

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**VELOCIDADE CRÍTICA OBTIDA POR UM MODELO DE QUATRO  
PARÂMETROS E SUA RELAÇÃO COM A VELOCIDADE DO  
TESTE DE 400 METROS EM NADO *CRAWL***

**Rodrigo Zacca**

**Porto Alegre**

**2012**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

VELOCIDADE CRÍTICA OBTIDA POR UM MODELO DE QUATRO  
PARÂMETROS E SUA RELAÇÃO COM A VELOCIDADE DO  
TESTE DE 400 METROS EM NADO *CRAWL*

Dissertação de Mestrado submetida ao  
Programa de Pós-Graduação em Ciências  
do Movimento Humano da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, sob  
orientação do Prof. Dr. Flávio Antônio de  
Souza Castro.

Porto Alegre  
2012

## CIP - Catalogação na Publicação

Zacca, Rodrigo

Velocidade crítica obtida por um modelo de quatro parâmetros e sua relação com a velocidade do teste de 400 metros em nado crawl. / Rodrigo Zacca. -- 2012. 113 f.

Orientador: Flávio Antônio de Souza Castro.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. Natação. 2. Fisiologia do exercício. 3. Treinamento desportivo. 4. Velocidade crítica. 5. Teste de 400 metros . I. Castro, Flávio Antônio de Souza, orient. II. Título.

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este estudo à todos amantes da natação competitiva, em especial aos que trabalham com as categorias de base da natação brasileira.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Aos Professores Marcelo Diniz da Costa “MARCELINHO”, Eduardo Remião, José Aroldo Gomes “ARATACA”, Martina Kroll Lindemayer, Vera Beatriz Barth e Daniel Geremia pelos ensinamentos ímpares enquanto aluno e atleta de atletismo e natação;*

*Ao Professor Dr. Antônio Carlos Stringhini Guimarães (in memoriam), por ter me indicado o Professor Flávio Antônio de Souza Castro na época em que o mestrado na UFRGS era apenas um sonho;*

*Ao Professor Dr. Flávio Antônio de Souza Castro, pelos ensinamentos durante esta inesquecível jornada, desde a especialização em Fisiologia do Exercício, pelo exemplo como pessoa e como profissional incrivelmente apaixonado pela profissão;*

*Aos colegas e amigos da sala 212 do LAPEX UFRGS, do Grupo de Pesquisa em Esportes Aquáticos (GPEA) e do Grupo de Pesquisa em Biomecânica e Cinesiologia (GPBIC), Grupo de Estudos em Fisiologia e Bioquímica do Exercício (GEFEX), pelo profissionalismo, pela paciência pela parceria, pelo aprendizado e pela companhia. . .*

*Aos Professores Drs. Álvaro Reischak de Oliveira e Marco Aurélio Vaz pelo alto nível dos cursos de especialização em Fisiologia do Exercício e Cinesiologia, que foram base fundamental para meu desenvolvimento profissional;*

*Aos Professores Drs. Bruno München Wenzel e Jeferson Steffanello Piccin no Laboratório de Processamento de Resíduos (LPR) e Departamento de Engenharia Química (DEQUI) da UFRGS pela assessoria constante nas modelagens matemáticas;*

*À equipe de profissionais da Inbramed Indústria Brasileira de Equipamentos Ltda, em especial ao Douglas e ao Sérgio pela assessoria em tempo integral durante o período de coletas.*

*Ao amigo Vitor Moré pela competência e conhecimento disponibilizado ao GPEA na confecção do monitor visual de velocidade para nadadores;*

*Ao Grêmio Náutico União, Grêmio Náutico Gaúcho e Caixeiros Viajantes e seus nadadores pela motivação, e seus treinadores por acreditarem nos projetos desenvolvidos pelo GPEA;*

*Ao Professor Dr. Ricardo Jorge Pinto Fernandes (Universidade do Porto, Portugal), por toda a assessoria prestada e pelos ensinamentos passados neste período.;*

*Aos Professores Dr. João Paulo Vilas-Boas e Ms. Ana Catarina Miranda de Sousa pelos ensinamentos durante minha breve passagem pela Universidade do Porto;*

*Pierre Jorge Zacca (avô, in memoriam), Waldemar Oldemar Leão (avô, in memoriam), Edy Matte Leão (avó, in memoriam), Iolanda Maciel Zacca (avó), Jandir José Zacca (pai) e Doraci Elmi Zacca (mãe), Diego Zacca (irmão) e Taugane Zacca (irmão), Suely Vany Leão Haag (tia). . . MUITO OBRIGADO!*

*E a todos que de alguma forma ajudaram a tornar este sonho realidade. Sem vocês provavelmente o caminho teria sido muito mais difícil do que foi. . .*

## **EPIGRAFE**

*"Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável (...), para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer."*

*Albert Einstein*

## RESUMO

### VELOCIDADE CRÍTICA OBTIDA POR UM MODELO DE QUATRO PARÂMETROS E SUA RELAÇÃO COM A VELOCIDADE DO TESTE DE 400 METROS EM NADO CRAWL

Autor: Rodrigo Zacca

Orientador: Prof. Dr. Flávio Antônio de Souza Castro

Modelos bioenergéticos de dois, três e quatro parâmetros podem ser usados para prescrever a velocidade crítica (VC) sendo que o último modelo melhor descreve a relação entre velocidade (v) e tempo de exaustão (t<sub>lim</sub>) em nadadores. O objetivo do presente estudo foi verificar as respostas metabólicas ao se nadar em intensidade equivalente à VC<sub>4par</sub> até exaustão e verificar a validade de predizê-la somente por meio de um teste de 400 m em nado crawl (T<sub>400</sub>). Para tal, esta pesquisa foi desenvolvida em duas etapas: na primeira, oito nadadores e quatro nadadoras classificados entre os oito melhores em suas provas no último Campeonato Brasileiro Juvenil de Natação (15,6 ± 0,9 anos, 63,0 ± 7,2 kg, 174,9 ± 8,3 cm de estatura, 180,7 ± 10,4 cm de envergadura, 280,2 ± 17,6 s nos 400 m nado crawl = 78,7 ± 3,3 % do recorde mundial para a prova em piscina de 25 m) realizaram testes máximos de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m em ordem randomizada e com 24 h de intervalo para calcular a VC<sub>4par</sub>. Na segunda etapa, consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>), concentração de lactato sanguíneo ([La]), frequência cardíaca (FC) e esforço percebido (EP, escala de Borg de 6-15) foram mensurados no repouso, após o aquecimento, à cada 10 min e na exaustão em um teste retangular com velocidade controlada com duração máxima de 60 min correspondente à VC<sub>4par</sub>. Resultados: os nadadores suportaram nadar à 100% da VC<sub>4par</sub> entre 13 e 62 min. O VO<sub>2</sub> se estabiliza a partir de, aproximadamente 10 min de teste, não atingindo seu valor máximo antes da exaustão (63,2 ± 10,5% do VO<sub>2max</sub>). [La] comporta-se entre uma faixa de estabilização a aumentos sem estabilização (7,2 ± 1,8 mmol·l<sup>-1</sup> na exaustão). FC no momento exaustão situou-se em 93,0 ± 4,9 da FC<sub>max</sub>. EP aumenta sem estabilizar-se (18,3 ± 1,7 na exaustão). A relação entre a VC<sub>4par</sub> e a VN do T<sub>400</sub> (V<sub>400</sub>) em nadadores de nível nacional é obtida pela equação  $VC_{4par} = (0,9252 * V_{400}) - 0,01$ . Conclusão: A VC<sub>4par</sub> situa-se no domínio de intensidade muito pesado, próxima ao limite inferior do mesmo e pode ser prescrita pelo T<sub>400</sub>

Palavras Chave: Natação; Fisiologia do exercício, Treinamento desportivo, Velocidade Crítica; Teste de 400 m em nado crawl.

## ABSTRACT

CRITICAL VELOCITY OBTAINED THROUGH A FOUR-PARAMETER MODEL AND ITS RELATION TO THE VELOCITY OF THE 400 METERS TEST IN FRONT CRAWL.

Author: Rodrigo Zacca

Advisor: Prof. Dr. Flávio Antônio de Souza Castro

Two, three and four bioenergetic parameter models can be used to prescribe the critical velocity (VC). The four-parameter model best describes the relationship between velocity ( $v$ ) and time to exhaustion ( $t_{lim}$ ) in swimmers. The aim of this study was to determine the metabolic responses when swimming in intensity equivalent to  $VC_{4par}$  until exhaustion and verify the validity of predicting it only through a test on 400 m front crawl ( $T_{400}$ ). To this end, this research was conducted in two stages: stage one, eight male swimmers and four female swimmers ranked among the top eight in their events at the last Brazilian Youth Swimming Championship ( $15.6 \pm 0.9$  years,  $63.0 \pm 7.2$  kg,  $174.9 \pm 8.3$  cm in height,  $180.7 \pm 10.4$  cm of arm span,  $280.2 \pm 17.6$  s in the 400 m freestyle =  $78.7 \pm 3.3\%$  of world record short course) conducted maximum efforts of 50, 100, 200, 400, 800 and 1500 m in randomized order and with 24 hours of interval for calculating the  $VC_{4par}$ . In the second stage, oxygen consumption ( $VO_2$ ), blood lactate concentration ( $[La]$ ), heart rate (FC) and perceived exertion (EP, Borg scale 6-15) were measured at rest, after warm up, every 10 min and at exhaustion during a rectangular test with controlled speed, with a maximum duration of 60 min at  $100\%VC_{4par}$ . Results: swimmers supported between 13 and 62 min at  $100\%VC_{4par}$ . At this intensity  $VO_2$  stabilizes from approximately 10 minutes of testing, not reaching its maximum value before the exhaustion ( $10.5 \pm 63.2\%VO_{2max}$ ).  $[La]$  behaves within the range of stabilization increases without stabilization ( $7.2 \pm 1.8$  mmol  $\cdot$  l<sup>-1</sup> in the exhaustion). FC at exhaustion stood at  $93.0 \pm 4.9\% FC_{max}$ . EP increases without stabilizing ( $18.3 \pm 1.7$  in the exhaustion). The relationship between  $VC_{4par}$  and the swimming velocity of the  $T_{400}$  ( $V_{400}$ ) in swimmers of national level can be obtained by equation  $VC_{4par} = (0.9252 * V_{400}) - 0.01$ . Conclusion:  $VC_{4par}$  lies to the very heavy intensity domain, near the lower limit, and can be prescribed by the  $T_{400}$ .

Key-words: Swimming; Exercise physiology, Sports training, Critical Velocity; 400 m test in front crawl.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
<b>Figura 1:</b> Visualização gráfica dos métodos mais utilizados para o cálculo da VC por meio de modelos de dois parâmetros: relação linear distância limite-tempo limite até a exaustão (“dlim-tlim”), relação não linear velocidade-tempo limite até a exaustão (“v-tlim”) e conversão linear da relação hiperbólica que relaciona v e o inverso do tlim.....	25
<b>Figura 2:</b> Exemplo de representação gráfica da inclinação da linha de regressão corresponde à VC (obtida de um modelo linear de dois parâmetros - $VC_{2par}$ ) e intercepto-y ( $CDA_{2par}$ ) plotados com as distâncias de 200 e 400 m e respectivos tempos (s) de um nadador.....	26
<b>Figura 3:</b> Representação gráfica da plotagem dos dados por meio dos modelos de dois e três parâmetros com dados de velocidade e tempo de 50, 100, 200, 300, 400, 800 e 1500 m de nadadores experientes (relação não linear velocidade-tempo limite, “v-tlim”), adaptada de ZACCA et al. (2010) para obtenção de valores de $VC_{2par}$ e $VC_{3par}$ .....	27
<b>Figura 4:</b> Domínios de intensidades (adaptado de DEKERLE & PELAYO 2011) que mostra a resposta da [La] e da cinética do $VO_2$ durante o exercício realizado em diferentes VN.....	31
<b>Figura 5:</b> Plotagem dos dados por meio dos modelos de dois, três e quatro parâmetros com dados de velocidade e tlim de 50, 100, 200, 300, 400, 800 e 1500 m de nadadores experientes (adaptada de Zacca et al. 2010).....	37
<b>Figura 6:</b> Design temporal explicativo da primeira etapa deste estudo.....	54
<b>Figura 7:</b> Design temporal explicativo da segunda etapa deste estudo.....	54
<b>Figura 8:</b> Diagrama esquemático do Monitor visual de velocidade (esquerda) e sua visualização ao fundo da piscina (direita).....	56
<b>Figura 9:</b> Analizador metabólico de gases $VO_{2000}^{\text{®}}$ (Portable Metabolic Testing System, MEDGRAPHICS; Medical Graphics Corporation, Saint Paul, Minnesota – USA).....	57
<b>Figura 10:</b> Exemplo de predição do $VO_2$ no tempo zero de um nadador de nosso estudo obtido por meio da retro extrapolação imediatamente após um teste máximo de 400 m, utilizando valores de $VO_2$ dos 20 segundos imediatamente após os 10 s referentes ao espaço morto.....	60
<b>Figura 11:</b> Valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de tlim e VN dos seis testes máximos realizados, n = 12.....	65
<b>Figura 12:</b> Valores de média, desvio padrão, mínimo e máximo de $VO_2$ relativo à	

massa corporal ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) para os testes máximos de 200, 400, 800 e 1500m. No momento pós o  $\text{VO}_2$  nos 400 m foi maior que todas outras distâncias ( $F(3,33) = 25,302$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,697$ ;  $p_o = 1,000$ ); ((200:  $p < 0,001$ ; 800m:  $p = 0,001$ ; e 1500 m:  $p < 0,001$ ),  $n = 12$ ..... 86

**Figura 13:** Valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de  $[\text{La}]$  ( $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) dos seis testes máximos realizados nos momentos repouso, pré e pós (valor pico). No momento pós as  $[\text{La}]_{\text{pico}}$  nos 100 e nos 200 m foram maiores que nos 800  $F(5,55) = 8,560$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,438$ ;  $p_o = 1,000$ ; ( $\star p = 0,011$  e  $\blacksquare p = 0,020$  respectivamente) e nos 1500 m ( $+ p = 0,008$  e  $\& p < 0,001$  respectivamente),  $n = 12$ ..... 88

**Figura 14:** valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de FC (bpm) dos seis testes máximos realizados nos momentos repouso, pré e pós. O  $\%FC_{\text{max}}$  no momento pós nos 50 m foi menor que nos 400 e 1500 m;  $F(5,55) = 6,334$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,365$ ;  $p_o = 0,994$ , ( $\#p = 0,010$  e  $\star p = 0,003$  respectivamente), e o  $\%FC_{\text{max}}$  mensurada nos 100 m também foi menor que nos 400 e 1500 m ( $\& = 0,011$  e  $\blacksquare p = 0,006$  respectivamente),  $n = 12$ ..... 70

**Figura 15:** Valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de EP dos seis testes máximos realizados nos momentos repouso, pré e pós. Não houveram diferenças significativas no momento entre as distâncias ( $F(5,55) = 0,290$ ;  $p = 0,916$ ;  $\eta^2 = 0,026$ ;  $p_o = 0,116$ ),  $n = 12$ ..... 72

**Figura 16:** Comportamento do  $\text{VO}_2$  ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) A) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão), C) seus resultados de média, desvios padrão, mínimo e máximo. Diferença significativa entre repouso e 10 min (+), repouso e Exaustão ( $\star$ ), pré e 10 min ( $\times$ ), e entre pré e Exaustão ( $\&$ ).  $F(1,418;14,181) = 154,253$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,939$ ;  $p_o = 1,000$ . ( $+ p < 0,001$ ;  $\star p < 0,001$ ;  $\times p < 0,001$ ;  $\& p < 0,001$ ),  $n = 11$ ..... 81

**Figura 17:** Valores de  $\text{VO}_2$  mensurados durante a etapa 2 e expressos em valores percentuais do  $\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $\%\text{VO}_{2\text{max}}$ ),  $n = 11$ ..... 82

**Figura 18:** Comportamento  $[\text{La}]$  ( $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) A) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão), C) seus resultados de média, desvios padrão, mínimo e máximo. Diferença significativa entre repouso e 10 min (+), repouso e Exaustão ( $\star$ ), pré e 10 min ( $\times$ ), e entre pré e Exaustão ( $\&$ ).  $F(3,30) = 38,636$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,794$ ;  $p_o = 1,000$ ; ( $+ p < 0,001$ ;  $\star p < 0,001$ ;  $\times p < 0,001$ ;  $\& p < 0,001$ ),  $n = 11$ ..... 83

**Figura 19:** Comportamento do  $\%FC_{\text{max}}$  A) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão), C) resultados de média, desvios padrão, mínimo e máximo da FC (bpm). Diferença significativa entre repouso e pré ( $\star$ ), repouso e 10 min ( $\times$ ), repouso e exaustão (+), pré e 10 min ( $\blacksquare$ ), e entre pré e exaustão ( $\bullet$ ).  $F(3,30) = 253,988$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,962$ ;  $p_o = 1,000$ ; ( $+ p < 0,001$ ;  $\star p = 0,002$ ;  $\times p < 0,001$ ;  $\blacksquare p < 0,001$ ;  $\bullet p < 0,001$ ),  $n = 11$ ..... 84

**Figura 20:** Comportamento de EP A) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão), C) resultados de média, desvios padrão, mínimo e máximo. Diferença significativa entre repouso e 10 min (+), repouso e exaustão ( $\star$ ), pré e

10 min ( $\times$ ), pré e exaustão (&), e entre 10 min e exaustão (.)  $F(1,614; 16,137) = 99,747$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,909$ ;  $p_o = 1,000$ ,  $n = 11$ ..... **85**

**Figura 21:** Comparação dos valores de VN dos testes máximos 200, 400, 800,1500 m e da  $VC_{4par}$  do teste retangular. Diferenças significativas e entre todas as comparações  $F(1,235; 12,348) = 115, 712$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,920$ ;  $p_o = 1,000$ .; ( $p < 0,001$ ),  $n = 11$ ..... **90**

**Figura 22:** Grau de concordância expresso em valores absolutos e percentuais (%) entre  $VC_{4par}$  e  $92,52\%V_{400}$ . A diferença média (bias) é representada pela linha horizontal cinza, e os limites de concordância (95%) pelas linhas pretas,  $n = 11$ ..... **91**

**Figura 23:** Comparação dos valores de  $VO_2$  obtidos no momento pós dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e do momento exaustão do teste retangular em  $VC_{4par}$ . Diferenças significativas entre  $VC_{4par}$  e 400 m ( $\times$ ),  $VC_{4par}$  e 800 m (+),  $VC_{4par}$  e 1500 m ( $\star$ ).  $F(4,40) = 28, 384$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,739$ ;  $p_o = 1,000$ ,  $n = 11$ ..... **92**

**Figura 24:** Comparação dos valores de [La] obtidos no momento pós dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e do momento exaustão do teste retangular em  $VC_{4par}$ . Diferenças significativas  $F(4,40) = 13,199$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,369$ ;  $p_o = 1,000$ , entre  $VC_{4par}$  e 200 m ( $\star$ ) e entre  $VC_{4par}$  e 800 m (+).  $n = 11$ ..... **93**

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1</b> - Características da amostra deste estudo.....	<b>64</b>
<b>Tabela 2</b> - Dados de desempenho.....	<b>65</b>
<b>Tabela 3</b> - Valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de $t_{lim_{exaustão}}$ e $d_{lim_{exaustão}}$ dos seis testes máximos realizados, $n = 11$ .....	<b>80</b>
<b>Tabela 4</b> - Valores médios, mínimos, máximos e desvios padrão de $VC_{4par}$ em $m \cdot s^{-1}$ e como percentual relativo à VN de cada teste máximo, $n = 11$ .....	<b>90</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

[H <sup>+</sup> ]	Concentração de prótons de hidrogênio
[La]	Concentração de lactato sanguíneo
[La] <sub>pico</sub>	Concentração de lactato sanguíneo pico
~	Aproximadamente
μl	Microlitro
ATP	Adenosina Trifosfato
CCI	Coefficiente de correlação intraclasses
CDA	Capacidade de distância anaeróbia
CDA <sub>2par</sub>	Capacidade de distância anaeróbia oriunda de modelo de dois parâmetros
CDA <sub>3par</sub>	Capacidade de distância anaeróbia oriunda de modelo de três parâmetros
CDA <sub>4par</sub>	Capacidade de distância anaeróbia oriunda de modelo de quatro parâmetros
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
dlim	Distância limite
dlim <sub>exaustão</sub>	Distância limite na exaustão
DP	Desvio padrão
EP	Esforço Percebido
FC	Frequência cardíaca
FCO <sub>2</sub>	Fração de dióxido de carbono
FO <sub>2</sub>	Fração de oxigênio
ILA	Intensidade prescrita para limiar anaeróbio
ILAE	Intensidade prescrita para limiar aeróbio
IVO <sub>2</sub>	Intensidade prescrita para incremento do VO <sub>2max</sub>
k	Constante
km	Quilômetro
LL	Limiar de lactato
m	Metro
m·s <sup>-1</sup>	Metros por segundo
MAS	<i>Maximal aerobic speed</i>
MFEL	Máxima fase estável de lactato
min	Minuto
ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	Mililitro por minuto por quilograma
MLSS	<i>Maximal lactate steady state</i>
mmol·l <sup>-1</sup>	Milimol por litro
MVA	Máxima velocidade aeróbia
O <sub>2</sub>	Oxigênio
PC	Potência crítica
PC <sub>2par</sub>	Potência crítica oriunda de modelo de dois parâmetros
PC <sub>3par</sub>	Potência crítica oriunda de modelo de três parâmetros
po	Poder estatístico observado

QR	Quociente respiratório
s	Segundo
T <sub>2000</sub>	Teste de 2000 m
T <sub>30</sub>	Teste de 30 min
T <sub>3000</sub>	Teste de 3000 m
T <sub>400</sub>	Teste de 400 m
T <sub>60</sub>	Teste de 60 min
t <sub>lim</sub>	Tempo limite
t <sub>lim<sub>exaustão</sub></sub>	Tempo limite na exaustão
t <sub>lim-vVO<sub>2max</sub></sub>	Tempo limite na velocidade em VO <sub>2max</sub>
v	Velocidade
V <sub>400</sub>	Velocidade de nado do T <sub>400</sub>
VC	Velocidade crítica
VC <sub>2par</sub>	Velocidade crítica oriunda de modelo de dois parâmetros
VC <sub>3par</sub>	Velocidade crítica oriunda de modelo de três parâmetros
VC <sub>4par</sub>	Velocidade crítica oriunda de modelo de quatro parâmetros
V <sub>max</sub>	Máxima velocidade instantânea
V <sub>max3par</sub>	Máxima velocidade instantânea oriunda de modelo de três parâmetros
V <sub>max4par</sub>	Máxima velocidade instantânea oriunda de modelo de quatro parâmetros
VN	Velocidade média de nado
VO <sub>2</sub>	Consumo de oxigênio
VCO <sub>2</sub>	Produção de dióxido de carbono
VO <sub>2max</sub>	Consumo máximo de oxigênio
vVO <sub>2max</sub>	Velocidade em intensidade de VO <sub>2max</sub>
τ	Inércia aeróbia
α	Alfa

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	16
1 OBJETIVOS .....	22
1.1 OBJETIVO GERAL .....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
2 JUSTIFICATIVA .....	23
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	24
3.1 VELOCIDADE CRÍTICA (VC) .....	24
3.2 DOMÍNIOS DE INTENSIDADES (ZONAS DE TREINAMENTO .....	28
3.2.1 Domínio de intensidade moderado.....	29
3.2.2 Domínio de intensidade pesado .....	29
3.2.3 Domínio de intensidade severo .....	30
3.2.4 Escala de cinco domínios de intensidade.....	30
3.3 RESPOSTAS CARDIORESPIRATÓRIAS E METABÓLICAS DE CADA PARÂMETRO NOS MODELOS BIONERGÉTICOS .....	33
3.3.1 Modelo de dois parâmetros .....	33
3.3.2 Modelo de três parâmetros.....	34
3.3.3 Modelo de quatro parâmetros.....	35
3.4 PRESCRIÇÃO DAS VELOCIDADES DE NADO POR MEIO DE UM ESFORÇO MÁXIMO DE 400 m EM NADO CRAWL ( $T_{400}$ ) .....	38
3.5 VELOCIDADE EM $VO_{2max}$ ( $vVO_{2max}$ ) .....	42
3.6 $t_{lim}$ DE PERMANÊNCIA DO NADADOR EM $vVO_{2MAX}$ ( $t_{lim}-vVO_{2max}$ ).....	43
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
5.1 HIPÓTESES .....	50
5.2 DESENHO DE PESQUISA E DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	50
5.3 ASPECTOS ÉTICOS .....	51
5.4 POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	51
5.5 PROCEDIMENTOS DE AQUISIÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	52

5.6	PROCOLOS PARA OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DAS VARIÁVEIS .....	55
5.7	TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	62
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
6.1	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA .....	64
6.2	RESULTADOS DA ETAPA 1 .....	65
6.2.2	Resultados das variáveis fisiológicas $VO_2$ , [La], FC e EP. ....	66
6.2	DISCUSSÃO DA ETAPA 1 .....	73
6.2.1	Discussão das variáveis $t_{lim}$ , $d_{lim}$ e VN .....	73
6.2.2	Discussão das variáveis fisiológicas $VO_2$ , [La], FC e EP.....	74
6.3	RESULTADOS DA ETAPA 2.....	80
6.3.1	Resultados das variáveis $t_{lim_{exaustão}}$ e $d_{lim_{exaustão}}$ .....	80
6.3.2	Resultados das variáveis fisiológicas $VO_2$ , [La], FC e EP .....	80
6.4	DISCUSSÃO DA ETAPA 2 .....	86
6.4.2	Discussão dos resultados referente às variáveis fisiológicas $VO_2$ , [La], FC e EP.....	87
6.5	RESULTADOS DA RELAÇÃO ENTRE A $VC_{4par}$ E A VELOCIDADE DE NADO DO $T_{400}$ ( $V_{400}$ ).....	89
6.5.1	Resultados referente à relação $VC_{4par}$ , $t_{lim_{exaustão}}$ , $d_{lim_{exaustão}}$ e VN de 200, 400, 800 e 1500m.....	89
6.5.2	Resultados referentes à relação entre variáveis fisiológicas $VO_2$ , [La], FC e EP do teste retangular. ....	91
6.5.3	Discussão dos resultados.....	93
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98
	ANEXO 1.....	108
	ANEXO 2.....	111
	ANEXO 3.....	112
	ANEXO 4.....	113

## INTRODUÇÃO

Avaliar sistematicamente a condições física do nadador é fundamental para monitorar os efeitos do treinamento (VILAS-BOAS & LAMARES 1997; OLBRETCH 2000; PYNE ET AL. 2001; SWEETENHAM B, ATKINSON 2003). Neste sentido, monitorar o condicionamento aeróbio, tanto potência quanto capacidade aeróbia, é muito importante para o melhora do desempenho do nadador (DI PRAMPERO et al. 2011).

A potência aeróbia (máxima quantidade de energia química que pode ser transformada pelas estruturas das mitocôndrias por unidade de tempo), é habitualmente avaliada por meio de testes de esforço máximo com uma duração suficientemente prolongada de forma a garantir a participação plena de todas as fontes de energia (MALINA et al. 2004), e o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) é a maneira mais tradicional de avaliar a potência aeróbia (DEKERLE & PELAYO 2011). De acordo com Dekerle & Pelayo (2011), a capacidade aeróbia refere-se à capacidade de manter um alto percentual do  $VO_{2max}$  por um longo período de tempo (DEKERLE & PELAYO 2011), sendo habitualmente avaliada por meio de testes sub-máximos. Compreende-se como a energia química total disponível para gerar trabalho aeróbio, ou seja, o que é levado em consideração é a quantidade de trabalho total realizado independentemente do fator tempo (MALINA et al. 2004). Por exemplo, um atleta “A” pode nadar 7.000 m sem alcançar a exaustão, e assim apresentar uma maior capacidade aeróbia do que o atleta “B” que alcança a exaustão antes de completar 5.000 m. Ainda, o atleta “A” nada 400 metros em 4 minutos (1min à cada 100 m), apresentando uma maior potência aeróbia do que o atleta “B” que nada 400 m em 5 minutos (1min 15 s à cada 100 m).

O condicionamento aeróbio é influenciado pelo  $VO_{2max}$ , pela economia de nado (ou custo energético: definido como o gasto energético total necessário para deslocar o corpo a uma determinada distância) e pela capacidade anaeróbia (DEKERLE & PELAYO 2011), e é um dos principais fatores determinantes do desempenho de nadadores (OLBRETCH 2000; DI PRAMPERO et al. 2011).

A distância de 400 m nadada sob máxima intensidade na técnica de crawl é geralmente sugerida como uma prova na qual o  $VO_{2max}$  é atingido (FERNANDES et

al. 2003a; FERNANDES et al. 2003b; FERNANDES et al. 2006a; FERNANDES et al. 2006b; FERNANDES et al. 2008). As provas mais longas, percorridas fundamentalmente com energia proveniente do metabolismo aeróbio, são percorridas em frações da intensidade relativa ao  $VO_{2max}$ , chegando à 60-65% do  $VO_{2max}$  nas provas de 25 km da maratona aquática (ZAMPARO et al. 2005).

Alguns marcadores fisiológicos utilizados na avaliação de nadadores (como limiar de lactato – LL, e  $VO_2$ ) utilizados para monitorar condicionamento aeróbio têm sua validade claramente justificada (WILLIAMS & JAMES 2001), pois são mensurações diretas (mais precisas) do perfil aeróbio do nadador (HECK et al. 1985; BOSQUET et al. 2002; LIMA et al. 2006). Outros carecem de validade, pois são simplesmente baseados nas correlações com esses marcadores, como por exemplo os testes de 30 ( $T_{30}$ ) e 60 min ( $T_{60}$ ) (DEKERLE & PELAYO 2011). No entanto, conflitos éticos, alto custo e tempo despendido em cada coleta, reduzem a praticidade e a possibilidade de aplicação destas metodologias (LL e  $VO_2$ ) em equipes com grande número de nadadores em uma mesma sessão de treino. Assim, emergem como alternativas para a avaliação e controle de treino, o esforço percebido (EP), o  $T_{30}$  e o  $T_{60}$ , os testes de 2000 e 3000 m ( $T_{2000}$  e  $T_{3000}$ ), a velocidade crítica (VC) e o teste de 400 m ( $T_{400}$ ). Essas são metodologias não invasivas, de fácil aplicação, de baixo custo e apresentam grande validade ecológica, ou seja, refletem as condições reais de nado, pois são aplicados no ambiente e situação de treino, sendo que os dois últimos testes referidos podem também ser obtidos por meio dos tempos obtidos com distâncias oficiais de provas em piscina, bem como em situação de competição (ETTEMA 1966; MADSEN, 1982; OLBRECHT et al. 1985; WAKAYOSHI et al. 1993a; TOURETSKY 1994; WRIGHT & SMITH 1994; FERNANDES & VILAS-BOAS 1999; LIMA et al. 2006; ALBERTY et al. 2006; DEKERLE et al. 2006; PELAYO et al. 2007; DEKERLE & PELAYO 2011).

Em relação aos métodos não invasivos citados (EP,  $T_{30}$ ,  $T_{60}$ ,  $T_{2000}$ ,  $T_{3000}$ ,  $VC_{2par}$  e  $T_{400}$ ), é importante mencionar que ao prescrever intensidades de nado por meio do EP podemos obter informações pouco confiáveis quando aplicamos esta metodologia em nadadores jovens e/ou com pouca experiência. Isto se deve ao fato de haver necessidade de uma boa base de treinamento (longo tempo de prática na modalidade) para se nadar séries extensas com ajustes mínimos de intensidade entre cada repetição (ZACCA et al. 2009).

$T_{30}$ ,  $T_{60}$ ,  $T_{2000}$  e  $T_{3000}$ , por sua vez, são metodologias que exigem manutenção de uma determinada VN por longos períodos, necessitando de perfil fisiológico e psicológico compatível com a demanda do teste (ZACCA & CASTRO 2008).

A utilização da VC como metodologia para prescrição e monitoramento em treinamento de nadadores é muito atrativa pela sua praticidade. Trata-se de um parâmetro que pode ser obtido por meio de modelos bionergéticos de dois, três e quatro parâmetros após o nadador realizar um mínimo de dois testes máximos em distâncias pré-determinadas. A VC obtida por modelo de dois parâmetros ( $VC_{2par}$ ) e intercepto – y (segundo parâmetro), usualmente definido como “capacidade de distância anaeróbia” (ou CDA) pode ser calculada com apenas dois esforços máximos, o que a torna atrativa para as propostas de treinamento, embora o nível de confiabilidade utilizando este método ainda seja discutido (ZACCA et al. 2010, FERNANDES et al. 2010; DEKERLE & PELAYO 2011). Um dos motivos para essa discussão é que, dependendo da combinação de distâncias (esforços máximos) utilizada para plotagem dos dados, o significado fisiológico da  $VC_{2par}$  poderá ser diferente (ZACCA et al. 2010; DEKERLE & PELAYO 2011).

Ao nosso conhecimento, a  $VC_{2par}$  foi descrita pela primeira vez na década de 1960 por Ettema (1966), baseando-se no conceito de potência crítica (PC) descrito por Monod & Scherrer (1965), oriundo do modelo bionergético de dois parâmetros, isto é, modelo matemático que permite estimar  $VC_{2par}$  ou PC, e intercepto-y (ordenada na origem). Ettema (1966) aplicou o conceito de  $VC_{2par}$  em ciclistas, nadadores, patinadores e corredores, tendo sido utilizada inicialmente para determinar a intensidade de exercício que, teoricamente, pudesse ser mantida durante um período de tempo indefinido sem exaustão (MONOD & SCHERRER 1965). A  $VC_{2par}$  também é sugerida como um método válido para predição da capacidade aeróbia em nadadores (FERNANDES & VILAS-BOAS 1999; DEKERLE et al. 2005a), sendo sensível às mudanças fisiológicas provenientes de programas de treinamento aeróbio (JENKINS & QUIGLEY 1991). No entanto, aumentos contínuos na [La] (até  $8,4 \pm 3,4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ), no  $VO_2$  (até  $95 \pm 8 \%VO_{2pico}$ ) na frequência cardíaca (FC) e no EP foram observados por DEKERLE et al. (2010) ao avaliar nadadores durante testes à intensidades constantes (à 100% da  $VC_{2par}$  prescrita com as distâncias de 100, 200, 400 e 800m) até a exaustão. Os resultados descritos na literatura (POOLE et al. 1990; HILL & FERGUSON 1999; GRECO et al. 2008;

DEKERLE et al. 2010) com o objetivo de definir fisiologicamente a VC determinada por modelo bioenergético de dois parâmetros ( $VC_{2par}$ ) situam a mesma no limite inferior do domínio de intensidade severo. Os tempos de exaustão (tempo limite ou  $t_{lim}$ ) registrados em intensidade constante e equivalente à  $VC_{2par}$  variaram de 14 à 60 minutos (HOUSH et al. 1989; McLELLAN & CHEUNG 1992; BRICKLEY et al. 2002; DEKERLE et al. 2010). A  $VC_{2par}$  poderia ser sustentada somente por 14,3 a 39,4 min em nadadores (DEKERLE et al. 2010), e por valores similares em ciclistas (HOUSH et al. 1989; McLELLAN & CHEUNG, 1992; BRICKLEY et al. 2002), sugerindo uma imprecisão do conceito inicial de VC (velocidade que poderia ser sustentada por tempo indefinido sem exaustão).

