

  
**Artigo revisão**

Antônio José Silva<sup>1</sup>  
Victor Machado Reis<sup>1</sup>  
Daniel Marinho<sup>1</sup>  
André Luiz Carneiro<sup>1,2</sup>  
Giovanni Novaes<sup>1,3</sup>  
Felipe José Aidar<sup>1,4,5</sup>

**ECONOMIA DE NADO: FACTORES DETERMINANTES E AVALIAÇÃO****SWIMMING ECONOMY: DETERMINANT FACTORS AND ASSESSMENT ISSUES****RESUMO**

Economia de nado é um parâmetro importante no controle do processo de treinamento, desde que foi demonstrado que este conceito é relacionado ao desempenho de nado. Economia de nado é afetada por aspectos fisiológicos e biomecânicos, sendo então um conceito que reflete a adaptação de nadadores ao ambiente líquido nesses dois domínios. Uma revisão da literatura sobre economia de nado é apresentada, focalizando alguns dos estudos mais pertinentes que foram publicados sobre este assunto. Diferente dos aspectos biomecânicos e fisiológicos, a economia de nado é influenciada através de outros fatores como: velocidade de nado, habilidade técnica, estado de treinamento, gênero, idade e características antropométricas. Então uma multidão de aspectos estão relacionados com a avaliação da economia de nado e na aplicação deste conceito no controle do processo de treinamento dos nadadores. Uma avaliação apropriada da economia de nado requer a medida direta da captação de oxigênio. A escolha do protocolo para avaliar a economia de nado deve ser feita cuidadosamente. Deve ser prestada atenção particular à cinética de captação de oxigênio pelos diferentes níveis de intensidade de exercício. Logo, a intensidade de exercício e duração devem ser consideradas. Em consequência a velocidade de nadar está relacionado intimamente com a velocidade de competição que também é um assunto importante. Embora poucos estudos medissem diretamente a captação de oxigênio de nadadores de alto nível durante a natação, a literatura tem demonstrado que um protocolo descontínuo, com turnos de exercício crescentes de duração entre três e seis minutos parecem apropriados para avaliar a economia de nado.

**Palavras-chave:** economia de nado, captação de oxigênio, aspectos biomecânicos.

**ABSTRACT**

Swimming economy is an important parameter in the control of the training process, since it has been demonstrated that this concept is related to the swimming performance. Swimming economy is affected by physiological and biomechanical constraints, therefore being a concept that reflects the swimmers' adaptation to the liquid environment in those two domains. A review of the literature about swimming economy is presented, focusing some of the most relevant studies that have been conducted on this issue. Other than the biomechanical and physiological constraints, the swimming economy is influenced by other factors such as: swimming velocity, technical ability, training status, gender, age and anthropometric characteristics. Therefore a multitude of aspects are pertinent in the assessment of swimming economy and in the application of this concept in the control of the swimmers' training process. A proper assessment of the swimming economy requires the direct measurement of the oxygen uptake. The choice of the protocol to assess the swimming economy must be carefully done. Particular attention must be paid to the oxygen uptake kinetics across the different levels of exercise intensity. Therefore, both exercise intensity and duration are to be considered. The attainment of swimming velocities as close as possible to the competition velocity is also an important issue. Although few studies have measured directly the oxygen uptake of top-level performers during swimming, the literature shows that a discontinuous protocol, with increasing exercise bouts of duration between three and six minutes seem appropriate to assess the swimming economy.

**Key words:** swimming economy, oxygen uptake, biomechanical constraints

<sup>1</sup> Departamento de Ciências do Desporto, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

<sup>2</sup> Faculdades Unidas do Norte de Minas, Montes Claros – MG, Brasil.

<sup>3</sup> Escola Superior de Cruzeiro, Cruzeiro – SP, Brasil.

<sup>4</sup> Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil.

<sup>5</sup> Universidade Gama Filho

## INTRODUÇÃO

A economia motora das técnicas de nado constitui um dos parâmetros mais informativos de todos quantos podem ser avaliados em nadadores, nomeadamente por: i) permitir estimar o percentual de participação energética aeróbia e anaeróbia em diferentes distâncias de prova <sup>1,2</sup>; e ii) permitir avaliar quantitativamente o nível de adequação mecânica global do gesto técnico <sup>3</sup>.

A eficiência mecânica ( $e_m$ ) total é a razão entre o trabalho realizado e a energia necessária para a sua realização, i.e., é a relação entre a saída de potência mecânica ( $P_o$ ) e o custo energético ou potência metabólica ( $P_i$ ). A  $e_m$  total fornece informação sobre o modo como o organismo utiliza a energia disponível para se deslocar na água e pode ser calculada pela equação 1:

$$e_g = \frac{P_o}{P_i} \quad (1)$$

A relação entre o custo energético (custo energético em equivalentes de  $O_2$ ) e a taxa de produção de trabalho mecânico de um dado atleta fornece uma medição indirecta da  $e_m$ . É óbvio que quanto menor for o custo energético para uma determinada  $P_o$ , maior será a  $e_m$  do nadador.

