

A eficiência propulsiva e a performance em nadadores não *experts*

T.M. Barbosa, V. Lima, E. Mejias, M.J. Costa, D.A. Marinho, N. Garrido, A.J. Silva, J.A. Bragada

O estudo da eficiência propulsiva é um dos assuntos mais interessantes para os investigadores em natação pura desportiva, já que apresenta uma relação directa no comportamento biofísico do nadador e na sua performance. Apesar de ser uma variável que tem sido bastante estudada em nadadores de elevado nível competitivo, não há nenhuma investigação sobre esta temática em jovens nadadores não *experts*. Assim, o objectivo deste estudo foi: (i) estimar a eficiência propulsiva em nadadores não *experts*; (ii) identificar os factores biomecânicos e antropométricos que estão associados à eficiência propulsiva e; (iii) identificar a associação entre a eficiência propulsiva e a performance. Vinte e oito nadadores não *experts*, praticantes regulares de natação numa Escola Municipal participaram neste estudo. Foram avaliados a eficiência propulsiva, parâmetros biomecânicos, antropométricos e a performance de nado. Os principais resultados encontrados mostram que a eficiência propulsiva de nadadores não *experts* é inferior à descrita na literatura para nadadores de outros níveis competitivos e que não há diferenças significativas entre os dois sexos. Foi também verificado que vários parâmetros biomecânicos, antropométricos, assim como, a performance estão associados com a eficiência propulsiva.

Palavras-chave: natação, antropometria, biofísica, crol, nível competitivo

Submetido: 05.11.2009 | Aceite: 03.12.2009

Tiago Barbosa, Erik Mejias, Mário Costa e José Bragada. Departamento de Desporto do Instituto Politécnico de Bragança, Bragança. Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal.

Vítor Lima. Departamento de Desporto do Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

Daniel Marinho. Departamento de Ciências do Desporto da Universidade da Beira Interior, Covilhã. Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal.

Nuno Garrido e António Silva. Departamento de Desporto, Exercício e Saúde da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal.

Endereço para correspondência: Tiago Barbosa, Instituto Politécnico de Bragança/CIDESD, Campus Sta Apolónia, Ap. 1101-75, 5300 Bragança – Portugal. E-mail: barbosa@ipb.pt

Propulsive efficiency and non- expert swimmers performance

Propulsive efficiency is one of the most interesting issues for competitive swimming researchers, as it presents significant relationships with the swimmer's biophysical behavior and his/her performance. Although propulsive efficiency is a variable that has been quite studied in elite swimmers, there is no research on this issue in young and non-expert swimmers. Thus, the aim of this study was to: (i) estimate the propulsive efficiency on non-expert swimmers; (ii) identify biomechanical and anthropometrical parameters that are associated with propulsive efficiency; (iii) identify the association between the propulsive efficiency and swim performance. Twenty-eight non-expert swimmers participated on this study. It was assessed the propulsive efficiency, biomechanical and anthropometrical parameters, as well as, the swim performance. The propulsive efficiency of non-expert swimmers is lower than data reported in the literature to higher competitive levels swimmers and there are no significant differences between boys and girls. It was also noted that several biomechanical and anthropometrical parameters, as well as, the swim performance are associated with the propulsive efficiency.

Key words: efficiency, anthropometry, biophysics, front-crawl, competitive level

O principal objectivo de uma prova de natação pura desportiva é percorrer determinada distância no menor tempo possível. Para que tal seja possível, o nadador deve deslocar-se à sua máxima velocidade. Com efeito, a velocidade maximal em natação depende de (Zamparo, Lazzar, Antoniazzi, Cedolin, Avon, & Lesa, 2008):

$$v_{\max} = \frac{\dot{E}_{\max}}{C} \quad (1)$$

Onde v_{\max} é a velocidade maximal, E_{\max} é a potência metabólica total máxima e C o custo energético. Verifica-se então que a performance em natação pura desportiva é fortemente condicionada por pressupostos bioenergéticos [expresso pelo numerador da equação (1)] e por pressupostos biomecânicos [expresso pelo denominador da equação (1)] (Barbosa, Keskinen, & Vilas-Boas, 2006). Na realidade, o E_{\max} pode ser quantificado como sendo (Capelli, Pendergast, & Termin, 1998):

$$\dot{E}_{\max} = \dot{E}_{aer} + \dot{E}_{anaer} - l_a + \dot{E}_{anaer} - a_l a \quad (2)$$