Há pouca informação sobre a influência do tipo de modelo bioenergético utilizado no valor de VC encontrado. Contudo, o fato do fornecimento de oxigênio depender algum tempo para alcançar um estado de equilíbrio ou máximo torna duvidosa a “imediate” disponibilidade da VC em modelos de dois parâmetros ( $VC_{2par}$ ) (VANDEWALLE et al. 1989; MORTON 1996), pois neste modelo, teoricamente, a velocidade no início do exercício (tempo zero) é igual à todos os demais momentos, não há um aumento gradual. Este comportamento levaria a uma super-estimação desse valor. Como consequência deste lapso de tempo, provavelmente o valor da  $VC_{2par}$  seria superestimado. A fim de fazer esta correção, Morton (1996) propôs um modelo matemático com um parâmetro adicional representando a velocidade no tempo zero, a “máxima velocidade instantânea” ( $V_{max}$  obtida de um modelo de três parâmetros,  $V_{max3par}$ ). Gaesser et al. (1995) também verificaram que o modelo de três parâmetros (modelo matemático que permite estimar além de VC (ou PC) e CDA, também a máxima velocidade ou potência instantânea,  $V_{max3par}$  ou  $P_{max3par}$ ) gerou valores de PC significativamente mais baixos do que o modelo de dois parâmetros, e os sujeitos conseguiram resistir em trabalhos contínuos por maiores períodos. Assim, a VC obtida pelo modelo de três parâmetros ( $VC_{3par}$ ) parece situar-se em uma intensidade mais baixa do que a  $VC_{2par}$ , ou seja abaixo do limite inferior do domínio de intensidade severo, que é onde a  $VC_{2par}$  está situada de acordo com as respostas metabólicas verificadas até então (DEKERLE & PELAYO 2011).

Contudo, ambos os modelos (dois e três parâmetros) apresentam uma importante limitação: a não predição da “inércia aeróbia” ( $\tau$ ) (WILKIE 1980; VANDEWALLE et al. 1989), referente aos ajustes cardiorespiratórios para o  $VO_2$  alcançar seu estado estável ou máximo. Com isso, um modelo de quatro parâmetros

( $VC_{4par}$ ,  $ADC_{4par}$ ,  $V_{max4par}$  e  $\tau$ ) foi proposto por Zacca et al. (2010) com objetivo reparar esta carência dos modelos anteriores. Contudo, a possibilidade de prescrever a  $VC_{4par}$  com apenas um teste único e não muito extenso seria ainda mais atrativo principalmente pela facilidade de aplicação, já que para calcular a VC por meio de modelos bioenergéticos de três e quatro parâmetros são necessários um mínimo de cinco e seis esforços máximos, respectivamente (ZACCA et al. 2010).

Lavoie et al. (1983) renovaram as perspectivas de técnicos e pesquisadores em relação à possibilidade de prescrever intensidades de treinamento para aprimoramento do perfil aeróbio por meio de um único teste de 400 m. Lavoie et al. (1983) verificou uma correlação de 0,92 entre  $VO_2$  medido (utilizando saco de Douglas) durante um teste de 400 m e o  $VO_2$  medido durante os primeiro 20-s de recuperação (ambos em nado *crawl*), sugerindo assim o “teste de 400 metros” ( $T_{400}$ ) como um recurso não invasivo que vem sendo tratado como referência na estimativa da máxima velocidade aeróbia (MVA, ou potência aeróbia) (LAVOIE & MONTPETIT et al 1981; LAVOIE et al. 1983; LAVOIE & LEONE 1988; RODRIGUEZ 2000; PELAYO et al. 2007).

Daniels et al. (1984) introduziram ao treinamento de corrida o termo “velocidade em  $VO_{2max}$ ” ( $vVO_{2max}$ : velocidade mínima necessária para que se alcance o  $VO_{2max}$ ), com objetivo de fornecer um método prático de mensurar a potência aeróbia na corrida. Sugere-se que a mesma é uma variável útil que combina  $VO_{2max}$  e economia de movimento em um único fator que identifica diferenças aeróbias entre vários corredores (CONLEY & KRAHENBUHL 1980; DANIELS et al. 1984). De acordo com Daniels et al. (1984), a  $vVO_{2max}$  explica diferenças individuais no desempenho que o  $VO_{2max}$  ou a economia de corrida, isoladamente, não conseguiriam identificar, ou seja, indivíduos com mesmo  $VO_{2max}$ , por exemplo, podem ter desempenhos de prova distintos.

A  $vVO_{2max}$  já vêm sendo mensurada em natação há alguns anos (HOLMÉR 1971; LAVOIE et al. 1985; VILAS-BOAS 1994; RODRIGUEZ 1999; OGITA 2000), bem como o  $t_{lim}$  de permanência do nadador nessa velocidade ( $t_{lim-vVO_{2max}}$ ) (BILLAT 1996; FAINA et al. 1997 e DEMARIE et al. 2001 em *swimming flume*; e RENOUX 2001, em piscina). Esta intensidade de nado, que é sugerida para aplicação no treinamento, implica em manter o nadador à intensidade de exercício correspondente à sua  $vVO_{2max}$  até a exaustão. Os resultados encontrados com nadadores até então sugerem que esforços realizados em intensidade de  $vVO_{2max}$ ,

têm uma duração ( $t_{lim-vVO_{2max}}$ ) muito semelhante à da prova dos 400 metros nado *crawl* (FERNANDES et al. 2003a; FERNANDES et al. 2003b; FERNANDES et al. 2006a; FERNANDES et al. 2006b; FERNANDES et al. 2008). Neste sentido, assumindo-se algumas limitações na condição de um teste não-invasivo, acredita-se que a  $vVO_{2max}$  possa ser obtida por meio de um único esforço máximo de 400 m nado *crawl*, indo dessa forma ao encontro dos achados de Lavoie et al. (1983). Isto torna as avaliações e prescrições de treinamento de nadadores mais práticas e acessíveis, tanto pelo menor tempo despendido (possibilidade de ser coletado inclusive em situação de competição), quanto pelo custo “zero” para realização do teste.

Partindo-se desses pressupostos estabelecidos, formularam-se os seguintes problemas de pesquisa:

1. Que domínio de intensidade está relacionado às respostas de concentração de  $[La]$ ,  $VO_2$ , FC e EP de nadadores nível nacional ao nadar até a exaustão em VN equivalente à  $VC_{4par}$ ?
2. A relação entre a  $VC_{4par}$  e a VN do  $T_{400}$  em nadadores de nível nacional possibilita a determinação da  $VC_{4par}$  por meio de apenas um  $T_{400}$ ?

## 1 OBJETIVOS

Foram formulados os seguintes objetivos:

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Verificar as respostas metabólicas ao se nadar em intensidade equivalente à  $VC_{4par}$  até exaustão e verificar validade de predizê-la somente por meio do  $T_{400}$ .

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Em testes máximos em nado crawl:

1. Verificar as respostas de FC, [La] e EP nas distâncias de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m;
2. Verificar as respostas de  $VO_2$  nas distâncias de 200, 400, 800 e 1500 m;
3. Mensurar o tempo nas distâncias de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m;
4. Obter a  $VC_{4par}$ ;
5. Obter a VN do  $T_{400}$ ;

Em teste retangular na  $VC_{4par}$  até à exaustão:

6. Verificar as respostas de [La],  $VO_2$ , FC e EP;
7. Identificar o domínio de intensidade relativo à  $VC_{4par}$ ;
8. Identificar a relação entre a  $VC_{4par}$  e a VN do  $T_{400}$ .

## 2 JUSTIFICATIVA

A natação é um esporte que recebe muita atenção dos pesquisadores na tentativa de estabelecer melhores procedimentos de treinamento, apreciação das demandas metabólicas envolvidas e dos determinantes biomecânicos do esporte. Os testes de predição do perfil aeróbio em natação são cercados por uma série de questões, especialmente em relação à validação e aplicação dos mesmos. O estudo envolvendo testes não-invasivos e prescrição de treinamento em natação não é recente, porém é evidente a carência de alternativas não-invasivas práticas e confiáveis que facilitem a determinação de mais de uma intensidade de treinamento, principalmente para serem aplicadas em equipes de base com grande número de nadadores em uma mesma sessão e também para treinadores que não dispõem de muitos recursos financeiros.

Apesar de já terem sido verificadas as respostas metabólicas ao se nadar à 100% da  $VC_{2par}$  (WAKAYOSHI et al. 1992; DEKERLE et al. 2010), as respostas metabólicas da  $VC_{4par}$  ainda necessitam ser investigadas. Esta informação seria de grande valia para o estudo da bioenergética obtida por meio de modelos matemáticos em nadadores, bem como em outros esportes. Ainda, a possibilidade de se obter valores de  $VC_{4par}$  por meio de um teste único necessita de mais investigação. Neste sentido, baseado nas respostas de  $[La]$ ,  $VO_2$ , FC e EP encontradas, identificar em que domínio de intensidade está o exercício realizado pelos nadadores quando nadam à 100% da  $VC_{4par}$ , e também compreender a relação entre  $VC_{4par}$  e a  $V_{400}$ , verificando a possibilidade de prever  $VC_{4par}$  por meio de apenas um teste de 400 m em nado crawl, agregaria informações relevantes para a determinação da VN relacionada à capacidade aeróbia por meio de um teste único ( $T_{400}$ ). A possibilidade de prever VN tanto de potência quanto capacidade aeróbia em um único teste, não muito extenso, com distância utilizada inclusive em competições de natação, seria definitivamente uma bela alternativa de aplicação em equipes com muitos nadadores e/ou com poucos recursos.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão está subdividida em seis sub-ítem:

- 3.1 Velocidade Crítica (VC)
- 3.2 Domínios de Intensidade (Zonas de Treinamento);
- 3.3 Respostas cardiorespiratórias e metabólicas de cada parâmetro nos modelos bionergéticos;
- 3.4 Prescrição das velocidades de nado por meio de um esforço máximo de 400 m em nado crawl ( $T_{400}$ );
- 3.5 Velocidade em  $VO_{2max}$  ( $vVO_{2max}$ );
- 3.6 tlim de permanência do nadador em  $vVO_{2max}$  ( $tlim-vVO_{2max}$ )

#### 3.1 VELOCIDADE CRÍTICA (VC)

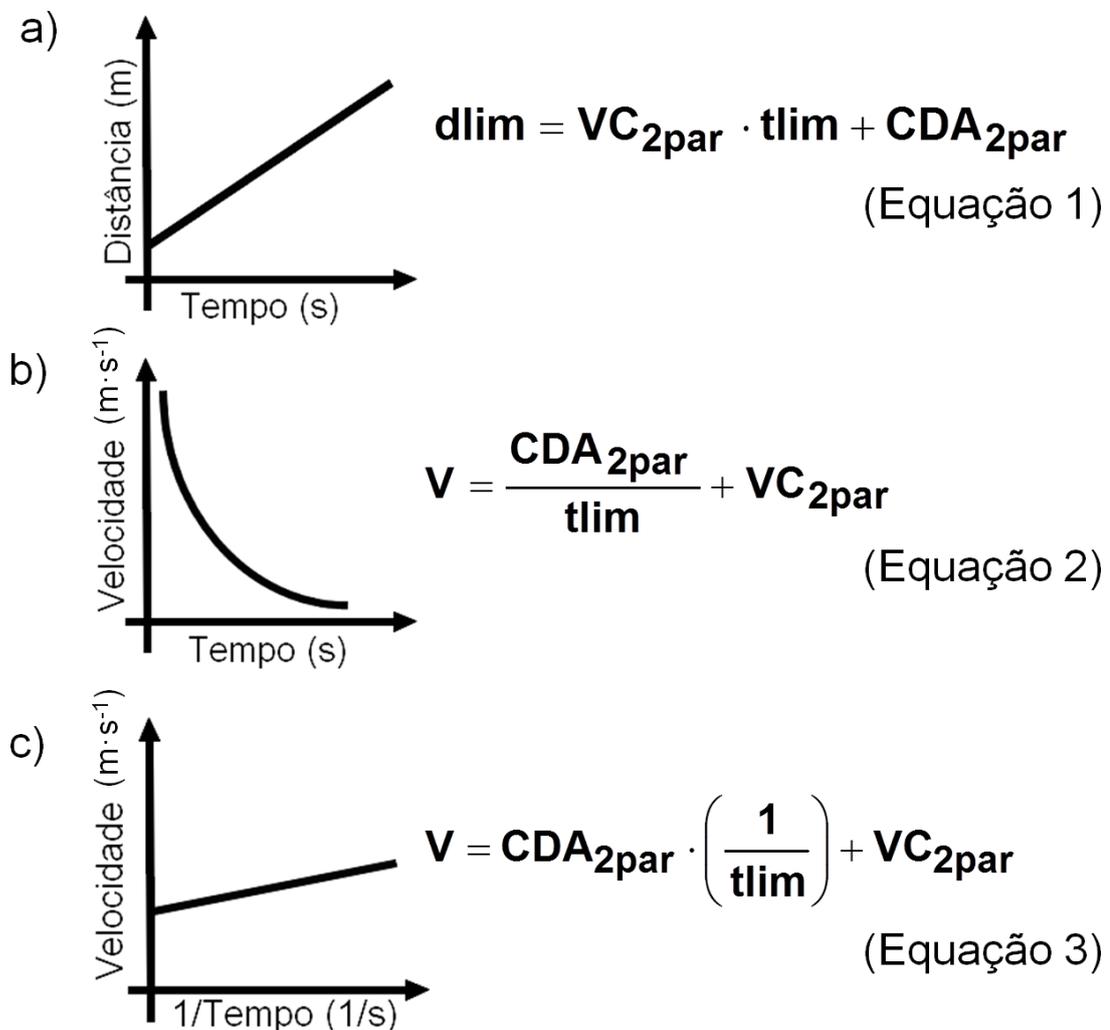
Desde Hill (1927), é aceito que a relação entre potência gerada e tempo até a exaustão é uma hipérbole. A assíntota da potência desta relação (potência crítica ou PC) é equivalente da inclinação da linha de regressão relacionada ao trabalho e tempo de exaustão (tlim) (MONOD & SCHERRER 1965). Desde então, a PC representava, ao menos teoricamente, a maior potência que poderia ser sustentada, cuja energia seria proveniente, preferencialmente, do metabolismo aeróbio sem fadiga, sendo um bom índice de desempenho em eventos de longa duração (VANDEWALLE et al. 1997).

Ettema (1966) aplicou o conceito de PC em ciclistas, nadadores, patinadores de velocidade e corredores substituindo potência por velocidade (v) e trabalho por distância limite (dlim). A assíntota da velocidade da relação hiperbólica entre v e tlim (HILL 1927), ou a inclinação da reta da relação linear entre dlim e tlim (Equação 1), a usualmente chamada velocidade crítica (VC), têm o mesmo significado fisiológico da PC (PEPPER et al. 1992; HOUSH et al. 2001).

Na Equação 1 (Figura 1), a inclinação da linha de regressão corresponde à VC (obtida de um modelo de dois parâmetros -  $VC_{2par}$ ), e o intercepto-y por sua vez, é matematicamente definido como a máxima distância que pode ser percorrida com predomínio do metabolismo anaeróbio, umestoque finito de energia de reserva disponível pré-exercício (ETTEMA 1966; WAKAYOSHI et al. 1992), usualmente

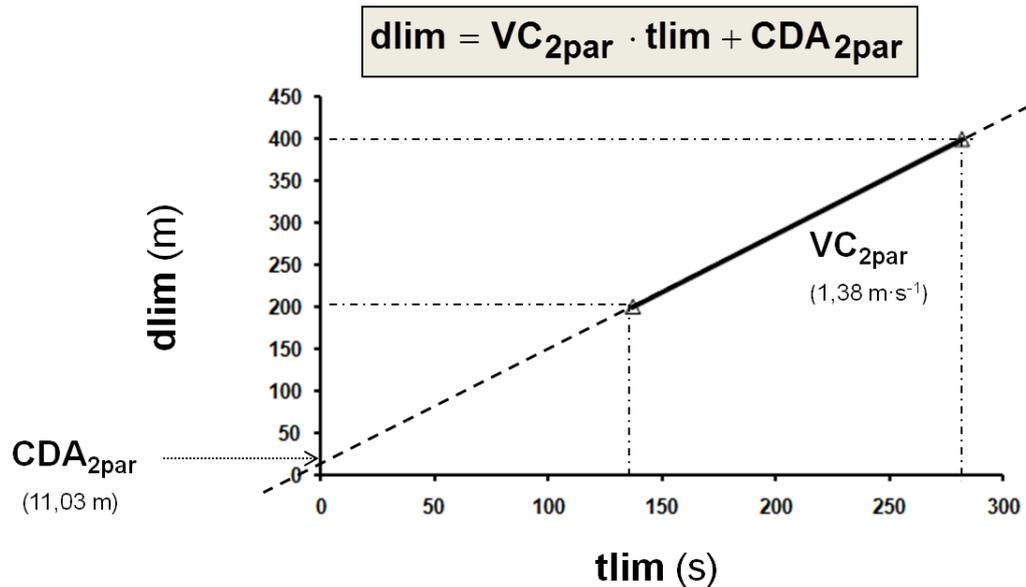
referido na literatura como “capacidade de distância anaeróbia” ( $CDA_{2par}$ ), mas ainda requerem mais estudos para definir seu real significado baseado nas respostas fisiológicas verificadas com os valores preditos pelo respectivo parâmetro.

Tradicionalmente, os métodos mais utilizados para o cálculo da VC por meio de modelos de dois parâmetros são a relação linear distância limite-tempo limite até a exaustão (“dlim-tlim”) (Figura 1a e Equação 1), a relação não linear velocidade-tempo limite até a exaustão (“v-tlim”) (Figura 1b e Equação 2), e a conversão linear da relação hiperbólica que relaciona v e o inverso do tlim (Figura 1c e Equação 3) (ETTEMA 1966; BILLAT et al. 1994a, BILLAT et al. 1999; HOUSH et al. 2001, WHIPP et al. 1982).



**Figura 1:** Visualização gráfica dos métodos mais utilizados para o cálculo da VC por meio de modelos de dois parâmetros: relação linear distância limite-tempo limite até a exaustão (“dlim-tlim”), relação não linear velocidade-tempo limite até a exaustão (“v-tlim”) e conversão linear da relação hiperbólica que relaciona v e o inverso do tlim.

A figura 2 apresenta graficamente um exemplo de plotagem da VC (obtida de um modelo linear de dois parâmetros,  $VC_{2par}$ ) com as distâncias de 200 e 400 m e respectivos tempos (s) de um nadador por meio da relação linear distância limite-tempo limite (“dlim-tlim”), onde a inclinação da linha de regressão corresponde à VC e o intercepto-y corresponde à  $CDA_{2par}$ .

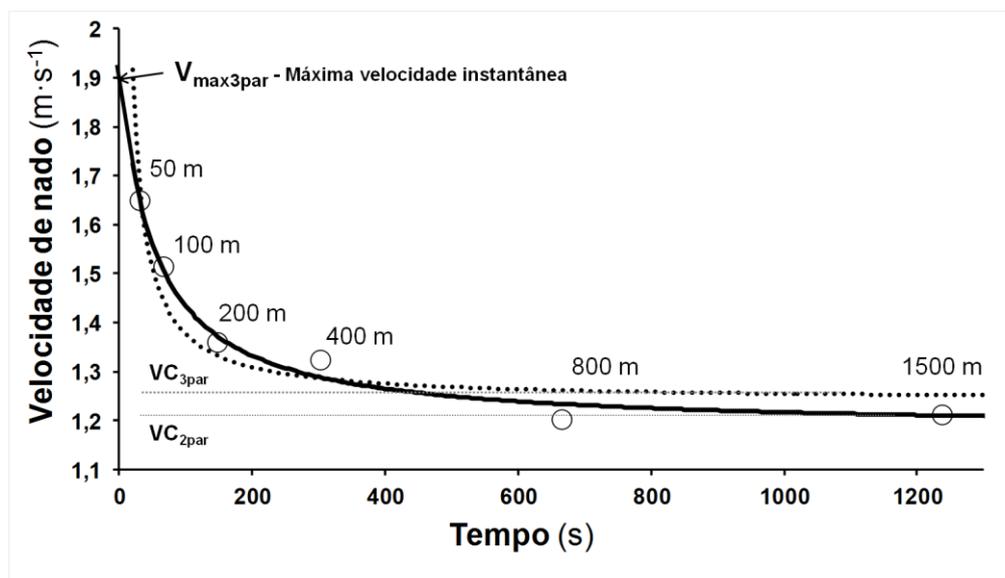


**Figura 2:** Exemplo de representação gráfica da inclinação da linha de regressão corresponde à VC (obtida de um modelo linear de dois parâmetros -  $VC_{2par}$ ) e intercepto-y ( $CDA_{2par}$ ) plotados com as distâncias de 200 e 400 m e respectivos tempos (s) de um nadador.

A fim de superar o assumido de modo incorreto que no modelo hiperbólico a  $v$  é infinita quando o tempo se aproxima de zero, Morton (1996) propôs um modelo matemático incluindo um parâmetro adicional representando a velocidade no tempo zero, ou a máxima velocidade instantânea ( $V_{max}$  obtida de um modelo de três parâmetros,  $V_{max3par}$ ).  $V_{max3par}$  permite uma assíntota tempo ( $t_{lim}$ ) onde  $t_{lim}$  fosse igual a zero, proporcionando assim uma  $V_{max}$  no intercepto-y (MORTON 1996). A Equação 4 expressa  $v$  em função do  $t_{lim}$  (ZACCA et al. 2010; adaptado de MORTON 1996).

$$V = \frac{CDA_{3par}}{t_{lim} + \frac{CDA_{3par}}{V_{max3par} - VC_{3par}}} + VC_{3par} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde  $v$  é a velocidade,  $t_{lim}$  é o tempo e  $CDA_{3par}$ ,  $V_{max3par}$  e  $VC_{3par}$  são parâmetros do modelo. O fato de modelos de dois parâmetros assumirem que não há um limite superior para a produção de potência ou velocidade (MORTON et al. 1996; DEKERLE et al. 2006) faz com que haja preferência por modelos de três parâmetros por parte de alguns autores (GAESSER et al. 1995; BULL et al. 2000; HILL et al. 2003). A Figura 3 exemplifica uma representação gráfica de plotagem dos dados por meio dos modelos de dois e três parâmetros com dados de velocidade e tempo de 50, 100, 200, 300, 400, 800 e 1500 m de nadadores experientes (relação não linear velocidade-tempo limite, “v-tlim”) para obtenção de valores de  $VC_{2par}$  e  $VC_{3par}$ .



**Figura 3:** Representação gráfica da plotagem dos dados por meio dos modelos de dois e três parâmetros com dados de velocidade e tempo de 50, 100, 200, 300, 400, 800 e 1500 m de nadadores experientes (relação não linear velocidade-tempo limite, “v-tlim”), adaptada de ZACCA et al. (2010) para obtenção de valores de  $VC_{2par}$  e  $VC_{3par}$ .

Contudo, ambos os modelos (dois e três parâmetros) apresentam uma importante limitação: a não predição da “inércia aeróbia” ( $\tau$ ) (WILKIE 1980; VANDEWALLE et al. 1989), referente aos ajustes cardiorespiratórios para o  $VO_2$  alcançar seu estado estável ou máximo. Assim, um modelo de quatro parâmetros ( $VC_{4par}$ ,  $ADC_{4par}$ ,  $V_{max4par}$  e  $\tau$ ) como o proposto por Zacca et al. (2010) poderia trazer mais informação sobre o estudo da bioenergética relacionada ao exercício em modelos matemáticos. Zacca et al. (2010) propuseram a plotagem de valores de  $v$  e  $t_{lim}$  usando um modelo de quarto parâmetros (Equação 5) baseado no modelo de três parâmetros (MORTON et al. 1996).

$$V = \frac{CDA_{4par}}{t_{lim} + \frac{CDA_{4par}}{V_{max\ 4par} - VC_{4par} \left(1 - e^{-\frac{t_{lim}}{\tau}}\right)}} + VC_{4par} \left(1 - e^{-\frac{t_{lim}}{\tau}}\right) \quad (\text{Equação 5})$$

A VC foi corrigida neste modelo por um fator exponencial, inicialmente proposto por Wilkie (1980). Este fator exponencial representa a constante tempo do aumento da participação aeróbia, denominada “inércia aeróbia” ( $\tau$ ), compreendida como um atraso temporário na resposta do  $VO_2$ , ocasionado pela dissociação entre  $O_2$  absorvido no pulmão e o consumido especialmente pela musculatura esquelética. A “inércia aeróbia” é identificada nos primeiros segundos do exercício (denominada fase 1 da resposta do consumo de oxigênio), e pode durar aproximadamente 15 a 20 s. Geralmente é associada à vasodilatação, ou seja, o tempo que leva para o organismo aumentar a frequência cardíaca e redirecionar o fluxo sanguíneo (FAWKNER & ARMSTRONG 2003).

A utilização da VC no treinamento de nadadores foi sugerida por ETTEMA (1966), e estudos realizados por pesquisadores na área sugerindo sua utilização continuam sendo publicados (DEKERLE & PELAYO 2011).

### 3.2 DOMÍNIOS DE INTENSIDADES (ZONAS DE TREINAMENTO)

Alguns autores (GAESSER et al. 1996; GRECO et al. 2008) sugerem uma escala de três domínios de intensidades (algumas vezes é referida como zonas de treinamento) e outros (DEKERLE & PELAYO 2011) uma escala de cinco domínios e suas respectivas respostas cardiorespiratórias e metabólicas. De acordo com o Quadro 1, o exercício pode ser realizado em três diferentes domínios de intensidade, tendo como consequência efeitos fisiológicos bem característicos em cada um destes domínios (GAESSER et al. 1996; GRECO et al. 2008).

**Quadro 1:** Domínios de intensidade e respectivas respostas cardiorespiratórias e metabólicas (GAESSER et al. 1996; GRECO et al. 2008).

DOMÍNIOS DE INTENSIDADES	EFEITOS
<b>SEVERO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não há estabilização de nenhuma variável metabólica;</li> <li>• Acúmulo e aumento da relação lactato/piruvato e da concentração de prótons [H<sup>+</sup>];</li> <li>• VO<sub>2</sub> aumenta em direção ao máximo.</li> </ul>
<b>PESADO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [La] tende à estabilizar-se em valores mais altos de concentração;</li> <li>• A eficiência parece ser menor;</li> <li>• Valores de VO<sub>2</sub> elevados (desenvolvimento de um componente lento)</li> <li>• Ainda é possível manter um estado fisiológico estável e realizar exercício por um longo período.</li> </ul>
<b>MODERADO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [La] estabiliza-se rapidamente;</li> <li>• VO<sub>2</sub> apresenta um ajuste rápido;</li> <li>• O indivíduo pode manter esta intensidade por horas sem exaustão.</li> </ul>

### 3.2.1 Domínio de intensidade moderado

Neste domínio a[La] estabiliza-se rapidamente e pode ser mantida quase à níveis de repouso. Similarmente, o VO<sub>2</sub> apresenta um ajuste rápido (1 à 3 min) antes da estabilização, e o indivíduo pode manter a intensidade por horas sem exaustão. As principais explicações para a exaustão no exercício referem-se à depleção de substrato (glicogênio hepático e muscular), alterações relacionadas à hidratação e eletrólitos ou problemas relacionados ao processo de termoregulação (GRECO et al. 2008).

### 3.2.2 Domínio de intensidade pesado

Taxas de produção e remoção do lactato sérico são altas, devido a uma alta demanda metabólica. Consequentemente, a [La] tende a estabilizar em altas concentrações quando comparada com exercícios em intensidade moderada. Além disso, a eficiência no gesto motor específico da modalidade praticada parece ser menor, gerando valores de VO<sub>2</sub> maiores do que a relação linear entre VO<sub>2</sub> e intensidade do exercício que caracteriza o domínio de intensidade moderado (desenvolvimento de um componente lento do VO<sub>2</sub>). Embora o estresse metabólico seja alto, ainda é possível manter um estado de equilíbrio fisiológico e realizar o exercício por um longo período (GRECO et al. 2008). Por outro lado, Baron et al. (2008) verificaram que durante o exercício realizado na máxima intensidade em que ocorre estabilização na [La], ou seja, a máxima fase estável de lactato (MFEL ou

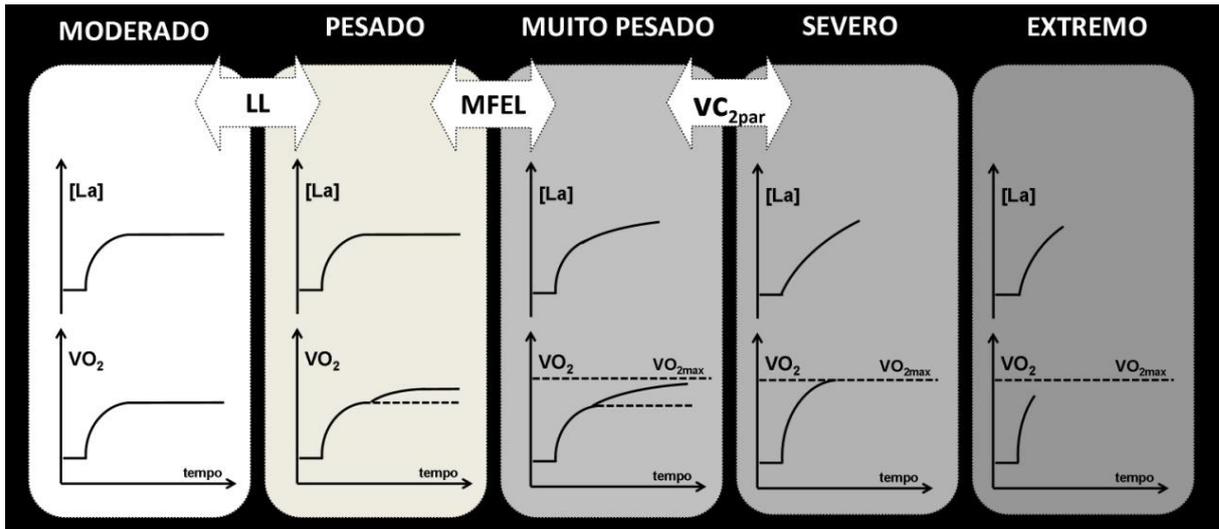
MLSS – maximal lactate steady state), o esgotamento ocorreu enquanto a capacidade de reserva fisiológica ainda existia, mas em associação com um aumento nas avaliações de EP, como previsto pelo modelo regulador central (NOAKES & St CLAIR GIBSON 2004; NOAKES et al. 2005). O encerramento do exercício poderia então ser induzido por um controle homeostático integrador do sistema fisiológico periférico para garantir especificamente a manutenção da homeostase.

### 3.2.3 Domínio de intensidade severo

Não há estabilização nas variáveis metabólicas neste domínio. Especificamente, a taxa de produção de lactato é maior que a taxa de remoção, com conseqüente acúmulo e aumento na relação entre lactato e piruvato e da concentração de prótons ( $[H^+]$ ) (GRECO et al. 2008). Ao mesmo tempo, o  $VO_2$  aumenta em direção ao seu máximo ( $VO_{2max}$ ) e a amplitude do componente lento é muito mais alta do que as que caracterizam os exercícios em intensidade pesada (XU & RHODES 1999). Isto reduz a tolerância ao exercício, com o  $\dot{V}E$  relacionado ao nível de perturbação celular (taxa de produção e remoção dos metabólitos), causada pela alta demanda muscular de adenosina tri-fosfato (ATP) (GRECO et al. 2008).

### 3.2.4 Escala de cinco domínios de intensidade

Dekerle & Pelayo (2011) propuseram uma escala de cinco domínios e suas respectivas respostas cardiorespiratórias e metabólicas. Nesta, limiar de lactato (LL), MFEL e  $VC_{2par}$  podem ser compreendidos como limites que demarcam distintos domínios de intensidade. A Figura 4 apresenta os cinco domínios de intensidade propostos por Dekerle & Pelayo (2011), em que o comportamento da  $[La]$  e do  $VO_2$  é ilustrado em cada domínio.



**Figura 4:** Domínios de intensidades (adaptado de DEKERLE & PELAYO 2011) que mostra a resposta da [La] e da cinética do  $VO_2$  durante o exercício realizado em diferentes VN.

Cada um dos cinco domínios de intensidade propostos por Dekerle & Pelayo (2011) também é caracterizado por respostas fisiológicas agudas específicas. Dekerle & Pelayo (2011) estabelecem o limiar de lactato (LL) como o limite entre o domínio moderado e o pesado. O LL é definido como o primeiro aumento na resposta do lactato à um teste incremental em relação à valores de repouso (WASSERMAN et al. 1990).

#### *Domínio de intensidade pesado*

O exercício é realizado em intensidade equivalentes ao LL, ou um pouco superior, causando um pequeno aumento na [La] (não mais que  $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) nos primeiros minutos, com subsequente estabilização próxima à níveis de repouso ( $\sim 1-2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ). A máxima intensidade de exercício em que ocorra estabilização na [La] é definida como máxima fase estável de lactato (MFEL ou MLSS – maximal lactate steady state, BENEKE 1995). A MFEL é o limite superior do domínio de intensidade pesado (BARSTOW 1994). A MFEL, por sua vez, está situada em uma VN inferior à  $VC_{2par}$  ( $t_{lim} \sim$  de 14,3 à 39,4 min de limite de duração). DEKERLE & PELAYO (2011) acreditam que a menor velocidade que pode ser adotada por nadadores utilizando uma boa técnica, é praticamente igual ao LL.

#### *Domínio de intensidade severo*

Em VN acima da MFEL (limite superior do domínio de intensidade pesado) há aumento na [La], na FC e no  $VO_2$  (ocorrência do componente lento). Inicialmente, era sugerido que o aumento do  $VO_2$  nessas intensidades alcançasse o  $VO_{2max}$  antes da exaustão, o que caracteriza o domínio de intensidade severo. Esta afirmação é

controversa e de difícil investigação devido à baixa confiabilidade do tempo até exaustão obtido em testes em intensidade constante (variabilidade do tlim) (HINCKSON & HOPKINS 2005). As VN equivalentes ao domínio de intensidade severo incluem desempenhos nos quais o  $VO_{2max}$  é atingido ao final do exercício, com o desempenho de 400 m nado *crawl*, a MVA e a  $VC_{2par}$  situando-se dentro desse domínio (BILLAT et al. 2000; DEKERLE et al. 2010).

#### *Domínio de intensidade extremo*

O domínio de intensidade (extremo) inclui desempenhos de durações muito curtas (< 2min). Devido à limitação da resposta do  $VO_2$ , o  $VO_{2max}$  não é atingido durante o exercício, embora a tarefa seja realizada até a exaustão.

#### *Domínio de intensidade muito pesado*

Dekerle & Pelayo (2011) sugerem a subdivisão do domínio de intensidade pesado proposto na escala de 3 domínios (GAESSER et al. 1996; GRECO et al. 2008). Segundo os autores, a faixa de intensidade de esforço associada ao domínio severo é vasta com desempenhos de aproximadamente 2 (limite entre domínio pesado e severo) à 60 min (limite entre moderado e pesado) (BILLAT et al. 2000; DEKERLE et al. 2010) e associada com várias respostas crônicas ao treinamento, ou seja, as adaptações fisiológicas de um período de treinamento em VN relacionadas ao domínio de intensidades próximas à MFEL são diferentes das adaptações ao treinamento induzidas por um período de treinamento em MVA ou acima. Além disso, as respostas fisiológicas ao nadar em intensidades equivalentes ou superiores à MFEL ainda não estão claras, pois não é certo que o  $VO_{2max}$  é atingido. Assim, é justificável fixar ao menos um domínio de intensidade entre a MFEL e a  $VC_{2par}$ : o domínio de intensidade “muito pesado”. Assim, no exercício realizado nesse domínio (muito pesado) observa-se um aumento na [La], bem como a ocorrência do componente lento no  $VO_2$ , mas sem atingir o  $VO_{2max}$  ao final do exercício (DEKERLE et al. 2010). O  $VO_{2max}$  seria atingido se o exercício fosse realizado em intensidade acima da  $VC_{2par}$  e continuado até a exaustão (caracterizando o domínio severo). Assim, a  $VC_{2par}$  representa o limite entre o domínio de intensidade muito pesado e o severo. No entanto, Dekerle & Pelayo (2011) não assumem os cinco domínios e suas respectivas características como definitivo, e sugerem que haja ainda mais experimentos nesses modelos de zonas de treinamento para que técnicos e nadadores possam utilizá-los de forma confiável.