A participação efectiva da  $P_o$  na potência gasta para superar a resistência da água ( $D$ ) depende da eficiência propulsiva ( $e_p$ ). A  $P_o$  gerada por um nadador pode ser dividida em duas componentes: i) a potência para superar a resistência, que resulta no seu deslocamento para a frente; e ii) a potência dissipada quando da transferência de energia cinética para a camada de água que envolve o nadador ( $P_k$ ), definida a partir da seguinte equação:

$$e_p = \frac{P_D}{P_o} = \frac{P_D}{P_D + P_k} \quad (2)$$

A eficiência propulsiva pode ser interpretada como sendo um indicador da técnica. Quanto melhor for um nadador tecnicamente, melhor será a sua  $e_p$ .

Mas a saída de trabalho e  $P_o$ , para o cálculo posterior dos valores de  $e_m$  e  $e_p$ , são difíceis de determinar em movimentos complexos como são os desportivos, daí a opção pela economia do movimento ou de nado.

Toussaint<sup>4</sup>, mediante uma análise bioenergética da prestação na natação, traduzida pela velocidade de nado, refere que esta é susceptível de ser descrita pela relação entre a potência dos sistemas responsáveis pela produção de energia para o trabalho muscular ( $P_i$ ), a eficiência do seu processo global de transformação em  $P_o$  externa e o aporte efectivo desta potência para superar  $D$ , designada por eficiência propulsiva.

Pendergast et al. <sup>3</sup> equacionaram matematica-

mente esta dependência através da expressão:

$$V = E * (E_p * D^{-1}) \quad (3)$$

podendo-se considerar a economia de nado como uma medida da qualidade mecânica da técnica e da morfologia do nadador e o custo energético o seu inverso. Assim, considera-se que a variável ( $E$ ), custo energético total por unidade de distância, traduz o condicionamento da velocidade imposta pelos factores condicionais e estruturais puramente fisiológicos e que o termo  $E_p * D^{-1}$  reflecte o papel desempenhado por factores técnicos e coordenativos que lhe estão associados, traduzindo-se esta relação num equivalente consequente de eficiência de nado.

Em síntese, quanto menor o *input* energético necessário para o deslocamento a uma dada velocidade, mais adequado mecanicamente será o gesto técnico.

Desta forma, pretendemos com este artigo, efectuar uma revisão de alguns conceitos importantes relativos à economia motora em natação, salientando alguns dos principais estudos que têm vindo a ser conduzidos nesta área do conhecimento científico, nomeadamente sobre as determinantes técnicas associadas e a avaliação do custo energético de nado.

## FACTORES CONDICIONANTES DO CUSTO ENERGÉTICO E ECONOMIA DE NADO

### Variação intracíclica da velocidade e economia de nado

A flutuação intracíclica da velocidade de um nadador é um indicador da sua habilidade técnica<sup>5</sup>. A distribuição o mais uniforme possível das acções propulsivas ao longo do ciclo gestual representa um factor de eficiência de nado fundamental, dependendo não só das modalidades de criação de força propulsiva, da sincronização global e da possibilidade do nadador manter um baixo nível de arrastamento nas fases não propulsivas do ciclo gestual <sup>6</sup>.

Nigg <sup>7</sup> considera que uma variação intracíclica na velocidade de deslocamento do corpo do nadador de 10% pode representar um acréscimo de cerca de 3% no trabalho necessário para manter uma dada velocidade média dentro do ciclo gestual. Vilas-Boas <sup>8</sup> pôde mesmo demonstrar a existência de uma correlação positiva e significativa entre o custo energético e as variações da velocidade por ciclo gestual na técnica de buços. Barbosa et al. <sup>9</sup>, num estudo realizado em mariposa, concluíram que uma elevada variação intracíclica da velocidade de nado do centro de massa estava relacionada com uma menor eficiência de nado e vice-versa. Toussaint et al. <sup>10</sup> e Togashi & Nomura <sup>11</sup> consideram o custo energético das variações cíclicas de velocidade de deslocamento na prestação desportiva como um dos

principais factores limitativos do desempenho dos nadadores.