Onde E_{max} é a potência metabólica total máxima, E_{aer} é a potência metabólica com origem no sistema aeróbio, $E_{anaer-la}$ é a potência metabólica com origem no sistema anaeróbio láctico e $E_{anaer-ala}$ é a potência metabólica com origem no sistema anaeróbio aláctico. Todavia, mesmo em provas de natação de curtas distâncias, o contributo percentual do $E_{anaer-ala}$ para o E_{max} é negligenciável (Capelli et al., 1998). Quanto ao C , este pode ser quantificado como sendo (Zamparo, 2006):

$$C = \frac{\eta_o \cdot w_{tot}}{\eta_p} \quad (3)$$

Onde C é o custo energético, η_o a eficiência total, w_{tot} o trabalho mecânico total e η_p a eficiência propulsiva. Com efeito, o estudo da eficiência propulsiva é um dos assuntos mais interessantes para os investigadores em natação pura desportiva, já que tem uma repercussão directa no comportamento biofísico do nadador e na sua performance (Barbosa et al., 2006). Estima-se que a eficiência propulsiva na técnica de Crol seja de aproximadamente 50 % (Pendergast et al., 2003; Toussaint et al., 1988). Neste caso, apenas 50 % da potência metabólica gerada serve para a produção de trabalho mecânico externo com repercussão na translação do centro de massa do nadador. A restante potência metabólica perde-se por diversos fenómenos como a termo-regulação, o trabalho postural, a co-activação e/ou absorção muscular (Winter, 1990), ou a transferência de energia cinética para a massa de água (de Groot, & van Ingen Schenau, 1988).

Uma das técnicas mais citadas na literatura para avaliação da η_p é o MAD (*Measure Active Drag*) - *system* desenvolvido por Hollander et al. (1986). Este sistema permite que o nadador se desloque na água tendo como pontos de propulsão uma sucessão de apoios fixos. Outra técnica, sugerida por Cappaert, Bone, e Troup (1992a), recorre a um sistema tridimensional de análise da cinemática segmentar. Todavia, a aplicabilidade destas técnicas não é excluída de limitações, tais como: (i) o custo económico; (ii) o tempo necessário para montar o equipamento; (iii) o tempo necessário para adquirir e processar os dados; (iv) o nível de *expertise* do avaliador na aquisição dos dados e; (v) salvo melhor opinião, o MAD-*system* não ter sido validado para sujeitos de escalões de formação. Neste sentido, o modelo teórico de Martin, Yeater, e White (1981), e mais tarde desenvolvido por Zamparo, Pendergast, Mollendorf, Termin, e Minetti (2005), pode ser uma opção a considerar pela sua simplicidade de operacionalização.

Considere-se o membro superior como um segmento rígido que efectua uma revolução completa, em que metade dessa revolução é executada com o segmento imerso (i.e., o trajecto motor) e a outra metade da revolução com o segmento emerso (i.e., a fase da recuperação) como expresso na figura 1.

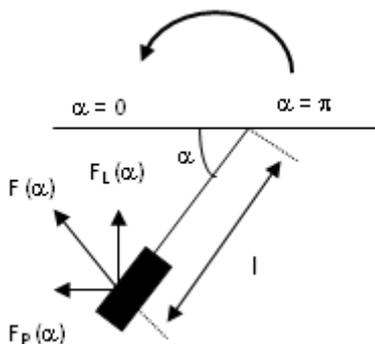


Figura 1. Diagrama de corpo livre das forças actuantes sobre um segmento rígido durante o trajecto motor, apresentado a força de arrasto propulsivo (F_p), a força ascensional propulsiva (F_L), a resultante da soma da F_p e da F_L (F) em cada posição angular (α) e o comprimento do membro superior (l) (modificado de Zamparo et al., 2005)

Se a posição angular α do membro superior varia entre 0 e π , com uma dada frequência gestual (FG), a velocidade angular ω é dada por:

$$\omega = \alpha(t) = 2 \cdot \pi \cdot FG \quad (4)$$

O trabalho mecânico útil é definido por:

$$F_p(\alpha)v = F(\alpha) \cdot \text{sen } \alpha \cdot v \quad (5)$$

De acordo com 2ª lei newtoniana, esta força deve ser igual e oposta ao arrasto F_D , considerando a massa m e a aceleração a . Logo:

$$F_p(v) - F_D(v) = m \cdot a \quad (6)$$

Se o movimento for uniforme:

$$F_p(v) = F_D(v) \quad (7)$$

O trabalho mecânico total é calculado com base no momento na articulação escápulo-umeral, onde l é o comprimento do membro superior:

$$F(\alpha) \cdot l \cdot \omega = F(\alpha) \cdot l \cdot 2\pi \cdot FG \quad (8)$$

A eficiência instantânea neste tipo de locomoção é o rácio do trabalho mecânico "útil" e o trabalho mecânico total:

$$\eta[\alpha(t)] = \frac{F(\alpha) \operatorname{sen} \alpha v}{F(\alpha) 2\pi FG l} = \frac{v \operatorname{sen} \alpha}{2\pi FG l} \quad (9)$$

Ao longo de um trajecto motor entre 0 e π , a eficiência média é:

$$\bar{\eta} = \frac{v}{2\pi FG l} \left(\frac{1}{\pi} \right) \int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi} (\operatorname{sen} \alpha) dx = \frac{v}{2\pi FG l} \left[\frac{2}{\pi} \right] \quad (10)$$