Com base nas informações apresentadas, assumimos que o modelo de cinco domínios de intensidade, apresentado por Dekerle & Pelayo (2011), situe de maneira mais adequada as respostas fisiológicas quando o exercício é realizado em diferentes intensidades.

### **3.3 RESPOSTAS CARDIORESPIRATÓRIAS E METABÓLICAS DE CADA PARÂMETRO NOS MODELOS BIONERGÉTICOS**

Neste sub-ítem apresentaremos os principais resultados encontrados para auxiliar na compreensão das respostas cardiorespiratórias e metabólicas de cada parâmetro nos modelos bioenergéticos de dois, três e quatro parâmetros.

#### 3.3.1 Modelo de dois parâmetros

##### *Velocidade Crítica ( $VC_{2par}$ )*

A PC foi usada inicialmente para determinar uma intensidade de exercício que, teoricamente, pudesse ser mantida durante um período de tempo prolongado sem exaustão (MONOD & SCHERRER 1965). A PC (ou VC em corrida ou natação) mostrou-se válida para predição da capacidade aeróbia (DEKERLE et al. 2005a) e sensível a mudanças fisiológicas provenientes de programas de treinamento aeróbio (JENKINS & QUIGLEY 1991). A PC ou VC determinada por modelo de dois parâmetros ( $PC_{2par}$  ou  $VC_{2par}$ ) representaria o limite inferior do domínio de intensidade severa (POOLE et al. 1990; HILL & FERGUSON 1999; DEKERLE et al. 2010). Poole et al. (1990) verificaram que quando indivíduos realizavam exercício em intensidade relativa à  $PC_{2par}$ , o  $VO_2$  estabilizava-se em torno de 75% do  $VO_{2max}$ . Ainda, estudos (HILL & SMITH 1999; HILL & FERGUSON 1999) investigaram a relação hiperbólica entre potência e tempo para atingir  $VO_{2max}$ , quando os resultados encontrados também sugerem que esta relação (relação hiperbólica entre potência e tempo para atingir  $VO_{2max}$ ) corresponde ao limite inferior do domínio de intensidade severa, ou seja,  $PC_{2par}$  (ou  $VC_{2par}$ ). Assim, a  $VC_{2par}$  é uma intensidade de exercício equivalente ao limite inferior do domínio de intensidade severa.

##### *Capacidade de distância anaeróbia ( $CDA_{2par}$ )*

Compreender o significado fisiológico do parâmetro  $CDA_{2par}$  já foi alvo de muitos estudos (MORITANI et al. 1981; GREEN et al. 1994; MIURA et al. 2000; HEUBERT et al. 2005). Evidências da provável natureza anaeróbia da  $CDA_{2par}$  foram

observadas em ciclistas (GREEN et al. 1994). Ainda em ciclistas, Heubert et al. (2005) encontraram um decréscimo de 60 à 70% nos valores de  $CDA_{2par}$  como resultado de um esforço máximo de 7 s realizado antes de um protocolo de quatro exercícios em intensidade constante (95, 100, 110 e 115% do  $VO_{2max}$ ) para determinação da  $CDA_{2par}$  e  $PC_{2par}$ , quando os valores de  $PC_{2par}$  não se alteraram. Moritani et al. (1981) também não encontraram diferenças nos valores de  $CDA_{2par}$  em resposta à isquemia, hipóxia e hiperóxia. Em relação à depleção prévia de glicogênio, Miura et al. (2000) verificaram um decréscimo nos valores de  $CDA_{2par}$  em ciclo ergômetro. Jenkins & Quigley (1993) encontraram aumento nos valores de  $CDA_{2par}$  em resposta ao treinamento de alta intensidade em indivíduos destreinados, porém os valores de  $PC_{2par}$  não se alteraram. Os valores de  $CDA_{2par}$  também apresentaram aumentos em resposta à suplementação de creatina (MIURA et al. 1999) e demonstraram boa correlação com exercícios predominantemente anaeróbios (VANDEWALLE et al. 1989; JENKINS & QUIGLEY 1991; HILL 1993; DEKERLE et al. 2005b).

Resultados diferentes foram encontrados por Soares et al. (1999) ao avaliar 64 nadadores, quando encontraram diferentes valores de  $CDA_{2par}$  ao utilizar diferentes combinações de distâncias em sua determinação. A variação de  $CDA_{2par}$  com a idade parece não seguir um padrão coerente com o perfil do crescimento da capacidade anaeróbia com a idade como esperado. Estes resultados indicam que ainda são necessários estudos para se estabelecer o nível de confiabilidade deste parâmetro antes de ser implementado ao treinamento de nadadores. Soares et al (1999) acreditavam que 1) deve-se sempre considerar o estado maturacional e de desenvolvimento dos nadadores, 2) levar em consideração a especialidade característica competitiva dos nadadores mais velhos, e 3) usar sempre as mesmas distâncias para realizar a regressão linear da qual será obtido o parâmetro ( $CDA_{2par}$ ), bem como para comparar os valores entre grupos de nadadores.

### 3.3.2 Modelo de três parâmetros

#### *Velocidade Crítica ( $VC_{3par}$ )*

O fato do fornecimento de oxigênio depender algum tempo para alcançar um estado de equilíbrio ou máximo fez com que alguns pesquisadores (VANDEWALLE et al. 1989; MORTON 1996) questionassem a “imediate” disponibilidade da VC em modelos de dois parâmetros ( $VC_{2par}$ ) no tempo zero da regressão linear, ou seja o

valor é o mesmo em todo o intervalo. Como consequência deste lapso de tempo, provavelmente o valor da  $VC_{2par}$  estaria superestimado. Além disso, estudos verificaram que a  $VC_{2par}$  poderia ser sustentada somente por 14,3 à 39,4 min em nadadores (DEKERLE et al. 2010). Estes resultados sugerem que o conceito de  $VC_{2par}$  como a assíntota no eixo do tempo da relação (uma velocidade que poderia ser sustentada por tempo indefinido sem exaustão) não seria adequado.

Há pouca informação sobre obtenção de valores de VC e o tipo de modelo matemático utilizado nos esportes. Morton (1996) sugere que valores de  $VC_{2par}$  podem ser superestimados. Gaesser et al. (1996) também verificaram que o modelo de três parâmetros gerou valores de PC ( $PC_{3par}$ ) significativamente menores, quando os sujeitos conseguiram resistir em trabalhos contínuos por longos períodos de tempo. Assim,  $VC_{3par}$  parece não situar-se no limite inferior do domínio de intensidade severo, necessitando mais investigação. Provavelmente, a  $VC_{3par}$  situa-se abaixo do limite inferior do domínio de intensidade severo.

#### *Capacidade de distância anaeróbia ( $CDA_{3par}$ )*

Vandewalle et al. (1989) questionam a suposição de que no momento da exaustão toda  $CDA_{2par}$  é utilizada, conforme, teoricamente, implicam modelos de dois parâmetros. Assim, o valor da  $CDA_{2par}$  pode estar subestimado (VANDEWALLE et al. 1989; MORTON 1996).

#### *Máxima velocidade instantânea ( $V_{max3par}$ )*

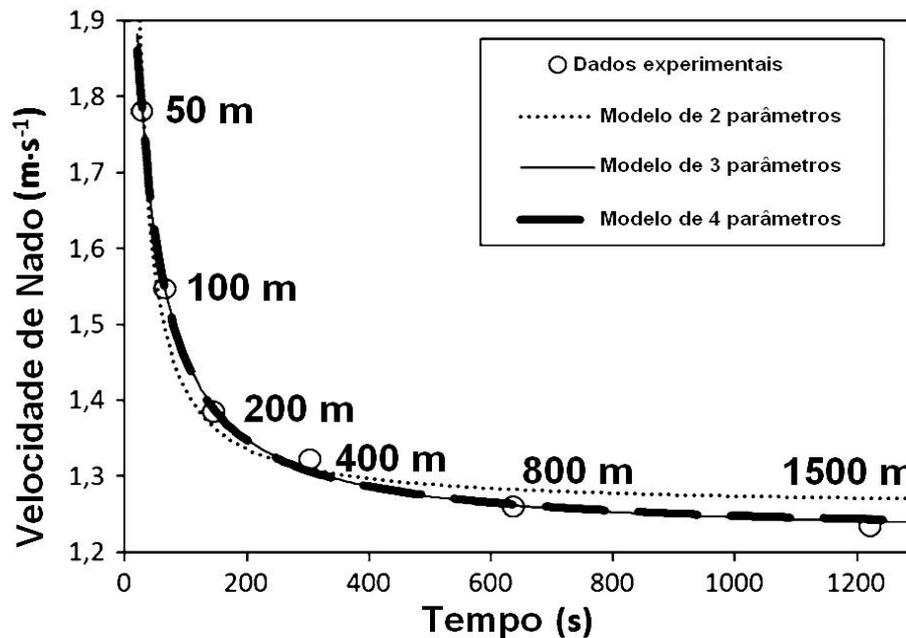
Como consequência do lapso de tempo (“imediate” disponibilidade da  $VC_{2par}$ ), Morton (1996) propôs um modelo de três parâmetros (Equação 4) no qual foi incluído o parâmetro “máxima velocidade instantânea” ( $V_{max3par}$ ). Com a adição do parâmetro  $V_{max3par}$ , o modelo de três parâmetros atende com mais precisão a estimativa de VC (e consequentemente CDA) superando o conceito inicial da relação velocidade-tlim (“v-tlim”); quando tlim aproxima-se de zero, v tende ao infinito (MORTON 1996). O parâmetro  $V_{max3par}$  permite uma assíntota tempo abaixo do eixo-x (eixo da velocidade), onde tempo = zero, e proporciona um valor de  $V_{max3par}$  no intercepto y (MORTON 1996).

### 3.3.3 Modelo de quatro parâmetros

#### *Velocidade Crítica ( $VC_{4par}$ )*

Ambos modelos (dois e três parâmetros) apresentam uma importante limitação: a não predição da “inércia aeróbia” ( $\tau$ ) (WILKIE 1980; VANDEWALLE et al.

1989), relacionada aos ajustes cardiorespiratórios para que o  $VO_2$  alcance seu estado de equilíbrio ou máximo. Assim, um modelo de quatro parâmetros ( $VC_{4par}$ ,  $ADC_{4par}$ ,  $V_{max4par}$  e  $\tau$ ) proposto por Zacca et al. (2010) poderia trazer mais informações sobre a bioenergética em esportes cíclicos. O modelo de quatro parâmetros proposto por Zacca et al. (2010) foi baseado no modelo de três parâmetros e a  $VC_{4par}$  foi corrigida neste modelo por um fator exponencial, inicialmente proposto por Wilkie (1980). Este fator exponencial representa a constante de tempo do aumento da participação aeróbia, a “inércia aeróbia” ( $\tau$ ). Zacca et al. (2010) sugerem que a VC é sensível ao acréscimo de parâmetros em nadadores jovens (93% da variação foi explicada pelos modelos matemáticos). O efeito dos modelos na VC mostrou que a  $VC_{2par}$  foi maior que a  $VC_{3par}$  e a  $VC_{4par}$ . Ainda,  $VC_{3par}$  e  $VC_{4par}$  foram similares (e conseqüentemente as respostas fisiológicas de ambos os modelos também serão similares). Dessa forma, outros estudos são necessários para verificar as respostas fisiológicas de  $VC_{3par}$  e  $VC_{4par}$  em nadadores jovens e provavelmente em outros esportes. A Figura 5 apresenta a plotagem dos dados por meio dos modelos de dois, três e quatro parâmetros com dados de velocidade e  $t_{lim}$  de 50, 100, 200, 300, 400, 800 e 1500 m de nadadores experientes (adaptada Zacca et al. 2010), onde fica fácil observar que os dados se ajustam melhor nos modelos de três e quatro parâmetros. Com isso a  $VC_{2par}$  foi maior que  $VC_{3par}$  e  $VC_{4par}$ , conforme descrito anteriormente. É importante ressaltar que a comparação entre diferentes modelos foi realizada com a mesma combinação de distâncias,



**Figura 5:** Plotagem dos dados por meio dos modelos de dois, três e quatro parâmetros com dados de velocidade e tlim de 50, 100, 200, 300, 400, 800 e 1500 m de nadadores experientes (adaptada de ZACCA et al. 2010).

#### *Capacidade de distância anaeróbia ( $CDA_{4par}$ )*

O conceito de  $CDA_{2par}$  foi inicialmente definido como a máxima distância (m) que poderia ser percorrida anaerobicamente (ETTEMA 1966). No entanto, Costill et al. (1994) define a  $CDA_{2par}$  como o trabalho total que pode ser realizado por um conjunto de potência limitada do corpo humano (fosfágenos, glicólise anaeróbia e as reservas de oxigênio) sugerindo que o sistema energético anaeróbio é predominante, mas não o exclusivo (GASTIN, 2001). Zacca et al. (2010) compararam valores de  $CDA_{2par}$ ,  $CDA_{3par}$  e  $CDA_{4par}$  e os resultados mostraram que a  $CDA_{2par}$  ( $13,77 \pm 2,34$  m) foi menor que  $CDA_{3par}$  e  $CDA_{4par}$  ( $30,89 \pm 1,70$  m e  $27,64 \pm 0,03$  m respectivamente). Além disso, valores de  $CDA_{3par}$  e  $CDA_{4par}$  foram semelhantes. Estes resultados são consistentes com o estudo conduzido por Billat et al. (2000) que também observaram uma subestimação do parâmetro CDA em modelos de dois parâmetros. Dekerle et al. (2002) avaliaram dez nadadores bem treinados (idade:  $18,6 \pm 1,9$  anos) com o objetivo de verificar a possibilidade de determinar  $CDA_{2par}$ , e concluíram que a mesma não é perfeitamente linear e é muito sensível às variações de desempenho, tornando assim impossível a estimativa da capacidade anaeróbia por meio da  $CDA_{2par}$ . Toussaint et al. (1998) também sugerem que a capacidade anaeróbia em natação, obtida pelo modelo de dois parâmetros, não fornece uma estimativa precisa da capacidade anaeróbia real. Assim, parece

claro que os modelos de três e quatro parâmetros parecem ser mais adequados para prever CDA.

#### *Máxima velocidade instantânea*

Há lacunas na literatura com relação a predição da  $V_{\max}$  por modelos matemáticos. Billat et al. (2000) verificaram que a  $V_{\max 3\text{par}}$  não foi diferente da máxima velocidade obtida em um esforço máximo na distância de 20 m. No entanto, Bosquet et al. (2006) sugerem que as estimativas de  $V_{\max 3\text{par}}$  são significativamente inferiores da  $V_{\max}$  real (obtida pela média da velocidade dos últimos 10 m de um esforço máximo de 40 m). Zacca et al. (2010) verificaram que  $V_{\max}$  foi maior em nadadores velocistas do que em nadadores fundistas ( $2,53 \pm 0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $2,07 \pm 0,19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  respectivamente) independente do modelo matemático usado (três ou quatro parâmetros). Zacca et al. (2010) também verificaram que a  $V_{\max 4\text{par}}$  foi maior que a  $V_{\max 3\text{par}}$  ( $2,42 \pm 0,29 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $2,18 \pm 0,34 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  respectivamente), sugerindo futuros estudos para comparar  $V_{\max}$  e  $V_{\max}$  real.

#### *Inércia Aeróbia*

De acordo com Fawkner & Armstrong (2003), a literatura que aborda a cinética do oxigênio ( $\text{O}_2$ ) no exercício em crianças e adolescentes é limitada a poucos artigos e até recentemente foi baseada em dados coletados com adultos. Invernizzi et al. (2008) sugerem que o tempo para alcançar o estado de equilíbrio no  $\text{VO}_2$  após o início do exercício depende das características do sujeito: nadadores de resistência alcançariam este equilíbrio mais cedo do que nadadores velocistas, e crianças alcançariam mais cedo do que adultos. Com isso, o parâmetro inércia aeróbia poderia ser uma boa ferramenta para avaliar desempenho cardiovascular e pulmonar em atletas (KILDING et al. 2006; DUFFIELD et al. 2007).

### **3.4 PRESCRIÇÃO DAS VELOCIDADES DE NADO POR MEIO DE UM ESFORÇO MÁXIMO DE 400 m EM NADO CRAWL ( $T_{400}$ )**

A maioria das distâncias utilizadas em competição não ultrapassa 2 min de duração (eventos de 50, 100 e 200 m). A zona bioenergética relacionada ao  $\text{VO}_{2\max}$ , comumente denominada de potência aeróbia, é considerada relevante na natação (Di PRAMPERO 2003), pelo fato de que a prova de 400 m livre seja realizada em velocidade similar à correspondente ao  $\text{VO}_{2\max}$  (RODRIGUEZ 2000), e com isso as

distâncias adjacentes serão realizadas próximas a esta intensidade. O Conceito de potência aeróbia refere-se à velocidade de síntese de energia de origem oxidativa (ou seja, a potência máxima na qual o sistema oxidativo consegue operar, também conhecida por máxima velocidade aeróbia (MVA oriundo de MAS – *maximal aerobic speed*), disponível para o trabalho muscular, que pode ser mensurada pelo  $VO_{2max}$  (MALINA 2004). Programas de treinamento visando desenvolver a potencia aeróbia em nadadores estão relacionados ao aumento do  $VO_{2max}$  e da habilidade em utilizar um alto percentual do  $VO_{2max}$  por um longo período (LAVOIE & MONTPETIT 1986).

As inerentes dificuldades encontradas para se medir  $VO_{2max}$  em natação (PELAYO et al. 2007) sempre foram um grande desafio dos pesquisadores. Alguns autores acreditam que as técnicas convencionais, apesar de precisas na mensuração do  $VO_2$ , interferem na mecânica de nado (KESKINEN et al. 2003; BARBOSA et al. 2010), impossibilitando o nadador de realizar o movimento para a respiração lateral, podendo alterar a hidrodinâmica, e na maioria das vezes não realizando as viradas olímpicas (MONTPETIT et al. 1981).

Na tentativa de encontrar alternativas para tornar a avaliação de nadadores de natação mais próximas da realidade aplicada nas piscinas, diversos estudos (LAVOIE et al. 1981; LAVOIE et al. 1983; LAVOIE & MONTPETIT 1986; RODRIGUES 2000; TAKAHASHI et al. 2002; TAKAHASHI et al. 2003; TAKAHASHI et al. 2009) vêm sendo realizados visando a possibilidade de prescrever as intensidades de nado por meio de um teste único, mas não muito extenso como o  $T_{30}$ , por exemplo. O método de retro-extrapolação para obtenção dos valores de  $VO_{2max}$  a partir da curva de recuperação do  $VO_2$  (Di PRAMPERO et al. 1976) testado em nadadores por Lavoie et al. em 1983 apresentou uma alta correlação do  $VO_{2max}$  com o tlim de 400 m. Este achado renovou as perspectivas de técnicos e pesquisadores em relação à possibilidade de prescrever intensidades de treinamento por meio de um único teste. A obtenção dos valores de  $VO_{2max}$  por meio da retro-extrapolação consiste na obtenção de valores de  $VO_2$  após o nado e aplicação de uma curva de regressão linear, entre o tempo e os valores de consumo, a fim de predizer o valor de  $VO_2$  quando o tempo fosse zero (LAVOIE & MONTPETIT 1986).

Acredita-se que a alta correlação do  $VO_{2max}$  com o tlim de 400 m encontrada por Lavoie et al. (1983), seja, provavelmente, o primeiro indício do surgimento do teste de 400 m ( $T_{400}$ ) como alternativa não-invasiva. O  $T_{400}$  vem sendo tratado como

referência para estimativa da MVA/potência aeróbia e prescrição das intensidades de treino em natação (MONTPETIT et al. 1981; LAVOIE et al. 1983; RODRIGUES 2000; PELAYO et al. 2007). No entanto, apesar de diversos estudos relatarem o uso do  $T_{400}$  por parte dos técnicos (WAKAYOSHI et al. 1993b; DEKERLE et al. 2005a; ALBERTY et al. 2006; DEKERLE et al. 2006; PELAYO et al. 2007), não foram encontrados estudos mais aprofundados sobre um protocolo de prescrição de intensidades (velocidades) de nado por meio do  $T_{400}$ , ou seja um protocolo que fosse capaz de prever não só VN equivalente à potência aeróbia, mas também VN referente a outras zonas de treinamento (domínios de intensidade).

Ao questionar alguns treinadores brasileiros, verificou-se que estes utilizam um protocolo (de origem desconhecida) baseado no  $T_{400}$  para monitorar e prescrever três VN distintas para nadadores e triatletas. O Quadro 2 apresenta de forma resumida as equações utilizadas para o cálculo das VN para incremento do  $VO_{2max}$ , limiar anaeróbio e limiar aeróbio.

**Quadro 2:** Prescrição dos tempos (s) para as respectivas distâncias (m) por meio do  $T_{400}$  (Referência Bibliográfica desconhecida). Sendo K uma constante onde  $k=0,94$  se o  $t_{lim}$  for entre 3 min 50 s até 4 min 40 s;  $k=0,95$  se o  $t_{lim}$  for entre 4 min 41 s até 5 min 40 s;  $k=0,96$  se o  $t_{lim}$  for entre 5 min 41 s até 6 min 40 s;  $k=0,97$  se o  $t_{lim}$  for acima de 6 min 41 s;  $t$  = tempo prescrito para determinada distância;  $I_{VO2}$  = intensidade prescrita para incremento do  $VO_{2max}$ ;  $I_{LA}$  = intensidade prescrita para limiar anaeróbio e  $I_{LAe}$  = intensidade prescrita para limiar aeróbio.

Objetivo	Legenda estabelecida para o tempo de nado de cada distância utilizada na série	Cálculo para prescrição do tempo de nado de cada distância utilizada na série
<b>SÉRIES PARA INCREMENTO DO <math>VO_{2max}</math> (<math>I_{VO2}</math>)</b>	400 m $(t_{400} I_{VO2})$	$= 400 / (400 / t_{lim} 400m) \cdot k$
	800 m $(t_{800} I_{VO2})$	$= t_{400} I_{VO2} \cdot 2 + 3 s$
	200 m $(t_{200} I_{VO2})$	$= t_{400} I_{VO2} / 2 - 3 s$
	100 m $(t_{100} I_{VO2})$	$= t_{200} I_{VO2} / 2 - 2 s$
	50 m $(t_{50} I_{VO2})$	$= t_{100} I_{VO2} / 2 - 1,5 s$
<b>SÉRIES PARA INCREMENTO DO LIMAR ANAERÓBIO (<math>I_{LA}</math>)</b>	400 m $(t_{400} I_{LA})$	$= 400 / ((400 / t_{lim} 400m) \cdot k) \cdot 0,95$
	800 m $(t_{800} I_{LA})$	$= t_{400} I_{LA} \cdot 2 + 3 s$
	200 m $(t_{200} I_{LA})$	$= t_{400} I_{LA} / 2 - 3 s$
	100 m $(t_{100} I_{LA})$	$= t_{200} I_{LA} / 2 - 2 s$
	50 m $(t_{50} I_{LA})$	$= t_{100} I_{LA} / 2 - 1,5 s$
<b>SÉRIES PARA INCREMENTO DO LIMAR AERÓBIO (<math>I_{LAe}</math>)</b>	400 m $(t_{400} I_{LAe})$	$= 400 / (((400 / t_{lim} 400m) \cdot k) \cdot 0,95) \cdot 0,93$
	800 m $(t_{800} I_{LAe})$	$= t_{400} I_{LAe} \cdot 2 + 3 s$
	200 m $(t_{200} I_{LAe})$	$= t_{400} I_{LAe} / 2 - 3 s$
	100 m $(t_{100} I_{LAe})$	$= t_{200} I_{LAe} / 2 - 2 s$
	50 m $(t_{50} I_{LAe})$	$= t_{100} I_{LAe} / 2 - 1,5 s$

Neste protocolo de  $T_{400}$ , o treinador apenas necessita que o nadador percorra (em situação de treino ou de preferência em situação de competição) 400 m em

máxima intensidade. De acordo com o protocolo, o  $T_{400}$  é capaz de prescrever VN em três intensidades distintas para o treinamento em natação denominadas (1) “limiar aeróbio” ( $I_{LAe}$ ), (2) “limiar anaeróbio” ( $I_{LA}$ ) e (3) “incremento do  $VO_{2max}$ ” ( $I_{VO2}$ ) (OLBRECHT 2000; MAGLISCHO 1999). Para cada intensidade, o protocolo sugere a prescrição de tempos para as distâncias de 50, 100, 200, 400 e 800 m. A VN prescrita pelo  $T_{400}$  para  $I_{VO2}$  situa-se entre 94 e 97% da velocidade de 400 m ( $V_{400}$ ). A VN prescrita para  $I_{LA}$  é sugerida como aproximadamente 90% da  $V_{400}$ . A VN para intensidades de  $I_{LAe}$  situa-se em aproximadamente 84% da  $V_{400}$ .

Percebe-se ao longo desta revisão que a literatura apresenta uma vasta nomenclatura para explicar a resposta da [La] ao exercício. No entanto, apesar de estarem relacionadas com mesmo fenômeno, as respostas fisiológicas são normalmente distintas umas das outras, como por exemplo LL e MFEL mencionadas anteriormente, e  $I_{LAe}$  e  $I_{LA}$  utilizadas neste protocolo. Isto faz com que não seja possível utilizá-las alternadamente.

De acordo com Maglischo (1999) e Olbrecht (2000), as séries em  $I_{LAe}$  geralmente são realizadas em VN que variam desde a intensidade na qual é observada a primeira elevação da [La] acima do nível de repouso até a VN que se situa confortavelmente abaixo da  $I_{LA}$  do nadador. A distância total da série pode variar entre 2.000 e 10.000 m para nadadores adultos, ou 20 a 120 min para categorias mais novas. Pode ser utilizada qualquer distância para séries intervaladas. Em relação aos intervalos de repouso entre cada repetição, sugere-se 5 à 30 s (OLBRECHT 2000). Ainda, nas séries em  $I_{LA}$ , a distância total da série pode variar entre 2.000 à 4.000 m para adultos, ou aproximadamente 30 min para categorias mais novas (MAGLISCHO 1999; OLBRECHT 2000). A distância total para séries intervaladas pode ficar entre 25 e 4.000 m (MAGLISCHO 1999; OLBRECHT 2000). Em relação aos intervalos de repouso entre cada repetição, sugere-se 10 à 30 s (OLBRECHT 2000). Nas séries com o objetivo de incremento do  $VO_{2max}$ , Maglischo (1999) sugere VN ligeiramente acima da  $I_{LA}$  até aproximadamente 95% do melhor desempenho (MAGLISCHO 1999) (domínio de intensidade severo). Sugere-se distâncias entre 25 à 2.000 m para séries intervaladas, com intervalos de repouso entre cada repetição entre 30 s à 120 s (MAGLISCHO 1999). Contudo, os percentuais de VN sugeridos neste protocolo para prescrição das velocidades (intensidades) de treinamento ainda não foram observados em testes retangulares. No entanto, foram observadas semelhanças no tempo de duração e nos percentuais

para prescrição de intensidades entre o  $T_{400}$  e o teste não-invasivo de uma milha aplicado na corrida por Daniels (2005). Daniels (2005) baseou-se na “velocidade em  $VO_{2max}$ ” ( $vVO_{2max}$ ).

### 3.5 VELOCIDADE EM $VO_{2max}$ ( $vVO_{2max}$ )

Embora o  $VO_{2max}$  seja aceito há muito tempo como a variável fisiológica que melhor descreve as capacidades dos sistemas cardiovascular e respiratório (HILL & LUPTON 1923; BILLAT & KORALSZTEIN 1996), a  $vVO_{2max}$  foi mensurada mais tarde (COOPER 1968) com objetivo de fornecer um método prático de mensurar o condicionamento aeróbio na corrida (BILLAT & KORALSZTEIN 1996). Ressaltamos que os primeiros estudos com  $vVO_{2max}$  foram com corredores.

O primeiro teste de campo utilizado para mensurar  $vVO_{2max}$  tinha como objetivo recolocar o teste de 12 min de Cooper (COOPER 1968) como uma alternativa para predição do  $VO_{2max}$  em um esforço único para simplificar os procedimentos e reduzir custos. Cooper (1968) relatou correlação de 0,9 entre  $VO_{2max}$  e distância percorrida no teste de 12 min correndo ou caminhando. No entanto, a motivação e o ritmo são mencionadas como fundamentais para uma boa fidedignidade no teste de 12 min (COOPER 1968). É importante salientar que ao se prescrever intensidades de treino com base nos desempenhos de prova, também é considerado o fator psicológico característico da prova, pois em vez de aplicar testes de laboratório para monitorar estado de treinamento do atleta, utiliza-se o(s) desempenho(s) obtido (s) em eventos competitivos, que é afetado diretamente pela disposição para lidar com o desconforto. Testes baseados em desempenhos de prova refletem tudo que um indivíduo recruta para percorrer determinada distância em uma situação de competição (DANIELS 2005).

O teste de Cooper (1968) baseava-se na relação linear entre velocidade de corrida e  $VO_2$ , quando, ao conduzir o sujeito até a exaustão, tornava-se possível determinar o  $VO_{2max}$ . Billat & Koralsztein (1996) sugerem que a acurácia da predição do  $VO_{2max}$ , ou também sua inacurácia, depende da variação inter-indivíduo do custo energético da corrida, ou seja, o gasto energético total necessário para deslocar o corpo a uma determinada distância.

Daniels et al. (1984) introduziram o termo “velocidade em  $VO_{2max}$ ” ( $vVO_{2max}$ ) sugerindo que a mesma é uma variável útil que combina  $VO_{2max}$  e economia de

movimento (CONLEY & KRAHENBUHL 1980) em um único fator que identifica diferenças aeróbias entre vários corredores ou categorias de corredores. De acordo com Daniels (2005), a  $vVO_{2max}$  explica diferenças individuais no desempenho que o  $VO_{2max}$  ou a economia de corrida isoladamente não conseguiriam identificar, ou seja indivíduos com mesmo  $VO_{2max}$  por exemplo, podem ter desempenhos de prova distintos.

Daniels et al. (1984) verificaram, em corredoras que apresentavam diversas combinações de  $VO_{2max}$  e economia de corrida ( $VO_2$  submáxima), que a  $vVO_{2max}$  foi similar à velocidade média necessária para percorrer 3.000 m (mantida aproximadamente por 9 min). Em um estudo com corredores sub-elite de longa distância, Billat et al. (1994b) mensuraram uma  $dlim$  à  $vVO_{2max}$  de  $2008,7 \pm 496$  m. No entanto os autores ressaltam que há a necessidade de distinguir a corrida total em  $vVO_{2max}$  do tempo de corrida em  $VO_{2max}$  somente. Daniels et al. (1984) calcularam a  $vVO_{2max}$  extrapolando, por meio de uma curva de regressão relacionando velocidade de corrida e  $VO_2$ , até o  $VO_{2max}$ , com a velocidade de corrida que corresponde ao  $VO_{2max}$  sendo identificada. O  $VO_2$  submáximo foi calculado a partir de esforços de 6 min à velocidades de 230, 248 e 268  $m \cdot min^{-1}$  com intervalos de 4 à 7 min entre cada esforço. Mensurou-se  $VO_{2max}$  separadamente em um teste incremental baseado no ritmo de 5.000 m adicionando 1% na velocidade da esteira rolante a cada minuto até o teste ser encerrado, quando os sujeitos relatavam que não conseguiriam correr mais do que 30 s. O maior valor de  $VO_2$  alcançado durante o teste máximo foi considerado o  $VO_{2max}$ .

### **3.6 tlim DE PERMANÊNCIA DO NADADOR EM $vVO_{2MAX}$ (tlim- $vVO_{2max}$ )**

Por vários anos, o foco foi mensurar a  $vVO_{2max}$  durante o nado. No entanto, foram poucas as investigações com o objetivo de determinar o tlim de permanência do nadador nessa velocidade, ou seja, em  $vVO_{2max}$  (tlim- $vVO_{2max}$ ). Este parâmetro do treino, que implica em manter o nadador à intensidade de exercício correspondente à sua  $vVO_{2max}$ , tem sido estudado principalmente pelo grupo de pesquisa de Véronique Billat. Baseados no trabalho pioneiro de Hill & Lupton (1923), Billat & Koralsztejn (1996) definiram esse parâmetro como sendo o tempo máximo em que a  $vVO_{2max}$  é mantida até à exaustão (tlim- $vVO_{2max}$ ).

As dificuldades impostas pelo meio aquático atrasaram consideravelmente a pesquisa na natação e nas modalidades relacionadas. Os primeiros estudos foram realizados em “*swimming flume*” (BILLAT et al. 1996b e FAINA et al. 1997, nadadores e DEMARIE et al. 2001 pentatletas). Ainda, o estudo de Demaire não foi realizado em  $vVO_{2max}$ , mas à uma intensidade mais baixa (96% da  $vVO_{2max}$ ). Os principais resultados obtidos em estudos com “*swimming flume*” sugeriam que:

- a) o  $tlim-vVO_{2max}$  não apresenta grande variabilidade inter-individuos em natação, diferentemente de outras modalidades como a corrida (BILLAT et al. 1994b), e os valores situam-se entre 4.min.45.s e 6.min.15.s;
- b) existe uma relação inversa entre o  $tlim-vVO_{2max}$  e a  $vVO_{2max}$ , similar à encontrada na corrida (BILLAT et al. 1994c) e
- c) observou-se uma relação inversa entre o  $tlim-vVO_{2max}$  e o limiar anaeróbio.

Ao nosso conhecimento, Renoux (2001) conduziu o primeiro teste de  $tlim-vVO_{2max}$  com nadadores de elite em piscina de 25 m. Renoux (2001) verificou que os nadadores conseguiram permanecer nadando em  $vVO_{2max}$  por  $6,09 \pm 1,39$  min. No entanto, Renoux (2001) não realizou mensurações de  $VO_2$ , ficando  $vVO_{2max}$  e  $tlim-vVO_{2max}$  mensurados sem a confirmação do principal critério para que o  $VO_{2max}$  fosse atingindo: a ocorrência do platô no  $VO_2$  independentemente do aumento da velocidade (HOWLEY et al. 1995). Possivelmente, o primeiro estudo realizado com nadadores (dez estudantes universitários) em piscina, e com medida de  $VO_2$  no protocolo para determinação da  $vVO_{2max}$  e  $tlim-vVO_{2max}$  foi realizado dois anos mais tarde por Fernandes et al (2003a). Nos estudos realizados em piscina com ambos os sexos e diferentes níveis de desempenho, alguns resultados vieram ao encontro dos estudos em “*swimming flume*”. Fernandes et al. (2003a, 2003b) sugerem pequena variabilidade do  $tlim-vVO_{2max}$  entre sujeitos de mesmo nível de desempenho, bem como de mesmo nível competitivo (FERNANDES et al. 2006c), entre sexo (FERNANDES et al. 2005), e entre técnicas de nado (FERNANDES et al. 2006a). Ainda, verificaram-se relações inversas entre o  $tlim-vVO_{2max}$  e a  $vVO_{2max}$  (FERNANDES et al. 2003b, FERNANDES et al. 2005, FERNANDES et al. 2006a), e entre o  $tlim-vVO_{2max}$  e o limiar anaeróbio correspondente as concentrações sanguíneas de  $3,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  de lactato (FERNANDES et al. 2003b).