### Economia de nado e treino

Wakayoshi et al.<sup>12</sup> sugeriram que seis meses de treino permitiam o aperfeiçoamento da proficiência técnica, resultando na redução do custo metabólico de nado à mesma velocidade. Wakayoshi et al.<sup>12</sup> foram mais longe e sugeriram que se o nadador melhorar o seu pico de potência aeróbia, a percentagem do pico de consumo de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>) vai diminuir para uma dada frequência de braçada (FB) e intensidade, resultando num deslocamento para baixo da linha de regressão entre a %VO<sub>2</sub> e a FB e entre a %VO<sub>2</sub> e o cubo da velocidade de nado ( $v_n^3$ ). Assim, para um dado aumento de velocidade, o aumento do VO<sub>2</sub> será diminuído após o treino, implicando uma melhoria na eficiência de nado. Se o nadador melhorar a sua habilidade técnica como resultado do treino, isso irá reflectir-se num aumento da distância de ciclo (DC) e melhor economia para a mesma velocidade de nado.

### Economia de nado e parâmetros do ciclo gestual

Sob forma matemática, a velocidade de nado (V, em m/s) foi definida como o produto entre a FB (c/min) e a distância percorrida em cada ciclo (DC) (m/c), ou seja,  $V = (FB * DC) / 60$ .

A DC é considerada como um dos factores discriminantes entre nadadores de bom nível técnico e nadadores de nível médio ou medíocre. Desde o trabalho pioneiro de East<sup>13</sup>, confirmado por uma série numerosa de estudos<sup>5,14,15</sup>, que esta situação tem sido posta em evidência.

Uma parte importante da variação do custo energético pode ser atribuída a factores técnicos que se manifestam nas características do ciclo gestual. Smith et al.<sup>16</sup> encontraram uma relação inversa e significativa entre o custo energético e a DC para a técnica de costas, com a variação da DC a explicar 14% da variação do consumo de O<sub>2</sub> para uma determinada velocidade de nado. Neste estudo, uma maior FB estava sempre associada a um custo energético superior, independentemente da massa corporal e da velocidade de nado. Lavoie et al.<sup>17</sup> e Costill et al.<sup>18</sup> sugerem a utilização de um índice de ciclo, que pode ser utilizado como indicador da economia de nado. Este parâmetro, obtido através do produto da DC pela V, descreve a habilidade de um nadador se deslocar a uma determinada V com uma menor FB. Por outro lado, Vilas-Boas<sup>19</sup> pôde evidenciar que, na técnica de bruços, a DC se correlacionava negativa e significativamente com o custo energético de nado, pelo que, também, a distância horizontal média por ciclo a uma dada velocidade parece constituir também um indicador importante no perfil energético de nado<sup>14</sup>.

## PROCEDIMENTOS PARA A VALIDAÇÃO METODOLÓGICA DO CUSTO ENERGÉTICO E ECONOMIA MOTORA NA NATAÇÃO

### Cinética da componente lenta do VO<sub>2</sub> na Natação

Durante a realização de exercício intenso a uma velocidade constante acima do limiar anaeróbio, o VO<sub>2</sub> não estabiliza ao fim de pouco tempo de exercício. O VO<sub>2</sub> continua a aumentar, surgindo uma componente lenta de VO<sub>2</sub>, após o rápido aumento do VO<sub>2</sub> com o exercício<sup>20</sup>. Este pequeno aumento continua até que o VO<sub>2</sub> estabilize ou até que valores iguais ou superiores ao VO<sub>2</sub>max sejam atingidos.

A componente lenta do VO<sub>2</sub> tem sido medida utilizando-se diferentes métodos: (i) através da diferença do VO<sub>2</sub> entre o 6º e o 3º minuto de exercício, (ii) através da diferença do valor do final do exercício e o 3º minuto de exercício, (iii) através da diferença entre o final do exercício e a média do 2º minuto de exercício, (iv) através da amplitude da função exponencial de grau 2 ou 3 que descreve a cinética do VO<sub>2</sub><sup>20,21,22</sup>. Cada um destes métodos, obviamente, leva a que se obtenham diferentes resultados.

Em natação, a componente lenta do VO<sub>2</sub> foi inicialmente observada em *swimming flume* em atletas do pentatlo, nadando a intensidades abaixo da velocidade mínima correspondente ao VO<sub>2</sub>max.<sup>20</sup> e, mais tarde<sup>21,22</sup>, em condições reais de nado, i.e., numa piscina convencional.

Assim, Demarie et al.<sup>20</sup>, na técnica de crol, encontrou, através de um teste constante até à exaustão a uma velocidade abaixo da velocidade mínima de VO<sub>2</sub>max, com recurso ao oxímetro K4 (Cosmed, Itália), valores médios para a componente lenta de  $239 \pm 194 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ .

Num estudo analisando a técnica de crol, com nadadores de baixo nível desportivo<sup>21</sup>, foram encontrados valores médios para a componente lenta de  $279.00 \pm 195.20 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ .

