

# MODIFICAÇÕES NO PERFIL BIOENERGÉTICO E BIOMECÂNICO DE NADADORES ENTRE DOIS PERÍODOS “PRÉ-TAPER”.

Mário J. Costa<sup>1,5</sup>, José A. Bragada<sup>1,5</sup>, Erik J. Mejias<sup>1,5</sup>, Daniel A. Marinho<sup>2,5</sup>, Hugo Louro<sup>3,5</sup>, António J. Silva<sup>4,5</sup>, Tiago M. Barbosa<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal

<sup>3</sup> Escola Superior de Desporto de Rio-Maior, Rio-Maior, Portugal

<sup>4</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

<sup>5</sup> Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal

Email do autor: mario.costa@ipb.pt

## Resumo

O presente estudo procurou analisar as alterações ao nível do perfil bioenergético e biomecânico de nadadores de elite entre dois períodos “pré-taper”. Foram analisados 7 nadadores portugueses masculinos de elevado nível competitivo. Os parâmetros bioenergéticos e biomecânicos foram obtidos em dois momentos “pré-taper” ( $T_1$  e  $T_2$ ) antecedentes a competições importantes (Novembro e Março da época desportiva de 2009-2010). Foram analisadas as seguintes variáveis: (i) velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimada às 4 mmol ( $V_4$ ), como indicador bioenergético; (ii) distância de ciclo à  $V_4$  ( $DC@V_4$ ), frequência gestual à  $V_4$  ( $FG@V_4$ ), índice de nado à  $V_4$  ( $IN@V_4$ ) e eficiência propulsiva à  $V_4$  ( $\eta_p@V_4$ ), como indicadores biomecânicos. A comparação entre os dois momentos de avaliação foi efectuada com recurso à estatística não paramétrica Teste de Wilcoxon. Verificámos aumentos com significado estatístico na  $V_4$  e na  $FG@V_4$  de  $T_1$  para  $T_2$ . A  $DC@V_4$ , o  $IN@V_4$  e a  $\eta_p@V_4$  apresentaram-se estáveis, sem variações significativas. Do ponto de vista da análise individual, 4 dos 7 nadadores aumentaram o seu  $IN@V_4$ . Em síntese, existe uma tendência para o aumento da  $V_4$  ao longo da época desportiva. As alterações na  $V_4$  em nadadores de elite parecem ser decorrentes de modificações nos parâmetros biomecânicos, mais precisamente no aumento da  $FG@V_4$ .

**Palavras Chave:** Longitudinal, nadadores de elite, frequência gestual, estabilidade.

## Abstract

The aim of this study was to analyze the changes in the elite swimmers' bioenergetic and biomechanical profile between two "Pre-Taper" periods. Seven Portuguese male swimmers from high competitive level were used as subjects. The bioenergetic and the biomechanical parameters were assessed in two different time moments ( $T_1$  and  $T_2$ ) after an intense training phase and before important competitions (December and March of the 2009-2010 season). Were analyzed: (i) the velocity of the maximal lactate equilibrium estimated to the 4 mmol ( $V_4$ ) as bioenergetic indicator; (ii) the stroke cycle at  $V_4$  ( $DC@V_4$ ), the stroke rate at  $V_4$  ( $FG@V_4$ ), the stroke index at  $V_4$  ( $IN@V_4$ ) and the propelling efficiency at  $V_4$  ( $\eta p@V_4$ ) as biomechanical parameters. The statistical analysis between the two moments was performed using the nonparametric statistical Wilcoxon test. Significant increases in  $V_4$  and  $FG@V_4$  were observed between  $T_1$  and  $T_2$ . The  $DC@V_4$ ,  $IN@V_4$  and the  $\eta p@V_4$  remain stable without significant variations. Regarding an intra-individual analysis, four swimmers increased their  $IN@V_4$  between the two evaluation moments. In conclusion, there was a tendency for increasing the  $V_4$  during the competitive season. Changes in elite swimmers'  $V_4$  seems to be due to biomechanical variations, most precisely in the  $FG@V_4$ .