O método para obtenção da  $vVO_{2max}$  de nadadores em piscina mostrou-se válido no estudo apresentado por Fernandes et al. (2003a). Primeiramente, cada

sujeito realizava um protocolo intermitente e individualizado, com incrementos de  $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  à cada estágio de 200 m, intervalos de 30 s entre cada estágio, até a exaustão. O  $\text{VO}_2$  foi mensurado diretamente com auxílio de um ergoespirômetro portátil (K4b<sup>2</sup>, Cosmed, Roma, Itália) conectado ao nadador por um *snorkel* e um sistema de válvulas (KESKINEN et al. 2003). As concentrações dos gases expirados foram mensuradas *breath-by-breath*. Um controlador de velocidade (*visual pacer*, TAR. 1.1, GBK-electronics, Aveiro, Portugal) com luzes no fundo da piscina, foi usado pra ajudar os nadadores a manter a velocidade de nado pré-determinada. Em um protocolo progressivo, o  $\text{VO}_{2\text{max}}$  era considerado como alcançado de acordo com critérios fisiológicos primários e secundários (HOWLEY et al. 1995):

Critério primário:

a) ocorrência de um platô no  $\text{VO}_2$  independente do aumento da VN;

Critérios secundários:

a) níveis de [La] ( $\geq 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ );

b) razão de troca respiratória elevada ( $r \geq 1,0$ );

c) FC elevada ( $\geq 90\%$  da FC máxima);

d) valor de EP elevado (controlada visualmente e caso a caso).

A  $v\text{VO}_{2\text{max}}$  seria, então, a VN correspondente ao primeiro estágio que alcançasse o  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Se um platô menor que  $2,1 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  não pudesse ser observado, a  $v\text{VO}_{2\text{max}}$  era então calculada pela Equação 6 proposta por Kuipers et al. (1985):

$$v\dot{V}\text{O}_{2\text{max}} = V + \Delta V \cdot (n \cdot N^{-1}) \quad (\text{Equação 6})$$

onde V é a velocidade correspondente ao último estágio completado,  $\Delta V$  é o incremento de velocidade,  $n$  indica o número de segundos que os sujeitos foram capazes de nadar durante o último estágio, e N é o tempo pré-estabelecido (em segundos) para este estágio. Após a determinação da  $v\text{VO}_{2\text{max}}$  de cada nadador, seguido de um período de recuperação adequado, aplica-se o teste de *tlim-vVO<sub>2max</sub>*, quando cada nadador tenta manter-se nadando na sua  $v\text{VO}_{2\text{max}}$  (com velocidade controlada) até à exaustão.

Os principais estudos (FERNANDES et al. 2003a; FERNANDES et al. 2003b; FERNANDES et al. 2005; FERNANDES et al. 2006a; FERNANDES et al. 2006b; FERNANDES et al. 2006c; FERNANDES et al. 2008) em natação sugerem que:

a) o  $t_{lim-vVO_{2max}}$  correlaciona-se inversamente com o custo energético, ou seja, apresenta uma relação direta com a economia de nado (FERNANDES et al. 2005);

b) o  $t_{lim-vVO_{2max}}$  correlaciona-se inversamente com a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio individual (FERNANDES et al. 2006a);

c) o  $t_{lim-vVO_{2max}}$  apresenta valores de correlação negativos com o delta lactato, ou seja, com a diferença obtida entre a  $[La]$  final e a  $[La]$  do início do exercício ( $\Delta[La]$ ), assim como com as  $[La]$  máximas (FERNANDES et al. 2008);

d) o  $t_{lim-vVO_{2max}}$  não apresenta correlação significativa com o  $VO_{2max}$  (FERNANDES et al. 2003a; FERNANDES et al. 2003b; FERNANDES et al. 2005; 2006a; FERNANDES et al. 2006b; FERNANDES et al. 2006c);

e) o  $t_{lim-vVO_{2max}}$  depende dos parâmetros biomecânicos gerais, correlacionando-se inversamente com a frequência de braçadas e diretamente com a distância percorrida por ciclo de braçadas e com o índice de nado (produto entre a velocidade média de nado e a distância média percorrida por ciclo de braçada) (FERNANDES et al. 2006b);

f) durante o teste de  $t_{lim-vVO_{2max}}$  há um aumento significativo da frequência de braçadas com uma diminuição acentuada da distância percorrida por ciclo de braçadas (MARINHO et al. 2004, MARINHO et al. 2006).

Estudos em corredores e ciclistas (BILLAT & KORALSZTEIN 1996) verificaram que o  $t_{lim-vVO_{2max}}$  é menor que 12 minutos, e o valor médio é aproximadamente 6 minutos. O Quadro 3 apresenta estudos que mensuraram o  $t_{lim-vVO_{2max}}$  em nadadores.

**Quadro 3:** Estudos que mensuraram o tlim à 100% da  $vVO_{2max}$  em nadadores.

<b>Estudo</b>	<b>n</b>	<b>Tlim</b> (s)	<b><math>vVO_{2max}</math></b> ( $m \cdot s^{-1}$ )	<b>dlim</b> (m)
<b>FERNANDES et al. (2003a)</b>	10 homens (estudantes de Ed. Física)	325 ± 76,5 (4min8s à 6min41s)	1,19±0,08	295,7 à 477,79
<b>FERNANDES et al. (2003b)</b>	15 homens	260,2 ± 60,73 (3min19s à 5min21s)	1,46±0,06	279,26 à 487,8
<b>FERNANDES et al. (2006a)</b>	13 homens	234,49 ± 57,19 (4min17s à 4min51s)	1,45±0,04	257,08 à 422,93
	10 mulheres	231,90 ± 52,37 (3min à 4min44s)	1,35±0,03	242,36 à 383,76
	Total = 23	233,37 ± 53,92 (3min à 4min47s)	1,40±0,06	240,44 à 419,42
<b>FERNANDES et al. (2008)</b>	3 Homens	217,67 ± 20,84 (3min17s à 3min58)	1,55±0,02	301,15 à 374,47
	5 mulheres	258,46 ± 25,10 (3min53s à 4min44s)	1,39±0,02	319,70 à 399,82
	Total = 8 (Seleção Portuguesa de Natação)	243,20 ± 30,50 (3min32s à 4min34s)	1,45±0,08	291,54 à 418,76

Apesar dos interessantes resultados encontrados até então, não é somente a complexidade de mensuração da  $vVO_{2max}$  que prejudica a aplicação desse conceito por treinadores. A utilização da  $vVO_{2max}$  e do tlim- $vVO_{2max}$  nos treinos de natação, por ser uma meta abstrata para os atletas, faz com que uma dlim associada ao tlim- $vVO_{2max}$  se torne mais atrativa.

Os resultados encontrados nos estudos apresentados no Quadro 3 sugerem que esforços típicos da intensidade de esforço relacionada à potência aeróbia, ou seja, esforços realizados  $vVO_{2max}$ , têm uma duração muito semelhante à da prova dos 400 metros nado *crawl*, situando-se entre 4min01s (de 3min17s à 5min21s) (nadadores de elite) e 5min25s (de 4min8s a 6min41s) (nadadores recreacionais). O fato de nadadores mais rápidos serem os que permanecem menos tempo a uma VN correspondente à sua  $vVO_{2max}$ , parece ter duas explicações:

a) o fato de VN mais elevadas implicarem um maior custo energético (FERNANDES et al. 2008);

b)  $vVO_{2max}$  mais elevadas nos melhores nadadores implicam em níveis de exercício mais extenuantes, com maior solicitação do sistema anaeróbio (FERNANDES et al. 2008).

Finalizando, o  $lim-vVO_{2max}$  é mais um parâmetro que pode e merece ser considerado durante o treinamento de natação, especificamente nas sessões de avaliação e controle do estado de treinamento dos nadadores. Este parâmetro, em conjunto com outros indicadores, como o LL, MFEL, EP e os parâmetros biomecânicos gerais, permitem aprimorar a avaliação e a prescrição dos programas de treinamento. Neste sentido, assumindo-se algumas limitações que testes não invasivos trazem consigo, acredita-se que a  $vVO_{2max}$  possa ser obtida por meio de um único esforço de 400 m em nado crawl em máxima intensidade. Assim, as avaliações e prescrições de treinamento de nadadores ficariam mais práticas e acessíveis, não só pelo menor tempo despendido (pode ser coletado inclusive em situação de competição) como também pelo custo “zero” para realização do teste.

Alguns métodos usados para determinar perfil aeróbio têm sido gerados empiricamente à beira da piscina, enquanto outros passam por processos de experimentação científica. No entanto, algumas vezes, a validade do teste para aquilo que ele se propõe a medir não é questionada (WILLIAMS & JAMES 2001). Alguns marcadores fisiológicos, como o LL, têm sua validade explícita, pois são mensurações diretas com coletas de amostras de sangue (invasivas) que evidenciam o nível de estresse fisiológico do nadador. Outras avaliações de perfil aeróbio do nadador foram validadas por meio de critérios muito discretos (ex: simples correlação com LL), que é o caso do  $T_{30}$ , por exemplo. No entanto, métodos práticos sempre têm uma forte validade ecológica, ou seja, eles refletem a condição real de nado, diferentemente de situações laboratoriais. Um método não pode ser considerado válido se não for confiável. Sempre que possível, o grau de confiabilidade deve ser verificado. A obtenção de um valor  $y$  de uma variável  $x$  por meio de outras técnicas, que não a de referência, irá depender do processo de mensuração utilizado.

Três conceitos importantes no contexto estatístico estão relacionados com os resultados desse processo: acurácia, precisão e exatidão. A acurácia é definida como a proximidade da medida em relação ao verdadeiro valor da variável. Por precisão compreende-se como a proximidade entre os valores obtidos pela repetição do processo de mensuração. Com isso, quanto mais acurado for o método ou

protocolo de mensuração, mais próximo o resultado da medida estará do valor verdadeiro. A precisão informará a respeito à repetibilidade das medidas, quanto maior a precisão, menor a variabilidade entre as medidas. A exatidão, portanto, assume dois estados: se o protocolo ou método de obtenção de tal variável é exato ou não (BLAND & ALTMAN 1986).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais e métodos que foram utilizados neste estudo.

### 5.1 HIPÓTESES

Após revisar a produção científica na área, foram formuladas as seguintes hipóteses para este estudo:

1. A  $VC_{4par}$  está situada em uma zona inferior ao limite inferior do domínio severo, ou seja, em uma intensidade abaixo do  $VO_{2max}$ .
2. A relação entre a  $VC_{4par}$  e a  $VN$  do  $T_{400}$  ( $V_{400}$ ) em nadadores de nível nacional possibilita a determinação da  $VC_{4par}$  por meio de apenas um  $T_{400}$ .

### 5.2 DESENHO DE PESQUISA E DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Este estudo caracterizou-se como *ex-post-facto*, de corte transversal, cujas variáveis foram as seguintes:

- a) **Variáveis de caracterização da amostra:** sexo, idade, massa corporal, estatura, envergadura, percentual de desempenho relativo ao recorde mundial na prova de 400 m em piscina de 25 m e experiência competitiva;
- b) **Variáveis independentes:**  $d_{lim}$ ,  $VN$ ,  $VC_{4par}$ ;
- c) **Variáveis dependentes:**  $t_{lim}$ ,  $VO_2$ ,  $FC$ ,  $[La]$  e  $EP$ ;
- d) **Variáveis de controle:** temperatura da água das piscinas onde foram realizados os testes e hora do dia de realização dos mesmos.
- e) **Variáveis intervenientes:** temperatura ambiente, treinos realizados pelos atletas desde o início da temporada até o último dia de testes, maturação, nível de condicionamento dos participantes, relacionado aos treinamentos realizados à época das coletas de dados e o nível de motivação dos mesmos em realizar esforços máximos.

### 5.3 ASPECTOS ÉTICOS

O presente projeto foi encaminhado ao Comitê de Ética em Pesquisa, visando adequação de sua metodologia aos aspectos relacionados com os princípios éticos, bem como a estarem de acordo com a resolução n. 196/96 do Conselho Nacional de Saúde sobre pesquisa envolvendo seres humanos, e aprovado sob o número 20441 (Anexo 2)

Por tratar-se de um estudo desenvolvido com seres humanos, os indivíduos participantes receberam um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo 2) explicando sobre os riscos e benefícios da participação no estudo, bem como os protocolos aos quais foram submetidos, o qual foi assinado por um responsável legal já que os participantes eram menores de idade.

### 5.4 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A população deste estudo é composta de nadadores competitivos juvenis (15 - 16 anos) de ambos os sexos. O tamanho amostral foi definido a partir da Equação 7, que o indica de acordo com o erro tolerado de medida para cada variável a ser estudada.

$$n = \frac{Z^2 * DP^2}{e^2} \quad \text{(Equação 7)}$$

onde  $n$  é o tamanho da amostra,  $Z$  é o valor tabelado em relação ao nível de significância deste estudo (1,96 para  $\alpha = 0,05$ ),  $DP$  é o desvio-padrão da variável em questão, obtido da literatura específica e  $e$  o erro de medida tolerado (estimado em 5%) e aplicado sobre a média da variável em questão obtida da literatura. Os estudos utilizados para a obtenção dos valores de média e desvio-padrão apresentam metodologias similares às propostas neste projeto. Em relação as variáveis que entram no cálculo da amostra, o  $n$  calculado e o estudo do qual foram obtidos os valores de média e de desvio-padrão estão no Quadro 4.

**Quadro 4:** Variável, estudo fonte dos dados e n calculado para definição do tamanho da amostra. VN: velocidade de nado; FC: frequência cardíaca; VO<sub>2</sub>: consumo de oxigênio; [La]: concentração de lactato sanguíneo e EP: esforço percebido.

Variável	Estudo fonte	N calculado
VN	DEKERLE et al. (2010)	9
FC	RIBEIRO et al. (2010)	7
VO <sub>2</sub>	FERNANDES et al. (2006)	5
[La]	RIBEIRO et al. (2010)	12
EP	DEKERLE et al. (2010)	9

Considerando a maior amostra encontrada pelo cálculo proposto (12 indivíduos para a variável [La]), 12 indivíduos seriam suficientes para a obtenção dos dados. Tomou-se o cuidado para que a amostra fosse o mais homogênia possível em relação ao nível competitivo. Assim, a amostra deste estudo foi composta por 8 nadadores e 4 nadadoras, com no mínimo seis anos de experiência na modalidade. e participantes de final “A” em Campeonatos Brasileiros em suas provas (oito melhores do Brasil).

Os participantes eram de equipes filiadas à Confederação Brasileira de Desportos Aquáticos e estavam treinando normalmente, sem interrupções no período das coletas. Os atletas mantinham uma frequência semanal de cinco – seis sessões de treinos e um volume por sessão de 3.800 à 6.000 m. Todos estavam no período de base em seus treinamentos e já haviam realizado em média  $29 \pm 10$  sessões de treino até o início das coletas. Todos os atletas realizavam trabalhos físicos fora d’água. A planilha de planejamento e execução dos treinos desde o início da temporada até o último dia de testes é apresentada no ANEXO 3.

## 5.5 PROCEDIMENTOS DE AQUISIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Os procedimentos foram divididos em duas etapas. Inicialmente o projeto previa a realização de todos os experimentos das duas etapas em piscina de 25 m ao ar livre, no Clube Grêmio Náutico União, localizado na cidade de Porto Alegre. No entanto a segunda e última etapa necessitou ser realizada na piscina de 25 m do Centro Natatório da UFRGS. Ainda, um nadador da amostra apresentou problemas de saúde e teve que ser excluído da segunda etapa.

**primeira etapa:** A primeira etapa teve duração de seis dias. Inicialmente foi realizada a coleta dos dados antropométricos para caracterização da amostra. A seguir, os nadadores permaneciam deitados em colchonetes próximos à piscina

durante 10 minutos para que as informações de repouso ( $VO_2$ , [La], FC e EP) fossem coletadas (momento repouso). Na sequência cada atleta realizava o seguinte aquecimento em baixa intensidade e em técnicas variadas, definido pelo treinador, que foi utilizado em todas etapas deste estudo para todos os nadadores:

**500 m**

-50 m crawl em baixa intensidade

-25 m palmateio

-25 m perna livre

**4 x 50 m Técnica**

-25 m progressivo

-25 m regressivo

**3 x 15 m velocidade 100%**

**75 m solto**

**Total: 820 m**

Em seguida os nadadores realizavam uma nova coleta ( $VO_2$ , [La], FC e EP) (momento pré). Logo após o término da coleta do momento pré, cada atleta realizava um dos testes propostos para esta etapa, na técnica de crawl e em máxima intensidade (50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m, em ordem randomizada). Imediatamente após a conclusão de cada teste máximo, iniciavam-se as coletas do momento pós. Nos testes de 50, e 100 m as variáveis coletadas nos momentos “repouso”, “pré” e “pós” foram FC, [La] e EP. Nos testes de 200, 400, 800 e 1500 m as variáveis coletadas foram FC, [La], EP e  $VO_2$ . Em todos os testes, o desempenho ( $t_{lim}$ ) foi mensurado, para posteriores cálculos das VN e da  $VC_{4par}$ . A  $VC_{4par}$  foi a VN utilizada na segunda etapa. A seguir, cada atleta encerrava o seu treinamento diário de acordo com a solicitação do treinador. Estes procedimentos se repetiam, com um intervalo de 24h, até que os seis testes máximos fossem concluídos.

**segunda etapa:** A etapa necessitou de dois dias para ser concluída. Após um intervalo mínimo de 24 h do término da primeira etapa, os nadadores novamente permaneciam deitados em colchonetes próximos à piscina durante 10 minutos para que as informações de repouso fossem coletadas (momento repouso). Na sequência cada atleta realizava o mesmo aquecimento já descrito. Em seguida os atletas realizavam uma nova coleta (momento pré). Logo após o término da coleta do momento pré, cada atleta realizava um teste retangular, ou seja, um teste em VN constante (“x” repetições de 10 min,  $\leq$  seis, isto é, até um máximo de seis repetições

de 10 min) em VN equivalente à  $VC_{4par}$  prescrita com os valores de distância (dlim) e VN de cada uma das distâncias (50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m). O teste retangular era realizado em nado crawl, com 45 s de intervalo entre cada bloco de 10 min, e a VN era controlada por meio de um monitor visual de velocidade (Technical Instrument for Cicle Observation<sup>®</sup>). Durante o teste retangular, os valores de  $VO_2$ , FC, [La], EP e distância percorrida eram mensurados imediatamente após cada repetição de 10 min. A exaustão (tlim) era identificada quando o nadador não conseguisse mais permanecer nadando acima dos *leds* do monitor visual de velocidade por pelo menos 25 m, sendo que o mesmo era avisado imediatamente pela equipe envolvida na coleta, devendo nadar até a borda da piscina onde as coletas eram realizadas. Imediatamente ao final do teste retangular, eram mensurados os valores pós teste de  $VO_2$ , FC, [La] e EP, dlim e tempo total até exaustão. A fim de facilitar a visualização da sequência dos procedimentos de coleta, processamento e análise dos dados, as Figuras 6 e 7 apresentam um *design* temporal explicativo da primeira e segunda etapa deste estudo.



Figura 6: Design temporal explicativo da primeira etapa deste estudo.

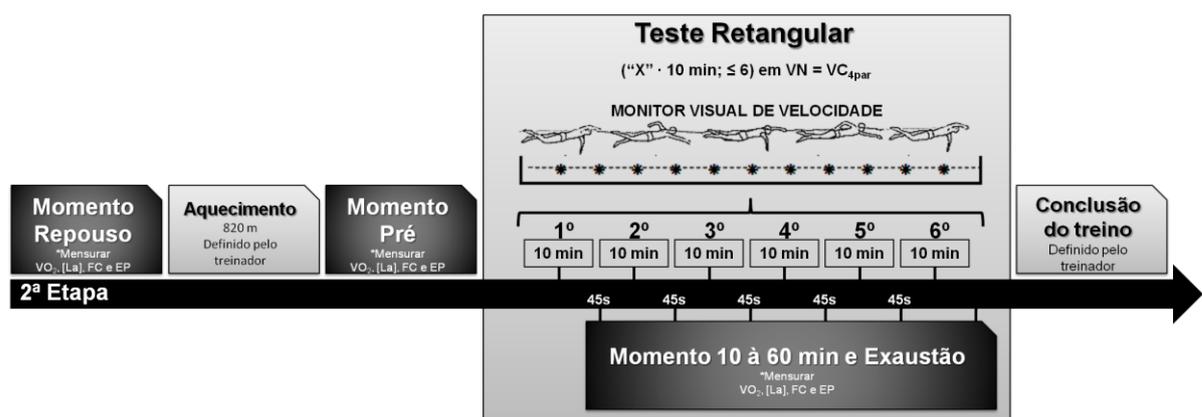


Figura 7: Design temporal explicativo da segunda etapa deste estudo.

Na primeira etapa a temperatura da água e a temperatura ambiente foram respectivamente  $29,6 \pm 0,9$  e  $31,8 \pm 3,2$  graus centígrados. Na segunda etapa a

temperatura da água e a temperatura ambiente foram respectivamente  $28,5 \pm 0,7$  e  $31,2 \pm 3,2$  graus centígrados.

## 5.6 PROTOCOLOS PARA OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DAS VARIÁVEIS

Neste subcapítulo são abordadas mais detalhadamente cada protocolo de coleta de cada variável durante as duas etapas.

**Dados Antropométricos:** as seguintes características físicas dos participantes foram obtidas no início da primeira etapa: massa corporal obtida quando o participante, trajando apenas sunga (nadadores) ou maiô (nadadoras) de natação, permaneceu em pé, com um mínimo de oscilações corporais, de frente para o avaliador, sobre a balança da marca Filizola (Modelo 31). Estatura foi obtida quando o participante permaneceu em pé, posicionado sobre a balança e de costas para a régua, utilizando-se o estadiômetro (Filizola). A envergadura foi mensurada com o participante na posição em pé, encostado em uma parede do ambiente de avaliação, com ombros abduzidos a  $90^\circ$ , cotovelos, punhos e dedos em extensão, ao longo de uma régua de 300 cm de comprimento. A máxima distância entre as extremidades das mãos (terceiro dedo) foi considerada como a envergadura.

**Tempo nos testes máximos e tlim no teste retangular:** Foram utilizados três cronômetros manuais (Seiko S140, resolução de 1/100) para verificar os tempos nos testes máximos (50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m) e no teste retangular. No teste retangular mensurou-se o tlim alcançado no momento da exaustão ( $t_{lim_{exaustão}}$ ), subtraindo os intervalos de entre cada estágio de 10 min. Somava-se ao tlim alcançado no momento da exaustão o tempo necessário para o nadador completar a volta restante após o aviso de que o tempo do estágio que ele estivesse havia encerrado, bem como quando ele era avisado de que o teste havia sido encerrado por incapacidade de o participante manter a velocidade prescrita para o teste. Tomou-se o cuidado para que os nadadores estivessem muito motivados para realização dos testes máximos.

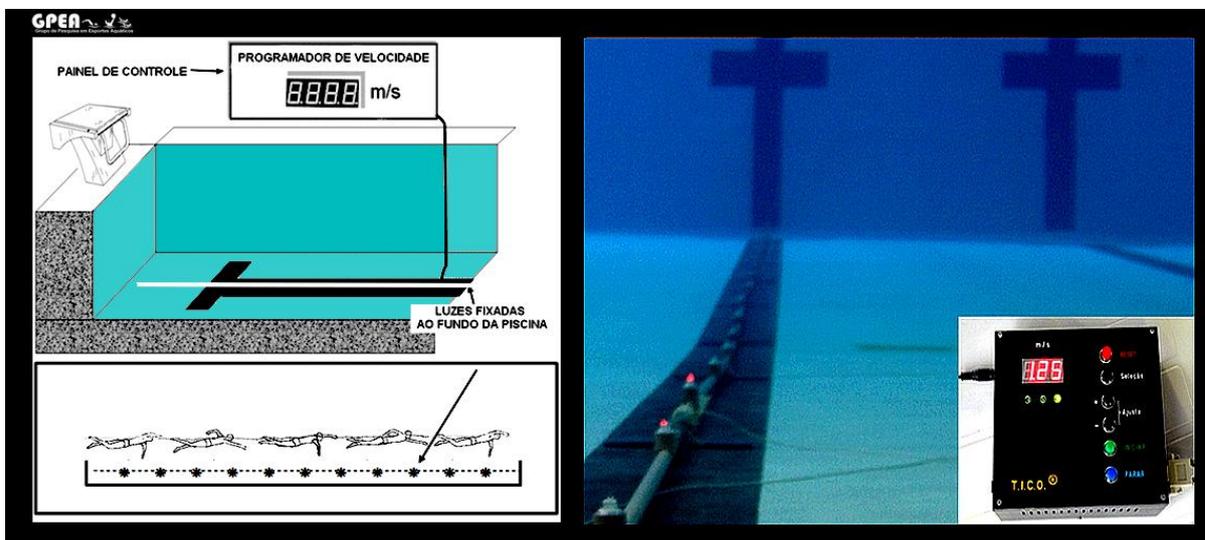
A saída nos testes máximos foi de cima do bloco e a saída no teste retangular foi da borda, ambas sob voz de comando. A cronometragem foi realizada por três cronometristas experientes.

**dlim alcançado na exaustão no teste retangular ( $dlim_{\text{exaustão}}$ ):** foi mensurado a distância nadada durante o teste retangular para cada atleta.

**Cálculo do valor de Velocidade Crítica ( $VC_{4\text{par}}$ ):** a  $VC_{4\text{par}}$  para cada nadador foi calculada por meio da Equação 5 (página 28) proposta por ZACCA et al. 2010 (adaptada de MORTON 1996), utilizando os valores de  $dlim$  e  $VN$  de cada um dos seis testes máximos, que foram calculadas pela razão entre cada uma das distâncias nadada (m) e seu respectivo  $tlim$  (s).

**Cálculo das  $VN$  nos testes máximos:** as  $VN$  de cada teste máximo ( $m \cdot s^{-1}$ ) foram calculadas pela razão entre a  $dlim$  (m) de cada teste máximo e seu respectivo  $tlim$  (s).

**Controle da Velocidade de Nado ( $VN$ ) no teste retangular:** As  $VN$  previamente prescritas ( $VC_{4\text{par}}$ ) foram controladas por um monitor visual de velocidade (Technical Instrument for Cicle Observation®), constituído de luzes fixadas à cada um metro no fundo da piscina. O monitor visual de velocidade foi previamente programado na  $VN$  desejada, para que o nadador se deslocasse em  $VN$  constante. A Figura 8 apresenta o monitor visual de velocidade.



**Figura 8:** Diagrama esquemático do Monitor visual de velocidade (esquerda) e sua visualização ao fundo da piscina (direita).

**Variáveis Fisiológicas:** A coleta dos dados de consumo de oxigênio, lactato sanguíneo, frequência cardíaca e esforço percebido foram realizadas de acordo com os protocolos a seguir:

### **VO<sub>2</sub> nos esforços máximos de 400, 800 e 1500 m e no teste retangular:**

O VO<sub>2</sub> foi mensurado por meio de um analisador metabólico de gases VO2000<sup>®</sup> (Portable Metabolic Testing System, MEDGRAPHICS; Medical Graphics Corporation, Saint Paul, Minnesota – USA; *Medição de volume*: Pneumotacógrafo preVent; Tubo de Pitot bidirecional; Intervalo de fluxo baixo: 2 a 30 l/min; Intervalo de exercício: 20 a mais de 200 l/min; Precisão: ± 3% de volume absoluto; *Analisador de O<sub>2</sub>*: Tipo: Célula de combustível galvânico; Faixa: 0-96%; Precisão: ±0.1%; *Analisador de CO<sub>2</sub>*: Tipo: Infra-vermelho não dispersivo; Faixa: 0-10%; Precisão: ± 0.2%). O VO2000<sup>®</sup> é um transdutor para análise metabólica, auto-calibrável, que opera via software Aerograph ou BreezeSuite. Neste estudo utilizamos o software “Aerograph” (AeroSport Inc., Michigan – USA); (Figura 9).



**Figura 9:** Analizador metabólico de gases VO2000<sup>®</sup> (Portable Metabolic Testing System, MEDGRAPHICS; Medical Graphics Corporation, Saint Paul, Minnesota – USA).

Os dados do software transferidos para o computador foram exportados para o Excel para posterior tratamento dos mesmos. Os testes com o VO2000<sup>®</sup> podem ser realizados utilizando-se um bocal, uma máscara de neoprene ou máscara de silicone. Optou-se pelo bocal devido à dificuldade de fixação da máscara de neoprene no nadador durante o ensaio piloto. Desta forma, utilizou-se também um “nose clip”.

O VO2000<sup>®</sup> extrai e mede micro amostras da expiração pelo método de taxa de respiração ou pelo método taxa de tempo. As medições pelo método taxa de respiração opcionais são à cada 3, 6 ou 9 ciclos respiratórios (valor médio das mesmas) e pelo método taxa de tempo opcionais são 10, 20, 30, 40, 50 e 60 segundos (valor médio no período). Neste estudo, todos os registros foram realizados pelo método de taxa média de taxa de respiração de três ciclos respiratórios. A geração dos dados metabólicos produzidos são enviados para o computador, em tempo real, via porta serial.

O volume foi medido através do pneumotacógrafo externo conectado via linhas de ar (mangueiras) ao sensor (interno) de volume expirado do VO2000<sup>®</sup>. Um pneumotacógrafo de médio fluxo foi utilizado para todos os momentos. A escolha do pneumotacógrafo se deu durante o estudo piloto, quando foram realizadas as coletas do mesmo intervalo repouso com pneumotacógrafos pequeno e médio, e não encontramos diferenças nos valores de VO<sub>2</sub>.

Para garantir que os valores mensurados não fossem influenciados por uma auto calibração imprecisa, a calibração do aparelho foi feita antes de cada avaliação por meio de concentrações de gases conhecidas (oxigênio: 16,08%; gás carbônico: 5,01%; nitrogênio: balanço) com um mini cilindro de 1,000 m<sup>3</sup> (Nº 380111 WHITE MARTINS Gases industriais Ltda.), deslocado até o local dos experimentos, sendo os valores de concentração obtidos pelo procedimento SDTP (*Standart Temperature and Pressure Dry*). No aparelho também há um sensor de pressão atmosférica, para as necessárias correções das frações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> presentes na atmosfera do ambiente das coletas. Ainda, o VO2000<sup>®</sup> também possui um sensor eletrônico de temperatura interna para a realização das mensurações de VO<sub>2</sub>. A recomendação do fabricante é de que o aparelho inicie as avaliações após estar aquecido por no mínimo 30 min, a fim de garantir a melhor qualidade na leitura dos resultados internamente. Nesse sentido, a primeira avaliação somente foi realizada após, pelo menos, 30 min do aparelho ser ligado. A fim de garantir que os gases mensurados fossem exclusivamente os expirados pelos nadadores, foi estabelecido um espaço morto de 10 s. O espaço morto refere-se aos gases que estão situados a frente dos gases que serão expirados pelo nadador. Assumimos dessa forma que a não utilização dez segundos iniciais para cálculo dos valores de VO<sub>2</sub> (primeira amostra de tempo fixo de 10 s) foi suficiente para garantir que o sistema avalie apenas os gases expirados pelo nadador.

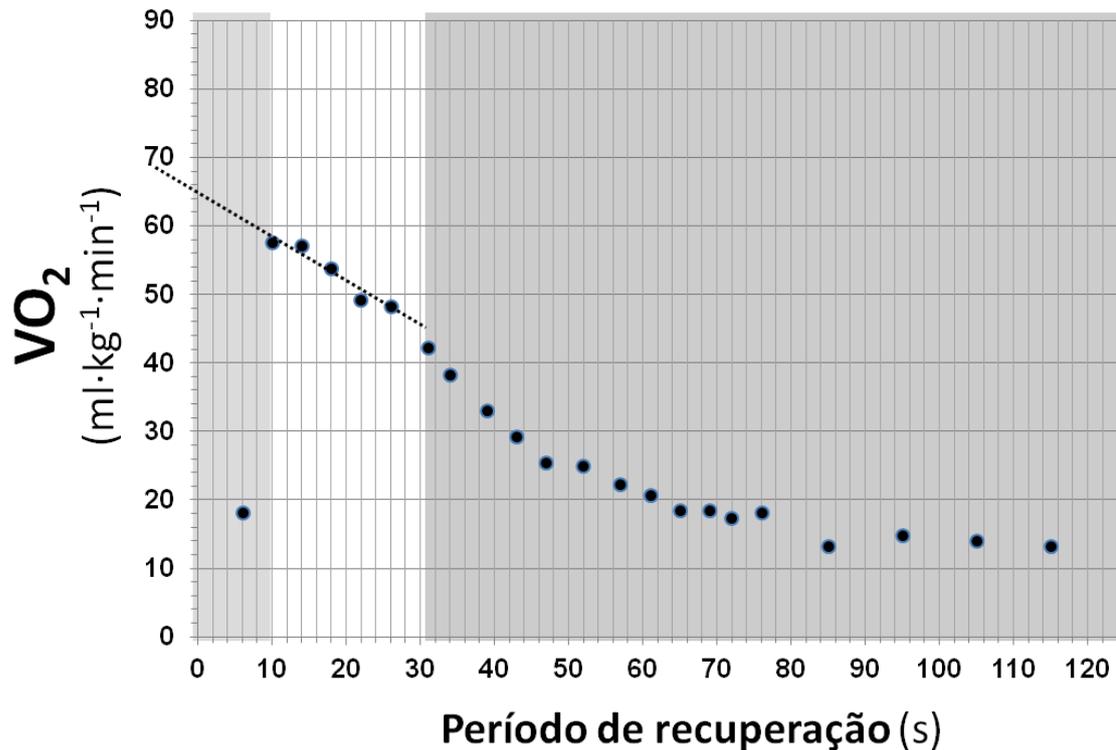
**Momento Repouso:** Individualmente os nadadores ficaram deitados em decúbito dorsal durante 10 minutos sobre colchonetes localizados ao alcance do VO2000<sup>®</sup>. Ainda em decúbito dorsal, um bocal do VO2000<sup>®</sup>, esterelizado com detergente enzimático, era ajustado à boca do nadador para que fosse iniciada a mensuração de VO<sub>2</sub> (com duração de 2 min). A determinação dos valores de VO<sub>2</sub> absolutos (l·min<sup>-1</sup>) e relativos à massa corporal (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) se deram após a eliminação do

espaço morto, sendo definidos a partir da média dos valores coletados durante o período restante (1min e 50s).

**Momento Pré:** Individualmente, os nadadores que encerravam o aquecimento saíam da piscina e ficavam em pé ao alcance do VO2000<sup>®</sup>. Ainda em pé, um bocal do VO2000<sup>®</sup>, igualmente esterelizado com detergente enzimático, era ajustado à boca do nadador para que fosse iniciada a mensuração de VO<sub>2</sub> (com duração de 2 min). A determinação dos valores de VO<sub>2</sub> absolutos (l·min<sup>-1</sup>) e relativos à massa corporal (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) foram definidas de maneira idênticas ao momento repouso, ou seja, a partir da média dos valores coletados durante o período restante (1min 50s).

**Momento Pós:** A mensuração de VO<sub>2</sub> no momento pós da primeira e da segunda etapa foram com protocolos distintos.

**Etapa 1:** Cada nadador foi instruído a facilitar o ajuste do bocal do VO2000<sup>®</sup> - ajuste este, realizado pelos pesquisadores envolvidos - assim que completasse a distância do teste máximo (1 à 2 s de intervalo entre o fim do teste e o início da coleta), tendo em vista que a primeira expiração após o teste já deveria ocorrer no mesmo. As mensurações foram realizadas durante 2 minutos. Este procedimento foi realizado com o objetivo de minimizar ao máximo o tempo necessário para conectar o nadador ao bocal do ergoespirômetro portátil. O bocal do VO2000<sup>®</sup> foi ajustado ao rosto do nadador com o mesmo dentro da água, ou seja, ficando logo a seguir em pé, sobre uma plataforma redutora e, imerso até, aproximadamente, a altura do processo xifoide. A obtenção dos valores de VO<sub>2</sub> alcançado após cada um dos testes máximos foi realizada por meio da retro extrapolação, com aplicação de uma curva de regressão linear, entre o tempo (20 segundos imediatamente após os 10 s referentes ao espaço morto) e os valores de consumo, a fim de predizer o valor de VO<sub>2</sub> quando o tempo fosse zero (LAVOIE et al. 1983) (ver exemplo na Figura 10).