Estudo semelhante mas desenvolvido com nadadores de alto nível, também na técnica de crol<sup>22</sup>, foi possível verificar valores médios para a componente lenta de  $274.11 \pm 152.83 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ .

As causas do aparecimento da componente lenta do VO<sub>2</sub> permanecem por resolver de uma forma inequívoca<sup>20,21</sup>. Em natação, algumas hipóteses têm sido sugeridas para explicar este fenómeno: (i) maior recrutamento de fibras rápidas, tipo II, com maior capacidade glicolítica, devido à fadiga das fibras musculares previamente recrutadas, a que se associa um adicional custo energético de contracção e (ii) aumento da ventilação como resposta às alterações na técnica de nado, devido ao aumento da fadiga, levando a um aumento do trabalho específico dos músculos respiratórios<sup>20,22</sup>.

### Tempo de estabilização do VO<sub>2</sub> na natação

Vilas-Boas<sup>19</sup>, numa revisão sobre este assunto,

verificou que não existe uma uniformidade de critérios na aplicação da duração de cada estágio de intensidade. Apesar de alguns autores<sup>5,13,23,24,25</sup> terem utilizado estádios de intensidade superiores a 4 minutos nos protocolos consagrados à determinação do *input* energético, outros realizaram os seus estudos com base em medições realizadas entre o 3<sup>o</sup> e o 4<sup>o</sup> minutos<sup>26,27,28,29</sup>.

De uma forma geral, a duração dos patamares na prova submáxima deve ser a necessária e suficiente para que ocorra uma estabilização no  $VO_2$ . Existe maior probabilidade de não se verificar uma estabilização aceitável no  $VO_2$  quando são usadas intensidades de esforço acima do limiar anaeróbio, devido à intervenção da componente lenta do  $VO_2$ <sup>30</sup>. Este problema poderia ser facilmente resolvido através da utilização de patamares de duração superior a 8 minutos<sup>31</sup>. Porém, a extrapolação linear do custo energético supramáximo parece apresentar maior validade quando são usadas intensidades próximas do  $VO_{2,max}$  (cf. Ponto 3.1: Economia de nado e velocidade). Assim, se fossem requeridos patamares de esforço de 10 minutos, seria difícil que esses fossem cumpridos a tais intensidades. Neste sentido, parece-nos que uma duração intermédia será a que assegura uma melhor validade do método. O facto de um vasto número de estudos, nomeadamente em natação, optarem por patamares de duração até 6 minutos, sugere que esta duração poderá ser uma opção que permite um compromisso óptimo entre a duração e a intensidade dos patamares.

Fernandes et al.<sup>21,22</sup>, com o objectivo de estudar o TLim- $vVO_{2,max}$ , i.e., o tempo durante o qual uma intensidade de exercício correspondente ao  $VO_{2,max}$  pode ser mantida até à exaustão, utilizaram, inicialmente, um protocolo incremental para a obtenção do  $VO_{2,max}$  e da  $vVO_{2,max}$ . Neste protocolo, na técnica de crol, foram utilizadas patamares de 200 m de duração.

Também outros autores<sup>20,32,33</sup> se interessaram pela determinação do TLim em natação, sendo estes estudos realizados em *swimming flume* e na técnica de crol.

Nestes estudos, os nadadores conseguiram manter uma intensidade correspondente ao  $VO_{2,max}$  durante  $287 \pm 160s$ <sup>32</sup>,  $302 \pm 136s$ <sup>33</sup>,  $375 \pm 38s$ <sup>20</sup>,  $325 \pm 76.5s$ <sup>21</sup> e  $260.20 \pm 60.73s$ <sup>22</sup>. Estes dados parecem sugerir que o TLim- $vVO_{2,max}$  é um parâmetro bastante individualizado. Por outro lado, o TLim- $vVO_{2,max}$  parece relacionar-se positivamente com a componente lenta do  $VO_2$ <sup>21,22</sup> e com o défice acumulado de oxigênio<sup>33</sup> e negativamente com a  $vVO_{2,max}$ <sup>22,32,33</sup> e com o limiar anaeróbio<sup>6</sup>.

#### FACTORES QUE COMPROMETEM AS COMPARAÇÕES INTER INDIVIDUAIS DA ECONOMIA NA AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE NADO

Apesar da economia motora ser um indicador

da adequação mecânica do gesto técnico, a economia é influenciável por outros factores que importa ter em consideração, nomeadamente quando se pretendem efectuar comparações inter individuais. É preciso ter presente que a economia motora depende também de factores corporais, como: i) o peso, ii) a massa magra, iii) as dimensões corporais - entre as quais o comprimento do membro superior para uma mesma altura, iv) a densidade corporal, v) o momento de rotação hidrostática a partir de decúbito ventral ou dorsal, (vi) o nível de treino e (vi) as condições ambientais, como a temperatura e a altitude<sup>2,5,13,34,35,36,37,38</sup>.