**Keywords:** Longitudinal, elite swimmers, stroke rate, stability.

## Introdução

Diversos estudos têm sido realizados no sentido de determinar os factores que mais e melhor predizem a performance em natação. Tem-se verificado que esta está associada quer a pressupostos bioenergéticos, quer a pressupostos biomecânicos (Zamparo *et al.*, 2006; Barbosa *et al.*, 2008). Estudos recentes sugeriram a existência de uma relação hierárquica entre estes factores em nadadores jovens (Barbosa *et al.*, in press) e em nadadores de elite (Barbosa *et al.*, 2010). Mais ainda, a performance está fortemente associada aos pressupostos bioenergéticos, enquanto estes, são dependentes do comportamento biomecânico e das estratégias motoras adoptadas pelo nadador (Barbosa *et al.*, 2010). Desta forma, o perfil bioenergético deve ser entendido como elemento mediador do comportamento biomecânico. Um dos principais desafios da comunidade científica da natação é entender como estes dois domínios se relacionam, no sentido de maximizar a performance desportiva.

Contudo, a maioria dos estudos neste âmbito são transversais, não tendo em vista as variações no perfil dos nadadores tomando em consideração o factor temporal. Com efeito, o delineamento longitudinal apresenta-se mais vantajoso por: (i) descrever e estimar a progressão e variabilidade do perfil de nadadores durante a época ou entre épocas desportivas ou; (ii) identificar pontos cronológicos determinantes onde o impacto de cada componente do perfil se evidencia na performance.

O número de estudos longitudinais que objectivam a compreensão de tais relações e o seu impacto na performance é bastante reduzido. Dois dos estudos sobre o tema reportam, para um período de dois anos consecutivos, diferenças com significado estatístico nos pressupostos bioenergéticos e biomecânicos de nadadores (Latt *et al.*, 2009a) e nadadoras (Latt *et al.*, 2009b) jovens. Ambos os estudos apontam os indicadores biomecânicos, mais precisamente o índice de nado, como o melhor preditor da performance na prova de 400 m Livres em nadadores jovens. Por outro lado, para Anderson *et al.*, (2008), a FG@V4 foi apontada como o parâmetro mais fiável na predição da performance em nadadoras. Ainda assim, até ao momento, parece não existir qualquer estudo analisando as questões de mudança e estabilidade ao nível do perfil bioenergético, biomecânico e respectivas relações em nadadores de elite.

Assim sendo, este estudo teve como objectivo analisar as alterações ao nível do perfil bioenergético e biomecânico de nadadores de elite entre dois períodos de “pré-taper”.

## **Metodologia**

### ***Amostra***

Foram analisados sete nadadores portugueses do sexo masculino ( $19.86 \pm 3.58$  anos de idade;  $1.77 \pm 0.05$  m de estatura;  $71.77 \pm 7.55$  kg de massa corporal), de elevado nível competitivo, com presença assídua em campeonatos nacionais nos últimos 2 anos.

### ***Recolha dos dados***

Os parâmetros bioenergéticos e biomecânicos foram obtidos em dois momentos “pré-taper” antecedentes a competições importantes: Novembro ( $T_1$ ) e Março ( $T_2$ ) da época desportiva de 2009-2010. Para tal recorreu-se à aplicação de um teste incremental de 7 x 200 m Crol, em piscina de 50 m, com aumentos de  $0,05 \text{ m.s}^{-1}$  entre patamares e 30 s de recuperação (Barbosa *et al.*, 2008). A velocidade inicial foi determinada para aproximadamente  $0.3 \text{ m.s}^{-1}$  inferior à melhor *performance* do nadador na prova de 200-m Crol. A velocidade correspondente a cada patamar foi mantida constante pela colocação de um sistema de luzes no fundo da piscina denominado *pacer* (GBK-Pacer, GBK Electronics, Aveiro, Portugal). Foram analisados: (i) velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimada às 4 mmol (V4), como indicador bioenergético; (ii)

