertuzzi et al., 2010, Zagatto et al., 2011), including in swimming (Kalva et al., 2015).  $\text{AOD}_{\text{RED}}$  values were presented in absolute (L), relative to body mass ( $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ), and kJ, considering  $20.9 \text{ kJ}\cdot\text{L}^{-1} \text{O}_2$  (Zamparo et al., 2005).

### ***Statistical Analysis***

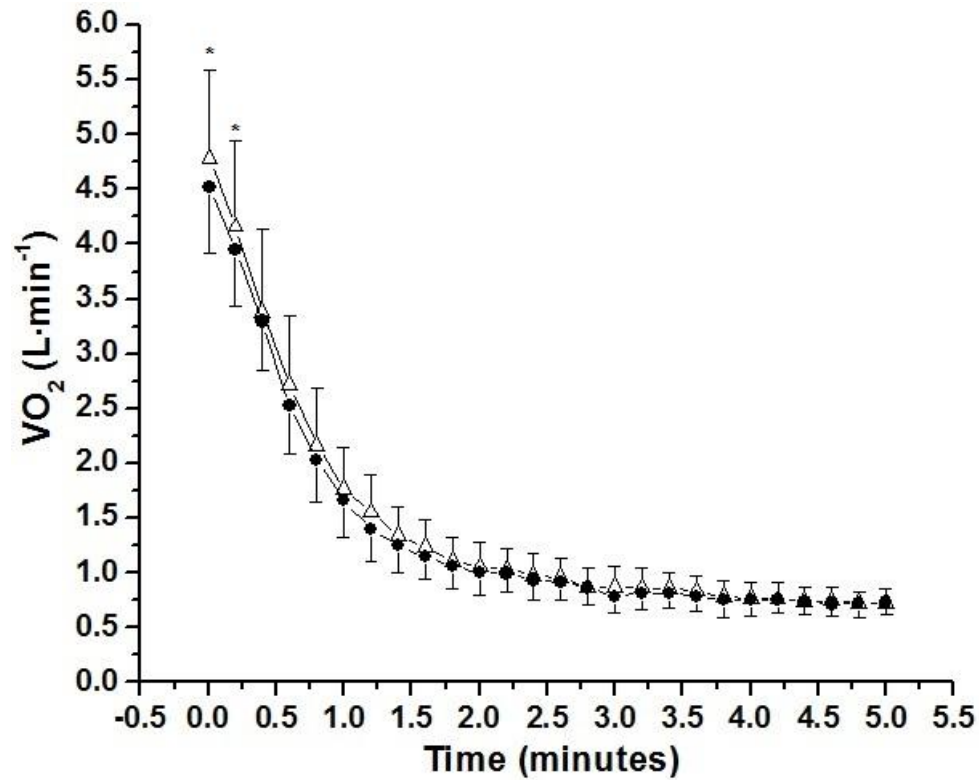
The data normality was tested and confirmed by the Shapiro-Wilk test, permitting use parametric statistic and present data in mean (standard deviation). The reliability of reduced accumulated oxygen deficit and its variables was tested by the Student's t-test for dependent samples, typical error (TE), coefficient of variation (CV%) and intraclass correlation coefficient (ICC). This statistical procedure is in line with Hopkins (2000). Furthermore, the comparison between oxygen uptake behavior during recovery was performed by a mixed model approach. The comparison between AOD and AOD<sub>BACK</sub> was done by Student t test for paired sample, Pearson correlation and agreement analysis (Bland and Altman, 1986). The Pearson correlation was also used to test dispersion heterocedasticity observed in the agreement analysis. In all cases the Student t test for paired sample was accompanied by the effect size (ES), classified as negligible (<0.35), small (0.35 to 0.80), moderate (0.80 - 1.5) and large (> 1.5) (Rhea, 2004). To all the analysis the level of significance was fixed at  $p < 0.05$ .

### **Results**

#### ***Reproducibility of free-swimming reduced accumulated oxygen deficit (n = 9)***

The mean 400m performance was  $281.46 \pm 16.20$  seconds ( $1.42 \pm 0.07$  m·s<sup>-1</sup>) and  $281.98 \pm 19.24$  seconds ( $1.42 \pm 0.09$  m·s<sup>-1</sup>) for test and re-test, respectively. No difference was observed ( $t = -0.33$ ,  $p = 0.74$ ; ES: < 0.35, negligible; TE = 3.33 seconds; CV% = 1%) and they were significantly correlated (ICC = 0.98;  $p < 0.05$ ). The VO<sub>2Peak</sub> measured by the backward extrapolation did not present differences between test ( $4.74 \pm 0.74$  L·min<sup>-1</sup>) and re-test ( $4.44 \pm 0.57$  L·min<sup>-1</sup>) ( $t = 1.33$ ,  $p = 0.21$ ; ES: 0.35 - 0.80, small; TE = 0.47 L·min<sup>-1</sup>; CV% = 10%), however they only tended to correlate (ICC = 0.63;  $p = 0.07$ ) Figure 1 demonstrates de EPOC after the 400m effort in test and re-test situation. Fast component kinetics indexes, and anaerobic alactic and lactic contribution in both test and re-test conditions are presented in Table 1. No difference was observed between these variables. Reduced accumulated

oxygen deficit in test and re-test were not different (Table 1), however no significant intraclass correlation was observed.



**Figure 1.** Mean and standard deviation of VO<sub>2</sub> behavior after free-swimming 400m maximal effort in test (Δ) and re-test (●). \* significantly different from re-test condition.

**Table 1.** Mean  $\pm$  standard deviation of fast component kinetics indexes for anaerobic alactic contribution assessment, lactate concentrations for anaerobic lactic contribution, and reduced accumulated oxygen deficit in both 400m effort (i.e. test and re-test) (n = 9).

	Test	Re-test	ES	TE	CV %	ICC
<b>Ana<sub>ALA</sub></b>						
A <sub>1</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	3.16 $\pm$ 0.61	3.18 $\pm$ 0.48	0.03	0.42	13	0.61
t <sub>1</sub> (minutes)	0.61 $\pm$ 0.13	0.65 $\pm$ 0.10	0.34	0.11	17	0.27
R <sup>2</sup>	0.98 $\pm$ 0.00	0.98 $\pm$ 0.00	0.00	0.00	0	0.49
RMSE (L·min <sup>-1</sup> )	0.09 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.01	0.63	0.02	21	0.09
SSE	3.16 $\pm$ 1.56	3.45 $\pm$ 1.01	0.22	1.26	38	0.17
Absolute (L)	1.95 $\pm$ 0.58	2.09 $\pm$ 0.54	0.24	0.48	23	0.45
Relative (mL·kg <sup>-1</sup> )	25.56 $\pm$ 6.43	27.32 $\pm$ 5.77	0.28	6.26	23	-0.11
Calorific equivalent (kJ)	40.94 $\pm$ 12.31	43.85 $\pm$ 11.37	0.24	10.04	23	0.45
<b>Ana<sub>LAC</sub></b>						
[La <sup>-</sup> ] <sub>rest</sub> (mmol·L <sup>-1</sup> )	1.97 $\pm$ 0.46	1.85 $\pm$ 0.46	0.26	0.31	16	0.58
[La <sup>-</sup> ] <sub>peak</sub> (mmol·L <sup>-1</sup> )	12.51 $\pm$ 2.98	12.17 $\pm$ 2.53	0.12	2.4	19	0.39
$\Delta$ [La <sup>-</sup> ] (mmol·L <sup>-1</sup> )	10.54 $\pm$ 2.89	10.32 $\pm$ 2.59	0.08	2.4	23	0.35
Absolute (L)	2.45 $\pm$ 0.83	2.34 $\pm$ 0.57	0.15	0.53	22	0.63
Relative (mL·kg <sup>-1</sup> )	31.63 $\pm$ 8.67	30.98 $\pm$ 7.79	0.07	7.39	23	0.35
Calorific equivalent (kJ)	51.29 $\pm$ 17.34	49.02 $\pm$ 12.06	0.15	11.12	22	0.63
AOD <sub>RED</sub> (L)	4.41 $\pm$ 1.02	4.44 $\pm$ 0.95	0.03	0.74	16	0.63
AOD <sub>RED</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> )	57.20 $\pm$ 8.06	58.30 $\pm$ 11.17	0.11	10.02	24	-0.14