Para além destes, parece ser lícito considerar-se que a economia motora pode ainda ser afectada por outros factores, nomeadamente de natureza bioquímica e biomecânica interna<sup>39</sup>.

Tendo em consideração o exposto, Troup & Daniels<sup>40</sup> referem que a economia motora constitui um instrumento útil para comparar diferentes nadadores e um mesmo indivíduo em condições diferentes. Todavia, segundo os mesmos autores, a comparação directa não permite discriminar diferenças devidas à mecânica de nado ou ao metabolismo específico de diferentes sujeitos.

Neste sentido, segundo Vilas-Boas<sup>19</sup>, obstar a este problema pressupõe: (i) homogeneizar as condições de testagem; (ii) corrigir os resultados através da sua relativização a variáveis que traduzam tanto quanto possível a influência de parâmetros marcadamente individuais não relacionados com a técnica e (iii) homogeneizar tanto quanto possível a amostra no que respeita ao nível desportivo e ao nível de treino.

A correcção referida no ponto (ii) é normalmente conseguida através da relativização dos valores do dispêndio energético à massa corporal. Montpetit et al.<sup>36</sup> verificaram, entretanto, que para nadadores de bom nível, o peso, o peso na água, a altura e a superfície corporal, se correlacionam acentuadamente, pelo que a tradicional opção pela relativização dos valores do  $VO_2$  ao peso nos parece satisfatória. Van Handel et al.<sup>38</sup> optaram pela mesma solução, tendo podido verificar que a correcção dos valores do  $VO_2$  pelo peso permitia mesmo anular as diferenças observadas entre indivíduos de sexos diferentes.

#### PROTOCOLOS EXPERIMENTAIS PARA A DETERMINAÇÃO DA ECONOMIA MOTORA

A determinação da economia motora em natação é um processo normalmente complexo, que todavia pode ser abordado de formas diferenciadas, garantindo níveis igualmente diferenciados de rigor e de utilidade dos resultados, bem assim como implicando níveis diferenciados de investimento (de tempo e orçamento) e de sofisticação tecnológica.

Distinguem-se, fundamentalmente, as seguintes aproximações: (i) métodos indirectos,

utilizando a razão entre a frequência cardíaca e a velocidade de nado, ou a regressão entre aqueles dois parâmetros <sup>41</sup>, ou a razão entre a lactatemia e a velocidade de nado, ou a regressão entre aqueles dois parâmetros <sup>42</sup> e (ii) métodos directos, utilizando a razão entre o  $\text{VO}_2$  líquido e a velocidade de nado, ou a regressão entre aqueles dois parâmetros <sup>2,27</sup>, a razão entre o dispêndio energético total ( $\text{VO}_2$  líquido + equivalente energético da lactatemia líquida) e a velocidade de nado, ou a regressão entre aqueles dois parâmetros <sup>19,43</sup>.

No primeiro caso, a utilização da frequência cardíaca ou da lactatemia constituem, naturalmente, soluções de recurso para estimar o dispêndio energético. Porém, qualquer das soluções impõe constrangimentos específicos, nomeadamente no que respeita às velocidades a que se processa a avaliação. A utilização da frequência cardíaca impõe que as velocidades de teste utilizadas impliquem esforços exclusivamente aeróbios, de onde se terá de aceitar um muito inconveniente afastamento das velocidades de competição. Complementarmente, haverá ainda que contar com a acentuada labilidade da frequência cardíaca, a qual implica sempre a consideração deste parâmetro sob reserva <sup>44</sup>. Em contrapartida, a utilização da lactatemia determina que se privilegiem velocidades de nado eminentemente glicolíticas. Todavia, enquanto que no caso da frequência cardíaca se consegue, virtualmente, anular a participação energética anaeróbia reduzindo a velocidade, o inverso já não se passa com a lactatemia. Assim, um desvio da curva lactatemia / velocidade para a direita tanto pode reflectir um progresso da economia motora, como um aumento da participação energética aeróbia, havendo que tomar sempre este inconveniente em linha de conta na implementação de protocolos de investigação que considerem este critério.

No segundo caso - métodos directos - também se colocam problemas particulares, apesar de, naturalmente, serem de menor relevo do que no primeiro. Quando se considera o  $\text{VO}_2$  líquido como único critério para a determinação do *input* energético tem de se ter os mesmos cuidados que quando se utiliza a frequência cardíaca. Naturalmente que, sendo assim, apresenta limitações similares, nomeadamente no que respeita às velocidades de nado utilizadas, apesar de não ser um parâmetro tão lábil.