**Figura 10:** Exemplo de predição do  $VO_2$  no tempo zero de um nadador de nosso estudo obtido por meio da retro extrapolação imediatamente após um teste máximo de 400 m, utilizando valores de  $VO_2$  dos 20 segundos imediatamente após os 10 s referentes ao espaço morto.

O  $VO_{2max}$  foi assumido como alcançado neste estudo de acordo com três critérios fisiológicos secundários sugeridos por HOWLEY et al. (1995), já que não foi realizado um protocolo incremental e sim testes máximos:

Critérios secundários:

- a) níveis de  $[La]$  ( $\geq 8\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ );
- b) FC elevada ( $\geq 90\%$  da FC máxima);
- c) valor de EP elevado ( $\geq 17$ ).

**Etapa 2:** O procedimento de ajuste do bocal do  $VO2000^{\text{®}}$  foi o mesmo da etapa 1, mas realizado após cada trecho de 10 min e quando foi identificado a exaustão, As mensurações foram realizadas durante 45 s. A obtenção dos valores de  $VO_2$  alcançado após cada um dos estágios de 10 min foi calculada a partir da media dos dois primeiros ciclos de três respirações obtidos durante os 35 segundos imediatamente após os 10 s referentes ao espaço morto.

**Lactato Sanguíneo nas Etapas 1 e 2:** Para medir o lactato sanguíneo foi utilizado um lactímetro Accutrend Plus (Roche<sup>®</sup>) que possui como principio de medição a reação enzimática com leitura por fotometria de refletância. Este aparelho utiliza

como amostra uma gota de sangue arterializado, com volumes possíveis entre 15 a 50  $\mu\text{l}$ , podendo ser coletada (por meio de lancetas descartáveis) do lóbulo da orelha, da ponta do dedo ou sangue venoso coletado por punção, a qual é pingada sobre uma tira de análise (Roche®). O lactímetro possui sistema próprio de calibração. Uma vez inserida a fita no lactímetro a concentração de lactato medida era visualizada na tela após 60 segundos. As mensurações de  $[\text{La}]$  da primeira e da segunda etapa foram com protocolos distintos.

**Etapas 1:** Na primeira etapa o valor de  $[\text{La}]$  foi coletado logo após os períodos de repouso (momento repouso) e aquecimento (momento pré). O valor do momento pós foi o maior valor encontrado ( $[\text{La}]_{\text{pico}}$ ), ou seja foi mensurado a  $[\text{La}]$  nos tempos 1, 3, 5 e 7 min após ou até que a  $[\text{La}]$  diminuísse.

**Etapas 2:** Na segunda etapa o valor de  $[\text{La}]$  foi coletado logo após os períodos de repouso (momento repouso) e aquecimento (momento pré), imediatamente após o nadador nadar cada um dos períodos de 10 min e imediatamente após o nadador chegar na borda quando a exaustão era identificada.

**Frequência Cardíaca:** Para mensurar os valores de FC, nas Etapas 1 e 2 foi utilizado um monitor cardíaco da marca *Polar Electro*® (Finlândia) modelo S-610. Para a verificação dos valores de FC imediatamente após cada momento de ambas as etapas, uma cinta transmissora era alocada na região do apêndice xifóide do nadador com o frequencímetro já acionado. As nadadoras, por usarem maiôs, nadavam com a cinta transmissora por baixo do mesmo para que se fosse possível obter o sinal de FC em cada momento. A frequência cardíaca máxima de cada nadador foi definida como o maior valor alcançado em todos os testes.

**Esforço Percebido:** O EP é um recurso não invasivo e prático, de relação direta com a intensidade do exercício (BORG, 1982; LIMA et al., 2006). Considerando os diversos indicadores fisiológicos que podem ser usados no controle da intensidade do esforço, alguns são de difícil utilização no meio aquático, devido ao alto custo e dificuldade de mensuração (ex:  $[\text{La}]$  e  $\text{VO}_2$ ). Em função disso, compreender as relações entre EP e os marcadores fisiológicos de referência utilizados neste estudo ( $[\text{La}]$  e  $\text{VO}_2$ ) foram motivadores para inclusão desta variável. Os indivíduos realizaram três sessões de familiarização com a escala de 15 pontos de Borg (BORG, 1982) antes da aplicação dos protocolos deste estudo. A escala era apresentada aos participantes em exercícios de diferentes intensidades e distâncias

quando os nadadores atribuíam um valor numérico na escala correspondente ao seu EP no instante solicitado. Como a escala possui atributos verbais ao lado dos números, facilitava a escolha, pois a relação entre os atributos verbais e os valores numéricos aprimora o hábito do indivíduo em usar a escala (ex.: 6 - sem nenhum esforço; 20 - esforço máximo). Em todos os momentos da primeira (após repouso, após o aquecimento - pré - e após cada teste teste máximo - pós) e da segunda etapa (após o repouso, após o aquecimento - pré -, após cada estágio de 10 min e ao final da exaustão) os indivíduos eram instruídos a apontar o número de seu EP na escala (Anexo 4).

## 5.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Foram calculadas médias e desvios-padrão para as variáveis mensuradas. Também foi verificada a normalidade (Teste de Shapiro Wilk) e a esfericidade (teste de Mauchly) dos dados.

**Testes máximos (Etapa 1):** Foi aplicada ANOVA de dois fatores (seis distâncias e três momentos para FC, EP e [La]; e quatro distâncias e três momentos para  $VO_2$ ) para medidas repetidas com verificação dos efeitos principais com um teste post-hoc de Bonferroni. Quando necessário foi aplicado o fator de correção Epsilon de Greenhouse-Geisser sobre os graus de liberdade. Foram calculadas, ainda a estatística  $\eta^2$  (verificação da variância explicada da variável dependente pela variável independente) e o poder estatístico. Neste caso, quando encontrada interação significativa entre distâncias e momentos, procedeu-se o desdobramento com aplicação de ANOVAs para medidas repetidas isoladamente.

**Teste Retangular (Etapa 2):** Para comparação dos valores das variáveis mensuradas no teste retangular foi necessário utilizar apenas os momentos em que todos nadadores haviam sido avaliados, Com isso, a comparação entres os valores das variáveis obtidas ao longo do tempo foi realizada com a aplicação de uma ANOVA para medidas repetidas, com verificação dos efeitos principais com um teste post-hoc de Bonferroni. Quando necessário foi aplicado o fator de correção Epsilon de Greenhouse-Geisser sobre os graus de liberdade. Foram calculadas, ainda a estatística  $\eta^2$ , o poder estatístico e índice de correlação intra-classe (entre os valores das mesmas variáveis repetidos no tempo). Verificou-se correlação entre  $VO_2$  e [La] (Pearson).

**Comparação entre variáveis obtidas na exaustão do teste retangular e do teste de 400 m (T<sub>400</sub>):** foi realizada a aplicação de uma ANOVA para medidas repetidas, com verificação dos efeitos principais com um teste post-hoc de Bonferroni. Quando necessário foi aplicado o fator de correção Epsilon de Greenhouse-Geisser sobre os graus de liberdade. Foram calculadas, ainda a estatística  $\eta^2$ , o poder estatístico e índice de correlação intra-classe. O grau de concordância em valores absolutos e percentuais, como proposto por Bland e Altman (1986) foi calculado entre VC<sub>4par</sub> e seu percentual relativo à V<sub>400</sub>.

A fim de verificar a possibilidade de prescrever VC<sub>4par</sub> apenas com um teste máximo de 400 m em nado crawl (T<sub>400</sub>), calculou-se a precisão (repetibilidade) por meio do coeficiente de variação (razão entre o desvio padrão e a média) da diferença entre VC<sub>4par</sub> e seu percentual relativo à V<sub>400</sub> e o erro RMS (*root mean square*) (acurácia) entre VC<sub>4par</sub> e seu percentual relativo à V<sub>400</sub> de acordo com a equação 8,

$$\text{Erro RMS} = \sqrt{(VC_{4par} - \%V_{400})^2} \quad \text{Equação 8}$$

Verificou-se a relação entre V<sub>400</sub> e VC<sub>4par</sub> com aplicação de regressão linear no modelo da equação 9.

$$y = ax + b \quad \text{Equação 9}$$

onde y = VC<sub>4par</sub>, x = V<sub>400</sub>, a = coeficiente angular e b = coeficiente linear (intercepto-y).

Foi utilizado o programa SPSS *for Windows* versão 17.0 (*Statistical Packet for Social Sciences, Chicago, USA*). Considerou-se alfa < 0,05 como significativo. Para confecção das figuras e gráficos foram utilizados os programas Prism 5, Power Point e Excel 2007.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os objetivos específicos deste estudo foram 1) verificar que domínio de intensidade está relacionado às respostas de [La],  $\text{VO}_2$ , FC e EP ao nadar em VN equivalente à  $\text{VC}_{4\text{par}}$  até a exaustão; e 2) se a relação entre  $\text{VC}_{4\text{par}}$  e a VN do  $T_{400}$  ( $V_{400}$ ) possibilita a determinação da  $\text{VC}_{4\text{par}}$  por meio apenas do  $T_{400}$ . Neste sentido, este capítulo é dividido em sete subcapítulos:

6.1 Caracterização da Amostra

6.2 Resultados Etapa 1

6.3 Discussão da Etapa 1

6.4 Resultados da Etapa 2

6.5 Discussão da Etapa 2

6.6 Resultados da relação entre a  $\text{VC}_{4\text{par}}$  e a VN do  $T_{400}$  ( $V_{400}$ )

6.7 Discussão da relação entre a  $\text{VC}_{4\text{par}}$  e a VN do  $T_{400}$  ( $V_{400}$ ).

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A Tabela 1 apresenta os dados de caracterização da amostra, com valores de médias e desvios padrão de idade, experiência competitiva, massa corporal, estatura e envergadura.

**Tabela 1:** Características da amostra deste estudo.

Amostra	Masculino n = 8	Feminino n = 4	n = 12
<b>Idade</b> (anos)	15,7 ± 1,0	15,3 ± 0,6	15,6 ± 0,9
<b>Experiência Competitiva</b> (anos)	6,7 ± 0,5	6,7 ± 0,5	6,7 ± 0,9
<b>Massa Corporal</b> (kg)	67,0 ± 5,0	55,2 ± 3,2	63,0 ± 7,2
<b>Estatura</b> (cm)	178,6 ± 7,4	167,6 ± 4,1	174,9 ± 8,3
<b>Envergadura</b> (cm)	186,3 ± 6,0	169,5 ± 7,1	180,7 ± 10,4

A Tabela 2 apresenta os dados de desempenho, com valores de médias e desvios padrão.

**Tabela 2:** Dados de desempenho.

	Masculino n = 8	Feminino n = 4	n = 12
<b>Melhor desempenho pessoal nos 400 m nado livre em piscina de 25 m (s)</b>	262,7 ± 10,0	292,5 ± 23,3	272,7 ± 20,6
<b>Desempenho nos 400 m nado livre neste estudo (s)</b>	271,2 ± 8,2	298,1 ± 18,4	280,2 ± 17,6
<b>Diferença entre melhor Desempenho pessoal e o obtido neste estudo para os 400 m nado livre em piscina de 25 m (s)</b>	-3,3 ± 2,9	-2,1 ± 4,9	-2,9 ± 3,5
<b>Percentual Relativo ao Recorde Mundial para a prova de 400 m nado livre em piscina de 25 m</b>	78,5 ± 2,4	79,0 ± 5,2	78,7 ± 3,3
<b>Percentual Relativo ao Recorde Brasileiro na Categoria para a prova de 400 m nado livre em piscina de 50 m</b>	87,5 ± 2,7	87,3 ± 5,7	87,4 ± 3,7

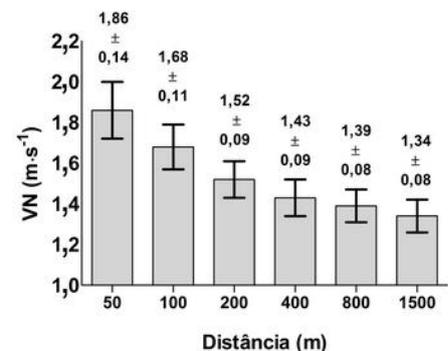
## 6.2 RESULTADOS DA ETAPA 1

Este subcapítulo é dividido em duas partes. A primeira apresenta os resultados referente às variáveis tlim, dlim e VN mensuradas na etapa 1. A segunda parte apresenta os resultados das variáveis fisiológicas VO<sub>2</sub>, [La], FC e EP mensuradas na etapa 1.

### 6.2.1 Resultados das variáveis tlim, dlim e VN.

A Figura 11 apresenta os valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de tlim e VN dos seis testes máximos realizados.

dlim (m)	tlim (s)			
	Média	± DP	Mínimo	Máximo
50	27,1	2,0	24,4	30,0
100	59,8	4,1	53,6	66,4
200	132,1	8,4	121,7	149,9
400	280,2	17,6	257,1	311,7
800	578,9	36,0	528,0	636,1
1500	1126,8	67,7	1026,7	1229,1



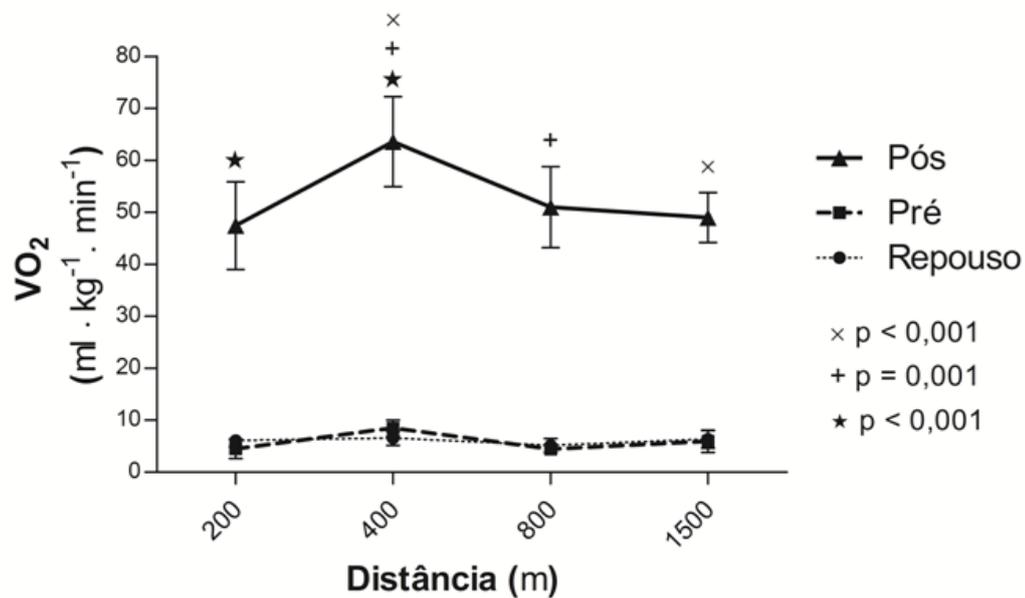
**Figura 11:** Valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de tlim e VN dos seis testes máximos realizados, n = 12.

Ainda os valores de tlim entre as seis distâncias apresentaram uma ótima linearidade ( $r = 0,9997$ ).

### 6.2.2 Resultados das variáveis fisiológicas $VO_2$ , [La], FC e EP.

#### Consumo de Oxigênio

A Figura 12 apresenta os valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de  $VO_2$  relativo à massa corporal ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) para cada momento dos quatro testes máximos realizados, bem como as diferenças significativas verificadas no momento momento pós.



Momento		$VO_2$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )			
		200 m	400 m	800 m	1500 m
Pós	Média	47,4	63,5	51,0	48,9
	Mínimo	39,3	51,6	35,1	42,3
	Máximo	69,0	79,7	67,5	58,6
	± dp	8,4	8,7	7,80	4,8
Pré	Média	4,5	8,5	4,4	5,9
	Mínimo	2,5	6,7	3,4	1,5
	Máximo	7,9	11,7	5,4	9,1
	± dp	1,8	1,6	0,7	2,1
Repouso	Média	6,1	6,5	5,1	6,4
	Mínimo	4,9	3,7	3,7	4,2
	Máximo	8,4	9,6	7,4	10,3
	± dp	1,2	1,6	1,3	1,7

**Figura 12:** Valores de média, desvio padrão, mínimo e máximo de  $VO_2$  relativo à massa corporal ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) para os testes máximos de 200, 400, 800 e 1500m. No momento pós o  $VO_2$  nos 400 m foi maior que todas outras distâncias ( $F(3,33) = 25,302$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,697$ ;  $p_o = 1,000$ ); ((200:  $p < 0,001$ ; 800m:  $p = 0,001$ ; e 1500 m:  $p < 0,001$ ),  $n = 12$ ).

Verificaram-se efeitos das diferentes distâncias ( $F(3,33) = 32,967$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,750$ ;  $p_o = 1,000$ ), dos momentos ( $F(1,042; 11,460) = 821,256$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 =$

0,987;  $p_o = 1,000$ ) e interação entre distâncias e momentos sobre os valores de  $VO_2$  ( $F(2,783; 30,618) = 18,843$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,631$ ;  $p_o = 1,000$ ).

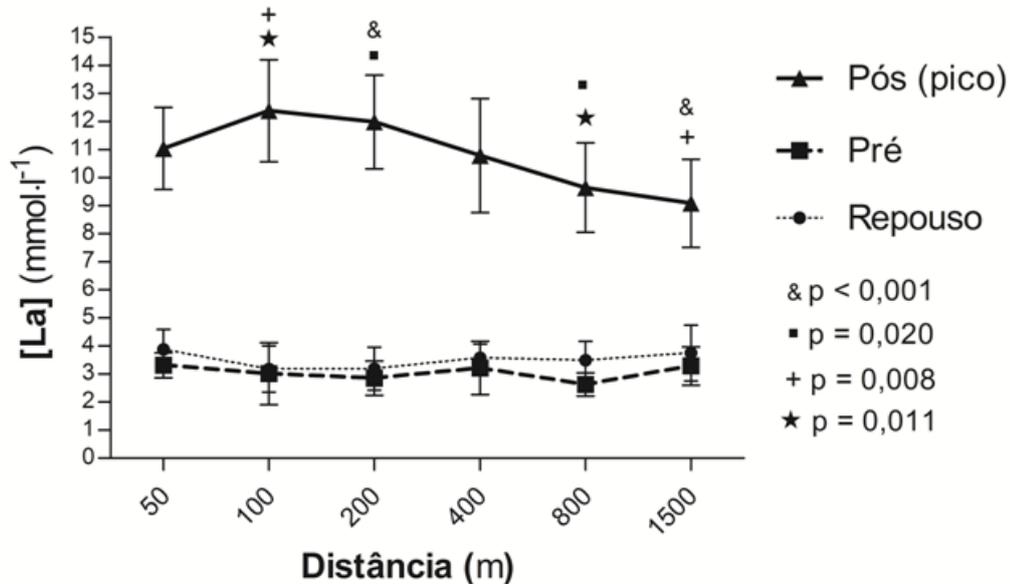
No efeito das diferentes distâncias, o  $VO_2$  do momento repouso e do momento pré foram menores que o momento pós ( $p < 0,001$  e  $p < 0,001$  respectivamente), mas semelhantes entre sí. O  $VO_2$  dos 400 m foi maior que dos 200 ( $p < 0,001$ ), 800 ( $p < 0,001$ ) e 1500 m ( $p < 0,001$ ).

Ao analisar cada momento separadamente, os valores de  $VO_2$  do momento repouso entre as distâncias foram similares ( $F(3,33) = 3,258$ ;  $p = 0,034$ ;  $\eta^2 = 0,229$ ; potência observada = 1,000). Os valores do momento pré entre as distâncias sugerem que o  $VO_2$  dos 400 m tenha sido maior do que nas demais distâncias (200:  $p < 0,001$ ; 800m:  $p = 0,001$ ; e 1500 m:  $p < 0,001$ ); ( $F(3,33) = 23,091$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,677$ ;  $p_o = 1,000$ ). No momento pós o  $VO_2$  mensurado nos 400 m foi maior que todas outras distâncias predominantemente aeróbias deste estudo ((200:  $p < 0,001$ ; 800m:  $p = 0,001$ ; e 1500 m:  $p < 0,001$ ); ( $F(3,33) = 25,302$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,697$ ; = 1,000).

Ao analisar o efeito dos momentos, apenas os valores entre momento repouso e pré dos 400 m foram diferentes ( $p < 0,001$ ); ( $F(2,22) = 537,084$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,981$ ;  $p_o = 1,000$ ). Este resultado sugere que o aquecimento proposto pelo treinador não aumentou significativamente os valores de  $VO_2$  mensurados no repouso. Os valores entre repouso e pós de todas as distâncias separadamente também foram diferentes ( $p < 0,001$ ) (200m:  $F(1,098; 12,079) = 336,113$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,968$ ;  $p_o = 1,000$ ); 400 m ( $F(2,22) = 537,084$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,981$ ;  $p_o = 1,000$ ); 800 m ( $F(2,22) = 405,338$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,974$ ;  $p_o = 1,000$ ); e 1500 m ( $F(2,22) = 1274,796$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,991$ ; = 1,000).

### Concentração de lactato sanguíneo

A Figura 13 apresenta os valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de [La], bem como o resultado da comparação dos valores de [La] no momento pós entre os testes máximos de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m. .



Momento		[La] (mmol.l <sup>-1</sup> )					
		50 m	100 m	200 m	400 m	800 m	1500 m
Pós (Pico)	Média	11,0	12,4	11,9	10,8	9,6	9,1
	Mínimo	7,8	9,2	8	6,2	8,3	5,4
	Máximo	12,8	15,2	14,2	13,5	12,2	11,6
	± dp	1,5	1,8	1,7	2,0	1,6	1,6
Pré	Média	3,3	3,0	2,8	3,2	2,6	3,3
	Mínimo	2,8	1,6	2	2	2	2
	Máximo	3,9	5	3,8	5,5	3,4	4,6
	± dp	0,4	1,1	0,6	0,9	0,4	0,7
Repouso	Média	3,9	3,2	3,2	3,6	3,5	3,7
	Mínimo	2,7	1,8	2	2,7	2,3	2,3
	Máximo	4,7	4,6	4,6	4,3	4,5	4,9
	± dp	0,7	0,8	0,8	0,5	0,7	1,0

**Figura 13:** Valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de [La] (mmol.l<sup>-1</sup>) dos seis testes máximos realizados nos momentos repouso, pré e pós (valor pico). No momento pós as [La]<sub>pico</sub> nos 100 e nos 200 m foram maiores que nos 800 F(5,55) = 8,560; p < 0,001;  $\eta^2 = 0,438$ ; po = 1,000; ( $\star p = 0,011$  e  $\blacksquare p = 0,020$  respectivamente) e nos 1500 m (+ p = 0,008 e & p < 0,001 respectivamente), n = 12.

Observaram-se efeitos das diferentes distâncias (F(5,55) = 3,563; p = 0,007;  $\eta^2 = 0,245$ ; po = 0,893), dos momentos (F(2,22) = 767,292; p < 0,001;  $\eta^2 = 0,986$ ; po = 1,000), e interação entre distâncias e momentos sobre os valores de [La] (F(4,771; 52,481) = 8,962; p < 0,001;  $\eta^2 = 0,449$ ; po = 1,000).

Comparando-se as [La] das diferentes distâncias, a [La] do momento repouso foi maior que o momento pré (p = 0,041). As [La] do momento repouso e do

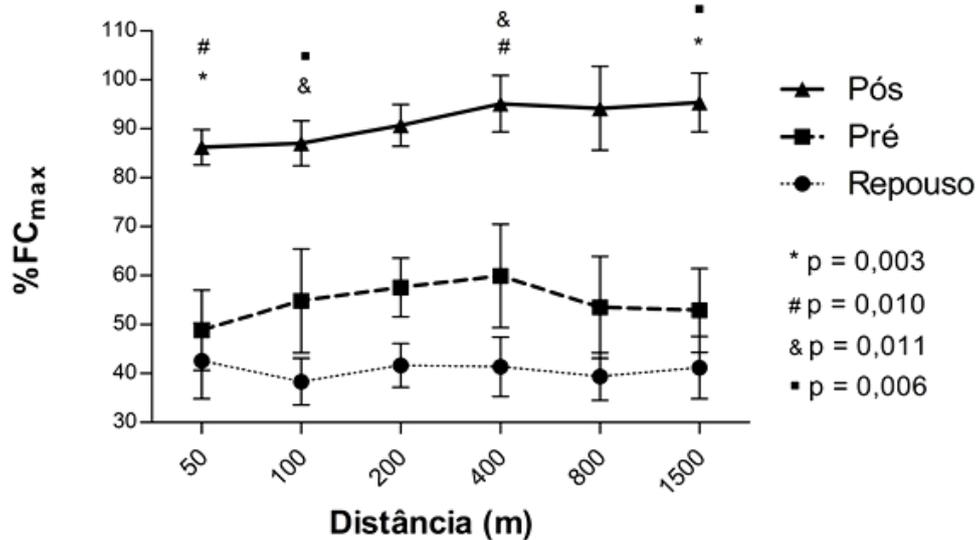
momento pré foram menores que o momento pós ( $p < 0,001$ ). No efeito dos momentos a [La] dos 50 m foi maior que 800 m ( $p = 0,005$ ).

Analisando o efeito das distâncias, verificou-se que os valores de [La] de repouso foram similares entre as distâncias ( $F(5,55) = 1,580$ ;  $p = 0,181$ ;  $\eta^2 = 0,126$ ;  $p_o = 0,511$ ). Os valores do momento pré entre as distâncias sugerem apenas que o [La] dos 50 m tenha sido maior que o dos 800 m ( $p = 0,011$ ) e o [La] dos 800 m menor que o 1500 ( $p = 0,034$ ) ( $F(2,709; 29,795) = 2,196$ ;  $p = 0,068$ ;  $\eta^2 = 0,166$ ;  $p_o = 0,675$ ). No momento pós as [La]<sub>pico</sub> mensuradas nos 100 e nos 200 m foram maiores que nos 800 ( $p=0,011$  e  $p = 0,020$  respectivamente) e nos 1500 m ( $p = 0,008$  e  $p < 0,001$  respectivamente);  $F(5,55) = 8,560$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,438$ ;  $p_o = 1,000$ .

Ao analisar o efeito dos momentos, todas as distâncias apresentaram valores de repouso similares aos valores do momento pré, exceto nos 800 m ( $p = 0,015$ ). Ainda, em todas as distâncias, os valores de repouso e pré foram menores que os valores de [La]<sub>pico</sub> mensuradas no momento pós ( $p < 0,001$ ); 50 m:  $F(2,22) = 224,044$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,953$ ;  $p_o = 1,000$ ; 100 m:  $F(2,22) = 315,726$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,966$ ;  $p_o = 1,000$ ; 200 m:  $F(1,333;14,664) = 376,586$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,972$ ;  $p_o = 1,000$ ; 400 m:  $F(1,351;14,864) = 159,970$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,935$ ;  $p_o = 1,000$ ; 800 m:  $F(1,275;14,026) = 176,614$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,941$ ;  $p_o = 1,000$ ; e 1500 m:  $F(2,22) = 127,437$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,921$ ;  $p_o = 1,000$ .

### Frequência Cardíaca

A Figura 14 apresenta os valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de FC, bem como o resultado da comparação dos valores de %FC<sub>max</sub> no momento pós entre os testes máximos de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m.



Momento		FC (bpm)					
		50 m	100 m	200 m	400 m	800 m	1500 m
Pós	Média	168	169,2	176,5	185,2	183,3	185,3
	Mínimo	145	154	160	158	138	169
	Máximo	181	183	192	214	203	198
	± dp	11,6	7,4	10,8	13,6	18,6	9,1
Pré	Média	94,9	106,7	111,7	116,5	103,7	103,2
	Mínimo	68	70	95	85	78	76
	Máximo	116	135	123	151	140	142
	± dp	15,0	20,7	8,6	19,8	18,0	18,2
Repouso	Média	83	74,8	81	80,4	76,6	80,4
	Mínimo	54	57	73	64	56	62
	Máximo	109	94	93	105	88	110
	± dp	15,7	11,1	8,2	11,0	9,4	14,2

**Figur**

**a 14:** valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de FC (bpm) dos seis testes máximos realizados nos momentos repouso, pré e pós. O %FC<sub>max</sub> no momento pós nos 50 m foi menor que nos 400 e 1500 m;  $F(5,55) = 6,334$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,365$ ;  $p_o = 0,994$ , ( $\#p = 0,010$  e  $\star p = 0,003$  respectivamente), e o %FC<sub>max</sub> mensurada nos 100 m também foi menor que nos 400 e 1500 m ( $\& = 0,011$  e  $\blacksquare p = 0,006$  respectivamente),  $n = 12$ .

O %FC<sub>max</sub> no momento pós dos 400 m foi  $94,8 \pm 5,7$  %FC<sub>max</sub>. Foram identificados efeitos das diferentes distâncias ( $F(5,55) = 3,476$ ;  $p = 0,008$ ;  $\eta^2 = 0,240$ ;  $p_o = 0,884$ ), dos momentos ( $F(2,22) = 665,764$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,984$ ;  $p_o = 1,000$ ), mas não houve interação entre distâncias e momentos sobre os valores de FC ( $F(2,868; 31,550) = 2,831$ ;  $p = 0,056$ ;  $\eta^2 = 0,205$ ;  $p_o = 0,611$ ). Em relação ao efeito

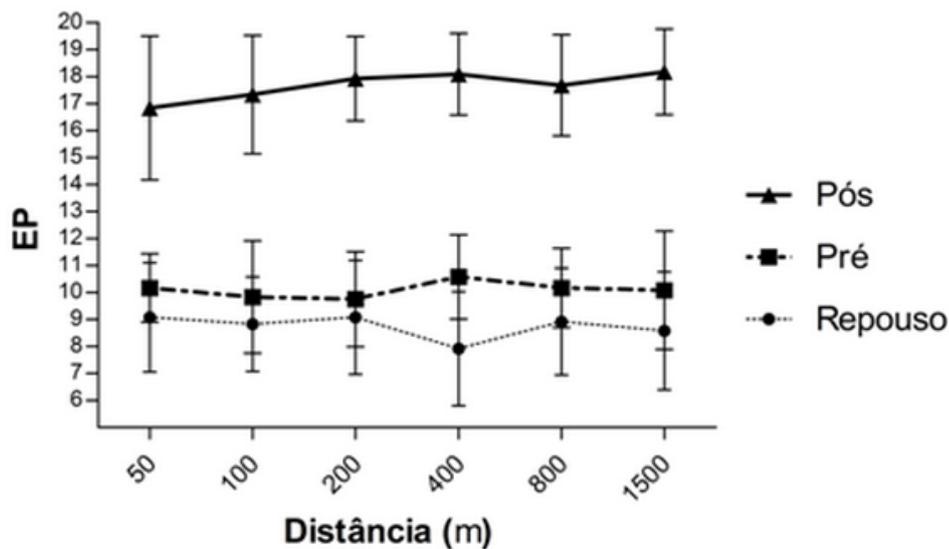
das diferentes distâncias não houve diferenças. Em relação ao efeito dos diferentes momentos a FC de repouso foi menor que os momentos pré e pós ( $p < 0,001$ ). Ainda, a FC do momento pré também foi menor que a do momento pós ( $p < 0,001$ ).

Na análise do efeito das distâncias, os valores de FC de repouso e pré foram similares entre as distâncias (momento repouso:  $F(5,55) = 1,069$ ;  $p = 0,388$ ;  $\eta^2 = 0,089$ ;  $p_o = 0,352$ ); momento pré:  $F(5,55) = 2,531$ ;  $p = 0,039$ ;  $\eta^2 = 0,187$ ;  $p_o = 0,746$ ). No momento pós a FC mensurada nos 50 m foi menor que nos 400 e 1500 m ( $p = 0,010$  e  $p = 0,003$  respectivamente), e a FC mensurada nos 100 m também foi menor que nos 400 e 1500 m ( $p = 0,011$  e  $p = 0,006$  respectivamente);  $F(5,55) = 6,334$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,365$ ;  $p_o = 0,994$ .

Na análise do efeito dos momentos, os valores de repouso foram menores que o momento pré nas distâncias de 100 ( $p = 0,001$ ), 200 ( $p < 0,001$ ) 400 ( $p < 0,001$ ) e 800 m ( $p = 0,001$ ). Em todas as distâncias os valores de FC do momento repouso e do momento pré foram menores que o momento pós ( $p < 0,001$ ); 50 m:  $F(2,22) = 167,016$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,938$ ;  $p_o = 1,000$ ; 100 m:  $F(1,266; 13,923) = 192,847$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,946$ ;  $p_o = 1,000$ ; 200 m  $F(2,22) = 348,570$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,969$ ;  $p_o = 1,000$ ; 400 m  $F(2,22) = 270,986$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,961$ ;  $p_o = 1,000$ ; 800 m  $F(2,22) = 156,875$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,934$ ;  $p_o = 1,000$ ; 1500 m  $F(1,133; 12,459) = 77,192$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,875$ ;  $p_o = 1,000$ .

### Esforço Percebido

A Figura 15 apresenta os valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de EP, bem como o resultado da comparação no momento pós entre os testes máximos de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m.



Momento	EP						
	50 m	100 m	200 m	400 m	800 m	1500 m	
<b>Pós</b>	Média	16,8	17,3	17,9	18,1	17,8	18,2
	Mínimo	11	14	15	15	15	15
	Máximo	20	20	20	20	20	20
	± dp	2,7	2,2	1,6	1,5	1,9	1,6
<b>Pré</b>	Média	10,2	9,8	9,8	10,6	10,2	10,1
	Mínimo	8	7	7	1,6	8	7
	Máximo	12	13	13	7	12	13
	± dp	1,3	2,1	1,8	13	1,5	2,2
<b>Repouso</b>	Média	9,1	8,8	9,1	7,9	8,9	8,6
	Mínimo	6	6	6	6	6	6
	Máximo	12	11	12	12	12	12
	± dp	2	1,8	2,1	2,1	2	2,2

**Figura 15:** Valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de EP dos seis testes máximos realizados nos momentos repouso, pré e pós. Não houveram diferenças significativas no momento entre as distâncias ( $F(5,55) = 0,290$ ;  $p = 0,916$ ;  $\eta^2 = 0,026$ ;  $p_o = 0,116$ ),  $n = 12$ .

Não verificaram-se efeitos das diferentes distâncias sobre os valores de EP. Contudo, verificaram-se interação dos momentos ( $F(2,22) = 143,198$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,929$ ;  $p_o = 1,000$ ) e entre distâncias e momentos ( $F(4,368; 48,053) = 2,527$ ;  $p = 0,009$ ;  $\eta^2 = 0,187$ ;  $p_o = 0,039$ ).

Ao se analisar o efeito das distâncias, verificou-se que os valores de EP de repouso, pré e pós apresentaram valores similares entre as distâncias: Momento

repouso:  $F(2,756; 30,316) = 1,742$ ;  $p = 0,183$ ;  $\eta^2 = 0,137$ ;  $p_o = 0,392$ ); Momento pré:  $F(5,55) = 0,724$ ;  $p = 0,609$ ;  $\eta^2 = 0,062$ ;  $p_o = 0,242$ ); e Momento pós:  $F(2,672; 29,390) = 2,210$ ;  $p = 0,066$ ;  $\eta^2 = 0,167$ ;  $p_o = 0,477$ ).

Em relação ao efeito dos momentos, EP no momento repouso foi menor que nos momentos pré e pós ( $p = 0,029$  e  $p < 0,001$  respectivamente). Ainda, EP no momento pré foi menor que no momentos pós ( $p < 0,001$ ).