Ana<sub>ALA</sub>: alactic anaerobic contribution; A<sub>1</sub>: fast component amplitude; t<sub>1</sub>: fast component time constant; R<sup>2</sup>: determination coefficient; RMSE: root mean square error; SSE: sum of squares due to error; Ana<sub>LAC</sub>: lactic anaerobic contribution; [La<sup>-</sup>]<sub>rest</sub>: lactate concentration at rest; [La<sup>-</sup>]<sub>peak</sub>: peak lactate concentration after the effort; AOD<sub>RED</sub>: free-swimming reduced accumulated oxygen deficit.

**Validity of free-swimming reduced accumulated oxygen deficit (n = 6)**

Submaximal velocities corresponded to  $64.42 \pm 0.93$  to  $80.30 \pm 6.85$  % of 400m performance. Swimming speed and  $VO_2$ -speed relation variables are presented in Table 2.

**Table 2.** Mean and standard deviation of submaximal exercises velocities, and  $VO_2$ -speed relation variables (n = 6).

	Mean	Standard Deviation
Submaximal		
1 <sup>st</sup> ( $m \cdot s^{-1}$ )	0.78	0.04
2 <sup>nd</sup> ( $m \cdot s^{-1}$ )	0.86	0.04
3 <sup>rd</sup> ( $m \cdot s^{-1}$ )	0.90	0.08
4 <sup>th</sup> ( $m \cdot s^{-1}$ )	0.97	0.11
$VO_2$ -speed		
Angular coefficient	4.00	1.22
Linear coefficient	-1.82	-1.06
$R^2$	0.93	0,04
$VO_2$ -speed error (L)	0.58	0.28

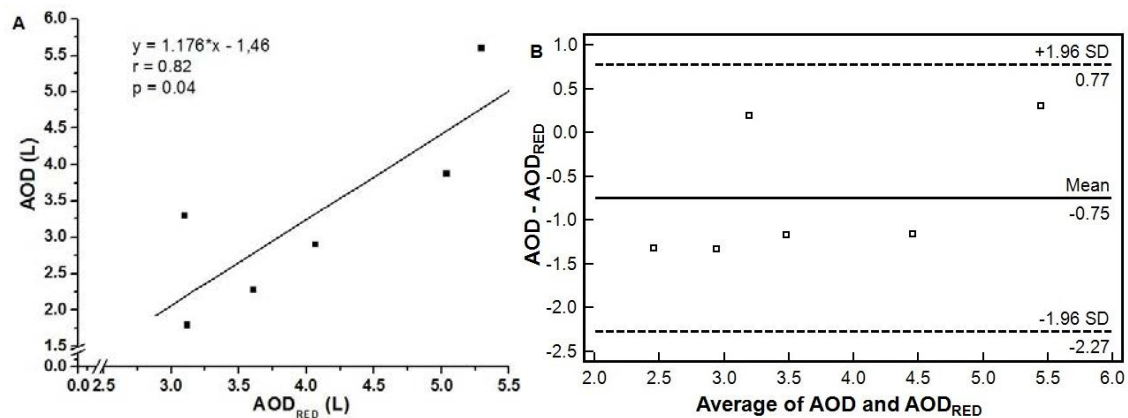
The bi-exponential fit evidenced high levels of coefficient of determination ( $R^2 = 0.98 \pm 0.01$ ), low levels of RMSE ( $0.09 \pm 0.02 L \cdot min^{-1}$ ). Absolute and relative A1, and f1, were, respectively,  $2.40 \pm 0.45 L \cdot min^{-1}$ ,  $39.34 \pm 7.59 mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ , and  $0.87 \pm 0.52$  minutes. Table 3 highlights the  $Ana_{ALA}$ ,  $Ana_{LAC}$ , free swimming  $AOD_{RED}$ , and AOD of swimmers after a maximal 400 m effort.

**Table 3.** Mean and standard deviation (SD) of both anaerobic contribution, free-swimming reduced accumulated oxygen deficit (AOD<sub>RED</sub>), and conventional accumulated oxygen deficit (AOD) (n = 6).

	Mean	SD
<b>Ana<sub>ALA</sub></b>		
Absolute (L)	1.82	0.30
Relative (mL·kg <sup>-1</sup> )	30.06	6.46
<b>Ana<sub>LAC</sub></b>		
Absolute (L)	2.22	0.80
Relative (mL·kg <sup>-1</sup> )	35.14	7.24
<b>AOD<sub>RED</sub></b>		
Absolute (L)	4.03	0.94
Relative (mL·kg <sup>-1</sup> )	65.20	8.88
<b>AOD</b>		
Absolute (L)	3.29	1.34
Relative (mL·kg <sup>-1</sup> )	51.80	12.23

Ana<sub>ALA</sub>: alactic anaerobic contribution; Ana<sub>LAC</sub>: lactic anaerobic contribution; AOD<sub>RED</sub>: free-swimming reduced accumulated oxygen deficit; AOD: conventional accumulated oxygen deficit.

No difference was observed between free-swimming AOD<sub>RED</sub> and AOD (t = 2.35; p = 0.06; ES: small; 0.63), and they were significantly correlated (Figure 2A). The agreement analysis showed homogeneous and no tendentious dispersions (heterocedasticity: r = 0.53; p = 0.26). Although the agreement analysis evidenced mean error close to zero, high levels of limits of agreement were observed (Figure 2B).



**Figure 2.** Correlation between AOD, and free-swimming AOD<sub>RED</sub> (A). Bland and Altman (1986) analysis of agreement between AOD and AOD<sub>RED</sub> (B).

## Discussion

The aims of the present study were to test free-swimming AOD<sub>RED</sub> reliability and validity. The main findings of the present study were: (i) free-swimming AOD<sub>RED</sub> is reliable, however, test and re-test free-swimming AOD<sub>RED</sub> (L) only tended to correlate (ICC = 0.63;  $p = 0.07$ ), and although no difference was found between test and re-test Ana<sub>ALA</sub> and Ana<sub>LAC</sub>, they presented high coefficient of variation (i.e. 23%), and (ii) AOD did not show any difference and was highly associated with AOD<sub>RED</sub>, however, the agreement analysis showed high negative limits of agreements for four out of six subjects. It is likely that speed during the free-swimming may have influenced the results.

No difference was observed on free-swimming 400 m performance in test and re-test, and they were significantly associated. One possible source of error during performance trials is motivation and fatigue (Atkinson and Nevill, 1998, Hopkins, 2000), however, the present study demonstrated that in both situation the athletes were highly motivated, since coaches gave oral stimulus during the swimming. On the other hand the VO<sub>2Peak</sub> only tended to be correlated, but presented relatively low typical error, and CV%. To the best of our knowledge, this is the first study to present VO<sub>2Peak</sub> measured by backward extrapolation technique reliability in swimming. Even though, no difference was observed in oxygen behavior during recovery (Figure 1), the VO<sub>2Peak</sub> must be used with caution. Other studies might increase sample size to evaluate its reliability



during swimming, since studies have already presented correlation with swimming performance (Costill et al., 1985, Kalva Filho et al., 2015).