A determinação da economia através do  $\text{VO}_2$  líquido suscita, todavia, uma outra questão pertinente, ela mesma susceptível de se decompor em duas. Trata-se do constrangimento imposto à técnica de nado pelos dispositivos de medição directa do  $\text{VO}_2$  por oximetria <sup>15</sup>. Entretanto, se se procurar torneir esta questão utilizando, por exemplo, o método de retro-extrapolação da curva de recuperação para os valores do exercício, introduzem-se problemas suplementares de fiabilidade.

As questões metodológicas da avaliação do

$\text{VO}_2$  do nadador colocam-se, igualmente, quando se pretende avaliar o *input* energético através da combinação do  $\text{VO}_2$  líquido com o equivalente energético da lactatemia líquida. Porém, neste caso já é possível avaliar a economia motora a velocidades de competição, mas resta apurar a validação da constante de equivalência de 2.7  $\text{mlO}_2$  <sup>45</sup>.

### Procedimentos para recolha de $\text{O}_2$

A avaliação do consumo de oxigénio em natação tem sido realizada utilizando diferentes procedimentos.

O procedimento mais antigo utilizado na determinação dos valores ventilatórios em natação era conduzido através da recolha de gás com sacos de Douglas ou com balões meteorológicos, sendo posteriormente realizada a análise volumétrica. O principal aspecto negativo deste método deve-se ao manuseamento do gás expirado no momento da recolha e na fase de análise das concentrações relativas, o que aumentava o risco de erros de medição <sup>19</sup>. Por outro lado, este método permite apenas a determinação do  $\text{VO}_2$  médio no período da recolha escolhido, sendo normalmente recolhido o ar expirado nos últimos momentos de cada esforço. Assim, este método parece limitar-se à avaliação dos valores do  $\text{VO}_2$  em estado de equilíbrio fisiológico ou aos valores máximos registados no final de um determinado esforço <sup>19</sup>. Todavia, foram vários os autores <sup>4,23,26,46,47</sup> que utilizaram este procedimento experimental, muitos deles abrindo caminho para estudos realizados posteriormente, utilizando a oximetria directa em natação.

Para ultrapassar estes problemas, novos instrumentos de medição foram surgindo. Inicialmente, a oximetria directa em natação foi realizada em condições experimentais muito específicas, particularmente em testes realizados em ergómetro de água—*swimming flume* <sup>2,25</sup>, através da utilização de instrumentos como o oxímetro *Sensormedics 2900* (Yorba Linda), que permite a análise da recolha de ar, expressando a relação das concentrações relativas no momento da recolha. A utilização deste instrumento em condições reais de nado implica importantes adaptações, como a utilização de um *charriot* sobre o qual o oxímetro se desloca ao longo da parede lateral da piscina <sup>43</sup>, a ligação ao oxímetro de uma válvula especialmente concebida para oximetria em natação <sup>15</sup> e o aumento do tubo de captação do ar expirado <sup>19</sup>. Neste sentido, outros instrumentos mais portáteis e de mais fácil transporte (e.g. *CPX II*, Medical Graphics, USA; *K4b2*, Cosmed, Italy) têm vindo a ser utilizados em natação na recolha e análise dos gases respiratórios <sup>9,48</sup>. Estes instrumentos permitem, inclusive, a análise dos gases respiratórios respiração a respiração, o que no caso do *Sensormedics 2900* não era possível, calculando-se o valor médio em cada 20 s de esforço.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A economia motora das técnicas de nado constitui-se como um parâmetro central no controlo de treino, nomeadamente por permitir estimar o percentual de participação energética aeróbia e anaeróbia em diferentes distâncias de prova e por permitir avaliar quantitativamente o nível de adequação mecânica global do gesto técnico.

Como conceito, a economia motora constitui um parâmetro charneira entre os domínios da fisiologia e da biomecânica. Por um lado, constitui um parâmetro fisiológico por natureza e, por outro, é especialmente sensível às flutuações de variáveis biomecânicas, fundamentalmente as relacionadas com o aproveitamento propulsivo da energia química ( $e_m$ ), ou com os fenómenos dissipativos da mesma, como por exemplo, a força resistência ( $e_p$ ).

A economia de nado encontra-se influenciada por diversos factores, de entre os quais: velocidade de nado, técnica de nado, variação intracíclica da velocidade, índices hidrostáticos, indicadores cinemáticos gerais, treino, género e idade, e factores morfológicos. Neste sentido, todos estes aspectos devem ser tidos em consideração quando se pretende estudar este parâmetro, sendo necessário ter um cuidado especial na análise dos dados recolhidos, bem como quando se pretendem efectuar comparações inter individuais.