Como a contribuição dos membros superiores para a propulsão é de sensivelmente 90 % (Hollander et al., 1986):

$$\eta_p = \left(\frac{v \cdot 0,9}{2\pi \cdot FG \cdot l} \right) \cdot \frac{2}{\pi} \quad (11)$$

A equação (11) consiste na estimação da eficiência de Froude. A diferença entre a eficiência de Froude e a eficiência propulsiva decorre da primeira não tomar em consideração o efeito do trabalho mecânico interno para o trabalho mecânico total produzido. Contudo, dada a amplitude de velocidades que os nadadores não *experts* atingem, o trabalho mecânico interno pode ser considerado como negligenciável (Zamparo et al., 2005). Portanto, nesta circunstância, a eficiência propulsiva apresenta um valor próximo da eficiência de Froude.

Diversos estudos foram desenvolvidos no sentido de compreender a dependência da η_p de características biomecânicas e antropométricas, assim como, a sua influência na performance. Teoricamente, foi definida a existência de uma relação directa da η_p com a distância de ciclo (DC) e inversa com a FG (Toussaint, & Hollander, 1994). Mais ainda, sabe-se que existe uma relação inversa entre o C e o η_p (Barbosa, Fernandes, Keskinen, & Vilas-Boas, 2008) e verificou-se a existência de uma relação positiva entre o C e a FG (Barbosa, Keskinen, Fernandes, Colaço, Carmo, & Vilas-Boas, 2005). Por outro lado, sugere-se a existência de uma

associação significativa entre a ηp e diversas características antropométricas. Por exemplo, a envergadura pode induzir aumentos da DC e, conseqüentemente, aumentos na ηp (Toussaint, 1990). Paralelamente, verificou-se que os nadadores de melhor nível competitivo apresentavam valores superiores de ηp (p.e., Toussaint, 1990) e que esta era superior na prova na qual o nadador era especialista (Cappaert, Franciosi, Langhand, & Troup, 1992b).

Não obstante este tipo de estudos ser frequente em nadadores adultos e de elite (p.e., Barbosa et al., 2008; Cappaert et al., 1992a, 1992b; Toussaint, 1990), poucos são os trabalhos desta índole nos escalões de formação (p.e., Zamparo, 2006). Mais ainda, tanto quanto é possível apurar não há nenhuma investigação sobre esta temática em jovens nadadores não *experts*. Consideram-se para o efeito como nadadores não *experts*, sujeitos que, apesar de praticarem de forma regular a actividade, não participam em quadros competitivos oficiais de qualquer associação ou federação representativa da modalidade.

Neste sentido, este estudo teve como objectivos: (i) estimar a eficiência propulsiva em nadadores não *experts*; (ii) identificar os factores biomecânicos e antropométricos que estão associados à eficiência propulsiva e; (iii) identificar a associação entre a eficiência propulsiva e a performance. Em nosso entender, a análise dos factores que influenciam o rendimento desportivo revela-se de especial importância, não só em desportistas de elite mas também em indivíduos não *experts*. Cada vez mais assistimos à procura de actividades desportivas por parte da população, em geral, e dos jovens, em particular. Esta prática tem vindo a ser incentivada pelas políticas desportivas, pelo que a manutenção destes praticantes nas actividades desportivas deve ser uma preocupação dos técnicos desportivos. Neste sentido, e sabendo-se da importância da melhoria do rendimento na motivação para a prática desportiva (Fernandes, 1999), o estudo dos factores que influenciam a performance em natação, como parece ser o caso da eficiência propulsiva, pode revelar-se importante na consecução deste objectivo, através da melhoria dos processos de treino em nadadores não *experts*.

Metodologia

Amostra

A amostra foi constituída por um total de 28 nadadores não *experts*. Quinze nadadores do sexo masculino ($13,54 \pm 2,40$ anos de idade) e 13 do sexo feminino ($12,54 \pm 2,87$ anos de idade). Para os objectivos deste estudo foi determinado como parâmetro de selecção dos indivíduos que fossem clinicamente saudáveis, não

apresentando qualquer patologia músculo-esquelética nos seis meses antecedentes à recolha de dados. Para além disso, os indivíduos tinham que ser praticantes regulares de nataçãõ numa Escola Municipal de Nataçãõ (duas sessões de 45 minutos por semana) com um mínimo de dois anos de prática mas que não participavam em quadros competitivos oficiais de qualquer associaçãõ ou federaçãõ representativa da modalidade. Foi solicitada autorizaçãõ aos pais e/ou encarregados de educaçãõ dos nadadores para estes fazerem parte do estudo.