Although some studies have not considered  $Ana_{ALA}$  during anaerobic contribution in swimming (Jurimae et al., 2007, Lätt et al., 2009), this metabolic pathway is important for swimming (Kalva Filho et al., 2015, Papoti et al., 2013, Zamparo et al., 2005), and can be determined by both  $VO_2$  off-transient (Di Prampero and Margaria, 1968, Kalva Filho et al., 2015, Margaria et al., 1933, Sousa et al., 2013) and by constant phosphocreatine breakdown kinetics (Binzoni et al., 1992, Sousa et al., 2013, Zamparo et al., 2005). Furthermore, Sousa et al. (2013) have recently observed that no difference exist between both methods of  $Ana_{ALA}$  assessment after a 200 m effort.

Although extremely used, the reliability of off-transient kinetics had not been tested in free-swimming yet. The  $Ana_{ALA}$  was not different between test and re-test conditions, however the CV% was considerable high (i.e. 23%) for both absolute and relative values. Kalva-Filho (2015) has not observed that reliability for  $Ana_{ALA}$ , since its presented high CV% (i.e. 50%) and no correlation. The present study observed lower CV%, but we did not find correlation between test and re-test trials. Kilding et al. (2005) have tested  $VO_2$  off-transient reliability. Different from the observed in the present study,  $f_1$  and  $A_1$  presented low CV% (2.9 and 3.1%, respectively) when analyzed after an effort at 80% of maximal incremental speed in treadmill. The different effort intensity and mathematical exponential model used in our study (i.e. all out and bi-exponential fit, respectively), may explain the differences between the results. Furthermore, the sample size may have also contributed to the low reliability of  $Ana_{ALA}$ , and they determinant variables ( $A_1$  and  $f_1$ ). Korzeniewski and Zoladz (2013) recently showed that the higher  $VO_2$  off time constant (i.e. slower  $VO_2$  decrease) the lower is phosphocreatine off time constant (i.e. quicker resynthesis), indicating a close relation between oxygen consumption behavior and phosphocreatine resynthesis. Although this study did not consider anaerobic glycolysis – which influences phosphocreatine regeneration (Spencer et al., 2005) – others have observed similarity between  $VO_2$  and phosphocreatine time constant after high intensity exercise (Rossiter et al., 2002). Thus, we do believe that  $A_1$  and  $f_1$  product is a feasible method to

estimate  $Ana_{ALA}$ . Furthermore, although others have already used the backward extrapolation technique to estimate  $Ana_{ALA}$  (Kalva Filho et al., 2015), others may analyze different procedures to determine  $Ana_{ALA}$  during swimming, since this technique presents high feasibility, and can be used to investigate different training regimes and supplementations on alactic anaerobic contribution.

In relation to  $Ana_{LAC}$ , no difference was observed between test and re-test for  $[La^-]_{rest}$  and  $[La^-]_{peak}$ , however, high CV% and no association was found in lactate concentration. This technique is widely used in swimming, however its reliability has not been tested in free swimming yet. Kalva-Filho (2015) has tested the  $Ana_{LAC}$  reliability in tethered swimming and observed similar CV% than the present study (i.e. 25%), however they found correlation between test and re-test trial (ICC = 0.55). Weinstein et al. (1998) have investigated the reliability of  $[La^-]_{peak}$  after a Wingate test, and observed that this variable is reproducible and can be used to comparison between subjects and treatments. The main source of error on this estimative is the nutritional condition before the exercise, since higher availability of glucose may induce higher lactate concentration after the maximal efforts (Tegtbur et al., 1993). Weinstein et al. (1998) have only requested to subjects to maintain normal dietary intake before each Wingate test trial, the same was asked in the present study, however, Weinstein et al. (1998) observed high ICC (ICC = 0.92) while we did not find correlation between test and re-test. The absolute  $Ana_{LAC}$  was similar between trials, and tended to correlate (ICC = 0.63;  $p = 0.07$ ). Again, it is likely that sample size may have influenced the present results.

Taken together,  $AOD_{RED}$  (L and  $mL \cdot kg^{-1}$ ) (i.e. sum of alactic and lactic anaerobic contribution) presented high CV%, however, this value was lower than the observed by Kava-Filho (2015) (33.4% and 35.1%, respectively), the same was observed for TE (absolute: 0.74 L vs. 0.97 L; relative:  $10.0 mL \cdot kg^{-1}$  vs.  $16.6 mL \cdot kg^{-1}$ ). The reason for the higher values of CV% and absence of ICC may be the possible influences of nutritional status, since we only requested the swimmers to maintain normal diet, and did not control their intake before the tests. Furthermore other studies might investigate the use of backward extrapolation technique calculate  $Ana_{ALA}$ , since different protocols have been

used in swimming (Campos et al., 2015, Laffite et al., 2004, Lätt et al., 2009, Montpetit et al., 1981).

In order to determine whether the free-swimming  $AOD_{RED}$  is similar than the conventional AOD determine as proposed by Medbo et al. (1988), we also calculated swimmer's conventional AOD and compared with free-swimming  $AOD_{RED}$ . The linear regression was performed as proposed by Reis et al. (2010b), however we did not use fixed y-intercept to estimate theoretical demand during maximal 400m effort because the goodness of the fit reduced significantly when fixed y-intercept was used. Furthermore, the off-transient oxygen consumption kinetic during the free-swimming effort presented high levels of coefficient of determination and low levels of RMSE.

No difference was found between AOD and free-swimming  $AOD_{RED}$ , and they were significantly correlated. This result agrees with the study of Bertuzzi et al. (2010) who evidenced no difference and significantly association between AOD and  $AOD_{RED}$  in cycling. On the other hand, even though Kalva-Filho (2015) did not observe differences  $AOD_{RED}$  and AOD in tethered swimming, they verified individual differences close to 100%, and no correlation between AOD and  $AOD_{RED}$ , limiting the application of this method for tethered swimming. The agreement analysis between AOD and free-swimming  $AOD_{RED}$  evidenced mean error close to zero, however the negative limit of agreement was very large (i.e. 2.27 L), and four out of six subjects presented higher  $AOD_{RED}$  than AOD, showing that it is likely that free-swimming may exhibit higher values when compared with AOD. This may be due to snorkel device which reduces swimmers speed, and limit their technique (Reis et al., 2010b), probably reducing swimmers to assess all anaerobic capacity during swimming. Furthermore, during the free-swimming 400 m effort the subjects performed turnings, which might increase anaerobic contribution. Thus, it would be interesting to analyze conventional AOD in free-swimming performance to determine whether the free-swimming  $AOD_{RED}$  can be considered valid to estimate anaerobic capacity in swimmers. Moreover, it is important to highlight that significant correlation was found between AOD and free-swimming  $AOD_{RED}$  ( $r = 0.82$ ;  $p = 0.04$ ), suggesting that both variable are capable to estimate anaerobic contribution during swimming.

In summary, the present study showed that free-swimming AOD<sub>RED</sub> presented limited reproducibility, since no difference was observed between test and re-test however they were not correlated and presented relatively high CV%. It is likely that sample size and nutritional status may have influenced these results, and other studies must be done controlling these factors. Moreover, free-swimming AOD<sub>RED</sub> cannot be valid to estimate conventional AOD since very high negative limit of agreement was observed, and four out of six subjects presented higher values of AOD<sub>RED</sub> than AOD. It is likely that snorkel devices influenced this result, and other studies may have to calculate free-swimming conventional AOD to compare it with AOD<sub>RED</sub>. Finally the positive correlation between conventional AOD and free-swimming AOD<sub>RED</sub> highlight that both variables is capable to analyze swimmers anaerobic capacity.