A escolha do protocolo para avaliação da economia de nado deve ser rigorosamente pensada, tendo em consideração aspectos como o tempo de estabilização do  $VO_2$  e a componente lenta do  $VO_2$ , que deverão repercutir-se na duração de cada estágio de intensidade, nas velocidades a serem utilizadas, bem como nos procedimentos de recolha do oxigénio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hollander AP, Troup JP, Toussaint HM. Linaer vs exponential extrapolation in swimming research. Liverpool: VI th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, 1990.
- Troup JP. International center for aquatic research annual, studies by the International Center for Aquatic Research 1990-91. Colorado Springs: United States Swimming Press, 1991.
- Pendergast DR, Di Prampero PE, Craig AB, Wilson DR, Rennie D. Quantitative analysis of front crawl in men and women. *J Appl Physiol* 1977;43:475-479.
- Toussaint H. Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22(3):409-415.
- Costill DL, Lee G, D'Acquisto RJ. Video-computer assisted analysis of swimming technique. *J Swim Res* 1987;3(2):5-9.
- Craig AB, Boomer WL, Skehan PL. Patterns of velocity in competitive breaststroke swimming. In: Ungerechts BE, Wilke K, Reichle K, editors. *Swimming Science V*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1988. p.73-77
- Nigg BM. Selected methodology in biomechanics with respect to swimming. In: Hollander AP, Huijing PA, de Groot G, editors. *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1983. p. 72-80.
- Vilas-Boas JP. Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA, editors. *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*. London: E & FN Spon, 1996. p. 167-171.
- Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes RJ, Colaço P, Lima AB, Vilas-Boas JP. Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol* 2005;93:519-523.
- Toussaint HM, Van Der Helm FC, Elzerman, JR, Hollander AP, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ. A power balance applied to swimming. In: Hollander AP, Huijing PA, de Groot G, editors. *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1983. p. 165-172.
- Togashi T, Nomura T. A biomechanical analysis of the novice swimmer using the butterfly stroke. In: Maclaren D, Reilly T, Lees A, editors. *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI*. London: E & FN Spon, 1992. p. 87-90.
- Wakayoshi K, Yoshida T, Ikuta Y, Mutoh Y, Miyashita M. Adaptations to six months of aerobic swim training. Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. *Int J Sports Med* 1993;14(7):368-7
- Klentrou PP, Montpetit RR. Energetics of backstroke swimming in males and females. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24(3):371-375.
- Craig AB, Boomer WL, Gibbons JF. Use of stroke rate, distance per stroke and velocity relationships during training for competitive swimming. In: Terauds J, Bedingfield EW, editors. *Swimming II*, Baltimore: University Park Press, 1979. p. 265-274.
- Toussaint HM, Meulemans A, De Groot G, Hollander AP, Schreurs AW, Vervoorn K. Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987;56(3):363-6.
- Smith HK, Montpetit RR, Perrault H. The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;58(1-2):182-8.
- Lavoie JM, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. *Sports Med* 1986;3(3):165-89.
- Costill D, Kovaleski J, Porter D, Fielding R, King D. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med* 1985;6(5):266-70..
- Vilas-Boas JP. Caracterização biofísica de três variantes da técnica de bruços. [Programa de Doutoramento em Ciências do Desporto, especialidade de Biomecânica do Desporto]. Porto (Portugal): da Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. Medisa - Edições e divulgações científicas, 1993.
- Demarie S, Sardella F, Billat V, Magini W, Faina M. The  $VO_2$  slow component in swimming. *Eur J Appl Physiol* 2001;84(1-2):95-9.