distância de ciclo à V4 (DC@V4), frequência gestual à V4 (FG@V4), índice de nado à V4 (IN@V4) e a eficiência propulsiva à V4 ( $\eta_p@V4$ ) como indicadores biomecânicos. Amostras de sangue capilar foram obtidas para determinar a concentração de lactato sanguíneo ( $[La^-]$ ), através do dedo do nadador, em cada intervalo de 30 s correspondente ao repouso entre patamares, e ainda aos 3 min e 5 min durante o período de recuperação após esforço. A posterior análise foi efectuada através de um auto-analisador (YSI 1500 L, *Yellow Springs, Ohio, USA*). A V4 foi obtida pela interpolação da média do valor de lactato de 4 mmol.L<sup>-1</sup>, com curva exponencial de lactato/velocidade referente a cada nadador. Os parâmetros determinantes do ciclo gestual foram determinados em termos médios para todos os patamares, e estimados posteriormente para o valor da V4. A frequência gestual (FG, Hz) foi medida com um cronofrequencímetro de base 3 (Golfinho Sports MC 815, Aveiro, Portugal), pela avaliação de 3 ciclos consecutivos dos membros superiores nos 15 m intermédios da distância total da piscina. A FG@V4 foi obtida por interpolação do valor da FG na V4 através da curva FG-v. A DC@V4 foi calculada sabendo que (Craig *et al.*, 1985):

$$DC@V4 = \frac{V4}{FG@V4} \quad (1)$$

onde DC@V4 representa a distância de ciclo à V4, V4 a velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimada às 4mmol, e FG representa a frequência gestual à V4. O IN@V4 foi determinado segundo a equação (Costil *et al.*, 1985):

$$IN@V4 = V4 \cdot DC@V4 \quad (2)$$

onde IN@V4 representa o índice de nado à V4, V4 representa a velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimada às 4 mmol e DC@V4 é a distância de ciclo à V4. Já a  $\eta_p@V4$  foi determinada sabendo que (Zamparo *et al.*, 2005):

$$\eta_p@V4 = \left( \frac{V4 \cdot 0.9}{2\pi \cdot SF@V4 \cdot l} \right) \cdot \frac{2}{\pi} \quad (3)$$

onde  $\eta@V4$  representa a eficiência propulsiva à V4, V4 representa a velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimado às 4mmol, (multiplicada por 0,9 tendo em conta que a contribuição dos membros superiores para a propulsão é sensivelmente 90%),

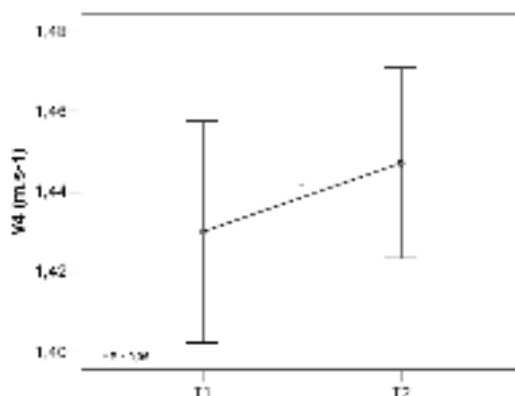
FG@V4 representa a frequência de braçada à V4, e  $l$  representa a distância do segmento ombro-mão. O valor de  $l$  foi obtido trigonometricamente através da medição do comprimento do braço, tendo em conta os valores médios dos ângulos obtidos durante a acção lateral interior aquando a fase propulsiva da braçada, como sugerido por Zamparo (2006). A equação adoptada 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 obtidas por este tipo de nadadores, 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.