## References

- Atkinson, G. & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*, 26, 217-38.
- Bertuzzi, R. C., Franchini, E., Ugrinowitsch, C., Kokubun, E., Lima-Silva, A. E., Pires, F. O., Nakamura, F. Y. & Kiss, M. A. (2010). Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. *Int J Sports Med*, 31, 477-81.
- Binzoni, T., Ferretti, G., Schenker, K. & Cerretelli, P. (1992). Phosphocreatine hydrolysis by <sup>31</sup>P-NMR at the onset of constant-load exercise in humans. *J Appl Physiol (1985)*, 73, 1644-9.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1, 307-10.
- Campos, E. Z., Kalva Filho, C., Loures, J. P., Machado-Gobatto, F. B., Zagatto, A. & Papoti, M. (2015). Comparison between vo<sub>2</sub>peak and vvo<sub>2</sub>peak obtained by a 400m maximal effort and free swimming incremental test *Unpublished Data*.
- Capelli, C., Pendergast, D. R. & Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 78, 385-93.

- Costill, D. L., Kovaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R. & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med*, 6, 266-70.
- Di Prampero, P. & Margaria, R. (1968). Relationship between O<sub>2</sub> consumption, high energy phosphates and the kinetics of the O<sub>2</sub> debt in exercise. *Pflügers Archiv*, 304, 11-19.
- Figueiredo, P., Zamparo, P., Sousa, A., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2011). An energy balance of the 200 m front crawl race. *Eur J Appl Physiol*, 111, 767-777.
- Grassi, B. (2000). 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. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 108-16.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 30, 1-15.
- Jurimae, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Latt, E., Purge, P., Leppik, A. & Jurimae, T. (2007). Analysis of swimming performance from physical, physiological, and biomechanical parameters in young swimmers. *Pediatr Exerc Sci*, 19, 70-81.
- Kalva, C. A., Zagatto, A. M., Araujo, M. I. C., Santiago, P. R. P., Da Silva, A. S. R., Gobatto, C. A. & Papoti, M. (2015). Relationship between Aerobic and Anaerobic Parameters from 3-Minute All-out Tethered Swimming and 400-M Maximal Front Crawl Effort. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 238-245.
- Kalva Filho, C., Campos, E. Z., De Andrade, V. L., Silva, A. R. S., Zagatto, A., Lima, M. S. & Papoti, M. (2015). Relationship between aerobic and anaerobic parameters with 400m front crawl swimming performance. *Biology Sports*.
- Kilding, A. E., Challis, N. V., Winter, E. M. & Fysh, M. (2005). Characterisation, asymmetry and reproducibility of on- and off-transient pulmonary oxygen uptake kinetics in endurance-trained runners. *Eur J Appl Physiol*, 93, 588-97.
- Korzeniewski, B. & Zoladz, J. A. (2013). Slow VO<sub>2</sub> off-kinetics in skeletal muscle is associated with fast PCr off-kinetics--and inversely. *J Appl Physiol* (1985), 115, 605-12.
- Laffite, L. P., Vilas-Boas, J. P., Demarle, A., Silva, J., Fernandes, R. & Billat, V. L. (2004). Changes in physiological and stroke parameters during a maximal

- 400-m free swimming test in elite swimmers. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee*, 29 Suppl, S17-31.
- Lätt, E., Jürimäe, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P. & Jürimäe, T. (2009). Physical development and swimming performance during biological maturation in young female swimmers. *Collegium Antropologicum*, 33, 117-122.
- Margaria, R., Edwards, H. & Dill, D. B. (1933). The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *American Journal of Physiology--Legacy Content*, 106, 689-715.
- Medbo, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O. & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol (1985)*, 64, 50-60.
- Montpetit, R. R., Leger, L. A., Lavoie, J. M. & Cazorla, G. (1981). VO<sub>2</sub> peak during free swimming using the backward extrapolation of the O<sub>2</sub> recovery curve. *Eur J Appl Physiol*, 47, 385-91.
- Papoti, M., Da Silva, A. S., Araujo, G. G., Santiago, V., Martins, L. E., Cunha, S. A. & Gobatto, C. A. (2013). Aerobic and anaerobic performances in tethered swimming. *Int J Sports Med*, 34, 712-9.
- Reis, V. M., Marinho, D. A., Barbosa, F. P., Reis, A. M., Guidetti, L. & Silva, A. J. (2010a). Examining the accumulated oxygen deficit method in breaststroke swimming. *Eur J Appl Physiol*, 109, 1129-35.
- Reis, V. M., Marinho, D. A., Policarpo, F. B., Carneiro, A. L., Baldari, C. & Silva, A. J. (2010b). Examining the accumulated oxygen deficit method in front crawl swimming. *Int J Sports Med*, 31, 421-7.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res*, 18, 918-20.
- Rossiter, H. B., Ward, S. A., Kowalchuk, J. M., Howe, F. A., Griffiths, J. R. & Whipp, B. J. (2002). Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O<sub>2</sub> uptake between the on- and off-transients of moderate- and high-intensity exercise in humans. *J Physiol*, 541, 991-1002.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Pyne, D. B., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2014). Exercise Modality Effect on Bioenergetical Performance at VO<sub>2</sub>max Intensity. *Med Sci Sports Exerc*.

- Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2013). Anaerobic alactic energy assessment in middle distance swimming. *Eur J Appl Physiol*, 113, 2153-8.
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B. & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med*, 35, 1025-44.
- Tegtbur, U., Busse, M. W. & Braumann, K. M. (1993). Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 25, 620-7.
- Weinstein, Y., Bediz, C., Dotan, R. & Falk, B. (1998). Reliability of peak-lactate, heart rate, and plasma volume following the Wingate test. *Med Sci Sports Exerc*, 30, 1456-60.
- Zagatto, A., Redkva, P., Loures, J., Kalva Filho, C., Franco, V., Kaminagakura, E. & Papoti, M. (2011). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21, e222-30.
- Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F. & Capelli, C. (2005). Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 94, 697-704.
- Zamparo, P., Capelli, C., Cautero, M. & Di Nino, A. (2000). Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 83, 487-91.
- Zamparo, P., Capelli, C. & Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: a historical perspective. *Eur J Appl Physiol*, 111, 367-78.

## 6. Conclusões

### 1º Trabalho

A velocidade associada ao  $VO_{2Pico}$  e o valor de  $VO_{2Pico}$  observados após esforço máximo de 400m livre e teste incremental são os mesmos?

**Conclusão:** O  $VO_{2Pico}$  é semelhante entre as metodologias, todavia, altos limites de concordância foram encontrados. Por outro lado a  $vVO_{2Pico}$  é superior à 400m, porém altamente correlacionados, sendo possível estimar a  $vVO_{2Pico}$  através de um esforço máximo de 400m.

### 2º Trabalho

Existe diferença entre o AOD convencional de um esforço máximo de 400m e o  $AOD_{RED}$ ?

**Conclusão:** Não existe diferença entre o AOD e o  $AOD_{RED}$  determinados em esforço máximo de 400m. Assim por ser uma metodologia bastante simples o  $AOD_{RED}$  pode ser utilizado para estimativa da capacidade anaeróbia de nadadores.

### 3º Trabalho

É possível estimar as contribuições aeróbias e anaeróbias apenas a partir do  $AOD_{RED}$ ?

**Conclusão:** sim, o  $AOD_{RED}$  pode ser utilizado para cálculo das contribuições anaeróbias e aeróbias (i.e. diferença entre demanda retangular e  $AOD_{RED}$ ).

### 4º Trabalho

O  $AOD_{RED}$  realizado em nado livre é reprodutível e válido para estimar o AOD?

**Conclusão:** o  $AOD_{RED}$  em nado livre apresenta limitada reprodutibilidade, principalmente devido ao tamanho amostral utilizado no estudo. Apesar de nenhuma diferença encontrada, o  $AOD_{RED}$  em nado livre não é diferente e é altamente correlacionado com AOD, contudo o  $AOD_{RED}$  superestima o AOD por ser realizado em uma velocidade superior.