Na análise do efeito dos momentos, os valores de EP no repouso foram menores que no momento pré nas distâncias de 400 ( $p = 0,017$ ) e 1500 m ( $p = 0,007$ ), e similares nas demais. Os valores repouso e pré foram menores que os valores do momentos pós em todas as distâncias ( $p < 0,001$ ); 50 m:  $F(1,182; 13,007) = 58,564$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,842$ ;  $p_o = 1,000$ ; 100 m:  $F(2,22) = 79,139$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,878$ ;  $p_o = 1,000$ ; 200 m:  $F(2,22) = 110,126$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,909$ ;  $p_o = 1,000$ ; 400 m:  $F(2,22) = 97,666$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,899$ ;  $p_o = 1,000$ ; 800 m:  $F(2,22) = 118,645$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,915$ ;  $p_o = 1,000$ ; 1500 m:  $F(2,22) = 135,919$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,925$ ;  $p_o = 1,000$ .

## 6.2 DISCUSSÃO DA ETAPA 1

Este subcapítulo é dividido em duas partes. A primeira apresenta a discussão referente aos resultados das variáveis tlim, dlim e VN. A segunda parte apresenta a discussão dos resultados das variáveis fisiológicas  $VO_2$ , [La], FC e EP.

### 6.2.1 Discussão das variáveis tlim, dlim e VN

Conforme apresentado na Tabela 2, o percentual relativo ao recorde mundial para a prova de 400 m nado livre em piscina de 25 m dos nadadores deste estudo (juvenis), baseado no recorde mundial absoluto válido até 16 de abril de 2012 (<http://www.fina.org>) foi de  $78,7 \pm 3,3$  %. O Quadro 5 apresenta os percentuais relativos ao recorde Mundial para a prova de 400 m nado livre em nosso estudo e em estudos similares.

**Quadro 5:** Percentuais relativos ao recorde Mundial para a prova de 400 m nado livre em nosso estudo e em estudos similares.

Estudo	Idade (anos)	Percentual relativo ao recorde mundial para a prova de 400 m nado livre (%)
Presente estudo	15,6 ± 0,9	78,7 ± 3,3 (25 m)
Zacca et al. (2010)	14,3 ± 0,5	73,3 ± 3,8 (50 m)
Dekerle et al. (2010)	21,2 ± 2,6	73,1 ± 3,4 (25 m)
Schnitzler et al. (2008)	18,2 ± 2,2	88,2 ± 3,9 (25 m)
	18,7 ± 3,8	88,1 ± 3,9 (25 m)
Alberty et al. (2006)	20,3 ± 1,7	76,3 ± 3,6 (25 m)

Zacca et al. (2010) realizaram os mesmos seis testes máximos com nadadores de mesma categoria e média de idade semelhante (14,3 ± 0,5 anos; e presente estudo: 15,6 ± 0,9 anos). Mesmo realizado somente com nadadores do sexo masculino, os valores médios, bem como o desvios padrão de tlim nos testes máximos realizados por Zacca et al (2010) foram maiores do que no presente estudo (50 m: 29,2 ± 1,5 s; 100 m: 65,1 ± 3,2 s; 200 m: 145,3 ± 7,2 s; 400 m: 301,1 ± 15,9 s; 800 m: 634,9 ± 35,7 s; 1500 m: 1212,7 ± 81,7 s), embora Zacca et al. (2010) tenham realizados os testes em piscina de 50 m. Ainda, a diferença entre o melhor desempenho pessoal na prova de 400 m nado livre em piscina de 25 m (272,7 ± 20,6) e o desempenho obtido nos 400 m neste estudo também em piscina de 25 m (280,2 ± 17,6) ficou em apenas – 2,9 % (Tabela 2), mostrando assim que o nível de motivação dos nadadores durante o estudo foi elevado.

Os valores médios de tlim para os testes máximos utilizados no estudo de Dekerle et al. (2010) também foram maiores para as mesmas dlim do nosso estudo (100 m 61,2 ± 2,3; 200 m: 136,1 ± 5,7; 400 m: 294,5 ± 13,4 e 800m: 619,4 ± 28,4 s). Ainda os valores de tlim entre as seis distâncias apresentaram uma ótima linearidade (r = 0,9997), que também ressalta o nível elevado dos nadadores neste estudo. Conseqüentemente os baixos valores de tempo tlim para cada distância resultaram em VN maiores.

## 6.2.2 Discussão das variáveis fisiológicas VO<sub>2</sub>, [La], FC e EP.

### *Consumo de Oxigênio*

Os valores do momento repouso sugerem que o aquecimento proposto pelo treinador não aumentou significativamente os valores de VO<sub>2</sub> mensurados no repouso.

Uma informação importante deste subítim foi que, no momento pós, o  $VO_2$  mensurado nos 400 m foi maior que todas outras distâncias predominantemente aeróbias deste estudo (ver Figura 12). Mader et al. (1976) encontraram valores entre 60 e 75  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  para  $VO_{2max}$  em nadadores. O Quadro 6 apresenta resultados de estudos mais recentes com valores médios dos maiores valores de  $VO_2$  verificados nas distâncias de 200, 400, 800 e 1500 m em natação.

**Quadro 6:** Valores médios e DP dos maiores valores de  $VO_2$  verificados em estudos mais recentes para esforços máximos de 200, 400, 800 e 1500 m. - = não mensurado no estudo em questão.

Estudo	n e sexo	Média de Idade (anos)	Metodologia	Equipamento	Valores médios de $VO_2$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )			
					200 m	400 m	800 m	1500 m
Presente estudo	8 ♂ 4 ♀	15,6 ±0,9	Retro Extrapolação	VO2000® (Medgraphics, USA)	47,4 ±8,4	63,5 ±8,7	51,0 ±7,8	48,9 ±4,8
Sousa et al. (2011)	10 ♂	21,6 ±2,4	Breath by Breath Snorkel utilizado durante o nado	K4b2 (Cosmed, Italy)	68,58 ±5,79	-	-	-
Dekerle et al. (2010)	9 ♂	21,2 ±2,6	Valor máximo durante os primeiros 20 s pós teste	K4b2 (Cosmed, Italy)	51,3 ±6,8	51,2 ±7,5	49,7 ±6,5	-
Beidarís et al. (2010)	12 ♂	14-17	Retro Extrapolação	VO2000® (Medgraphics, USA)	45,4 ±15,1	-	-	-
Castro et al. (2007)	12 ♂	18,3 ±2,9	Retro Extrapolação	KB1C (Aerosport, USA)	59,1 ±5,7	-	-	-
Platanou et al. (2006)	15 ♂	22,4 ±3,3	Retro Extrapolação	Não especificado	-	57,1 ±9,3	-	-
	15 ♂	22,6 ±3,6				70,2 ±6,9		
Laffite et al. (2004)	7 ♂	19,1 ±1,8	Pós teste com valor mensurado no sexto segundo após a verificação do $VO_2$ pico	K4b2 (Cosmed, Italy)	-	67,2 ±5,6	-	-
Rodriguez et al. (2002)	10 ♂ 4 ♀	16-23	Breath by Breath Snorkel utilizado durante o nado	K4b2 (Cosmed, Italy)	-	53,6 ±3,3 46,2 ±3,5	-	-
Wakayoshi et al. (1993b)	8 ♂	19,4 ±0,3	Equação de Predição proposta por Costil et al. (1985)	Douglas Bags	-	60,0 ±1,5	-	-
Ribeiro et al. (1990)	15 ♂	16 ±2	Retro Extrapolação	Douglas Bags	-	56,0 ±6,0	-	-

A comparação entre os resultados do presente estudo e os resultados dos outros estudos apresentados no Quadro 6 sugerem que os valores de  $VO_2$  do presente estudo vão ao encontro dos resultados verificados até então para

nadadores. Diferenças podem ser relativas a idade, sexo, métodos de medida e distância nadada.

Ainda, os valores de  $VO_2$  mensurados nos testes máximos vão ao encontro dos estudos revisados (MONTPETIT et al. 1981; LAVOIE et al. 1983; RODRIGUEZ 2000; PELAYO et al. 2007) que apontam os 400 m como uma distância em natação cujo valor de  $VO_2$  seria muito bem correlacionado com o  $VO_{2max}$ . Além da boa correlação (pois estar bem correlacionado não significa que seja similar), os tlim do  $T_{400}$  mensurados no presente estudo ( $280,20 \pm 17,62$  s) vão ao encontro dos tlim à 100% da  $vVO_{2max}$  reportados na literatura por Fernandes et al. (2003b:  $325 \pm 76,5$  s; 2006a:  $243,17 \pm 30,49$  s; 2006b:  $233,37 \pm 53,92$  s ; 2008:  $243,20 \pm 30,50$  s), suportando assim a possibilidade de prescrever valores de potência aeróbia em nadadores por meio do  $T_{400}$ .

Contudo, por ser um método de retro-extrapolação e não incremental, a identificação de um platô independente do aumento da VN não foi utilizada como critério fisiológico primário para considerar se o  $VO_{2max}$  foi atingido como proposto por Howley et al. 1995. Com isso, níveis de  $[La]$  ( $\geq 8$  mmol·l<sup>-1</sup>), FC elevada ( $\geq 90\%FC_{max}$ ) e valor de EP elevado (HOWLEY et al. 1995) foram utilizados (serão abordados nas demais partes deste sub ítem) para assumir que o valor de  $VO_2$  obtido no momento pós do  $T_{400}$  por meio de retro-extrapolação seja o  $VO_{2max}$ .

A escolha pela técnica da retro extrapolação para obtenção de valores de  $VO_2$  se deu pelo interesse em tornar o ambiente de teste o mais ecológico possível, isto é, sem alterar a mecânica de nado, deixando o nadador possibilitado de realizar cada uma das distâncias de forma idêntica a uma situação de competição (MONTPETIT et al. 1981; KESKINEN et al. 2003; LAFFITE et al. 2004; BARBOSA et al. 2010). Cabe ressaltar que, em relação aos valores de  $VO_2$  obtidos, o mesmo procedimento foi realizado para todos os atletas. Ainda, os valores de  $VO_2$  mensurados com o  $VO2000^{\text{®}}$  já foram validados em alguns estudos (WAHRLICH et al. 2006; OSLON et al. 2008). Wahrlich et al. (2006) analisaram 25 indivíduos com idade entre 20 e 78 anos, quando  $VO_2$ ,  $VCO_2$  e RQ não foram diferentes entre os equipamentos DELTATRAC™ MBM-100 (Sensormedics, Yorba Linda, CA, USA) e o  $VO2000^{\text{®}}$  (diferença: 2,8%,  $r = 0,95$ ). Oslon al. (2008) analisaram 24 indivíduos saudáveis ( $23 \pm 5$  anos) e o  $VO2000^{\text{®}}$  apresentou resultados precisos de  $VO_2$ ,  $VCO_2$ , VE e QR quando comparado com MedGraphics CPX / D em situação de repouso utilizando um pneumotacógrafo de baixo fluxo.

### *Concentração de lactato sanguíneo[La]*

No momento pós, as  $[La]_{\text{pico}}$  mensuradas para os 100 e 200 m foram maiores em comparação aos 800 e os 1500 m. Estes resultados vão ao encontro dos resultados de Vescovi et al. (2011), que analisaram valores de  $[La]_{\text{pico}}$  de 100 nadadores (50 feminino e 50 masculino) de 14 a 29 anos ( $20,2 \pm 3,3$  anos) participantes do Campeonato Canadense (valores em  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  para as provas de 50 m:  $9,1 \pm 1,9$ ; 100 m:  $13,9 \pm 1,9$ ; 200 m:  $14,0 \pm 1,7$ ; 400 m: ,  $12,9 \pm 2,9$ ; 800 m:  $10,2 \pm 2,1$ ; 1500 m:  $6,4 \pm 1,6$ ) com valores pós similares entre 100, 200 e 400 m, mas maiores para estas provas em comparação com 50, 800 e 1500 m. No entanto apenas os valores apresentados para as distâncias de 800 e 1500 m foram especificamente em nado crawl. Ainda, o valor encontrado neste estudo para  $[La]_{\text{pico}}$  nos 400 m ( $10,78 \pm 2,03 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) foi ao encontro do sugerido por HOWLEY et al. 1995 ( $\geq 8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ), reforçando assim os critérios fisiológicos secundários para considerar o  $VO_{2\text{max}}$  como alcançado. O Quadro 7 apresenta resultados de estudos com valores de  $[La]_{\text{pico}}$  verificados nas distâncias de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m em natação.

**Quadro 7:** Valores médios e DP de  $[La]_{\text{pico}}$  verificados para as distâncias de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m. - = não mensurado no estudo em questão.\*Valor médio especificado com mais de uma técnica de nado utilizada.

Estudo	n e Sexo	Média de Idade (anos)	Metodologia	Equipamento	Valores de $[La]_{\text{pico}}$ ( $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ )					
					50 m	100 m	200 m	400 m	800 m	1500 m
<b>Presente Estudo</b>	8♂ 4♀	15,6 ±0,9	1º, 3º, 5º e 7º min ou até diminuir	Accutrend Plus (Roche®)	11,0 ±1,5	12,4 ±1,8	11,9 ±1,7	10,8 ±2,0	9,6 ±1,6	9,1 ±1,6
<b>Sousa et al. (2011)</b>	10♂	21,6 ±2,4	1º, 3º, 5º e 7º min ou até diminuir	Lactate Pro analyzer, Arkay, Inc	-	-	11,7±1,4	-	-	-
<b>Vescovi et al. (2011)</b>	50♂ 50♀	20,2 ±3,3	3º e 5º min	Lactate Pro LT-1710 Analyzer (Arkay Lt., Japan)	9,1 ±1,9*	13,9 ±1,9*	14,0 ±1,7*	12,9 ±2,9*	10,2 ±2,1	6,4 ±1,6
<b>Schnitzler et al. (2008)</b>	8♂	18,2 ±2,2	1º, 3º e 5º min	LactatePro meter (Accusport, Arkay, Tokyo)	-	-	-	10,5 ±2,0	-	-
	4♀	18,7 ±3,8			-	-	-	8,3 ±2,5	-	-
<b>Avlonitou (1996)</b>	54♂	21,6 ±2,4	3º e 6º min	Automatic Lactate analyzer of the YSI Company, mod. 2300 STAT	9,5 ±2,2	13,1 ±2,7	12,8 ±1,3	10,3 ±1,9	-	7,3 ±1,1
	65♂	16,7 ±0,5			9,3 ±1,1	11,4 ±1,9	11,6 ±2,1	8,7 ±1,6	-	6,7 ±1,7
	52♂	14,8 ±0,4			9,0 ±2,0	10,6 ±1,1	10,2 ±3,2	8,4 ±1,8	-	5,8 ±1,3
	32♀	19,3 ±1,8			10,7 ±2,1	12,2 ±0,7	12,4 ±1,3	8,4 ±0,5	5,8 ±2,3	-
	63♀	16,3 ±0,3			9,3 ±1,2	11,1 ±2,3	11,2 ±1,4	8,1 ±1,8	7,1 ±2,5	-
	71♀	14,4 ±0,5			9,3 ±1,9	9,7 ±1,1	10,6 ±1,8	7,1 ±1,6	5,7 ±2,0	-

A comparação entre os resultados do presente estudo e os resultados dos outros estudos apresentados no Quadro 7 sugere que os valores de  $[La]_{\text{pico}}$  do nosso estudo vão ao encontro dos resultados verificados até então para nadadores. As pequenas diferenças observadas nos valores médios para cada distância podem ser relativas ao nível de maturação, sexo e metodologia de determinação de  $[La]_{\text{pico}}$  utilizada.

No presente estudo, todas as distâncias apresentaram valores de  $[La]$  de repouso similares aos valores do momento pré, exceto nos 800 m. Este resultado reforça os dados encontrados para  $VO_2$ . Observou-se que aquecimento proposto pelo treinador não alterou os valores de  $[La]$  mensurados no repouso, e eventualmente levou a  $[La]$  a valores inferiores ao repouso. A distância proposta para o aquecimento está na faixa proposta por Vescovi et al. (2011), que ao analisar valores de  $[La]_{\text{pico}}$  e, após repouso ativo de 100 nadadores (ambos os sexos) participantes do Campeonato Canadense, sugeriram distâncias entre 600 e 1500 m para realização de repouso ativo em nadadores.

### *Frequência cardíaca*

Os valores de FC de repouso e pré foram similares entre as distâncias (Figura 14). Este resultado vai ao encontro dos encontrados para  $VO_2$  e [La] na mesma comparação. Ainda, no momento pós, a FC mensurada para os 50 m foi menor que nos 400 e 1500 m, e a FC mensurada nos 100 m também foi menor que nos 400 e 1500 m. O  $\%FC_{max}$  requerido de  $\geq 90\%FC_{max}$  (HOWLEY et al. 1995) foi atingido ( $94,8 \pm 5,7 \%FC_{max}$ ) neste estudo. Sendo assim o terceiro critério fisiológico para considerar o alcance do  $VO_{2max}$  foi atingido no  $T_{400}$ .

### *Esforço percebido*

O EP é compreendido como uma representação complexa, central e integrada das mais variadas funções corporais alteradas de forma aguda pela atividade muscular e experiências com o exercício (ST CLAIR GIBSON et al. 2003; ALBERTUS et al. 2005). A integração entre as informações provenientes dos diversos mecanismos fisiológicos e das experiências na modalidade esportiva, em relação à duração e a intensidade da mesma, são refletidas no momento que o indivíduo atribui um valor na escala de 6 à 20 pontos (ANEXO 4).

O momento repouso foi menor que os momentos pré e pós, diferentemente de  $VO_2$  e [La] na mesma comparação, que apresentaram valores similares entre repouso e pré. Os valores médios de EP no momento pós ficaram entre 16,8 e 18,2 pontos (muito pesado). Com estes resultados, isoladamente pode-se questionar se os atletas realmente realizaram todos os testes em máxima intensidade. No entanto, os valores mensurados para  $VO_2$ , [La] e FC sugerem que os nadadores alcançaram os objetivos propostos para esta etapa, pois fazia-se necessário que todos os testes fossem realizados o mais próximo possível do melhor desempenho pessoal para um correto cálculo da  $VC_{4par}$  (ZACCA et al. 2010). Especificamente em relação ao  $T_{400}$ , a média de  $18,1 \pm 1,5$  pontos alcançada consolidou todos os três critérios observados neste estudo para assumirmos que os nadadores alcançaram seus  $VO_{2max}$  ao final do  $T_{400}$ . Com isso, os resultados no presente encontrados sugerem que houve tempo e intensidade suficiente para que o  $VO_{2max}$  fosse atingido.

### 6.3 RESULTADOS DA ETAPA 2

Este subcapítulo é dividido em quatro partes. A primeira apresentará os resultados referentes ao tlim (tlim<sub>exaustão</sub>) e dlim de nado até a exaustão (dlim<sub>exaustão</sub>) em intensidade equivalente à VC<sub>4par</sub> durante a etapa 2, e a segunda apresenta os resultados das variáveis fisiológicas VO<sub>2</sub>, [La], FC e EP mensuradas na etapa 2. A terceira e quarta parte apresentam a discussão da primeira e segunda parte respectivamente.

#### 6.3.1 Resultados das variáveis tlim<sub>exaustão</sub> e dlim<sub>exaustão</sub>.

A Tabela 3 apresenta os valores médios, mínimos, máximos e desvios padrão das variáveis tlim<sub>exaustão</sub> e dlim<sub>exaustão</sub> em intensidade equivalente à VC<sub>4par</sub>.

**Tabela 3:** Valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de tlim<sub>exaustão</sub> e dlim<sub>exaustão</sub> dos seis testes máximos realizados, n = 11.

	tlim <sub>exaustão</sub> (hora:min:s)	dlim <sub>exaustão</sub> (m)
Média	29min14s	2291
Mínimo	13min04s	1100
Máximo	62min19s	4800
± DP	16min49s	1238

Os valores de exaustão variaram de 13 min e 4 s até 62 min e 19 s para os 11 nadadores que o realizaram. Destes, quatro suportaram a manutenção da VC<sub>4par</sub> por menos de 20 min, cinco suportaram entre 20 e 30 min, e dois suportaram durante todo protocolo 6 x 10 min (limite máximo) proposto para este estudo.

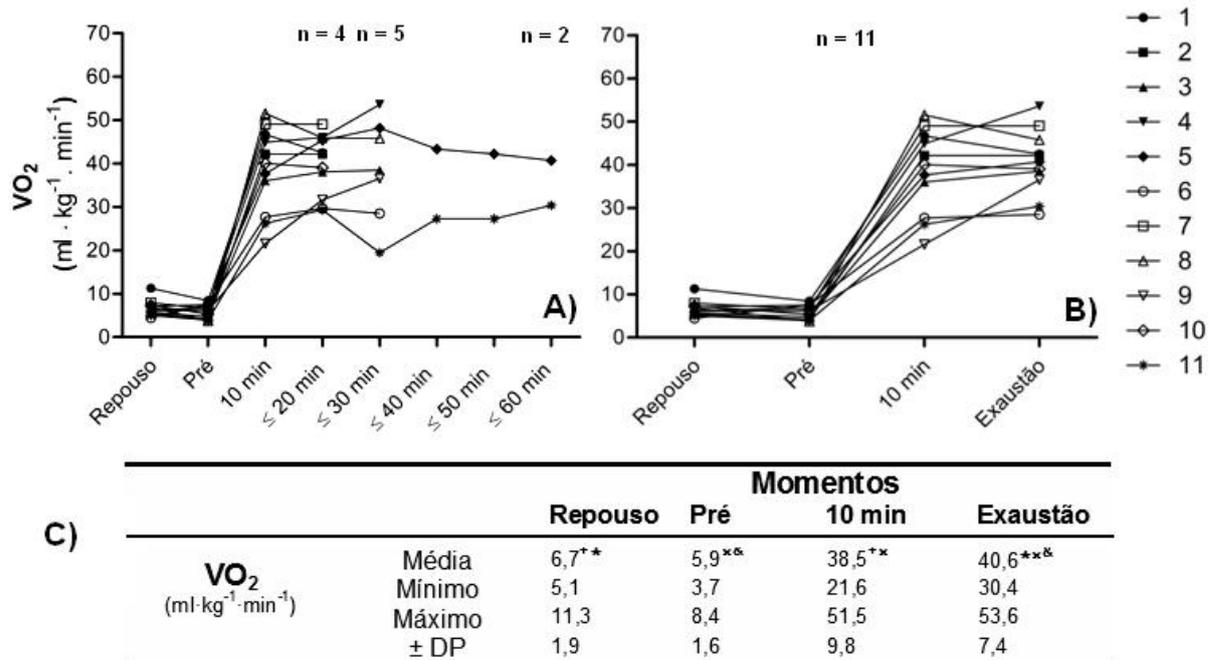
#### 6.3.2 Resultados das variáveis fisiológicas VO<sub>2</sub>, [La], FC e EP

Para comparação dos valores destas variáveis mensuradas no teste retangular foram utilizados apenas os momentos em que todos nadadores haviam sido avaliados, neste caso, momento repouso, momento pré, primeiro estágio de 10 min e momento exaustão.

#### *Consumo de Oxigênio*

A Figura 16 apresenta: A) comportamento do VO<sub>2</sub> (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos

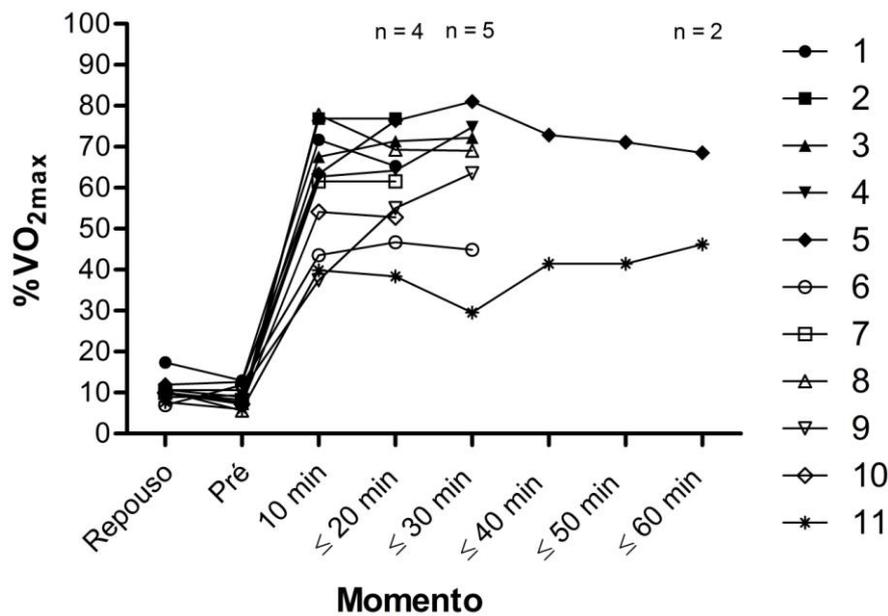
os nadadores (repouso, pré, 10 min e exaustão, e C) os valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de  $VO_2$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) somente dos estágios concluídos por todos nadadores bem como os resultados da comparação entre estes momentos.



**Figura 16:** Comportamento do  $VO_2$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) A) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão), C) seus resultados de média, desvios padrão, mínimo e máximo. Diferença significativa entre repouso e 10 min (+), repouso e Exaustão (\*), pré e 10 min (×), e entre pré e Exaustão (&).  $F(1,418;14,181) = 154,253$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,939$ ;  $p_o = 1,000$ . (+  $p < 0,001$ ; \*  $p < 0,001$ ; ×  $p < 0,001$ ; &  $p < 0,001$ ),  $n = 11$ .

Na comparação dos valores de  $VO_2$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) entre os momentos repouso, pré, 10 min e exaustão o momento 10 min foi semelhante ao momento de exaustão. Ainda, o coeficiente de correlação intraclassa foi alto e significativo (CCI = 0,664 ]0,155;0,898[  $F(10,30) = 2,973$ ;  $p = 0,010$ ) para os intervalos de confiança verificados, ou seja, mostra certa estabilidade dos dados, a mudança dos valores é sistemática (para todos nadadores deste estudo).

A Figura 17 apresenta os valores de  $VO_2$  durante a etapa 2 expressos em valores percentuais do  $VO_{2max}$  ( $\%VO_{2max}$ ) assumido nesse estudo como o valor obtido no teste máximo de 400 m e calculado por meio de retro-extrapolação.



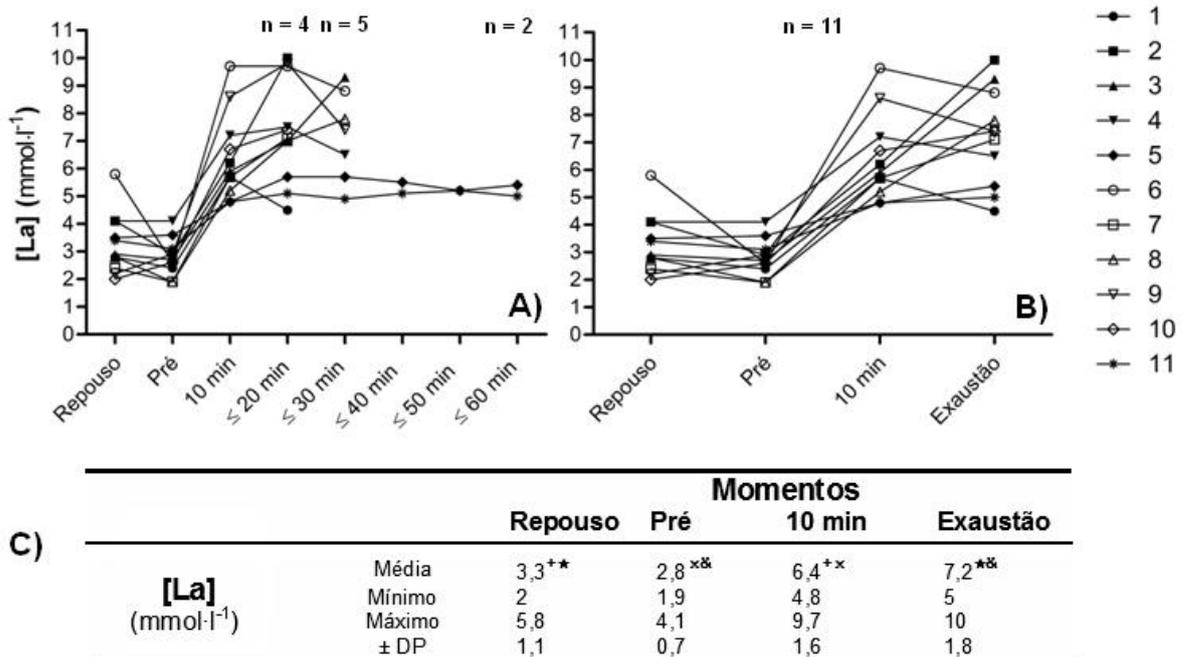
**Figura 17:** Valores de  $VO_2$  mensurados durante a etapa 2 e expressos em valores percentuais do  $VO_{2max}$  ( $\%VO_{2max}$ ),  $n = 11$ .

A Figura 17 mostra que nenhum nadador alcançou o  $VO_{2max}$  durante o teste retangular nadado em intensidade equivalente à  $VC_{4par}$  ( $63,2 \pm 10,5 \%VO_{2max}$ ; mín  $44,8 \%VO_{2max}$ ; máx  $76,9 \%VO_{2max}$ ).

Sugere-se com esses resultados e com o valor de CCI verificado ( $CCI = 0,664$   $[0,155; 0,898]$   $F(10,30) = 2,973$ ;  $p = 0,010$ ) que o  $VO_2$  comporta-se de maneira semelhante em nadadores quando estes nadam em intensidade equivalente à  $VC_{4par}$  estabilizando-se a partir de, aproximadamente, 10 min, não atingindo seu valor máximo antes da exaustão.

#### Concentração de lactato sanguíneo

A Figura 18 apresenta: A) comportamento da  $[La]$  ( $mmol \cdot l^{-1}$ ) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos os atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão, e C) os valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo da  $[La]$  ( $mmol \cdot l^{-1}$ ) somente dos estágios concluídos por todos os atletas bem como os resultados da comparação entre estes momentos.



**Figura 18:** Comportamento [La] (mmol·l<sup>-1</sup>) A) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão), C) seus resultados de média, desvios padrão, mínimo e máximo. Diferença significativa entre repouso e 10 min (+), repouso e Exaustão (★), pré e 10 min (×), e entre pré e Exaustão (&).  $F(3,30) = 38,636$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,794$ ;  $p_o = 1,000$ ; (+  $p < 0,001$ ; ★  $p < 0,001$ ; ×  $p < 0,001$ ; &  $p < 0,001$ ),  $n = 11$ .

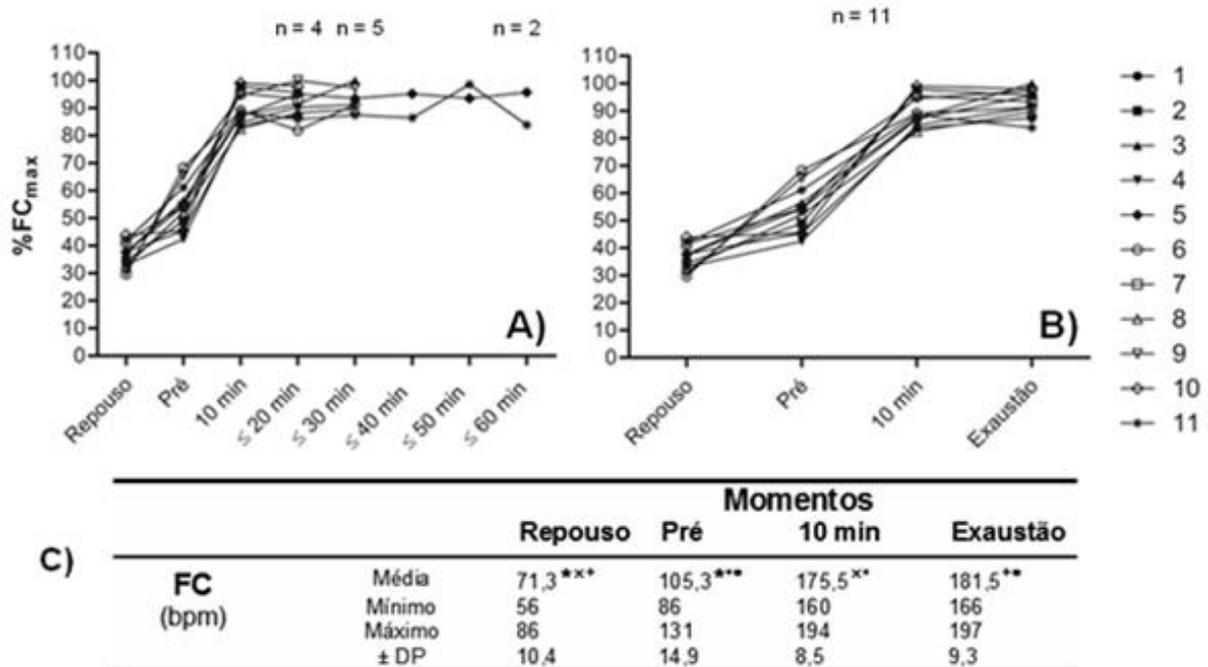
Na comparação dos valores de [La] (mmol·l<sup>-1</sup>) entre os momentos repouso, pré, 10 min e exaustão verificou-se que o momento 10 min foi semelhante ao momento de exaustão ( $p = 1,000$ ). No entanto, o coeficiente de correlação intraclassa não foi significativo (CCI = 0,535 ]-0,168;0,860[  $F(10,30) = 2,150$ ;  $p = 0,051$ ) para os intervalos de confiança verificados, ou seja, não mostra estabilidade dos dados, a mudança dos valores não é sistemática. Embora somente sete nadadores tenham ultrapassado o momento 20 min antes da exaustão (quatro nadadores tenham alcançado a exaustão entre 10 e 20 min), uma abordagem individual no momento 20 foi necessária para se compreender melhor o comportamento da [La] ao longo do teste retangular. Analisando os valores de [La] de cada nadador, do momento 10 para o momento 20 min, identificamos que nove dos 11 nadadores apresentaram aumento destes valores, um manteve-se com o mesmo valor (9,7 mmol·l<sup>-1</sup>), e apenas um nadador apresentou valor menor (5,1 para 4,9 mmol·l<sup>-1</sup>). No entanto, dois dos 11 nadadores apresentaram um aumento inferior a 1 mmol·l<sup>-1</sup> (4,8 à 5,7 e 4,8 à 5,2 mmol·l<sup>-1</sup>) não alcançando a exaustão dentro do protocolo proposto para este estudo.

Baseado nestes resultados, sugere-se que a [La] comporta-se entre uma faixa de estabilização à aumentos sem estabilização, situando-se em  $7,2 \pm 1,8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  na exaustão.

Verificou-se correlação significativa e positiva entre  $\text{VO}_2$  e [La], ( $0,679$ ;  $p < 0,001$ ) na segunda etapa.

### Frequência cardíaca

A Figura 19 apresenta: A) o comportamento do  $\% \text{FC}_{\text{max}}$  ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão, e C) os valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo de FC (bpm) somente dos estágios concluídos por todos atletas bem como os resultados da comparação entre estes momentos.



**Figura 19:** Comportamento do  $\% \text{FC}_{\text{max}}$  A) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão), C) resultados de média, desvios padrão, mínimo e máximo da FC (bpm). Diferença significativa entre repouso e pré ( $\star$ ), repouso e 10 min ( $\times$ ), repouso e exaustão ( $+$ ), pré e 10 min ( $\bullet$ ), e entre pré e exaustão ( $\circ$ ).  $F(3,30) = 253,988$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,962$ ;  $p_0 = 1,000$ ; ( $+ p < 0,001$ ;  $\star p = 0,002$ ;  $\times p < 0,001$ ;  $\bullet p < 0,001$ ;  $\circ p < 0,001$ ),  $n = 11$ .