21. Fernandes R, Billat V, Cardoso C, Barbosa T, Soares S, Ascensão A, et al. Time Limit at  $v\dot{V}O_2$ max and  $\dot{V}O_2$ max Slow Component in swimming. A pilot study of university students. In: Proceedings of the IXth Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming. Saint-Etienne, 2003. p. 331-336.
22. Fernandes R, Cardoso C, Soares S, Ascensão A, Colaço P, Vilas-Boas JP. Time Limit and  $\dot{V}O_2$  Slow Component at intensities corresponding to  $\dot{V}O_2$ max in swimmers. *Int J Sports Med* 2003;24(8):576-81
23. Holmér I. Energetics and mechanical work in swimming. In: Hollander AP, Huijing PA, de Groot Gc editors. *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1983. p. 154-164.
24. Holmér L, Astrand PO. Swimming training and maximal oxygen uptake. *J Appl Physiol* 1972, 33(4):510-3.
25. Troup JP. International center for aquatic research annual, studies by the International Center for Aquatic Research 1989-90. Colorado Springs: United States Swimming Press, 1990.
26. Cazorla G, Montpetit R. Niveau d'entraînement et spécificité de la consommation maximale d'oxygène chez nageurs. *Motricité Humain* 1983,1:50-55.
27. Holmér I. Energy cost of arm stroke, leg kick and the whole stroke in competitive swimming styles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1974;33(2):105-18.
28. Montpetit RR; Lavoie JM, Cazorla G. Aerobic energy cost of swimming the front crawl at high velocity in international class and adolescent swimmers. In: Hollander AP, Huijing PA, de Groot G, editors. *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1983. p. 228-234.
29. Montpetit RR, Léger LA, Lavoie JM, Cazorla G.  $\dot{V}O_2$  peak during free swimming using the backward extrapolation of the  $O_2$  recovery curve. *Eur J Appl Physiol* 1981;47(4):385-91.
30. Whipp B. The slow component of  $O_2$  uptake kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1994; 26(11):1319-26
31. Buck D, Mcnaughton L. Maximal accumulated oxygen deficit must be calculated using 10-min periods. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31(9):1346-9.
32. Billat V, Faina M, Sardella F, Marini C, Fanton F, Lupo S, et al. A comparison of time to exhaustion at  $\dot{V}O_2$ max in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. *Ergonomics* 1996,39:267-277.
33. Faina M, Billat V, Squadrone R, De Angelis M, Koralsztejn J, Dal Monte A. Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. *Eur J Appl Physiol* 1997;76(1):13-20.
34. Di Prampero PE. The energy cost of human locomotion on land and water. *Int J Sports Med* 1986; 7(2):55-72.
35. Di Prampero PE, Pendergast DR, Wilson DW, Rennie DW. Energetics of swimming in man. *J Appl Physiol* 1974;37(1):1-5.
36. Montpetit R, Smith H, Boie G. Topic report: swimming economy: how to standardize the data to compare swimming proficiency. *J Swim Res* 1988,4(1):5-8.
37. Rennie DW, Pendergast DR, Di Prampero PE. Energetics of swimming in man. In: Clarys JP, Lewillie L, editors. *Swimming II*. Baltimore: University Park Press, 1975. p. 97-104.
38. Van Handel PJ, Katz A, Troup JP, Daniels JT, Bradley PW. Aerobic economy and competitive performance of US elite swimmers. In: Ungerechts BE, Wilke K, Reiche K, editors. *Swimming Science V*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1988. p. 269-275.
39. Cavanagh PR, Kram R. Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17(3):326-331.
40. Troup JP, Daniels JT. Swimming economy: an introductory review. *J Swim Res* 1986;2(1):5-9.
41. Treffene R.J. Heart rate measurement technique in swimming performance prediction. In: Hollander AP, Huijing PA, de Groot G, editors. *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1983. p. 339-344.
42. Sharp RL, Costill DL. Shaving a little time. *Swimming Technique* 1990;26(3):10-13.
43. Vilas-Boas JP, Santos P. Comparison of swimming economy in three breaststroke techniques. *Medicine and Science in Aquatic Sports*. *Med Sport Sci* 1994; 39:48-54.
44. Vilas-Boas, J.P. Indirect evaluation of economy in formal and natural breaststroke forms. FIMS World Congress of Sports Medicine, Amsterdam, 1990. p. 173.
45. Thevelein X, Daly D, Persyn P. Measurements of total energy use in the evaluation of competitive swimmers. In: Bachl N, Prakop L, Suckert R, editors. *Current Topics in Sports Medicine*. Wien: Urban & Schwarzenberg, 1984. p. 668-676.
46. Chatard JC, Lavoie JM, Lacour JR. Swimming skill cannot be interpreted directly from the energy cost of swimming. In: Maclaren D, Reilly T, Lees A. (eds) *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI*. London: E & FN Spon, 1992. p. 173-179.
47. Toussaint H, De Groot G, Savelberg H, Vervoorn K, Hollander A, Van Ingen Scheneau GJ. Active drag related to velocity in male and female swimmers. *J Biomech* 1988;21(5):435-8.
48. Rodriguez F, Mader A. Energy metabolism during 400 and 100-m crawl swimming: computer simulation based on free swimming measurements. In: Chatard J-C, editors. *Proceedings of the Ninth World Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*. Saint-Étienne: Université de Saint-Étienne, 2003. p. 373-378.

**Endereço para correspondência**

António José Silva \*  
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro  
Departamento de Desporto - CIFOP  
5000 Vila Real, Portugal  
Email: ajsilva@utad.pt

Recebido em 01/06/06  
Aprovado em 06/10/06