*Pergunta central:*

O déficit acumulado de oxigênio na natação pode ser estimado por meio da técnica de retro extrapolação do consumo de oxigênio?

**Conclusão:** sim, é possível estimar o AOD por meio da técnica de retro extrapolação em nadadores utilizando a metodologia do déficit acumulado de oxigênio reduzido. Além disso, parece que o AOD<sub>RED</sub> em nado livre (i.e. técnica de retro extrapolação) consegue garantir maiores valores de capacidade anaeróbia do que o AOD convencional (i.e. snórquel).

## 7. Considerações finais

A partir dos resultados encontrados nos estudos apresentados na presente tese, podemos concluir que o  $AOD_{RED}$  é válido para estimar o AOD (ambos com snórquel). O  $AOD_{RED}$  também pode ser utilizado para estimar a contribuição energética dos três sistemas, haja vista que, para a amostra utilizada na presente tese, nenhuma diferença foi observada entre demanda teórica e demanda retangular. Quando realizado em nado livre, a reprodutibilidade apresentou algumas limitações, contudo o tamanho amostral pode ter influenciado, além do mais, durante o nado livre, a velocidade de nado é superior do que no esforço com snórquel. Assim o  $AOD_{RED}$  em nado livre é superior do que o AOD convencional. Esse resultado não significa que o  $AOD_{RED}$  em nado livre não seja válido para estimar a capacidade anaeróbia, mas sim que o AOD convencional (i.e. com snórquel) é bastante limitado operacionalmente e tecnicamente, reduzindo a velocidade de nado e, conseqüentemente não permitindo maior aporte anaeróbio durante o esforço. Sugere-se a utilização do  $AOD_{RED}$  em nado livre para determinação da capacidade anaeróbia em nadadores.

O tamanho amostral utilizado na presente tese pode ser considerado uma limitação, todavia o poder da amostra apresentou-se satisfatório. A relação intensidade- $VO_2$  para estimativa da demanda teórica também utilizou apenas cinco pontos, enquanto que dez pontos são preconizados na literatura. O controle da dieta dos sujeitos previamente aos esforços de 400 m para determinação do  $AOD_{RED}$  também limita os achados, pois podem interferir nas concentrações de lactato e, consecutivamente, na contribuição anaeróbia láctica.

Como a natação possui outras distâncias competitivas, é interessante investigar ainda em qual distância se garante o maior valor de  $AOD_{RED}$  e, após esforço até exaustão, comparar em qual distância se obtém o real valor de MAOD e/ou  $MAOD_{RED}$ . Além disso, a sensibilidade do método  $AOD_{RED}$  garantiria que a ferramenta é eficaz e prática para ser usada no dia a dia de treinamento.

## 8. Referência bibliográfica

Aaron, E. A., Seow, K. C., Johnson, B. D. & Dempsey, J. A. (1992). Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *J Appl Physiol (1985)*, 72, 1818-25.

Anderson, M., Hopkins, W., Roberts, A. & Pyne, D. (2008). Ability of test measures to predict competitive performance in elite swimmers. *J Sports Sci*, 26, 123-30.

Astorino, T. A. (2009). Alterations in V<sub>O</sub>max and the V<sub>O</sub> plateau with manipulation of sampling interval. *Clin Physiol Funct Imaging*, 29, 60-7.

Atkinson, G. & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*, 26, 217-38.

Baldari, C., Fernandes, R. J., Meucci, M., Ribeiro, J., Vilas-Boas, J. P. & Guidetti, L. (2013). Is the new AquaTrainer(R) snorkel valid for V<sub>O</sub>2 assessment in swimming? *Int J Sports Med*, 34, 336-44.

Bangsbo, J. (1992). Is the O<sub>2</sub> deficit an accurate quantitative measure of the anaerobic energy production during intense exercise? *J Appl Physiol (1985)*, 73, 1207-9.

Bangsbo, J., Gollnick, P., Graham, T., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M. & Saltin, B. (1990). Anaerobic energy production and O<sub>2</sub> deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *J Physiol*, 422, 539-559.

Bangsbo, J., Michalsik, L. & Petersen, A. (1993). Accumulated O<sub>2</sub> deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *Int J Sports Med*, 14, 207-13.

Bar-Or, O. (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med*, 4, 381-94.

Beneke, R., Beyer, T., Jachner, C., Erasmus, J. & Hutler, M. (2004). Energetics of karate kumite. *Eur J Appl Physiol*, 92, 518-23.

Berthoin, S., Baquet, G., Dupont, G., Blondel, N. & Mucci, P. (2003). Critical velocity and anaerobic distance capacity in prepubertal children. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee*, 28, 561-75.

Bertuzzi, R. C., Franchini, E., Ugrinowitsch, C., Kokubun, E., Lima-Silva, A. E., Pires, F. O., Nakamura, F. Y. & Kiss, M. A. (2010). Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. *Int J Sports Med*, 31, 477-81.

Bickham, D., Le Rossignol, P., Gibbons, C. & Russell, A. P. (2002). Re-assessing accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. *J Sci Med Sport*, 5, 372-82.

Bijker, K. E., De Groot, G. & Hollander, A. P. (2001). Delta efficiencies of running and cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 33, 1546-1551.

Billat, V. L. (2000). VO<sub>2</sub> slow component and performance in endurance sports. *Br J Sports Med*, 34, 83-5.

Binzoni, T., Ferretti, G., Schenker, K. & Cerretelli, P. (1992). Phosphocreatine hydrolysis by <sup>31</sup>P-NMR at the onset of constant-load exercise in humans. *J Appl Physiol (1985)*, 73, 1644-9.

Bishop, D. & Jenkins, D. G. (1996). The influence of resistance training on the critical power function & time to fatigue at critical power. *Aust J Sci Med Sport*, 28, 101-105.

Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1, 307-10.

Bonne, T. C., Lundby, C., Jorgensen, S., Johansen, L., Mrgan, M., Bech, S. R., Sander, M., Papoti, M. & Nordsborg, N. B. (2014). "Live High-Train High" increases hemoglobin mass in Olympic swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 114, 1439-49.

Bosquet, L., Delhors, P. R., Duchene, A., Dupont, G. & Leger, L. (2007). Anaerobic running capacity determined from a 3-parameter systems model: relationship with other anaerobic indices and with running performance in the 800 m-run. *Int J Sports Med*, 28, 495-500.

Brown, G. C. (1992). Control of respiration and ATP synthesis in mammalian mitochondria and cells. *Biochem J*, 284 ( Pt 1), 1-13.

Brugnoli, P. (2010). Letter to the editor of EJAP. Re: Comparison of gas exchange data using the Aquatrainer(R) system and the facemask with Cosmed K4b2 during exercise in healthy subjects. *Eur J Appl Physiol*, 110, 875-6.

Buck, D. & Mcnaughton, L. (1999). Changing the number of submaximal exercise bouts effects calculation of MAOD. *Int J Sports Med*, 20, 28-33.

Burnley, M., Doust, J. H. & Vanhatalo, A. (2006). A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state. *Med Sci Sports Exerc*, 38, 1995-2003.

Carre, F., Dassonville, J., Beillot, J., Prigent, J. Y. & Rochcongar, P. (1994). Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 69, 258-61.

Casaburi, R., Daly, J., Hansen, J. E. & Effros, R. M. (1989). Abrupt changes in mixed venous blood gas composition after the onset of exercise. *J Appl Physiol* (1985), 67, 1106-12.