### ***Procedimentos Estatísticos***

Foi realizada uma análise exploratória dos dados para detectar possíveis erros de entrada das informações, a presença de *outliers* e para verificar a normalidade das distribuições (teste Shapiro-Wilk). A comparação entre os dois momentos de avaliação foi efectuada com recurso à estatística não paramétrica Teste de Wilcoxon. O nível de significância foi determinado para  $P \leq 0.05$ .

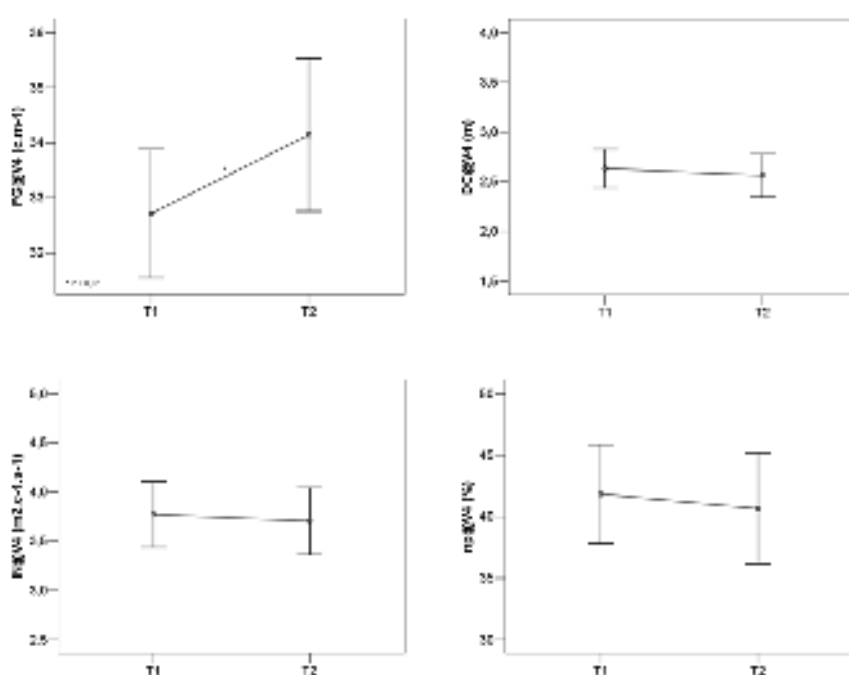
### **Resultados**

A Figura 1 apresenta a comparação dos valores médios de V4 entre os dois momentos de avaliação. Verificou-se um aumento com significado estatístico na V4 de T1 para T2 ( $V4_{T1} = 1,43 \pm 0,07$  s;  $V4_{T2} = 1,45 \pm 0,06$  s,  $p < 0,05$ ).



**Figura I.** Comparação dos valores médios da velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimada às 4mmol, entre os dois momentos de avaliação.

A Figura 2 apresenta a comparação dos parâmetros do ciclo gestual entre os dois momentos de avaliação. Não se verificaram diferenças significativas em qualquer variável dependente, com a excepção da FG@V4, onde se verificou um aumento com significado estatístico ( $FG@V4_{T1} = 32,71 \pm 3,09 \text{ c.m}^{-1}$ ;  $FG@V4_{T2} = 34,14 \pm 3,67 \text{ c.m}^{-1}$ ,  $p < 0,05$ ). A DC@V4 e o IN@V4 apresentaram-se estáveis sem variações significativas ( $DC@V4_{T1} = 2,64 \pm 0,19 \text{ m}$ ;  $DC@V4_{T2} = 2,56 \pm 0,22 \text{ m}$ ;  $IN@V4_{T1} = 3,77 \pm 0,33 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $IN@V4_{T2} = 3,70 \pm 0,34 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ). A  $\eta p@V4$  revelou uma diminuição ( $\eta p@V4_{T1} = 41,83 \pm 4,05 \%$ ;  $\eta p@V4_{T2} = 40,66 \pm 4,49 \%$ ), mas também sem significado estatístico.