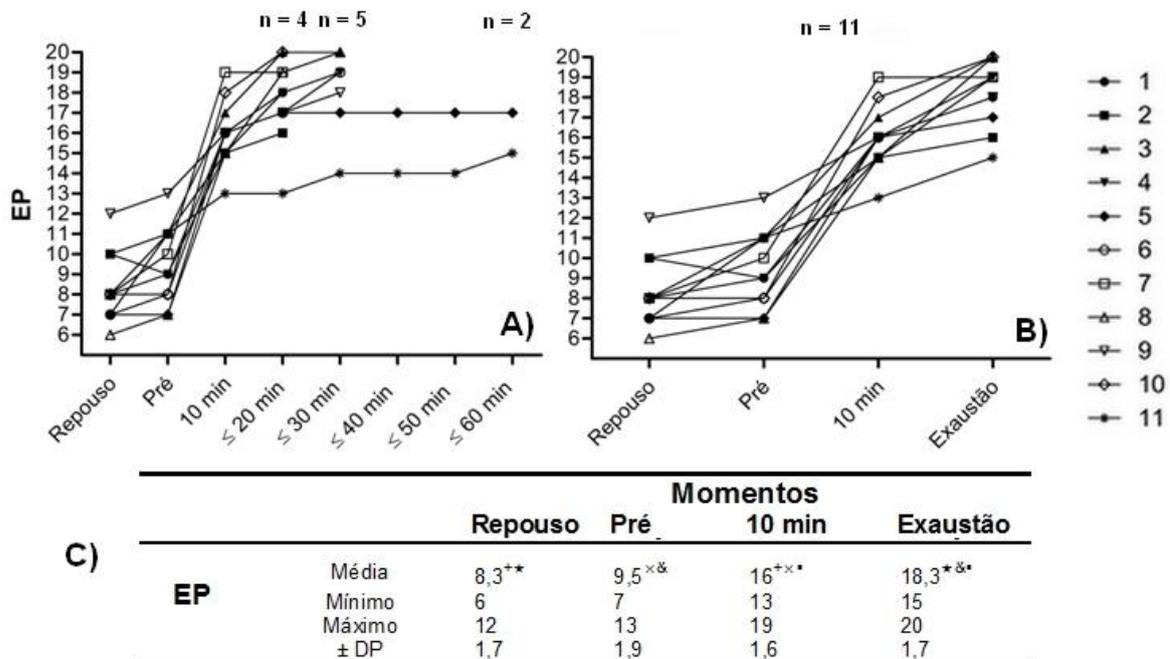
Nos resultados da comparação dos valores de FC (bpm) entre os momentos repouso, pré, 10 min e exaustão verificou-se que o momento 10 min foi semelhante ao momento de exaustão. No entanto, o coeficiente de correlação intraclassa foi

baixo e não significativo (CCI = - 0,147 ]-0,195;0,872[ F(10,30) =0,872; p = 0,568) para os intervalos de confiança verificados.

Ainda, apenas três nadadores apresentaram valores abaixo de 90 %FC<sub>max</sub> durante o teste retangular (93,0 ± 4,9 %FC<sub>max</sub>; mín 83,8 ; máx 100,0).

### Esforço percebido

A Figura 20 apresenta: A) o comportamento do EP ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão, e C) os valores de média, desvios padrão, mínimo e máximo somente dos estágios concluídos por todos atletas bem como os resultados da comparação entre estes momentos.



**Figura 20:** Comportamento de EP A) ao longo de todo o protocolo da segunda etapa; B) somente nos estágios concluídos por todos atletas (repouso, pré, 10 min e exaustão), C) resultados de média, desvios padrão, mínimo e máximo. Diferença significativa entre repouso e 10 min (+), repouso e exaustão (★), pré e 10 min (×), pré e exaustão (&), e entre 10 min e exaustão (.) F(1,614; 16,137) = 99,747; p < 0,001;  $\eta^2 = 0,909$ ; po = 1,000 , n = 11.

Ao comparar valores de EP entre os momentos repouso, pré, 10 min e exaustão, verificou-se que no momento 10 min o EP foi menor que no momento de exaustão. No entanto, o coeficiente de correlação intraclasse foi baixo e não significativo (CCI = - 0,372] -0,576;0,810 [F(10,30) =1,593; p = 0,157) para os intervalos de confiança verificados, ou seja, não mostra estabilidade dos dados, a mudança dos valores não é sistemática.

No entanto, analisando os valores de EP de cada nadador, do momento 10 para o momento 20 min, identificamos que nove dos 11 nadadores apresentaram aumento destes valores, e apenas dois mantiveram-se com o mesmo valor (13 -13 e 19-19), Baseado nestes resultados, sugere-se que o EP aumenta sem estabilizar-se, situando-se em  $18,3 \pm 1,7$  na exaustão (mín 15; máx 20).

## 6.4 DISCUSSÃO DA ETAPA 2

Este subcapítulo é dividido em duas partes. A primeira apresenta a discussão dos resultados referentes aos tlim de nado até exaustão ( $t_{lim_{exaustão}}$ ) e dlim nadada até a exaustão ( $d_{lim_{exaustão}}$ ) durante a etapa 2. A segunda parte apresenta a discussão dos resultados referente às variáveis fisiológicas  $VO_2$ , [La], FC e EP da etapa 2.

### 6.4.1 Discussão dos resultados referente aos tlim de nado até exaustão ( $t_{lim_{exaustão}}$ ) e dlim nadada até a exaustão ( $d_{lim_{exaustão}}$ ).

Apesar do significado fisiológico da  $VC_{2par}$  já ter sido estudado por DEKERLE et al. (2010), o significado fisiológico da  $VC_{4par}$  ainda necessitava ser investigado para melhor compreensão da bioenergética representada por meio de modelos matemáticos em nadadores, bem como em outros esportes. Conforme observado na revisão de literatura, os valores de  $VC_{2par}$  são maiores que os valores do que  $VC_{4par}$ . Sendo assim era esperado que os nadadores do presente estudo se mantivessem nadando por mais tempo do que o descrito na literatura para testes retangulares até exaustão em intensidade equivalente à  $VC_{2par}$ , e isso se confirmou. Dekerle et al. (2010) verificaram que nadadores seriam capazes de suportar entre 14,3 e 39,4 min durante um teste retangular em intensidade equivalente à  $VC_{2par}$  ( $24,3 \pm 7,7$  min). No presente estudo os atletas suportaram, em média  $29,14 \pm 16,49$  min, Ainda, dois atletas do presente estudo suportaram por mais de 60 minutos nesta intensidade, enquanto que em  $VC_{2par}$ , os nadadores do estudo de Dekerle et al. (2010) suportaram, no máximo, 39,4 min. Este resultado permite confirmar a hipótese 1 deste estudo (o domínio de intensidade relacionado à  $VC_{4par}$  é inferior ao limite inferior do domínio de intensidade severo), pois a  $VC_{2par}$  situa-se no limite inferior do domínio de intensidade severo.

Dekerle & Pelayo (2011) sugerem a subdivisão do domínio de intensidade pesado com a justificativa de que a faixa de intensidade de esforço associada ao domínio severo é vasta (desempenhos de ~ 2 à 60 min) e associada com várias respostas crônicas ao treinamento. Os autores ressaltam que as respostas fisiológicas ao nadar em intensidades equivalentes ou superiores à máxima fase estável de lactato ainda não estão claras, pois não é certo que o  $VO_{2max}$  é atingido. Assim, era justificável fixar, ao menos, um domínio de intensidade a mais entre a MFEL e a  $VC_{2par}$ : o domínio de intensidade “muito pesado”.

Dekerle et al. (2010) realizaram o teste retangular em uma piscina de 25 m com temperatura da água ( $27 \pm 1^{\circ}C$ ) e ambiente ( $23,6 \pm 1,6^{\circ}C$ ) controlada. Na segunda etapa de nosso estudo a temperatura da água ( $28,5 \pm 0,71^{\circ}C$ ) foi controlada e semelhante ao estudo de Dekerle et al. (2010), porém a temperatura ambiente (variável interveniente) do presente estudo ( $31,2 \pm 3,2^{\circ}C$ ) teve uma variação maior, que pode ter influenciado nos valores de  $tlim_{exaustão}$ , com redução desses valores quando os testes eram realizados em dias mais quentes. Contudo faz-se necessário ressaltar que nem sempre é possível encontrar ambientes de treino com temperatura da água e ambiente controlados simultaneamente, e caberá ao treinador adequar os treinamentos aos objetivos propostos para seus atletas de acordo com as condições de trabalho disponíveis. Pode-se afirmar que os valores de  $tlim_{exaustão}$  encontrados por Dekerle et al. (2010) também poderiam ser menores se realizados com maiores alterações de temperatura, o que tornaria a diferença de entre  $VC_{2par}$  e  $VC_{4par}$  maior do que a verificada entre esses dois estudos (Dekerle et al. 2010 e o presente estudo). É importante, analisar os valores de  $tlim_{exaustão}$  de maneira conjunta com as demais variáveis deste estudo ( $VC_{4par}$ ,  $VO_2$ , [La], FC e EP), mas cabe ressaltar que a participação de nadadores de diferentes especialidades na amostra pode ter contribuído para os diferentes valores encontrados para  $tlim_{exaustão}$ .

#### 6.4.2 Discussão dos resultados referente às variáveis fisiológicas $VO_2$ , [La], FC e EP.

Em relação aos resultados das variáveis fisiológicas obtidas durante o teste retangular na  $VC_{4par}$  formulou-se a hipótese de que o domínio de intensidade relacionado à  $VC_{4par}$  é inferior ao limite inferior do domínio severo.

Dekerle & Pelayo (2011) propõem uma escala de cinco domínios de intensidade, nos quais limiar de lactato (LL), MFEL e  $VC_{2par}$  podem ser compreendidos como limites que demarcam distintos domínios de intensidade. O LL (primeiro aumento na resposta do lactato a um teste incremental) é o limite entre o domínio moderado e o pesado, e seus tlim estão em torno de 60 min. No domínio de intensidade pesado o exercício é realizado em intensidade levemente superior ao LL (não mais que  $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) com subsequente estabilização próxima a níveis de repouso ( $\sim 1\text{-}2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ). A MFEL é o limite superior do domínio de intensidade pesado e inferior do domínio muito pesado. A  $VC_{2par}$  é o limite superior do domínio muito pesado. A faixa de intensidades que compõem o domínio muito pesado caracteriza-se por um aumento na [La], bem como a ocorrência do componente lento no  $VO_2$ , mas sem atingir o  $VO_{2max}$  ao final do exercício (DEKERLE et al. 2010). O  $VO_{2max}$  seria atingido se o exercício fosse realizado em intensidade acima da  $VC_{2par}$  e continuado até a exaustão (caracterizando o domínio severo).

Este estudo buscou propor condições adequadas para que fosse possível compreender o significado fisiológico de nadar em VN equivalente à  $VC_{4par}$  até a exaustão, e com isso situar a  $VC_{4par}$  na escala de cinco domínios proposta por Dekerle & Pelayo (2011). Os principais resultados encontrados ao nadar em  $VC_{4par}$  foram:

- a) O  $tlim_{exaustão}$  parece ser maior que quando nadado em  $VC_{2par}$ , situando-se entre 13 e 62 min ( $29,14 \pm 16,49$  min);
- b) O  $VO_2$  se comporta de maneira semelhante em nadadores ( $CCI = 0,664$ ;  $p = 0,010$ ), estabilizando-se a partir de aproximadamente 10 min, não atingindo seu valor máximo antes da exaustão, e ficando situado à  $63,2 \pm 10,5 \%VO_{2max}$ ;
- c) A [La] comporta-se entre uma faixa de estabilização a aumentos sem estabilização, situando-se em  $7,2 \pm 1,8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  na exaustão.
- d) A FC no momento exaustão situou-se em  $93,0 \pm 4,9 \%FC_{max}$ ;
- e) O EP aumenta sem estabilizar-se, situando-se em  $18,3 \pm 1,7$  na exaustão (mín 15; máx 20)

Estes resultados, aliados aos conceitos previamente descritos por Dekerle & Pelayo (2011), sugerem que a  $VC_{4par}$  esteja situada domínio de intensidade muito pesado, e próxima ao limite inferior do mesmo, pois este caracteriza-se pela máxima intensidade na qual ainda há estabilização na [La], seguido de aumento na [La] em

VN levemente superiores. Ainda o comportamento do  $VO_2$  demonstrado no teste retangular (estabilização a partir de aproximadamente 10 min e com valores percentuais médios de  $63,2 \pm 10,5 \%VO_{2max}$ ) também vai ao encontro de que a  $VC_{4par}$  esteja situada acima do limite inferior do domínio de intensidade muito pesado. Cabe ressaltar que o presente estudo apresentou uma situação curiosa e até então difícil de se verificar: baixo valor médio  $\%VO_{2max}$  e valor médio de lactato relativamente alto exaustão. Contudo estes baixos valores não foram ocorreram com todos indivíduos. A correlação significativa e positiva encontrada entre  $VO_2$  e [La], que embora não muito forte ( $0,679$ ;  $p < 0,001$ ), demonstrou que quanto maior era o  $VO_2$ , maior era a [La].

Assim, de acordo com os resultados encontrados e discutidos no presente estudo, a hipótese 1 (o domínio de intensidade relacionado à  $VC_{4par}$  é inferior ao limite inferior do domínio severo), foi confirmada.

## **6.5 RESULTADOS DA RELAÇÃO ENTRE A $VC_{4PAR}$ E A VELOCIDADE DE NADO DO $T_{400}$ ( $V_{400}$ )**

Este subcapítulo é dividido em quatro partes: a primeira apresenta os resultados referente à relação entre as variáveis  $VC_{4par}$  (prescrita para que os atletas realizassem o teste retangular até a exaustão),  $tlim_{exaustão}$ ,  $dlim_{exaustão}$  e VN de 200, 400, 800 e 1500m; a segunda parte apresentará os resultados referentes à relação entre variáveis fisiológicas  $VO_2$ , [La], FC e EP do teste retangular com as dos testes de 200, 400, 800 e 1500 m; a terceira parte são discutidos esses resultados.

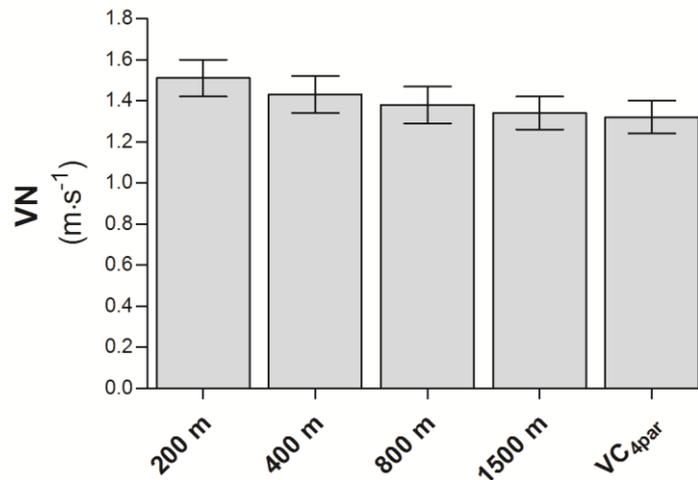
### **6.5.1 Resultados referente à relação $VC_{4par}$ , $tlim_{exaustão}$ , $dlim_{exaustão}$ e VN de 200, 400, 800 e 1500m**

A Tabela 4 apresenta valores médios, mínimos, máximos e desvios padrão de  $VC_{4par}$  como percentual relativo à VN de cada teste máximo.

**Tabela 4:** Valores médios, mínimos, máximos e desvios padrão de  $VC_{4par}$  em  $m \cdot s^{-1}$  e como percentual relativo à VN de cada teste máximo,  $n = 11$ .

	$VC_{4par}$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	$VC_{4par}$ como % relativo à VN de cada teste máximo nas respectivas distâncias (m)			
		200	400	800	1500
Média	1,32	87,4	92,5	95,4	99,0
Mínimo	1,20	83,1	90,2	94,3	98,1
Máximo	1,44	92,7	95,2	96,6	100,0
$\pm$ DP	0,09	3,3	1,9	0,7	0,7

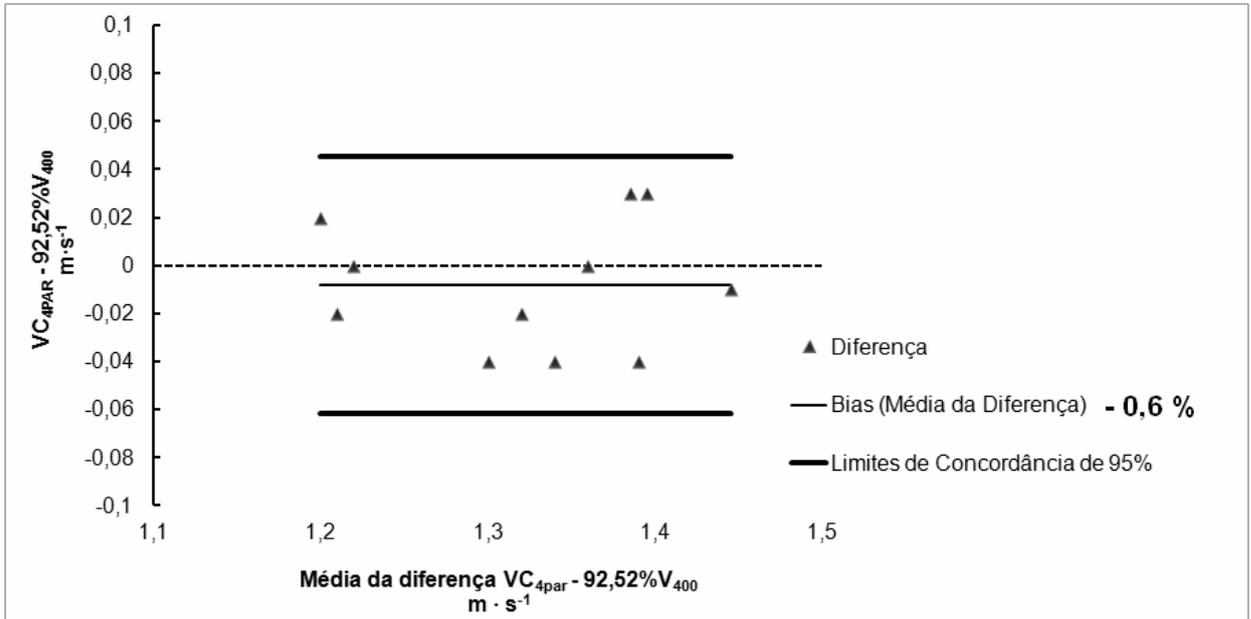
A Figura 21 apresenta os resultados da comparação dos valores de VN dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e do teste retangular.



**Figura 21:** Comparação dos valores de VN dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e da  $VC_{4par}$  do teste retangular. Diferenças significativas e entre todas as comparações  $F(1,235; 12,348) = 115,712$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,920$ ;  $p_0 = 1,000$ .; ( $p < 0,001$ ),  $n = 11$ .

A  $VC_{4par}$  foi menor do que todas as VN comparadas, ficando à 92,52% da  $V_{400}$  (min 90,2; máx 95,2). A diferença entre a  $VC_{4par}$  e VN prescrita à 92,52% $V_{400}$  foi de  $-0,01 \pm 0,03 m \cdot s^{-1}$  (coeficiente de variação: 2%). O erro RMS também foi calculado entre a VN à 92,52% $V_{400}$  e a  $VC_{4par}$  de cada indivíduo, e seu valor médio ficou em  $0,02 \pm 0,01 m \cdot s^{-1}$ .

O grau de concordância (BLAND & ALTMAN, 1986) entre  $VC_{4par}$  e  $92,52\%V_{400}$  é apresentado em valores absolutos e percentuais na Figura 22.



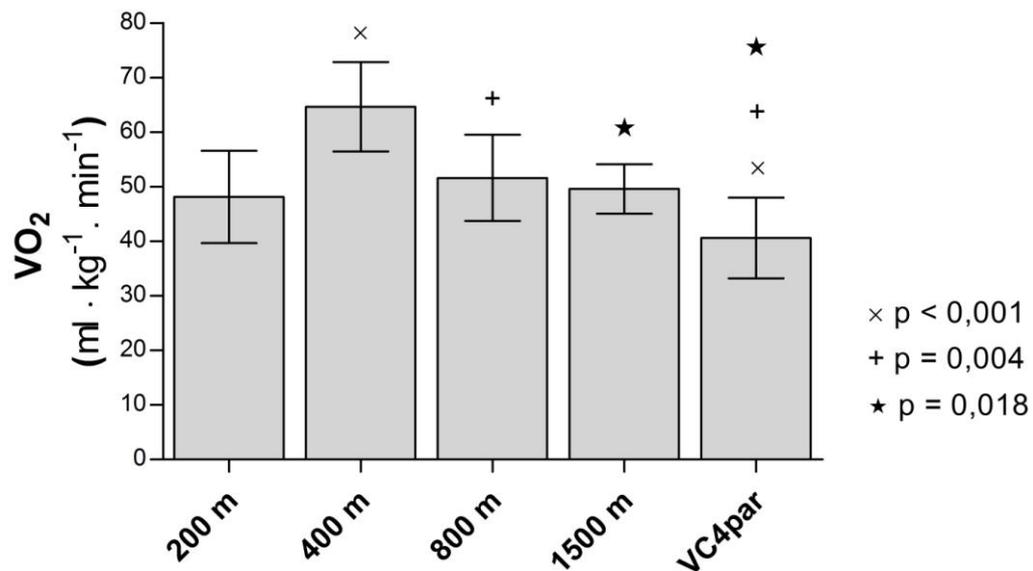
**Figura 22:** Grau de concordância expresso em valores absolutos e percentuais (%) entre  $VC_{4par}$  e  $92,52\%V_{400}$ . A diferença média (bias) é representada pela linha horizontal cinza, e os limites de concordância (95%) pelas linhas pretas,  $n = 11$ .

O grau de concordância indicou uma diferença média de  $-0,6\%$  ( $-0,01 m \cdot s^{-1}$ ) entre  $VC_{4par}$  e  $92,52\%V_{400}$ . Verificou-se também a relação entre  $V_{400}$  e  $VC_{4par}$  com explicação de regressão linear. Baseando-se nesses resultados encontrados presente estudo, sugere-se que a  $VC_{4par}$  pode ser predita apenas com um teste único de 400 m utilizando a equação 10:

$$VC_{4par} = (0,9252 * V_{400}) - 0,01 \quad (\text{Equação 10})$$

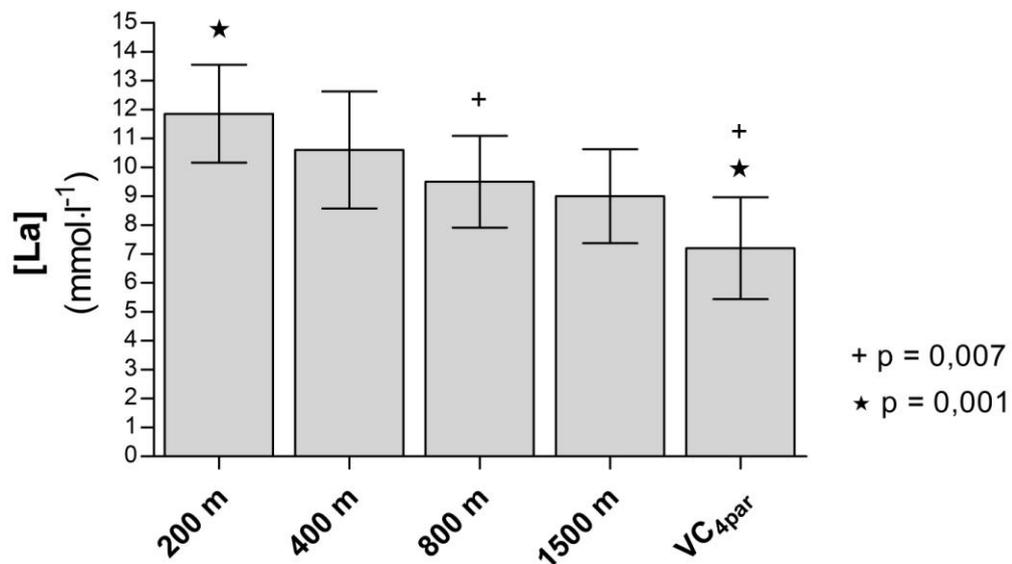
6.5.2 Resultados referentes à relação entre variáveis fisiológicas  $VO_2$ ,  $[La]$ , FC e EP do teste retangular.

A Figura 23 apresenta os resultados da comparação dos valores de  $VO_2$  obtidos no momento pós dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e no momento exaustão do teste retangular em  $VC_{4par}$ .



**Figura 23:** Comparação dos valores de VO<sub>2</sub> obtidos no momento pós dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e do momento exaustão do teste retangular em VC<sub>4par</sub>. Diferenças significativas entre VC<sub>4par</sub> e 400 m (×), VC<sub>4par</sub> e 800 m (+), VC<sub>4par</sub> e 1500 m (★). F(4,40) = 28,384; p < 0,001; η<sup>2</sup> = 0,739; p<sub>o</sub> = 1,000, n = 11.

Os resultados da Figura 23 mostram que a VC<sub>4par</sub> apresentou um menor valor de VO<sub>2</sub> no momento exaustão ( $40,6 \pm 7,4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $63,2 \pm 10,5 \text{ \%VO}_{2\text{max}}$ ) do que os valores verificados ao final de testes de 400 ( $63,55 \pm 10,78 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $\text{VO}_{2\text{max}}$  neste estudo), 800 ( $51,01 \pm 7,80 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $80,82 \pm 10,98 \text{ \%VO}_{2\text{max}}$ ), e 1500 m ( $48,98 \pm 4,79 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $77,63 \pm 7,69 \text{ \%VO}_{2\text{max}}$ ). A Figura 24 apresenta os resultados da comparação dos valores de [La] obtidos no momento pós dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e no momento exaustão do teste retangular em VC<sub>4par</sub>.



**Figura 24:** Comparação dos valores de [La] obtidos no momento pós dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e do momento exaustão do teste retangular em VC<sub>4par</sub>. Diferenças significativas  $F(4,40) = 13,199$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,369$ ;  $p_o = 1,000$ , entre VC<sub>4par</sub> e 200 m (★) e entre VC<sub>4par</sub> e 800 m (+).  $n = 11$ .

Não foram observadas diferenças nos valores de [La] entre VC<sub>4par</sub> e V<sub>400</sub> ( $p = 0,060$ ) nem entre VC<sub>4par</sub> e VN dos 1500 m ( $p = 0,102$ ). Não houve diferenças na comparação dos valores de %FC<sub>max</sub> obtidos no momento pós dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e do momento exaustão do teste retangular em VC<sub>4par</sub>.  $F(4,40) = 0,707$ ;  $p = 0,592$ ;  $\eta^2 = 0,066$ ;  $p_o = 0,209$ . Ainda, não houve diferenças na comparação dos valores de EP obtidos no momento pós dos testes máximos 200, 400, 800, 1500 m e do momento exaustão do teste retangular em VC<sub>4par</sub>.  $F(4,40) = 0,313$ ;  $p = 0,868$ ;  $\eta^2 = 0,030$ ;  $p_o = 0,113$ .

### 6.5.3 Discussão dos resultados

Formulou-se a hipótese de que a relação entre a VC<sub>4par</sub> e a VN do T<sub>400</sub> (V<sub>400</sub>) em nadadores de nível nacional possibilita a determinação da VC<sub>4par</sub> por meio de apenas um T<sub>400</sub>. O T<sub>400</sub> mostra-se válido e confiável para a prescrição de VN de nado referentes à potência aeróbia. Contudo, a possibilidade de prescrever mais de uma VN, de significado fisiológico pré-estabelecido, ainda necessitava ser investigado. E esta possibilidade foi testada no presente estudo.

No presente estudo, o valor médio da  $VC_{4par}$  calculada pela equação proposta por Zacca et al. (2010) foi equivalente à 92,52% da  $V_{400}$  ( $92,52\%V_{400}$ ). O grau de concordância (BLAND & ALTMAN, 1986) entre  $VC_{4par}$  e  $92,52\%V_{400}$  indicou uma diferença média de -0,6% (- 0,01  $m\cdot s^{-1}$ ). Ainda, a repetibilidade foi verificada por meio do coeficiente de variação entre  $VC_{4par}$  e  $92,52\%V_{400}$  em valor percentual (2%), e a acurácia, por meio do erro RMS, ficou em  $0,02 \pm 0,01 m\cdot s^{-1}$ .

Estes resultados sugerem que prescrever  $VC_{4par}$  apenas por meio do  $T_{400}$  seja um método com níveis de acurácia e precisão que permitem sua aplicação para a população analisada, já que coeficiente de variação e o erro RMS foram muito baixos. Os resultados encontrados no presente estudo sugerem que a  $VC_{4par}$  pode ser predita apenas com um teste único de 400 m utilizando a equação 9, confirmando a hipótese 2 (A relação entre a  $VC_{4par}$  e a VN do  $T_{400}$  em nadadores de nível nacional possibilita a determinação da  $VC_{4par}$  por meio de apenas um  $T_{400}$ ).

Normalmente, equipes de categorias de base juvenis são numerosas e o custo elevado para utilização de técnicas válidas como LL, por exemplo, inviabiliza as avaliações por meio deste tipo de avaliação. Desta forma, a utilização de protocolos não invasivos, de apelo ecológico, simples e de baixo custo, é vista como uma alternativa atrativa por treinadores, assumindo-se as devidas limitações de um teste não invasivo. Ao nosso conhecimento não existe um protocolo não invasivo com possibilidade de prescrição de duas intensidades distintas de nado (potência e capacidade aeróbia). Até então, o  $T_{400}$ , como já visto na revisão deste estudo, é um método não invasivo confiável para prescrição de VN relativa à potência aeróbia (máxima quantidade de energia química que pode ser transformada pelas estruturas das mitocôndrias por unidade de tempo) e seus valores de tlim têm uma duração muito semelhante aos esforços realizados em  $vVO_{2max}$  até a exaustão (tlim- $vVO_{2max}$ ), que foi confirmada em nosso estudo. Ainda, o resultado encontrado no presente estudo e já apresentado anteriormente, indica que fisiologicamente, quando nadadores juvenis de nível nacional nadam em intensidade equivalente à  $92,52\%V_{400}$ , o esforço realizado está entre a máxima fase estável de lactato (MEFL) até uma intensidade equivalente à  $63,2 \pm 10,5 \%VO_{2max}$ , com valores máximos não ultrapassando  $76,9 \%VO_{2max}$ . Isto indica uma intensidade equivalente a esforços relativos à capacidade aeróbia (energia química total disponível para gerar trabalho aeróbio).

No protocolo utilizado por alguns treinadores brasileiros (Quadro 2) que baseia-se no  $T_{400}$  para monitorar e prescrever três VN distintas para nadadores e triatletas, a VN prescrita para incremento do limiar anaeróbio é sugerida como aproximadamente 90% da  $V_{400}$ , demonstrando coerência com os resultados encontrados para  $VO_2$  e [La] durante o teste retangular em intensidade equivalente à  $92,52\%V_{400}$  no nosso estudo.

## CONCLUSÃO

Nadadores juvenis, ao nadarem em VN constante equivalente à  $VC_{4par}$  até a exaustão, estarão realizando um exercício em domínio de intensidade muito pesado, próximo ao limite inferior do mesmo.

A relação entre a  $VC_{4par}$  e a VN do  $T_{400}$  ( $V_{400}$ ) em nadadores de nível nacional possibilita a determinação da  $VC_{4par}$  por meio de apenas um  $T_{400}$ , por meio da equação de predição  $VC_{4par} (m \cdot s^{-1}) = (0,9252 * V_{400}) - 0,01$ . Com isso, o  $T_{400}$ , teste relativamente curto, não invasivo e de fácil aplicação, parece ser capaz de prescrever duas intensidades distintas de nado, uma referente à potência aeróbia ( $vVO_{2max}$ ) e outra referente à capacidade aeróbia ( $VC_{4par}$ ).

## LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS

Destacam-se as seguintes limitações na realização deste estudo: a dificuldade de realizar mensuração de consumo de oxigênio em nadadores em situação específica de nado, e as variações de temperatura ambiente, principalmente durante o teste retangular.

Em relação à dificuldade de mensurar consumo de oxigênio em nadadores, a retro-extrapolação permite apenas uma predição do valor de consumo de oxigênio no tempo zero. No entanto, também permite que o nadador realize o teste sem equipamentos durante o percurso, podendo realizar todas as técnicas (saídas, respiração uni ou bilateral, viradas, etc.) desejadas durante o mesmo.

As variações de temperatura ambiente, principalmente durante o teste retangular pode ter influenciado nos valores de  $t_{lim_{exaustão}}$  dos nadadores deste estudo.

O número de variáveis relacionadas ao desempenho em uma prova de natação é muito grande e a busca e compreensão de todas as possíveis associações entre essas variáveis é, sem dúvida, um grande desafio. Treinadores nem sempre sabem exatamente o ganho e a perda gerada pelo ciclo de treinamento em cada uma das capacidades condicionantes trabalhadas após cada ciclo. Ainda, existe necessidade muito grande de se estabelecer um protocolo de testes que seja capaz de embasar de forma mais precisa o treinador para o próximo ciclo do planejamento. O que encontramos são protocolos isolados que tentam monitorar aspectos específicos do desempenho. Poucos são os estudos de cunho biofísico. Assim, um protocolo, no caso o  $T_{400}$ , que fosse capaz de mensurar de forma confiável a relação causa/efeito do que foi planejado e realizado pelo nadador em cada período de treinamento (ex: mesociclo) abordando aspectos, biomecânicos, coordenativos, fisiológicos e eletromiográficos, simultaneamente, parece ser muito atrativo para treinadores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBERTUS Y, TUCKER R, ST CLAIR GIBSON A, LAMBERT EV, HAMPSON DB, NOAKES TD. (2005) *Effect of distance feedback on pacing strategy and perceived exertion during cycling*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 37, n.3, p. 461-468.
2. ALBERTY M, SIDNEY M, HOUT-MARCHAND F, DEKERLE J, GORCE P, LENSEL G, PELAYO P. (2006) *Effects of stroking parameters changes on time to exhaustion*. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A. (Eds). *Biomechanics and medicine in swimming X: proceedings of the Xth Internacional Syposium on Biomechanics and medicine in swimming*; Port J Sports Sci. ;6:287-289.
3. AVLONITOU E. (1996) *Maximal lactate values following competitive performance varying according to age, sex and swimming style*. *J Sports Med Phys Fitness*. Mar;36(1):24-30.
4. BARBOSA T, SILVA AJ, REIS AM, COSTA M, GARRIDO N, POLICARPO F, REIS VM. (2010) *Kinematical changes in swimming front crawl and breaststroke with the AquaTrainer® snorkel*. *European Journal of Applied Physiology* 109 (6) 1155-1162, DOI: 10.1007/s00421-010-1459-x.
5. BARON B, NOAKES TD, DEKERLE J, et al. (2008) *Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity?* *Br J Sports Med* 2008;42:828–833. doi:10.1136/bjism.2007.040444
6. BARSTOW TJ. (1994) *Characterization of VO<sub>2</sub> kinetics during heavy exercise*. *Med Sci Sports Exerc*, 26(11), 1327-34.
7. BEIDARIS N, BOTONIS P, PLATONOU T. (2010) *Physiological responses and performance characteristics of 200m continuous swimming and 4x50m “broken swimming” with different rest intervals*. In: J Proceedings of the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming, Oslo, 16th -19th June 2010. Per-Ludvik Kjendlie, Robert Keig Stallman and Jan Cabri (Eds) 242-245.
8. BENEKE R. (1995) *Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing*. *Med Sci Sports Exerc*, 27(6), 863-7.
9. BILLAT V, FAINA M, SARDELLA F, MARINI C, FANTON F, LUPO S, FACCINI P, DE ANGELIS M, KORALSZTEIN JP, DALMONTE A. (1996b) *A comparison of time to exhaustion at VO<sub>2max</sub> in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners*. *Ergonomics* ; 39: 276-277.
10. BILLAT V, KORALSZTEIN JP. (1996) *Significance of the velocity at VO<sub>2max</sub> and time to exhaustion at this velocity*. *Sports Med*. Aug;22(2):90-108.
11. BILLAT V, PINOTEAU J, PETIT B, ET AL. (1994a) *Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of speed at VO<sub>2max</sub> and critical speed in elite long distance runners*. *Med Sci Sports Exerc* 1994; 26 (5 Suppl.) 106S.
12. BILLAT V, PINOTEAU J, PETIT B, RENOUX JC, KORALSZTEIN JP. (1994c) *Time to exhaustion at 100% of velocity at VO<sub>2max</sub> and modelling of the relation time-limit/velocity in elite long distance runners*. *European Journal of Applied Physiology* 69:271-273.