Instrumentos e Procedimentos

Estimaçãõ da eficiênciã propulsiva

Para a estimaçãõ da eficiênciã propulsiva, cada nadador realizou três repetições de 25 m à velocidade média correspondente à prestaçãõ num teste máximo de 100 m Crol efectuado por todos os nadadores na semana que antecedeu as avaliações. Assumiu-se um intervalo mínimo de 60 s entre repetições. A partida foi efectuada dentro de água, de modo a minimizar o deslize e o percurso subaquático. Cada nadador executou o percurso sozinho, de forma a reduzir o efeito de *drafting* ou a alteraçãõ do ritmo de nado imposto. A η_p foi estimada como descrito na equaçãõ (11). O comprimento do membro superior foi calculado com recurso a uma correccãõ trigonométrica da distância entre a articulaçãõ escápulo-umeral e o terceiro dedo, considerando o ângulo relativo médio entre o antebraço e o braço descrito por Zamparo (2006) para nadadores de igual idade cronológica e sexo.

Avaliaçãõ biomecânica

Os três percursos de 25 m para estimaçãõ da eficiênciã propulsiva foram gravados por duas câmaras de vídeo. Uma câmara (JVC, GR-SXM26EG, Yokoama, Japão) encontrava-se no plano sagital, com o eixo óptico perpendicular à trajectória do nadador, no cais da piscina e captando os 15 m intermédios do percurso a ser nadado. A outra câmara (JVC, GR-SXM26EG, Yokoama, Japão) estava no plano oblíquo, numa banca, alinhando o seu eixo óptico com a pista. A partir das imagens gravadas pelas duas câmaras foi calculada a velocidade de nado nos 15 metros intermédios de cada percurso:

$$\bar{v} = \frac{d}{t} \tag{12}$$

Onde v é a velocidade de nado ($m \cdot s^{-1}$), d é a distância percorrida (m) e t o tempo dispendido para percorrer a distância (s). De igual modo, a partir das mesmas imagens, foi avaliada a frequência gestual (FG, Hz) nos 15 metros intermédios do percurso, com um crono-frequencímetro de base 3 (Golfinho Sports MC 815, Aveiro, Portugal) e posteriormente convertida em unidades do sistema internacional (Hz). A distância de ciclo (DC, m) foi calculada sabendo que (Craig, & Pendergast, 1979):

$$DC = \frac{\bar{v}}{FG} \quad (13)$$

Onde DC é a distância de ciclo, v a velocidade de nado e FG a frequência gestual.

Avaliação antropométrica

Para avaliação da estatura e da massa corporal utilizou-se, respectivamente, uma balança (SECA, 884, Hamburgo, Alemanha) e um estadiómetro (SECA, 242, Hamburgo, Alemanha). A área de superfície corporal foi estimada como sendo (Haycock, Schwartz, & Wisotsky, 1978):

$$ASC = (mc \cdot 0,5378) \cdot (h \cdot 0,3964) \cdot 0,024265 \quad (14)$$

Onde ASC (m^2) é a área de superfície corporal, mc a massa corporal (kg) e h a estatura (m). Realizou-se a medição da envergadura através de uma fita métrica (Lufkin, EUA) entre o 3º dedo médio da mão direita e o 3º dedo médio da mão esquerda, com os membros superiores em abdução e a efectuar um ângulo relativo com o tronco de 90º.

Efectuaram-se as medições dos comprimentos e das larguras palmar e plantar através de dois medidores (ROSSCRAFT, Campbell, Caliper 20, Canada; ROSSCRAFT, Campbell, Capiler 10, Canadá) de acordo com os procedimentos descritos por Alves (1995). A área palmar foi estimada como sendo (Fragoso, & Vieira, 1994):

$$A_{palmar} = ASC \cdot 0,0125 \quad (15)$$

Onde A_{palmar} é a área palmar (m^2) e ASC a área de superfície corporal (m^2). Por sua vez, a área plantar foi estimada (Fragoso, & Vieira, 1994):

$$A_{\text{plantar}} = ASC \cdot 0,0175 \quad (16)$$

Onde A_{plantar} é a área palmar (m^2) e ASC a área de superfície corporal (m^2). O índice longitudinal da mão foi calculado através da seguinte equação (Alves, 1995):

$$IL_{\text{mão}} = \frac{C_{\text{mão}}}{L_{\text{mão}}} \quad (17)$$

Onde $IL_{\text{mão}}$ é o índice longitudinal da mão, $C_{\text{mão}}$ é o comprimento da mão e $L_{\text{mão}}$ é a largura da mão.

O índice longitudinal do pé foi calculado através da seguinte equação (Alves, 1995):

$$IL_{\text{pé}} = \frac{C_{\text{pé}}}{L_{\text{pé}}} \quad (18)$$

Onde $IL_{\text{pé}}$ é o índice longitudinal do pé, $C_{\text{pé}}$ é o comprimento do pé e $L_{\text{pé}}$ é a largura do pé.