Christensen, P. M., Nordsborg, N. B., Nybo, L., Mortensen, S. P., Sander, M., Secher, N. H. & Bangsbo, J. (2012). Thigh oxygen uptake at the onset of intense exercise is not affected by a reduction in oxygen delivery caused by hypoxia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 303, R843-9.

Christensen, P. M., Nyberg, M., Mortensen, S. P., Nielsen, J. J., Secher, N. H., Damsgaard, R., Hellsten, Y. & Bangsbo, J. (2013). Leg oxygen uptake in the initial phase of intense exercise is slowed by a marked reduction in oxygen delivery. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 305, R313-21.

Costill, D. L., Kovaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R. & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med*, 6, 266-70.

Craig, I. S. & Morgan, D. W. (1998). Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 30, 1631-6.

Davies, C. T. & Sandstrom, E. R. (1989). Maximal mechanical power output and capacity of cyclists and young adults. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 58, 838-44.

De Campos Mello, F., De Moraes Bertuzzi, R. C., Grangeiro, P. M. & Franchini, E. (2009). Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: a comparison among rowing ergometers and water. *Eur J Appl Physiol*, 107, 615-9.

De Koning, J. J., Foster, C., Lampen, J., Hettinga, F. & Bobbert, M. F. (2005). Experimental evaluation of the power balance model of speed skating. *J Appl Physiol* (1985), 98, 227-233.

Dekerle, J., Brickley, G., Hammond, A., Pringle, J. & Carter, H. (2006). Validity of the two-parameter model in estimating the anaerobic work capacity. *Eur J Appl Physiol*, 96, 257-264.

Delp, M. D. (1999). Control of skeletal muscle perfusion at the onset of dynamic exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 31, 1011-8.

Demarie, S., Sardella, F., Billat, V., Magini, W. & Faina, M. (2001). The VO<sub>2</sub> slow component in swimming. *Eur J Appl Physiol*, 84, 95-9.

Di Prampero, P. E. (1981). Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*, 89, 143-222.

Di Prampero, P. E. & Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol*, 118, 103-15.

Di Prampero, P. & Margaria, R. (1968). Relationship between O<sub>2</sub> consumption, high energy phosphates and the kinetics of the O<sub>2</sub> debt in exercise. *Pflügers Archiv*, 304, 11-19.

Di Prampero, P. E., Cortili, G., Mognoni, P. & Saibene, F. (1976). Energy cost of speed skating and efficiency of work against air resistance. *J Appl Physiol*, 40, 584-91.

Fernandes, R. J., Cardoso, C. S., Soares, S. M., Ascensao, A., Colaco, P. J. & Vilas-Boas, J. P. (2003). Time limit and VO<sub>2</sub> slow component at intensities corresponding to VO<sub>2</sub>max in swimmers. *Int J Sports Med*, 24, 576-81.

Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L. & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *Int J Sports Med*, 32, 940-6.

Figueiredo, P., Zamparo, P., Sousa, A., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2011). An energy balance of the 200 m front crawl race. *Eur J Appl Physiol*, 111, 767-77.

Foster, C., De Koning, J. J., Hettinga, F., Lampen, J., La Clair, K. L., Dodge, C., Bobbert, M. & Porcari, J. P. (2003). Pattern of energy expenditure during simulated competition. *Med Sci Sports Exerc*, 35, 826-31.

Gastin, P. (1994). Quantification of anaerobic capacity. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 4, 91-112.

Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*, 31, 725-41.

Gastin, P. B., Costill, D. L., Lawson, D. L., Krzeminski, K. & Mcconell, G. K. (1995). Accumulated oxygen deficit during supramaximal all-out and constant intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 27, 255-263.

Gayda, M., Bosquet, L., Juneau, M., Guiraud, T., Lambert, J. & Nigam, A. (2010). Comparison of gas exchange data using the Aquatrainer system and the facemask with Cosmed K4b2 during exercise in healthy subjects. *Eur J Appl Physiol*, 109, 191-9.

Geor, R. J., Mccutcheon, L. J. & Hinchcliff, K. W. (2000). Effects of warm-up intensity on kinetics of oxygen consumption and carbon dioxide production during high-intensity exercise in horses. *Am J Vet Res*, 61, 638-45.



Grassi, B. (2000). 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. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 108-16.

Grassi, B. (2001). Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? *Exerc Sport Sci Rev*, 29, 134-8.

Grassi, B., Gladden, L. B., Stary, C. M., Wagner, P. D. & Hogan, M. C. (1998). Peripheral O<sub>2</sub> diffusion does not affect V(O<sub>2</sub>) on-kinetics in isolated in situ canine muscle. *J Appl Physiol* (1985), 85, 1404-12.

Green, S. (1995). Measurement of anaerobic work capacities in humans. *Sports Med*, 19, 32-42.

Green, S. & Dawson, B. (1993). Measurement of anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations and unsolved problems. *Sports Med*, 15, 312-27.

Harriss, D. J. & Atkinson, G. (2013). Ethical standards in sport and exercise science research: 2014 update. *Int J Sports Med*, 34, 1025-8.

Haseler, L. J., Richardson, R. S., Videen, J. S. & Hogan, M. C. (1998). Phosphocreatine hydrolysis during submaximal exercise: the effect of FIO<sub>2</sub>. *J Appl Physiol* (1985), 85, 1457-63.

Hermansen, L. & Saltin, B. (1969). Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol* (1985), 26, 31-37.

Hettinga, F. J., De Koning, J. J., Broersen, F. T., Van Geffen, P. & Foster, C. (2006). Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trials. *Med Sci Sports Exerc*, 38, 1484-91.

Hill, D. W. (1993). The critical power concept. A review. *Sports Med*, 16, 237-54.

Hughson, R. L. & Morrissey, M. (1982). Delayed kinetics of respiratory gas exchange in the transition from prior exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 52, 921-9.

Hughson, R. L., O'leary, D. D., Betik, A. C. & Hebestreit, H. (2000). Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise near or above peak oxygen uptake. *J Appl Physiol* (1985), 88, 1812-9.

Hughson, R. L., Tschakovsky, M. E. & Houston, M. E. (2001). Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. *Exerc Sport Sci Rev*, 29, 129-33.

Jacobs, I. (1981). Lactate, muscle glycogen and exercise performance in man. *Acta Physiol Scand Suppl*, 495, 1-35.

Jalab, C., Enea, C., Delpech, N. & Bernard, O. (2011). [Dynamics of oxygen uptake during a 100 m front crawl event, performed during competition ]. *Applied Physiology Nutrition Metabolism*, 36, 219-25.

Jones, A. M. & Poole, D. C. (2005). Oxygen uptake dynamics: from muscle to mouth--an introduction to the symposium. *Med Sci Sports Exerc*, 37, 1542-50.

Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H. & Poole, D. C. (2010). Critical power: implications for determination of  $\dot{V}O_{2\max}$  and exercise tolerance. *Med Sci Sports Exerc*, 42, 1876-90.

Joyner, M. J. & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol*, 586, 35-44.

Jurimae, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Latt, E., Purge, P., Leppik, A. & Jurimae, T. (2007). Analysis of swimming performance from physical, physiological, and biomechanical parameters in young swimmers. *Pediatr Exerc Sci*, 19, 70-81.

Kalva Filho, C., Campos, E. Z., De Andrade, V. L., Silva, A. R. S., Zagatto, A., Lima, M. S. & Papoti, M. (2015). Relationship between aerobic and anaerobic parameters with 400m front crawl swimming performance. *Biology Sports*.

Kaminagakura, E. I., Zagatto, A. M., Redkva, P. E., Gomes, E. B., Loures, J. P., Kalva-Filho, C. A. & Papoti, M. (2012). Can the running-based anaerobic sprint test be used to predict anaerobic capacity. *J Exerc Physiol*, 15, 90-99.