13. BILLAT V, RENOUX JC, PINOTEAU J, PETIT B, KORALSZTEIN JP. (1994b) *Reproducibility of running time to exhaustion at  $VO_{2max}$  in subelite runners*. Med. Sci. Sports Exerc. 2:254-257.
14. BILLAT VL, BLONDEL N, BERTHOIN S. (1999) *Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 80:159-161.
15. BILLAT VL, MORTON RH, BLONDEL N, BERTHOIN S, BOCQUET V, KORALSZTEIN, BARSTOW TJ. (2000) *Oxygen kinetics and modeling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake*. European Journal of Applied Physiology 82 (3) 178-187.
16. BLAND JM, ALTMAN DG. (1986) *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement*. Lancet; i: 307-10.
17. BORG, G. (1982) *Psychophysical bases of perceived exertion*. Medicine and Science in Sports and Exercise, 14 (5), p. 377-81
18. BOSQUET L, DUCHENE A, LECOT F, DUPONT G, LEGER L. (2006) *Vmax estimate from three-parameter critical velocity models: validity and impact on 800m running performance prediction*. European Journal of Applied Physiology 97: 34-42.
19. BOSQUET L, LEGER L, LEGROS P. (2002) *Methods to determine aerobic endurance*. Sports Med. 32:675-700.
20. BRICKLEY G, DOUST J, WILLIAMS CA. (2002) *Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power*. European Journal of Applied Physiology 88(1-2):146-51.
21. BULL AJ, HOUSH TJ, JOHNSON GO, PERRY SR. (2000) *Electromyographic and mechanomyographic responses at critical power*. Can J Appl Physiol 25(4):262-270.
22. CASTRO FAS, MOTA CB. (2010) *Energética e desempenho em 200 m nado crawl realizado sob máxima intensidade*. R. Bras. Ci. e Mov ;18(2):67-75.
23. CASTRO FAS. (2007) *Determinantes do desempenho para a prova de 200m nado livre*. Tese de Doutorado. Porto Alegre. Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 152 pg.<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/11196/000608753.pdf?sequence=1>
24. CONLEY DL, KRAHENBUHL GS. (1980) *Running economy and distance running performance of highly trained athletes*. Med Sci Sports Exerc; 12: 357-60.
25. COOPER KH. (1968) *A mean of assessing maximal oxygen intake*. JAMA ; 203: 201-4.
26. COSTILL DL, MAGLISCHO BW, RICHARDSON AB. (1994) *La natation*. Paris: Vigot 215.
27. DANIELS J, SCARDINA N, HAYES J, et al. (1984) *Elite and subelite female middle- and long-distance runners*. In: Landers DM, editor. Sport and Elite Performers, Vol. 3. Proceedings of the 1984 Olympic Scientific Congress: 1984 Jul 19-23: Oregon. Champaign (IL): Human Kinetics, 57-72.
28. DANIELS JT. (2005) *Daniels' Running Formula: Proven programs 800 m to the marathon*. Human Kinetic. 2nd edition ISBN 0-7360-5492-8.

29. DEKERLE J, BRICKLEY G, ALBERTY M, PELAYO P. (2010) *Characterising the slope of the distance–time relationship in swimming*. J Sci Med Sport, May,13(3):365-70.
30. DEKERLE J, NESI X, LEFEVRE T, DEPRETZ S, SIDNEY M, HUOT-MARCHAND F, PELAYO P. (2005a) *Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed*. International Journal of Sports Medicine. 26: 53-58.
31. DEKERLE J, PELAYO P, CLIPET B, DEPRETZ S, LEFEVRE T, SIDNEY M.(2005b) *Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state*. International Journal of Sports Medicine 26:524-530.
32. DEKERLE J, PELAYO P, SIDNEY M, BRICKLEY G. (2006) *Challenges of using critical swimming velocity. From scientists to coaches*. In: Vilas–Boas JP, Alves F, Marques A. (Eds). Biomechanics and medicine in swimming X: proceedings of the Xth International Symposium on Biomechanics and medicine in swimming; Port J Sports Sci. 6:296-299.
33. DEKERLE J, PELAYO P. (2011) *Assessing aerobic endurance in swimming*. World book of swimming: from science to performance / editors, Ludovic Seifert and Didier Chollet. 276-93 ISBN 978-161668-202-6.
34. DEKERLE J, SIDNEY M, HESPEL JM, PELAYO P. (2002) *Validity and Reliability of Critical Speed, Critical Stroke Rate and Anaerobic Capacity in Relation to Front Crawl Swimming Performances*. International Journal of Sports Medicine. 23:93-98.
35. DEMARIE S; SARDELLA F; BILLAT V; MAGINI W; FAINA M. (2001) *The VO<sub>2</sub> slow component in swimming*. European Journal of Applied Physiology. 84:95-99.
36. DI PRAMPERO PE, CORTILI G, MAGNANI P, SAIBENE F. (1976) *Energy cost of speed skating and efficiency of work against air resistance*. Journal of Applied Physiology. 40:548-591.
37. DI PRAMPERO PE, PENDERGAST D, ZAMPARO P. (2011) *Swimming economy (Energy Cost) and Efficiency*. World book of swimming: from science to performance / editors, Ludovic Seifert and Didier Chollet. 297-312 ISBN 978-161668-202-6.
38. DI PRAMPERO PE. (2003) *Factors limiting maximal performance in humans*. European Journal of Applied Physiology. 90:420-429.
39. DUFFIELD R, EDGE J, BISHOP D, GOODMAN C. (2007) *The relationship between VO<sub>2</sub> slow component, muscle metabolites and performance during very-heavy exhaustive exercise*. Journal of Science and Medicine in Sport 10;127-134.
40. ETTEMA JH. (1966) *Limits of human performance and energy production*. Int Z Ang Physiol Einschl Arbeitphysiol. 22:45-54.
41. FAINA M, BILLAT V, SQUADRONE R, DE ANGELIS M, KORALSZTEIN JP, DAL MONTE A. (1997) *Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers*. European Journal of Applied Physiology 76:13-20.
42. FAWKNER SG, ARMSTRONG N. (2003) *Oxygen Uptake Kinetic Response to Exercise in Children*. Sports Med 33 (9): 651-669

43. FERNANDES R, BILLAT V, CARDOSO C, BARBOSA T, SOARES S, ASCENSÃO A, COLAÇO P, DEMAIRE A, VILAS-BOAS J. (2003a) *Time limit at  $vVO_{2max}$  and  $VO_2$  slow component in swimming. A pilot study in university students.* In J.-C. Chatard (ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp. 331-336) Publications de l'Université de Saint-Étienne, Saint Étienne: France.
44. FERNANDES R, CARDOSO C, SILVA JA, VILAR S, COLAÇO P, BARBOSA T, KESKINEN KL, VILAS-BOAS JP. (2006a) *Assessment of time limit at lowest speed corresponding to maximal oxygen consumption in the four competitive swimming strokes.* In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A. (Eds). *Biomechanics and medicine in swimming X: proceedings of the Xth Internacional Symposium on Biomechanics and medicine in swimming*; Port J Sports Sci. 6:128-130.
45. FERNANDES RJ, BILLAT VL, CRUZ AC, COLAÇO PJ, CARDOSO CS, VILAS-BOAS JP. (2005) *Has gender any effect on the relationship between time limit at  $VO_{2max}$  velocity and swimming economy?* J. Hum. Movement Stud. 49:127-148.
46. FERNANDES RJ, BILLAT VL, CRUZ AC, COLAÇO PJ, CARDOSO CS, VILAS-BOAS JP. (2006c) *Does net energy cost of swimming affect time to exhaustion at the individual's maximal oxygen consumption velocity?* J Sports Med Phys Fitness; 46: 373-380.
47. FERNANDES RJ, CARDOSO CS, SOARES SM, ASCENSÃO AA, COLAÇO PJ; VILAS-BOAS JP (2003b) *Time limit and  $VO_2$  slow component at intensities corresponding to  $VO_{2max}$  in swimmers.* International Journal of Sports Medicine. 24 :576-81.
48. FERNANDES RJ, KESKINEN KL, COLAÇO P, QUERIDO AJ, MACHADO LJ, MORAIS PA, NOVAIS DQ, MARINHO DA, VILAS BOAS JP. (2008) *Time limit at  $VO_{2max}$  in elite swimmers.* Int J Sports Med 29:2. 145-150 Feb.
49. FERNANDES RJ, MARINHO D, BARBOSA TM, VILAS-BOAS JP. (2006b) *Is time limit at the minimum swimming velocity of  $VO_{2max}$  influenced by stroking parameters?* Perceptual and Motor Skills, 103, 67-75.
50. FERNANDES RJ, SOUSA M, ARMINDO P, VILAR S, COLAC P, VILAS-BOAS JP. (2010). *Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in swimmers aged 10-11 years.* European Journal of Sport Science, September; 10(5): 311-317.
51. FERNANDES, R, VILAS-BOAS, JP. (1999) *Critical Velocity as a criterion for estimating aerobic training.* In Keskinen K, Komi P, Hollander A. (eds) *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII.* University of Jyväskylä, Finland 1999.
52. GAESSER GA, CARNEVALE TJ, GARFINKEL A, WALTER DO, WOMACK CJ (1995) *Estimation of critical power with nonlinear and linear models.* Med Sci Sports Exerc 27(10):1430–1438
53. GAESSER GA, POOLE DC. (1996) *The slow component of oxygen uptake kinetics in humans.* Exerc Sport Sci Rev 24:35-71.
54. GASTIN PB. (2001) *Energy System Interaction and relative contribution during maximal exercise.* Sport Med 31 (10): 725 – 741.
55. GRECO CC, CAPUTO F, DENADAI BS. (2008) *Puissance critique et consommation maximale d'oxygène: estimation de la limite haute du domaine d'intensité severe, un nouveau challenge?* Science & Sports 23 216-222.

56. GREEN S, DAWSON BT, GOODMAN C, CAREY MF. (1994) *Y-intercept of the maximal work-duration relationship and anaerobic capacity in cyclists*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 69(6):550.
57. HECK H, MADER A, HESS G, MUCKE S, MULLER R, HOLLMANN W. (1985) *Justification of the 4 mmol/l lactate threshold*. International Journal of Sports Medicine. ;6:117-30.
58. HEUBERT RA, BILLAT VL, CHASSAING P, MORTON RH, KORALSZTEIN JP, DI PRAMPERO PE. (2005) *Effect of a previous sprint on the parameters of the work-time to exhaustion relationship in high intensity cycling*. International Journal of Sports Medicine. 26(7):583.
59. HILL AV (1927) *Muscular movement in man: the factors governing speed and recovery from fatigue*. McGraw-Hill, New York, pp 41–44.
60. HILL AV, LUPTON L. (1923) *Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen*. QJ Med 1923; 16:135-71.
61. HILL DW, ALAIN C, KENNEDY MD (2003) *Modeling the relationship between velocity and time to fatigue in rowing*. Med Sci Sports Exerc 35(12):2098–2105
62. HILL DW, SMITH JC. (1999) *Determination of critical power by pulmonary gas exchange*. Can J Appl Physiol 24:74–86.
63. HILL DW,FERGUSON CS. (1999) *A physiological description of critical velocity*. European Journal of Applied Physiology 1999; 79:290–3.
64. HILL DW. (1993) *The critical power concept. A review*. Sports Med 16:237-54.
65. HINCSON EA, HOPKINS WG. (2005) *Reliability of time to exhaustion analyzed with critical-power and log-log modeling*. Med Sci Sports Exerc, 37(4), 696-701.
66. HOLMÉR I. (1971). *Oxygen uptake during swimming at different speeds in the aquatic swim mill*. In: L. Lewillie e J. P. Clarys (eds.), Proceedings of the First International Symposium on Biomechanics in Swimming, Waterpolo and Diving (pp. 199-205). Universite Libre de Bruxelles, Bruxelles.
67. HOUSH DJ, HOUSH TJ, BAUGE SM. (1989) *The accuracy of the critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry*. Ergonomics. 32(8):997.
68. HOUSH TJ, CRAMER JT, BULL AJ, JOHNSON GO, HOUSH DJ (2001) *The effect of mathematical modeling on critical velocity*. European Journal of Applied Physiology 84:469–475.
69. HOWLEY ET, BASSEET T, WELCH HG. (1995) *Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary*. Med Sci Sports Exerc 27: 1292–1301
70. INVERNIZZI PL, CAPORASO G, LONGO S, SCURATI R, ALBERTI G. (2008) *Correlations between upper limb oxygen kinetics and performance in elite swimmers*. Sport Sci Health 3; 19-25.
71. JENKINS DG, QUIGLEY BM. (1991) *The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity*. Ergonomics. Jan;34(1):13-22.

72. JENKINS DG, QUIGLEY BM. (1993). *The influence of high intensity exercise on the Wlim-Tlim relationship*. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25: 275 - 282.
73. KESKINEN K, RODRIGUEZ F, KESKINEN O (2003) *Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming*. *Scand J Med Sci Sports* 13:322–329.
74. KILDING AE, WINTER EM, FYSH M. (2006) *A comparison of pulmonary oxygen uptake kinetics in middle and long distance runners*. *International Journal of Sports Medicine* 27;419-426.
75. KUIPERS H, VERSTAPPEN FT, KEIZE HA, GUERTEN P, VAN KRANENBURG G. (1985) *Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates*. *International Journal of Sports Medicine* 6: 197–201.
76. LAFFITE LP, VILAS-BOAS JP, DEMARLE A, SILVA J, FERNANDES R, BILLAT V. (2004) *Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers*. *Can J Appl Physiol.* 29 Suppl:S17-31.
77. LAVOIE JM, LÉGER LA, MONTPETIT RR, CHABOT S. (1983) *Backward extrapolation of  $VO_2$  from the  $O_2$  recovery curve after a voluntary maximal 400m swim*. In: Hollander, Huijing, de Groot (Eds) *Biomechanics and medicine in swimming*. International series on sport science. Vol 14, pp 222-227, Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois, USA.
78. LAVOIE JM, LEONE M. (1988). *Functional maximal aerobic power and prediction of swimming performances*. *J. Swimming Research*; 4 (4), 17-19.
79. LAVOIE JM, MONTPETIT RR. (1986) *Applied Physiology of Swimming*. *Sports Med.*3:165-189.
80. LAVOIE JM, TAYLOR AW, MONTPETIT RR. (1981) *Physiological effects of training in elite swimmers as measured by a free swimming test*. *J Sports Med Phys Fitness*. 1981;21:38-42.
81. LAVOIE JM; LÉGER LA; LEONE M, PROVENCHER P-J. (1985). *A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers*. *J. Swim. Research*. 1(2):17-22
82. LIMA MCS, et al. (2006) *Proposta de teste incremental baseado na percepção subjetiva de esforço para determinação de limiares metabólicos e parâmetros mecânicos do nado livre*. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v.12(5), p.268-274.
83. MADER, A., HECK, H. AND HOLLMANN, W. (1976). *Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of post-exercise lactic concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers*. In *Proceedings of an International Congress of Physical Activity Science* (edited by F. Landry and W.H.K. Orban), pp. 187-199. Miami, FL: Symposium Specialists.
84. MADSEN O. (1982) *Anaerobic training not so fast, there*. *Swim Tech*. 19(3):13-18.
85. MAGLISHO, E. W. (1999) *Nadando ainda mais rápido*. 1ª ed. Brasileira. São Paulo. Manole.

86. MALINA RM, BOUCHARD C, BAR-OR O. (2004) *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Human Kinetics 2nd Edition ISBN 0-88011-882-2 (hc).
87. MARINHO D, RAMOS L, CARMO C, VILAR S, OLIVEIRA R, RODRIGUEZ F, KESKINEN KL, FERNANDES RJ, VILAS-BOAS JP. (2006). *Stroke performance during front crawl swimming at the lowest speed corresponding to maximal oxygen consumption*. In: J.P. Vilas-Boas, F. Alves e A. Marques (eds), *Book of Abstracts of the Xth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*. Portuguese J Sport Scienc. 6(1):45.
88. MARINHO D, VILAS-BOAS J, CARDOSO C, BARBOSA T, SOARES S, FERNANDES R. (2004). *Stroke rate and stroke length in a typical swimming time limit at  $VO_{2max}$* . In E. Van Praagh; J. Coudert; N. Fellmann; P. Duché (Eds.), *Abstracts of 9th Annual Congress of the European College of Sport Science* (pp. 338). Clermont-Ferrant: University of Clermont-Ferrant.
89. MCLELLAN TM, CHEUNG KS. (1992) *A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power*. *Med Sci Sports Exerc.*;24(5):543.
90. 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*. *Jap J Physiol.* 49:169-174.
91. MIURA A, SATO H, SATO H, WHIPP BJ, 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.
92. MONOD H, SCHERRER J. (1965) *The work capacity of synergic muscle groups*. *Ergonomics.* 8:329-338.
93. MONTPETIT R, LÉGER L, LAVOIE, JM, CAZORLA G. (1981)  *$VO_2$  Peak during free swimming using the backward extrapolation of the  $O_2$  recovery curve*. *European Journal of Applied Physiology.* 47, 385-391.
94. MORITANI T, NAGATA A, DE VRIES HA, MURO M. (1981) *Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold*. *Ergonomics.* 24:339-350.
95. MORTON RH. (1996) *A 3-parameter critical power model*. *Ergonomics* 39: 611-619.
96. NOAKES TD, ST CLAIR GIBSON A, LAMBERT EV. (2005) *From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions*. *Br J Sports Med* 2005;39:120–4.
97. NOAKES TD, ST CLAIR GIBSON A. (2004) *Logical limitations to the “catastrophe” models of fatigue during exercise in humans*. *Br J Sports Med* 38:648–9.
98. OGITA F. (2000). *Aerobic and anaerobic energy release during swimming*. Doctoral Thesis. Vrije Universiteit. Amsterdam, Holland.
99. OLBRECHT J, MADSEN O, MADER A, LIESEN H, HOLLMANN W. (1985) *Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises*. *International Journal of Sports Medicine.* 6(2):74-7.

100. OLBRECHT, J. (2000) *The Science of Winning. Planning, periodization and optimizing swim training*. Luton: Swimshop.
101. OLSON HP, TRACY JE, DENGEL DR. (2008) *Validity of a Low-Flow Pneumotach and Portable Metabolic Measurement*. *The Open Sports Medicine Journal*, 2, 23-27.
102. PELAYO P, ALBERTY M, SIDNEY M, POTDEVIN F, DEKERLE J. (2007) *Aerobic potencial, stroke parameters, and coordination in swimming front-crawl performance*. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2, 347-359.
103. PEPPER ML, HOUSH TJ, JOHNSON GO. (1992) *The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running*. *International Journal of Sports Medicine*, 13, 121-124.
104. PLATANOU T, GELADAS N. (2006) *The influence of competitiveness on match exercise intensity in elite water polo players*. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A. (Eds). *Biomechanics and medicine in swimming X: proceedings of the Xth Internacional Syposium on Biomechanics and medicine in swimming*; Port J Sports Sci. 2006;6:163-165.
105. POOLE DC, WARD SA, WHIPP BJ. (1990) *The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise*. *European Journal of Applied Physiology* 59:421-9.
106. PYNE BD, LEE HE, SWANWICK KM. (2001) *Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers*. *Med Sci Sports Exerc*. 33:291-297.
107. RENOUX J-C. (2001). *Evaluating the time limit at maximum aerobic speed in elite swimmers: training implications*. *Archives of Physiology and Biochemistry* 109(5):424-9.
108. RIBEIRO FP, LIMA MCS, GOBATTO CA. (2010) *Changes in physiological and stroking parameters during interval swims at the slope of the d-t relationship*. *Journal of Science and Medicine in Sport* 13 141-145.
109. RIBEIRO JP, CADAVID E, BAENA J, MANSALVETE E, BARNA A, DE ROSE EH. (1990) *Metabolic predictors of middle-distance swimming performance*. *British Journal of Sports Medicine*. 24(3), 196-200.
110. RODRIGUEZ F, KESKINEN K, MALVELA M, KESKINEN O. (2002) *Oxygen uptake kinetics during free swimming: a pilot study*. In: Chatard JC. (Ed) *Biomechanics and medicine in swimming IX: proceedings of the IX Internacional Syposium on Biomechanics and medicine in swimming*, Université de Saint-Etienne .
111. RODRIGUEZ FA. (2000) *Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running tests in competitive swimmers*. *J. Sports Med. Phys.*. 40: 87-95.
112. RODRIGUEZ FA. (1999). *Cardiorespiratory and métabolique field testing in swimmer and water-polo from physiological concepts to practical methods*. In: K Keskinen, PV Komi, & AP Hollander (Eds), *Biomechanics and Medicine in swimming VIII*. Jyväskylä: Grummerus Printing : 219-226.
113. SCHNITZLER C, SEIFERT L, CHOLLET D. (2008) *Variability of coordination parameters at 400-m front crawl swimming pace*. *Journal of Sports Science and Medicine* 8, 203-210.

114. SOARES S, FERNANDES R, VILAS-BOAS JP. (1999) *Analysis of critical velocity regression line data in junior swimmers*. In: K Keskinen, PV Komi, & AP Hollander (Eds), *Biomechanics and Medicine in swimming VIII*. Jyväskylä: Grummerus Printing: 397-401.
115. SOUSA AC, FIGUEIREDO P, OLIVEIRA NL, OLIVEIRA J, SILVA AJ, KESKINEN KL, MACHADO LJ, VILAS-BOAS JP, FERNANDES RJ. (2011) *VO<sub>2</sub> kinetics in 200-m race pace front crawl swimming*. *International Journal of Sports Medicine*; 32: 765-770.
116. ST CLAIR GIBSON A, BADEN DA, LAMBERT MI, LAMBERT EV, HARLEY YX, HAMPSON D, RUSSELL VA, NOAKES TD. (2003) *The conscious perception of the sensation of fatigue*. *Sports Med*. 33(3):167-76.
117. SWEETENHAM B, ATKINSON J.(2003) *Championship swim training*. Champaign: Human Kinetics.
118. TAKAHASHI S, WAKAYOSHI K, HAYASHI A, SAKAGUCHI Y, KITAGAWA K. (2009) *A Method for determining critical swimming velocity*. *Int J Sports Med* ; 30: 119–123.
119. TAKAHASHI S, WAKAYOSHI K, NAGASAWA S, KITAGAWA K. (2002) *A simplified method for determination of critical swimming velocity as a swimming fatigue threshold for sprinters and distance swimmers*. (in Japanese with English abstract). *Jap J Biom Sports Exer*; 6: 110–115.
120. TAKAHASHI S, WAKAYOSHI K, NAGASAWA S, SAKAGUCHI Y, KITAGAWA K. (2003) *A simplified method for determination of critical swimming velocity as a swimming fatigue index for freestyle sprinters and distance swimmers*. In: Chatard JC. (Ed) *Biomechanics and medicine in swimming IX: proceedings of the IX International Symposium on Biomechanics and medicine in swimming*, Université de Saint-Etienne 421-427.
121. TOURETSKI G. (1994) *Japan official swimming coach clinic*. Jap Amateur swim federation. 93-139.
122. TOUSSAINT HM, WAKAYOSHI K, HOLLANDER AP, OGITA F. (1998) *Simulated front crawl swimming performance related to critical speed and critical power*. *Med Sci Sports Exerc*. Jan;30(1):144-51.
123. VANDEWALLE H, KAPITANIAK B, GRUN S, RAVENEAU S, MONOD H. (1989) *Comparison between a 30-s all-out test and a time-work test on a cycle ergometer*. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 58(4):375.
124. VANDEWALLE H, VAUTIER JF, KACHOURI M, LECHEVALIER JM, MONOD H. (1997) *Work-exhaustion time relationships and the critical power concept*. *J Sports Med Phys Fitness* 37: 89–102.
125. VESCOVI JD, FALENCUK O, WEILS GG. (2011) *Blood lactate concentration and clearance in elite swimmers during competition*. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6. 106-117 Human Kinetics, Inc.
126. VILAS-BOAS J, LAMARES JP. (1997) *Velocidade Crítica: Critério para a avaliação do Nadador e para a definição de objetivos*. In: XX Congresso Técnico Científico da Associação Portuguesa dos Técnicos de Natação.
127. VILAS-BOAS JP, SANTOS P. (1994). *Comparison of swimming economy in three breaststroke techniques*. In M. Miyashita; Y. Mutoh; A. B. Richardson (Eds.),

- Medicine and Science in Aquatic Sports (pp. 48-54). Med. Sport Sci. 39. Basel: Karger.
128. WAHRLICH V, ANJOS LA, GOING SB, LOHMAND TG. (2006) *Validation of the VO<sub>2000</sub> calorimeter for measuring resting metabolic rate*. Clinical Nutrition 25, 687–692.
129. WAKAYOSHI K, ILKUTA K, YOSHIDA T, UDO M, MORITANI T, MUTOH Y. (1992) *Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer*. European Journal of Applied Physiology. ;64:153-7.
130. WAKAYOSHI K, YOSHIDA T, IKUTA Y, MUTOH Y, MIYASHITA M. (1993a) *Adaptations to six months of aerobic swim training: changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate*. International Journal of Sports Medicine. ; 14:368-72.
131. WAKAYOSHI K, YOSHIDA T, UDO M, HARADA T, MORITANI T, MUTOH Y, MIYASHITA M. (1993b) *Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state?* European Journal of Applied Physiology.;66:90-95.
132. WASSERMAN K, BEAVER WL, WHIPP BJ. (1990) *Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold*. Circulation, 81 (1 Suppl), II14-30.
133. WHIPP BJ, HUNTSMAN DJ, STONER N, LAMARRA N, AND WASSERMAN K. (1982) *A constant which determines the duration of tolerance to high-intensity work*. Federation Proceedings 41:1591
134. WILKIE DR (1980) *Equations describing power input by humans as a function of duration of exercise*. In: Cerretelli P, Whipp B (eds) Exercise bioenergetics and gas exchange. Elsevier North Hollands, Amsterdam, pp 75-80.
135. WILLIAMS CA, JAMES DVB. (2001). *Science for exercise and sport*. London; United Kingdom: Routledge.
136. WRIGHT B, SMITH DJ. (1994) *A protocol for a determination of critical speed as an index of swimming endurance performance*. In: Miyashita M, Mutoh Y, Richardson AB, editors. Medicine and Science in Aquatic Sports. Basel: Karger;39:55-9.
137. XU F, RHODES EC. *Oxygen uptake kinetics during exercise*. Sports Med 1999; 27:313–27.
138. ZACCA R, CASTRO FAS (2009) *Comparison between different models to determine the critical speed in young swimmers*. Brazilian J Exerc Physiol 8(2):52–60.
139. ZACCA R, WENZEL BM, PICCIN JS, MARCILIO NR, LOPES AL, CASTRO FAS. (2010) *Critical velocity, anaerobic distance capacity, maximal instantaneous velocity and aerobic inertia in sprint and endurance young swimmers*. European Journal of Applied Physiology (2010) 110:121–131 Doi 10.1007/s00421-010-1479-6.
140. ZAMPARO P, BONIFAZI M, FAINA M, MILAN A, SARDELLA F, SHENA F, CAPELLI C. (2005) *Energy cost of swimming of elite distance swimmers*. European Journal of Applied Physiology, 94, 697-704.

## ANEXO 1

### UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA LABORATÓRIO DE PESQUISA DO EXERCÍCIO

#### Título do Projeto: VELOCIDADE CRÍTICA OBTIDA POR UM MODELO DE QUATRO PARÂMETROS E SUA RELAÇÃO COM A VELOCIDADE DO TESTE DE 400 METROS EM NADO *CRAWL*

**Objetivos:** Configura-se, como objetivo geral deste projeto, verificar a validade da prescrição das velocidades de nado relacionadas a potência e capacidade aeróbia em nadadores por meio de um teste único de 400 m ( $T_{400}$ ).

**Pesquisadores:** Rodrigo Zacca e Flávio Antônio de Souza Castro

#### TERMO DE CONSENTIMENTO DO PARTICIPANTE E SUMÁRIO INFORMATIVO

Prezado colaborador

Esse termo é parte de um processo de consentimento informado. Ele deve lhe dar uma idéia do que se trata esse projeto. Se você quiser mais detalhes sobre algo mencionado, ou informação não incluída aqui, sinta-se livre para solicitar. Por favor, leia atentamente, a fim de que você entenda plenamente o objetivo e o seu envolvimento nesse estudo. O pesquisador tem o direito de encerrar o seu envolvimento, caso isso se faça necessário. Da mesma maneira, você pode retirar o seu consentimento em participar no mesmo a qualquer momento.

A seguir, seguem-se as informações a respeito do estudo:

O estudo envolvendo testes não-invasivos e prescrição de treinamento em natação não é recente, porém é evidente a carência de alternativas não-invasivas práticas e confiáveis que facilitem a prescrição de mais de uma intensidade de treinamento. Compreender a relação entre  $VC_{4par}$  (velocidade de nado obtida por meio da relação dos valores de velocidade média e tempo em nado *crawl* e em máxima intensidade das distâncias de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m) e velocidade do teste de 400 m ( $V_{400}$ ), bem como compreender o significado fisiológico

da  $VC_{4par}$ , quando obtida e aplicada em nadadores, agregaria informações relevantes para a prescrição das velocidades de nado relacionadas à potência e capacidade aeróbias por meio de um teste único ( $T_{400}$ ).

Desta forma, você está sendo convidado à participar de um projeto de mestrado, cujo objetivo já foi apresentado no início deste termo de consentimento. Serão realizadas três etapas:

**primeira etapa:** Serão anotados os seus dados pessoais, com as seguintes informações: nome, telefone, idade e dados antropométricos (massa, envergadura, estatura e dobras cutâneas). Nesta etapa você será convidado a realizar um aquecimento em baixa intensidade (2000 m) e em estilos variados, definido pelo seu treinador. Logo a seguir, você será convidado a realizar um teste máximo no estilo *crawl*. Esta etapa será realizada seis vezes até que seis testes máximos sejam concluídos (50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m, em ordem aleatória). Entre cada teste máximo será atribuído um intervalo de 48 h. Ao final de cada teste, você poderá concluir seu treino normalmente. Serão coletados valores de tempo durante de todos os testes máximos, sendo que nos testes de 400, 800 e 1500 m, frequência cardíaca, consumo de oxigênio, concentração de lactato e esforço percebido também serão mensurados. A seguir será calculada a  $VC_{4par}$ .

**segunda etapa:** após um intervalo mínimo de 48 h do término dos seis testes máximos, serão coletados valores de repouso de frequência cardíaca, consumo de oxigênio, concentração de lactato e esforço percebido. A seguir Você será convidado a realizar um aquecimento de aproximadamente 800 m, em baixa intensidade e estilos variados, determinado pelo treinador, e uma nova coleta de frequência cardíaca, consumo de oxigênio, concentração de lactato e esforço percebido será realizada. A seguir, você será convidado a realizar um teste em velocidade constante ( “x” repetições de 10 min,  $\leq 6$ , ou seja, até o máximo de 6 repetições) em velocidade de nado equivalente à  $VC_{4par}$  calculada previamente com os dados da segunda etapa. O teste será realizado em nado *crawl* (com 45 s de intervalo) e a VN será controlada por um monitor visual de velocidade (T.I.C.O ®), onde serão mensurados valores de frequência cardíaca, consumo de oxigênio, concentração de lactato e esforço percebido (mensuradas imediatamente após cada repetição de 10 min) em VN equivalente à  $VC_{4par}$ . A exaustão (tlim) será identificada quando o você não conseguir mais permanecer acima dos *leds* do monitor visual de velocidade, e você será avisado imediatamente pela equipe envolvida na coleta.

Imediatamente ao final do teste retangular, serão mensurados os valores pós teste de VO<sub>2</sub>, FC, [La] e EP.

**Riscos e benefícios:** Participando deste projeto, você estará ajudando você e nossa equipe a compreender suas respostas fisiológicas ao nadar as distâncias de 50, 100, 200, 400, 800 e 1500 m, bem como a possibilidade realizar apenas um teste de 400 m para prescrever suas velocidades de nado para utilizar em suas sessões de treino. Estas informações também serão úteis a outros atletas de alto nível. Você poderá sentir dor muscular após os testes, assim como após qualquer treino mais intenso ou competição.

**Acompanhamento** Todos os testes serão realizados por profissionais qualificados.

**Confidencialidade:** Será garantida a privacidade dos seus dados pessoais. Os resultados dos testes serão divulgados por meio de artigos científicos, porém, em nenhum momento serão divulgados o seu nome, imagem e dados pessoais.

A sua assinatura indica que você entendeu a informação relativa à sua participação e que você concorda em participar. Esse consentimento não lhe faz renunciar aos seus direitos legais, e nem libera os investigadores de suas responsabilidades pessoais ou profissionais. A sua participação continuada deve ser tão bem informada quanto o seu consentimento inicial. Informamos também que sua retirada do consentimento não implica em qualquer tipo de consequência ao atleta/nadador participante. Assim você deve se sentir à vontade para solicitar esclarecimentos ou novas informações. Em caso de dúvida, favor entrar em contato com Rodrigo Zacca, Flávio Castro ou diretamente com o Comitê de Ética em pesquisa da UFRGS (fone 3308-3629) Este termo foi elaborado em duas vias. Uma delas ficará em seu poder e a outra com o pesquisador.

---

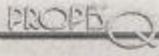
Nome e assinatura pesquisador

---

Nome e assinatura do colaborador

Data \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

## ANEXO 2

	<b>UFRGS</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	<b>PRÓ-REITORIA DE PESQUISA</b> Comitê De Ética Em Pesquisa Da Ufrgs	
---	--	---	---

**CARTA DE APROVAÇÃO**

**Comitê De Ética Em Pesquisa Da Ufrgs analisou o projeto:**

**Número:** 20441  
**Título:** VELOCIDADE CRÍTICA OBTIDA POR UM MODELO DE QUATRO PARÂMETROS E SUA RELAÇÃO COM A VELOCIDADE DO TESTE DE 400 METROS EM NADO CRAWL

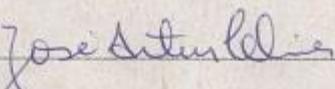
**Pesquisadores:**

**Equipe UFRGS:**

FLAVIO ANTONIO DE SOUZA CASTRO - coordenador desde 10/10/2010  
RODRIGO ZACCA - Aluno de Mestrado de 10/10/2010 até 05/04/2011  
Cristiano Cardoso de Matos - Aluno de Mestrado de 10/10/2010 até 05/04/2011

*Comitê De Ética Em Pesquisa Da Ufrgs aprovou o mesmo, em reunião realizada em 14/07/2011 - sala 1 de reuniões do Gabinete do Reitor, 6º andar prédio da Reitoria, por estar adequado ética e metodologicamente e de acordo com a Resolução 196/96 e complementares do Conselho Nacional de Saúde. Este projeto necessita de aprovação do CONEP/MS- Conselho Nacional de Ética em Pesquisa do Ministério da Saúde, para iniciar sua execução.*

Porto Alegre, Quinta-Feira, 21 de Julho de 2011

  
\_\_\_\_\_  
JOSE ARTUR BOGO CHIES  
Coordenador da comissão de ética



## ANEXO 4

6	Sem nenhum esforço
7 8	Extremamente leve
9 10	Muito leve
11 12	Leve
13 14	Um pouco intenso
15 16	Intenso (pesado)
17 18	Muito Intenso
19	Extremamente intenso
20	Esforço Máximo

Escala de 15 pontos de Borg  
© Gunnar Borg, 1970, 1985, 1994, 1998