Avaliação da performance

A performance foi obtida com recurso ao melhor tempo (s) nas provas supra-máximas de 50 m, 100 m, 200 m e 400 m livres. A partida foi realizada do bloco e pediu-se aos sujeitos para cumprir a prova à máxima velocidade, como se uma situação competitiva se tratasse. A ordem das provas entre os sujeitos foi aleatória e com um intervalo mínimo de 24 horas entre elas. Todas as provas foram realizadas à mesma hora do dia para minimizar o possível efeito do ritmo circadiano. Todas as provas foram realizadas mais uma vez com o nadador sozinho, sem outro nadador na pista de forma a reduzir o efeito de *drafting* ou de alteração do ritmo de nado.

Procedimentos estatísticos

A análise exploratória dos dados incluiu a determinação dos pressupostos de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, testando a hipótese nula que a amostra seleccionada tem origem numa população com distribuição normal ($p \leq 0,05$). Foi calculada a estatística descritiva (média e um desvio-padrão) de todas as variáveis em estudo. Para comparação das variáveis entre sexos utilizou-se o teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Para determinação do grau

de associação entre a eficiência propulsiva e as características antropométricas, a performance e as características biomecânicas adoptou-se o coeficiente de correlação de Spearman. Em todas as situações o nível de significância foi determinado para $p \leq 0,05$.

Resultados

O quadro 1 apresenta a estatística descritiva de todas as variáveis estudadas e a sua comparação com base no sexo dos sujeitos. A ηp não apresentou diferenças significativas entre os dois sexos. Relativamente às variáveis biomecânicas, apenas a v foi significativamente superior no sexo masculino do que no feminino ($p < 0,01$).

Quadro 1. Estatística descritiva (média \pm desvio-padrão) das variáveis estudadas e respectiva comparação em função do sexo

Variáveis	Sexo Masculino M \pm DP	Sexo Feminino M \pm DP	<i>p</i>
ηp (%)	20,56 \pm 10,00	20,51 \pm 10,41	<i>ns</i>
v (m.s ⁻¹)	0,77 \pm 0,12	0,69 \pm 0,09	<0,01
FG (Hz)	1,04 \pm 0,19	0,99 \pm 0,19	<i>ns</i>
DC (m)	0,76 \pm 0,15	0,71 \pm 0,14	<i>ns</i>
Estatura (m)	1,62 \pm 0,15	1,56 \pm 0,12	<i>ns</i>
Massa corporal (kg)	55,7 \pm 14,4	48,8 \pm 11,21	<i>ns</i>
Envergadura (m)	1,62 \pm 0,17	1,52 \pm 0,14	<0,01
ASC (m ²)	1,58 \pm 0,27	1,46 \pm 0,22	<i>ns</i>
Apalmar (m ²)	0,021 \pm 0,003	0,018 \pm 0,003	0,04
Aplantar (m ²)	0,030 \pm 0,005	0,025 \pm 0,004	<0,01
Cmão (m)	0,17 \pm 0,03	0,16 \pm 0,04	0,01
Lmão (m)	0,09 \pm 0,01	0,09 \pm 0,02	0,02
ILmão	1,93 \pm 0,12	1,95 \pm 0,11	<i>ns</i>
Cpé (m)	0,24 \pm 0,03	0,22 \pm 0,04	0,02
Lpé (m)	0,10 \pm 0,02	0,09 \pm 0,03	0,04
ILpé	2,61 \pm 0,19	2,63 \pm 0,21	<i>ns</i>
50m Livres (s)	41,9 \pm 8,47	46,80 \pm 7,25	<0,01
100m Livres (s)	90,93 \pm 16,98	101,29 \pm 15,84	<0,01
200m Livres (s)	219,39 \pm 36,8	241,84 \pm 35,98	<0,01
400m Livres (s)	465,62 \pm 70,86	516,08 \pm 64,99	<0,01

ns: Não significativo

No caso das variáveis antropométricas, as variáveis *Envergadura* ($p < 0,01$), *Apalmar* ($p = 0,04$), *Aplantar* ($p = 0,001$), *Cmão* ($p = 0,01$), *Lmão* ($p = 0,02$), *Cpé* ($p = 0,02$) e *Lpé* ($p = 0,04$) foram significativamente superiores no sexo masculino. No que concerne à performance, o sexo masculino apresentou em todas as provas melhores resultados desportivos do que o sexo feminino ($p = 0,01$).

O quadro 2 apresenta a associação entre a ηp e os parâmetros biomecânicos, antropométricos e da performance seleccionados.

Quadro 2. Associação entre a eficiência propulsiva e as restantes variáveis

Variáveis	Sexo Masculino	Sexo Feminino
v (m.s ⁻¹)	0,81 **	0,90 **
FG (Hz)	-0,79 *	-0,93 **
DC (m)	0,90 **	0,97 **
Estatura (m)	0,76 *	0,83 *
Massa corporal (kg)	0,71 *	0,86 *
ASC (m ²)	0,74 *	0,89 *
Envergadura (m)	0,74 *	0,79 *
Apalmar (m ²)	0,79 *	0,89 **
Aplantar (m ²)	0,79 *	0,89 **
Cmão (m)	0,83 *	0,86 **
Lmão (m)	0,69 *	0,57
ILmão	0,28	-0,33
Cpé (m)	0,80 *	0,74 *
Lpé (m)	0,65	0,75 *
ILpé	0,68 *	-0,19
50m Livres (s)	-0,85 **	-0,96 **
100m Livres (s)	-0,90 **	-0,93 **
200m Livres (s)	-0,85 **	-0,79 **
400m Livres (s)	-0,92 **	-0,89 **