Karlsson, J., Nordesjö, L., Jorfeldt, L. & Saltin, B. (1972). Muscle lactate, ATP, and CP levels during exercise after physical training in man. *J Appl Physiol* (1985), 33, 199-203.

Karlsson, J. & Saltin, B. (1970). Lactate, ATP, and CP in working muscles during exhaustive exercise in man. *J Appl Physiol* (1985), 29, 598-602.

Kilding, A. E., Challis, N. V., Winter, E. M. & Fysh, M. (2005). Characterisation, asymmetry and reproducibility of on- and off-transient pulmonary oxygen uptake kinetics in endurance-trained runners. *Eur J Appl Physiol*, 93, 588-97.

Koga, S., Shiojiri, T., Kondo, N. & Barstow, T. J. (1997). Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. *J Appl Physiol* (1985), 83, 1333-8.

Krogh, A. & Lindhard, J. (1920). The changes in respiration at the transition from work to rest. *J Physiol*, 53, 431-9.

Krustrup, P., Secher, N. H., Relu, M. U., Hellsten, Y., Soderlund, K. & Bangsbo, J. (2008). Neuromuscular blockade of slow twitch muscle fibres elevates muscle oxygen uptake and energy turnover during submaximal exercise in humans. *J Physiol*, 586, 6037-48.

Kuipers, H., Rietjens, G., Verstappen, F., Schoenmakers, H. & Hofman, G. (2003). Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. *Int J Sports Med*, 24, 486-91.

Kuipers, H., Verstappen, F. T., Keizer, H. A., Geurten, P. & Van Kranenburg, G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med*, 6, 197-201.

Laffite, L. P., Vilas-Boas, J. P., Demarle, A., Silva, J., Fernandes, R. & Billat, V. L. (2004). Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee*, 29 Suppl, S17-31.

Latt, E., Jurimae, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P. & Jurimae, T. (2009). Longitudinal development of physical and performance parameters during biological maturation of young male swimmers. *Percept Mot Skills*, 108, 297-307.

Latt, E., Jurimae, J., Maestu, J., Purge, P., Ramson, R., Haljaste, K., Keskinen, K. L., Rodriguez, F. A. & Jurimae, T. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 398-404.

Lavoie, J. M., Taylor, A. W. & Montpetit, R. R. (1981). Physiological effects of training in elite swimmers as measured by a free swimming test. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 21, 38-42.

Leger, L. A., Seliger, V. & Brassard, L. (1980). Backward extrapolation of VO<sub>2</sub>max values from the O<sub>2</sub> recovery curve. *Med Sci Sports Exerc*, 12, 24-7.

Macdonald, M., Pedersen, P. K. & Hughson, R. L. (1997). Acceleration of VO<sub>2</sub> kinetics in heavy submaximal exercise by hyperoxia and prior high-intensity exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 83, 1318-25.

Maison, G. & Broeker, A. (1941). Training in human muscles working with and without blood supply. *American Journal of Physiology--Legacy Content*, 132, 390-404.

Margaria, R., Edwards, H. & Dill, D. B. (1933). The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *American Journal of Physiology--Legacy Content*, 106, 689-715.

Mauger, A. R., Neuloh, J. & Castle, P. C. (2012). Analysis of pacing strategy selection in elite 400-m freestyle swimming. *Med Sci Sports Exerc*, 44, 2205-12.

Medbo, J. I. & Burgers, S. (1990). Effect of training on the anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc*, 22, 501-7.

Medbo, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O. & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol (1985)*, 64, 50-60.

Medbø, J. & Sejersted, O. (1990). Plasma potassium changes with high intensity exercise. *J Physiol*, 421, 105-122.

Medbo, J. I. & Tabata, I. (1993). Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J Appl Physiol (1985)*, 75, 1654-60.

Midgley, A. W., Mcnaughton, L. R., Polman, R. & Marchant, D. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports Med*, 37, 1019-28.

Minahan, C., Chia, M. & Inbar, O. (2007). Does power indicate capacity? 30-s Wingate anaerobic test vs. maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *Int J Sports Med*, 28, 836-43.

Miura, A., Kino, F., Kajitani, S., Sato, H., Sato, H. & Fukuba, Y. (1999). The effect of oral creatine supplementation on the curvature constant parameter of

the power-duration curve for cycle ergometry in humans. *The Japanese journal of physiology*, 49, 169-174.

Miura, A., Sato, H., Sato, H., Hipp, B. J. & Fukuba, Y. (2000). The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. *Ergonomics*, 43, 133-141.

Monod, H. & Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8, 329-338.

Montpetit, R. R., Leger, L. A., Lavoie, J. M. & Cazorla, G. (1981). VO<sub>2</sub> peak during free swimming using the backward extrapolation of the O<sub>2</sub> recovery curve. *Eur J Appl Physiol*, 47, 385-91.

Morgan, D., Daniels, J., Carlson, P., Filarski, K. & Landle, K. (1991). Use of recovery VO<sub>2</sub> to predict running economy. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62, 420-3.

Moritani, T., Nagata, A., Devries, H. A. & Muro, M. (1981). Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*, 24, 339-50.

Nebelsick-Gullett, L. J., Housh, T. J., Johnson, G. O. & Bauge, S. M. (1988). A comparison between methods of measuring anaerobic work capacity. *Ergonomics*, 31, 1413-1419.

Noordhof, D. A., De Koning, J. J. & Foster, C. (2010). The maximal accumulated oxygen deficit method: a valid and reliable measure of anaerobic capacity? *Sports Med*, 40, 285-302.

Noordhof, D. A., Skiba, P. F. & De Koning, J. J. (2013). Determining anaerobic capacity in sporting activities. *Int J Sports Physiol Perform*, 8, 475-82.

Nummela, A., Alberts, M., Rijntjes, R. P., Luhtanen, P. & Rusko, H. (1996). Reliability and validity of the maximal anaerobic running test. *Int J Sports Med*, 17 Suppl 2, S97-102.

Ogita, F. (2006). INVITED CONTRIBUTION. *Rev Port Cien Desp*, 6, 117-182.

Ogita, F., Hara, M. & Tabata, I. (1996). Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiologica Scand*, 157, 435-41.

Ogita, F., Onodera, T., Tamaki H, Toussaint, H. M., Hollander, A. & Wakayoshi, K. (2003). Metabolic profile during exhaustive arm stroke, leg kick, and whole body swimming lasting 15s to 10min. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, 6.

Papoti, M., Balikian Junior, P., Denadai, B. S., Lima, M. C. S., Silva, A. S. D., Santhiago, V. & Gobatto, C. A. (2007). Adaptation of the VO<sub>2</sub>000 gas analyser's mask to mensuration of cardiorespiratory parameters in swimming. *Revista Brasileira De Medicina Do Esporte*, 13, 190-194.

Pelayo, P., Alberty, M., Sidney, M., Potdevin, F. & Dekerle, J. (2007). Aerobic potential, stroke parameters, and coordination in swimming front-crawl performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 2, 347.

Pessoa Filho, D. M., Alves, F. B., Reis, J. F., Greco, C. C. & Denadai, B. S. (2012). VO<sub>2</sub> kinetics during heavy and severe exercise in swimming. *Int J Sports Med*, 33, 744-8.

Phillips, S. M., Green, H. J., Tarnopolsky, M. A. & Grant, S. M. (1995). Increased clearance of lactate after short-term training in men. *J Appl Physiol* (1985), 79, 1862-9.

Pinna, M., Milia, R., Roberto, S., Marongiu, E., Olla, S., Loi, A., Ortu, M., Migliaccio, G. M., Tocco, F., Concu, A. & Crisafulli, A. (2013). Assessment of

the specificity of cardiopulmonary response during tethered swimming using a new snorkel device. *J Physiol Sci*, 63, 7-16.