**Figura II.** Comparação dos parâmetros determinantes da braçada entre os dois momentos de avaliação.

## Discussão

O objectivo deste estudo centrou-se na análise das alterações ao nível do perfil bioenergético e biomecânico de nadadores de elite entre dois períodos “pré-taper”. Observou-se uma tendência para o aumento da V4 ao longo da época desportiva.

Actualmente os processos de treino e periodização em nadadores de elite são cuidadosamente desenhados com o intuito de atingir a melhor performance nas competições mais importantes (p.e. Aspenes *et al.*, 2009). Mujika *et al.* (2002)

constataram aumentos consideráveis na performance (2.57% para os nadadores e 1.78% para as nadadoras) após três semanas de treino, objectivando a preparação para os Jogos Olímpicos de Sydney 2000. Assim sendo, poderemos apontar a sujeição constante ao processo de treino, como contributo fundamental para este aumento significativo na V4. Mais ainda, a necessidade de os nadadores estarem perto do seu pico de forma no período compreendido entre os dois momentos de avaliação, dada a presença em competições importantes (p.e. Campeonatos Nacionais de Clubes), terá tido importância no planeamento do processo de treino culminando com este aumento da V4. De igual forma, os poucos estudos na literatura sobre esta matéria reportaram resultados semelhantes (Pyne *et al.*, 2001; Reis & Alves, 2006).

Atentando para os parâmetros caracterizadores do perfil bioenergético e biomecânico dos nadadores, apenas a FG@V4, sofre alterações com significado estatístico. As restantes variáveis apresentaram-se estáveis sem variações significativas. Poderemos especular que este aumento significativo da FG@V4 e a estagnação na DC@V4 se devam a questões de comportamento técnico e motor. Em determinado momento da carreira desportiva prevê-se, por parte dos nadadores de elite, a obtenção de um padrão técnico maximal, onde posteriores aumentos de performance só sejam possíveis adoptando novas estratégias motoras (p.e diferentes conjugações entre FG e DC). Mais ainda, sendo a maioria da amostra composta por nadadores em estado adulto, nos quais não se observam modificações nos parâmetros antropométricos, é possível que a DC@V4 se tenha apresentado estável, e o aumento observado na V4 tenha sido à custa da FG@V4.

Semelhante estabilização à DC@V4 foi observada para o IN@V4 e para a  $\eta p$ @V4. O IN@V4 pode ser obtido com diferentes combinações de DC@V4 ou V4. Como tal, seria de esperar que o aumento significativo da V4 conjuntamente com uma estagnação da DC@V4 pudesse levar a um aumento do IN@V4. Contudo, dado que a análise se centrou em valores médios e não do ponto de vista individual, é susceptível esta ideia de estagnação. Mesmo assim, tomando como referência a análise individual, quatro dos sete nadadores aumentaram o IN@V4. A mesma ideia é aplicável à  $\eta p$ @V4. Semelhantes resultados de estabilização ao nível dos pressupostos biomecânicos após o treino constante foram observados por Minghelli e Castro (2006) em nadadores jovens. A velocidade de nado apresenta-se como um dos parâmetros mais determinantes da performance em natação. Mais ainda, os pressupostos bioenergéticos, como é o caso da V4, são dependentes do comportamento biomecânico e das estratégias motoras