* $p \leq 0,05$ ** $p \leq 0,01$

Todos os parâmetros biomecânicos apresentaram associações elevadas e significativas com a ηp em ambos os sexos ($-0,79 \leq r_s \leq 0,90$). No caso dos parâmetros antropométricos, no sexo masculino não se verificaram associações significativas com a *ILmão* e *Lpé*; já no sexo feminino foi a *Lmão*, o *ILmão* e o *ILpé* a não apresentar correlações significativas. Quanto à associação com a performance

as relações foram elevadas, negativas e significativas em todas as situações nos dois sexos ($-0,96 \leq r_s \leq -0,79$).

Discussão

O presente estudo teve como objectivos estimar a eficiência propulsiva em nadadores não *experts*, assim como, identificar os factores biomecânicos, antropométricos e da performance associados à η_p . Os principais resultados demonstram que a η_p não apresentou diferenças significativas entre os dois sexos e que diversos parâmetros biomecânicos, antropométricos e a performance estão associados a esta variável.

Os valores médios da η_p foram $20,56 \pm 10,00\%$, para o sexo masculino e $20,51 \pm 10,41\%$, para o sexo feminino. Com efeito, os valores obtidos revelam-se bastante inferiores aos descritos na literatura para nadadores de competição, estando estes próximos dos 50% (Toussaint et al., 1988), com recurso ao MAD-system; ou de $61,5 \pm 10,2\%$, para nadadores de longas distâncias, adoptando a cinematria como metodologia de avaliação (Cappaert et al., 1992b). Comparando estes valores com nadadores de igual idade cronológica, mas de nível competitivo superior, estimados pela mesma metodologia, continuam a ser inferiores (Zamparo et al., 2008). Nadadores de 13 anos e nadadoras de 12 anos apresentaram uma η_p de $33 \pm 3\%$ e $32 \pm 4\%$, respectivamente. Com efeito, confirma-se que um dos melhores marcadores do nível competitivo é a η_p , como sugere o estudo “clássico” de Toussaint (1990).

A η_p não apresentou diferenças significativas entre os dois sexos. Este mesmo facto foi descrito no único estudo que incluiu nadadores de idêntica faixa etária (Zamparo, 2006). Ao analisar esta variável numa amostra de nadadores com idades compreendidas entre os 9 e os 59 anos, a η_p não apresentou diferenças significativas até ao momento da puberdade. Dado o reduzido nível competitivo, ambos os sexos apresentaram velocidades de deslocamento muito reduzidas e frequências gestuais semelhantes. Da equação (11) emergem como variáveis independentes da η_p a velocidade de nado, a frequência gestual e o comprimento do membro superior. Ainda assim, a velocidade de nado foi significativamente superior no sexo masculino do que no feminino. Já a FG não apresentou diferenças significativas. Isto sugere que a η_p poderá decorrer da capacidade de gerar apoio na água e de minimizar a transferência de energia cinética para a massa de água. Por outras palavras, existem factores que não foram tomados em consideração e que podem ser explicativos da não existência de diferenças significativas na η_p entre os

dois sexos. Isto apesar de duas das principais variáveis independentes tenderem a impor essa diferença. Assim, especula-se que a variável “comprimento do membro superior” poderá conter a capacidade justificativa da ausência de diferenças na ηp .

Todos os parâmetros biomecânicos apresentaram associações elevadas e significativas com a ηp em ambos os sexos. Mais uma vez, dado que a ηp é estimada com base na velocidade de nado e na frequência gestual, é natural que as associações sejam significativas. Mais ainda, como descrito na equação (13), a DC é obtida através dessas mesmas variáveis. Logo, algum cuidado deve ser tido na interpretação destes dados, já que se pode configurar como estando na presença de uma situação de multicolinearidade. Ainda assim, na literatura, descreve-se de forma sustentada que a ηp está positivamente associada a níveis superiores de v e de DC (p.e., Toussaint, & Hollander, 1994; Zamparo et al., 2005). Por outro lado, sabe-se que existe uma relação inversa entre o custo energético e a ηp , como expresso na equação (3). Logo, valores superiores de custo energético decorrem de maiores frequências gestuais e/ou menores distâncias de ciclo para uma dada velocidade de nado (Barbosa et al., 2005; 2008).