Poole, D. C., Barstow, T. J., Mcdonough, P. & Jones, A. M. (2008). Control of oxygen uptake during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 40, 462-74.

Poole, D. C., Schaffartzik, W., Knight, D. R., Derion, T., Kennedy, B., Guy, H. J., Prediletto, R. & Wagner, P. D. (1991). Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *J Appl Physiol* (1985), 71, 1245-60.

Poole, D. C., Ward, S. A., Gardner, G. W. & Whipp, B. J. (1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*, 31, 1265-79.

Pringle, J. S., Doust, J. H., Carter, H., Tolfrey, K., Campbell, I. T., Sakkas, G. K. & Jones, A. M. (2003). Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity "submaximal" exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *Eur J Appl Physiol*, 89, 289-300.

Ramsbottom, R., Nevill, A. M., Nevill, M. E., Newport, S. & Williams, C. (1994). Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. *J Sports Sci*, 12, 447-53.

Ravier, G., Dugue, B., Grappe, F. & Rouillon, J. D. (2006). Maximal accumulated oxygen deficit and blood responses of ammonia, lactate and pH after anaerobic test: a comparison between international and national elite karate athletes. *Int J Sports Med*, 27, 810-7.

Reis, V. M. & Carneiro, A. L. (2005). Metodologia de estimativa do Deficit de Oxigênio Acumulado. *Rev. bras. ciênc. mov*, 13, 35-42.



Reis, V. M., Marinho, D. A., Barbosa, F. P., Reis, A. M., Guidetti, L. & Silva, A. J. (2010a). Examining the accumulated oxygen deficit method in breaststroke swimming. *Eur J Appl Physiol*, 109, 1129-35.

Reis, V. M., Marinho, D. A., Policarpo, F. B., Carneiro, A. L., Baldari, C. & Silva, A. J. (2010b). Examining the accumulated oxygen deficit method in front crawl swimming. *Int J Sports Med*, 31, 421-7.

Rodriguez, F., Keskinen, K., Keskinen, O. & Malvela, M. (2003). Oxygen uptake kinetics during free swimming: a pilot study. *IX Biomechanics and Medicine in Swimming*, 379-384.

Rossiter, H. B., Ward, S. A., Doyle, V. L., Howe, F. A., Griffiths, J. R. & Whipp, B. J. (1999). Inferences from pulmonary O<sub>2</sub> uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans. *J Physiol*, 518 ( Pt 3), 921-32.

Rossiter, H. B., Ward, S. A., Kowalchuk, J. M., Howe, F. A., Griffiths, J. R. & Whipp, B. J. (2002). Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O<sub>2</sub> uptake between the on- and off-transients of moderate- and high-intensity exercise in humans. *J Physiol*, 541, 991-1002.

Rowell, L. B. 1993. *Human cardiovascular control*, Oxford University Press.

Russell, A. P., Wadley, G., Hesselink, M. K., Schaart, G., Lo, S., Leger, B., Garnham, A., Kornips, E., Cameron-Smith, D., Giacobino, J. P., Muzzin, P., Snow, R. & Schrauwen, P. (2003). UCP3 protein expression is lower in type I, IIa and IIx muscle fiber types of endurance-trained compared to untrained subjects. *Pflugers Arch*, 445, 563-9.

Serresse, O., Lortie, G., Bouchard, C. & Boulay, M. R. (1988). Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. *Int J Sports Med*, 9, 456-60.

Sleivert, G. & Mackinnon, L. T. (1991). The validation of backward extrapolation of submaximal oxygen consumption from the oxygen recovery curve. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 63, 135-9.

Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Pyne, D. B., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2014b). Exercise Modality Effect on Bioenergetical Performance at VO<sub>2</sub>max Intensity. *Med Sci Sports Exerc*.

Sousa, A., Figueiredo, P., Pendergast, D., Kjendlie, P. L., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2014). Critical evaluation of oxygen-uptake assessment in swimming. *Int J Sports Physiol Perform*, 9, 190-202.

Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2013). Anaerobic alactic energy assessment in middle distance swimming. *Eur J Appl Physiol*, 113, 2153-8.

Sousa, A. C., Figueiredo, P., Oliveira, N. L., Oliveira, J., Silva, A. J., Keskinen, K. L., Rodriguez, F. A., Machado, L. J., Vilas-Boas, J. P. & Fernandes, R. J. (2011). VO<sub>2</sub> kinetics in 200-m race-pace front crawl swimming. *Int J Sports Med*, 32, 765-70.

Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B. & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med*, 35, 1025-44.

Stringer, W., Wasserman, K., Casaburi, R., Porszasz, J., Maehara, K. & French, W. (1994). Lactic acidosis as a facilitator of oxyhemoglobin dissociation during exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 76, 1462-7.

Toussaint, H. M., Meulemans, A., De Groot, G., Hollander, A. P., Schreurs, A. W. & Vervoorn, K. (1987). Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56, 363-6.

Turner, M. J., Howley, E. T., Tanaka, H., Ashraf, M., Bassett, D. R., Jr. & Keefer, D. J. (1995). Effect of graded epinephrine infusion on blood lactate response to exercise. *J Appl Physiol* (1985), 79, 1206-11.

Vanhatalo, A., Doust, J. H. & Burnley, M. (2007). Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc*, 39, 548-55.

Vanhatalo, A., Poole, D. C., Dimenna, F. J., Bailey, S. J. & Jones, A. M. (2011). Muscle fiber recruitment and the slow component of O<sub>2</sub> uptake: constant work rate vs. all-out sprint exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 300, R700-7.

Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Kasai, T., Moritani, T., Mutoh, Y. & Miyashita, M. (1992). A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int J Sports Med*, 13, 367-71.

Weber, C. L. & Schneider, D. A. (2001). Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 33, 1056-9.

Weber, C. L. & Schneider, D. A. (2002). Increases in maximal accumulated oxygen deficit after high-intensity interval training are not gender dependent. *J Appl Physiol* (1985), 92, 1795-801.

Weyand, P. G., Cureton, K. J., Conley, D. S., Sloniger, M. A. & Liu, Y. L. (1994). Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. *Med Sci Sports Exerc*, 26, 1174-80.

Whipp, B. J. (1987). Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation*, 76, Vi18-28.

Whipp, B. J., Ward, S. A. & Rossiter, H. B. (2005). Pulmonary O<sub>2</sub> uptake during exercise: conflating muscular and cardiovascular responses. *Med Sci Sports Exerc*, 37, 1574-85.

Whipp, B. J. & Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol*, 33, 351-6.

Xu, F. & Rhodes, E. C. (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Med*, 27, 313-27.

Zagatto, A. M. & Gobatto, C. A. (2012). Relationship between anaerobic parameters provided from MAOD and critical power model in specific table tennis test. *Int J Sports Med*, 33, 613-20.

Zagatto, A., Redkva, P., Loures, J., Kalva Filho, C., Franco, V., Kaminagakura, E. & Papoti, M. (2011). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scand J Med Sci Sports*, 21, e222-30.

Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F. & Capelli, C. (2005). Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 94, 697-704.

Zamparo, P., Capelli, C., Causero, M. & Di Nino, A. (2000). Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 83, 487-91.

Zoeller, R. F., Nagle, E. F., Robertson, R. J., Moyna, N. M., Lephart, S. M. & Goss, F. L. (2000). Peak blood lactate and accumulated oxygen deficit as indices of freestyle swimming performance in trained adult female swimmers. *Journal of Swimming Research*, 14.

Zupan, M. F., Arata, A. W., Dawson, L. H., Wile, A. L., Payn, T. L. & Hannon, M. E. (2009). Wingate Anaerobic Test peak power and anaerobic capacity classifications for men and women intercollegiate athletes. *J Strength Cond Res*, 23, 2598-604.