adoptadas pelo nadador (Barbosa *et al.*, 2010). Assim sendo, poderemos apontar o aumento significativo na FG@V4 como a principal variável biomecânica responsável pelo aumento da V4 neste período específico da época desportiva. Analisando os estudos efectuados até então dentro desta temática, o IN foi apontado como o indicador biomecânico que melhor se correlacionou com a performance em jovens nadadores (Latt *et al.*, 2009a; 2009b). No entanto, num estudo muito semelhante a FG@V4 foi o indicador biomecânico que melhor detectou as mudanças na performance entre períodos de “taper” em duas épocas distintas (Anderson *et al.*, 2008). Este facto pode ser suportado pela ideia de que cada nadador possui uma capacidade individual óptima na tentativa de combinar estes “elementos biomecânicos chave”, no sentido de melhorar a sua performance. Tem sido sugerido a necessidade de despende mais atenção no entendimento das adaptações individuais baseadas na interacção de constrangimentos diversos (p.e., bioenergéticos, biomecânicos, controlo motor) e as suas repercussões na performance (Barbosa *et al.*, 2010), ao invés de atentar para a abordagem dos valores médios.

Em síntese, parece existir uma tendência para o aumento da V4 entre dois momentos “pré-taper” durante a época desportiva. As alterações na V4 em nadadores de elite parecem ser decorrentes de modificações nos pressupostos biomecânicos, mais precisamente no aumento da FG@V4.

### **Agradecimentos**

De Mário J. Costa e Erik J. Mejias à Fundação para a Ciência e Tecnologia pela Bolsa Individual de Doutoramento (SFRH/BD/62005/2009) e pela Bolsa de Integração na Investigação (BII – CIDESD/UTAD), respectivamente.

### **Referências**

- Anderson M, Hopkins W, Roberts A, Pyne D. Ability of test measures to predict competitive performance in elite swimmers. *Journal of Sports Science*. 2008; 26(2):123-130.
- Aspenes, S., Kjendlie, P.L., Hoff, J., Helgerud, J. Combined strength and endurance training in competitive swimmers. *Journal of Sport Science and Medicine* 2009; 8: 357-365.
- Barbosa, T.M., Fernandes, R.J., Morouço, P., Vilas-Boas, J.P. Predicting the intra-cyclic variation of the velocity of the centre of mass from segmental velocities in



- butterfly stroke: a pilot study. *Journal of Sport Science and Medicine* 2008; 7: 201-209.
- Barbosa TM, Bragada JA, Reis VM, Marinho DA, Carvalho C, Silva AJ. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sports* 2010; 13(2): 262-269.
- Barbosa TM, Costa MJ, Marinho DA, Coelho J, Moreira M, Silva AJ. Modeling the links between age-group swimming performance, energetic and biomechanic variables. *Pediatric Exercise Science* (in press).
- Costill, D., J. Kovaleski, D. Porter, R. Fielding, and D. King. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *International Journal of Sports Medicine* 1985; 6:266-270.
- Craig, A.B., and D. Pendergast. Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1979; 11:278-283.
- Craig, A., Skehan, P., Pawelczyk, J., Boomer, W. Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports Exercise* 1985; 17:625-634.
- Latt, E., Jurimae, J., Haljaste, K., T. Longitudinal development of physical and performance parameters during biological maturation of young male swimmers. *Perceptual and Motor Skills* 2009a; 108:297-307.
- Latt, E., Jurimae, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P., Jurimae, T. Physical development and swimming performance during biological maturation in young female swimmers. *Collegium Antropologicum* 2009b; 33:117-122.
- Minghelli F, Castro F. Kinematics parameters of front crawl stroke sprinting trough a training season. *Portuguese Journal of Sports Sciences* 6 2006. (Supl. 1):102.
- Pyne DB, Lee H, Swanwick KM. Monitoring the lactate threshold in world ranked swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2001; 33:291-297.
- Reis J, Alves F. Training induced changes in critical velocity and V4 in age group swimmers. *Portuguese Journal of Sports Sciences* 6 2006; (Supl. 1):55.
- Zamparo, P., D. Pendergast, J. Mollendorf, A. Termin, and A. Minetti. An energy balance of front crawl. *European Journal Applied Physiological* 2005; 94:134-144.
- Zamparo P. Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. *European Journal of Applied Physiology* 2006; 97:52–58.