No caso dos parâmetros antropométricos, não se verificaram associações significativas entre a ηp e a $lM\tilde{a}o$ ou o $Lp\acute{e}$ no sexo masculino. Já no sexo feminino, não se verificaram associações significativas entre a ηp e a $Lm\tilde{a}o$, o $lM\tilde{a}o$ e o $lLp\acute{e}$. Ou seja, a maioria das variáveis antropométricas seleccionadas para o estudo apresentaram associações significativas com a ηp . Com efeito, determinadas dimensões antropométricas estão associadas à performance e à eficiência ou ao custo energético de nado (Grimston, & Hay, 1986; Meira, Reis, Silva, Carneiro, Reis, & Aidar, 2008). Desde logo, sujeitos mais altos tenderão a apresentar uma maior envergadura; esta, por sua vez, impõe uma maior DC para uma mesma v e; conseqüentemente, um menor C ou uma maior ηp . Mas não só as dimensões têm repercussões no perfil bioenergético. Também as áreas têm uma influência nesse mesmo perfil. A título ilustrativo, verificaram-se associações positivas e significativas entre a ηp e as $Apalmar$ e $Aplantar$. Ora, partindo de uma análise de escoamentos estáveis, a força propulsiva total é a soma vectorial da força de arrasto propulsivo e da força ascensional. Quer uma, quer outra, são condicionadas pela área de secção transversa na direcção do deslocamento (Marinho et al., 2009; *in press*). Que é o mesmo que dizer que, considerando as restantes variáveis constantes, o aumento da área propulsiva (no caso, das mãos e pés) induz aumentos da força propulsiva; a qual, considerando, mais uma vez, que o arrasto não apresenta variações significativas, promove o aumento da velocidade de deslocamento do sistema biológico de forma mais eficiente. Na verdade, uma das

variáveis antropométricas mais associadas à performance (Grimston, & Hay, 1986) e à resposta hidrodinâmica (Kjendlie & Stallman, 2008) é a estatura. Por exemplo, a estatura é uma factor determinante no número de Froude, no qual o aumento da primeira induz diminuições na segunda e, portanto, reduzindo a intensidade da força de arrasto hidrodinâmico que se opõe ao deslocamento do nadador (neste caso, na sua componente de onda).

Quanto à associação com a performance, as relações foram elevadas, negativas e significativas em todas as situações em ambos os sexos. Zamparo et al. (2005) descreveram a existência de uma relação positiva entre a eficiência total, a qual se relaciona com a η_p , como descrito na equação (3), bem como da própria η_p , com a velocidade de nado, onde aumentos da eficiência imprimiam aumentos na velocidade. Ora, sendo a velocidade um elemento-chave para a consecução da distância da prova no menor intervalo de tempo possível, considera-se que existirá uma relação entre a η_p e a performance. Esta relação positiva entre a η_p e a performance vem reforçar a importância dos aspectos técnicos e do treino técnico na melhoria do rendimento desportivo. Mesmo em nadadores não *experts*, as melhorias do rendimento desportivo parecem ser fortemente condicionadas pela eficiência de nado e estas decorrem em grande medida do treino técnico. Neste sentido, e sabendo-se da importância que a melhoria do rendimento pode ter no aumento da motivação e adesão à prática desportiva, os técnicos desportivos deverão focalizar a sua atenção também nos aspectos técnicos que influenciam a eficiência propulsiva e, desta forma, a performance em natação (Fernandes, 1999).

Conclusões

Pode-se então concluir que a η_p de nadadores não *experts* é inferior à descrita na literatura para nadadores de outros níveis competitivos e como não havendo diferenças significativas entre os dois sexos. A η_p associa-se de forma significativa e elevada com diversos parâmetros biomecânicos e antropométricos. Elevados valores de η_p estão fortemente associados a melhores performances.

Ainda assim, algumas limitações serão de elencar: (i) o facto de esta abordagem ser uma estimativa e não uma avaliação da eficiência propulsiva; (ii) a impossibilidade de estimar esta variável nas restantes técnicas de nado; (iii) a subestimação da η_p decorrente de não tomar em consideração o contributo da acção dos membros inferiores para a velocidade de deslocamento do centro de massa do nadador; (iv) a necessidade de implementar um estudo semelhante a um grupo substancialmente

mais alargado de sujeitos; (v) o controlo de variáveis associadas ao processo ensino-aprendizagem das sessões e sua relação com a ηp .

No futuro, parece ser interessante alargar este estudo a nadadores não *experts* de outros escalões etários, nomeadamente adultos e jovens adultos que participam regularmente em aulas de natação, tentando-se compreender melhor o tipo de associações que se estabelecem entre a ηp e a performance em natação. Mais ainda, a utilização da ηp como variável de avaliação do produto de um ou vários programas alternativos de ensino de natação pura desportiva. Por outro lado, a análise da ηp noutras técnicas de nado que não apenas a técnica de crol parece ser um tópico com bastante pertinência para ser estudado em investigações futuras, ainda que com uma metodologia diferente da aqui apresentada.

Bibliografia

- Alves, F. (1995). *Economia de nado e prestação competitiva: Determinantes mecânicas e metabólicas nas técnicas alternadas*. Tese de Doutoramento não publicada, Lisboa: Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa.
- Barbosa, T.M., Fernandes, R.J., Keskinen, K.L., & Vilas-Boas, J.P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 103, 139-149.
- Barbosa, T.M., Keskinen, K.L., Fernandes, R.J., Colaço, C., Carmo, C., & Vilas-Boas, J.P. (2005). Relationship between energetic, stroke determinants and velocity in butterfly stroke. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 841-846.
- Barbosa, T.M., Keskinen, K.L., & Vilas-Boas, J.P. (2006). Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva. *Motricidade*, 2(4), 201-213.
- Cappaert, J., Bone, J., & Troup, J. (1992a). Intensity and performance related differences in propelling and mechanical efficiencies. In D. Maclaren, T. Reilly, & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VI* (pp. 49-52). London: E & FN Spon.
- Cappaert, J., Franciosi, P., Langhand, G., & Troup, J. (1992b). Indirect calculation of mechanical and propelling efficiency during freestyle swimming. In D. Maclaren, T. Reilly, & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VI* (pp. 53-56). London: E & FN Spon.
- Cappeli, C., Pendergast, D., & Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speed in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 78, 385-393.
- Craig, A., & Pendergast, D. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11, 278-283.
- de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. (1988). Fundamental mechanics applied to swimming: Technique and propelling efficiency. In A.P. Hollander, P.A. Huijting, & G. de

- Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 17-29). Illinois: Human Kinetics.
- Fernandes, R.J. (1999). *Perfil cineantropométrico, fisiológico, técnico, e psicológico do nadador pré-júnior*. Dissertação de Mestrado em Ciências do Desporto, Porto: Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.
- Fragoso, I., & Vieira, F. (1994). *Desenvolvimento e adaptação motora (curso prático)*. Lisboa: Edições Faculdade da Motricidade Humana.
- Grimston, S.K., & Hay, J. (1986). Relationship among anthropometrics and stroking characteristics of college swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, 60-68.
- Haycock, G.B., Schwartz, G.J., & Wisotsky, D.H. (1978). Geometric method for measuring body surface area: A height-weight formula validated in infants, children, and adults. *Journal of Pediatrics*, 93, 62-66.
- Hollander, P., de Groot, G., van Ingen Schenau, G., Toussaint, H., de Best, W., Peeters, W., et al. (1986). Measurement of active drag during crawl stroke swimming. *Journal of Sports Science*, 4, 21-30.
- Kjendlie, P.L., & Stallman, R.K. (2008). Drag characteristics of competitive swimming children and adults. *Journal of Applied Biomechanics*, 24, 35-42.
- Marinho, D.A., Barbosa, T.M., Reis, V.M., Kjendlie, P.L., Alves, F.B., Vilas-Boas, J.P, et al. (in press). Swimming propulsion forces are enhanced by a small finger spread. *Journal of Applied Biomechanics*.
- Marinho, D.A., Rouboa, A.I., Alves, F.B., Vilas-Boas, J.P., Machado, L., Reis, V.M., et al. (2009). Hydrodynamic analysis of different thumb positions in swimming. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8 (1), 58-66.
- Martin, R.B., Yeater, R.A., & White, M.K. (1981). A simple analytical model for the crawl stroke. *Journal of Biomechanics*, 14, 539-548.
- Meira, O., Reis, V.M., Silva, A.J., Carneiro, A.L., Reis, A.M., & Aidar, F.J. (2008). Resposta ventilatória durante a prova de 400 metros livres: Associações com a prestação. *Motricidade*, 4(1), 57-66.
- Pendergast, D., Zamparo, P., di Prampero, D., Capelli, C., Cerrettelli, P., Termin, A., et al. (2003). Energy balance of human locomotion in water. *European Journal of Applied Physiology*, 90, 377-386.
- Toussaint, H. (1990). Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 409-415.
- Toussaint, H., & Hollander, A.P. (1994). Mechanics and energetics of front crawl swimming. In M. Miyashita, Y. Mutoh, & A. Richardson (Eds.), *Medicine and Science in Aquatic Sports* (pp. 107-116). Basel: Karger.
- Toussaint, H., Hollander A.P., de Groot, G., Schenau, G., Vervoorn, K., de Best, H., et al. (1988). Measurement of efficiency in swimming man. In B. Ungerechts, K. Wilke, & K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (pp. 45-52). Illinois: Human Kinetics.

- Winter, D. (1990). *Biomechanic and motor control of human movement*. Chichester: John Wiley and sons.
- Zamparo, P. (2006). Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. *European Journal of Applied Physiology*, 97, 52-58.
- Zamparo, P., Lazzer, S., Antoniazzi, C., Cedolin, S., Avon, R., & Lesa, C. (2008). The interplay between propelling efficiency, hydrodynamic position and energy cost of front crawl in 8 to 19-year-old swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 689-699.
- Zamparo, P., Pendergast, D., Mollendorf, J., Termin, A., & Minetti, A. (2005). An energy balance of front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, 94, 134-144.