

## ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS ONDULATÓRIAS DA TÉCNICA DE BRUÇOS COM SNORKEL

**Ana Conceição<sup>1,2</sup>, António Silva<sup>3,2</sup>, José Boaventura<sup>3,2</sup>, João Freitas<sup>1,2</sup>, Telmo Matos<sup>1,2</sup>,  
Nuno Batalha<sup>4</sup>, Victor Milheiro<sup>1,2</sup> e Hugo Louro<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Escola Superior de Desporto de Rio Maior, Instituto Politécnico de Santarém, Santarém, Portugal

<sup>2</sup>Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal

<sup>3</sup>Departamento de Ciências do Desporto, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

<sup>4</sup>Departamento de Ciências do Desporto, Universidade de Évora, Portugal

**PALAVRAS CHAVE:** *Natação; Observação; Técnica de Bruços; Snorkel; Ondulação; Análise de Fourier.*

*Resumo: O objectivo do estudo consistiu em analisar em que medida é que a utilização do snorkel influencia a eficiência da onda céfalo-caudal, assim como as componentes do movimento ondulatorio na técnica de bruços, pela análise de fourier e do número de strouhal. A amostra foi constituída por 8 nadadores portugueses do género masculino (21.25±6.73 anos de idade, 1.77±0.03 m de estatura; 71.14±12.39 kg; 14.89±6.41 %MG; 1.84±0.03 m de envergadura), especialistas na técnica de bruços, com elevado nível competitivo. O protocolo consistiu em realizar dois percursos máximos de 25m em nado global com snorkel ou válvula específica para natação AQUATRAINER®. Foi efectuada a análise cinemática (Ariel Performance Analysis System, Ariel Dynamics Inc., Califórnia, EUA) de um ciclo gestual completo, com uma frequência de 50 Hz. Recorreu-se ao método de digitalização em planos separados (aéreo e subaquático) e subsequente reconstrução pela aplicação do algoritmo 2D-DLT. A velocidade do deslocamento do centro de massa (CM) apresenta um valor médio de 0.91 m.s.<sup>-1</sup> (DP= 0.30), no que diz respeito à distância que o nadador percorre, durante um ciclo completo de membros superiores, é em média de 1.22 m.c<sup>-1</sup> (DP=0.44), a frequência gestual foi de 45.34 ciclos por unidade de tempo (DP= 9.21). Em média o número de Strouhal foi igual a 0.53 com uma amplitude média de 0.12 m variando entre 0.08 m e 0.18 m . Na análise de Fourier (H1), o valor da frequência apresenta valores próximos de 0.78 Hz e em H2, a frequência apresenta valores médios de 1.56 Hz .*

### 1. INTRODUÇÃO

A onda céfalo-caudal na técnica de bruços, tem vindo a ser explorada progressivamente<sup>[1]</sup> Sanders *et al.* [2,3] investigaram o deslocamento da onda no sentido cefálo-caudal em bruços, concluindo que a percentagem de força contida na frequência fundamental do vértex da cabeça e dos ombros aumenta, à medida que os nadadores alteram a sua técnica de um estilo convencional para uma acção ondulatoria, e que os nadadores com melhores performances, ondulam a sua anca espontaneamente.

Partindo do pressuposto que o padrão do movimento vertical dos segmentos corporais dos nadadores de elite é, em grande parte, definido por duas frequências fundamentais e seus

harmónicos<sup>[2]</sup>, é sugerido que os nadadores de elite apresentam um padrão de movimento semelhante à uma onda harmónica<sup>[3,4,5]</sup>.

O recurso à válvula específica para natação ou snorkel (K4 b<sup>2</sup>, Rome, Italy), designado por AQUATRAINER<sup>®</sup> tem vindo a ser um instrumento muito utilizado por investigadores e avaliadores na comunidade científica em natação. A validade deste novo instrumento tem vindo a ser estudada desde os anos 90 no que diz respeito às manifestações mecânicas e cinemáticas que a utilização deste instrumento pode provocar na técnica de nado<sup>[6,7,8,9]</sup>.

O objectivo do estudo consistiu em analisar em que medida é que a utilização do snorkel influencia a eficiência da onda céfalo-caudal, assim como as componentes do movimento ondulatório na técnica de bruços, pela análise de fourier e do número de strouhal.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 AMOSTRA

8 nadadores portugueses do género masculino ( $21.25 \pm 6.73$  anos de idade,  $1.77 \pm 0.03$  m de estatura;  $71.14 \pm 12.39$  kg;  $14.89 \pm 6.41$  %MG;  $1.84 \pm 0.03$  m de envergadura), especialistas na técnica de bruços, com elevado nível competitivo.

### 2.2 PROTOCOLO

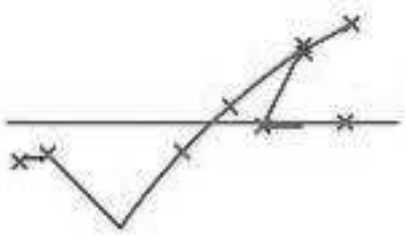
O protocolo consistiu em realizar dois percursos máximos de 25m em nado global com snorkel ou válvula específica para natação AQUATRAINER<sup>®</sup> (figura 1). A partida foi realizada dentro de água e a ordem de realização foi efectuada de forma aleatória entre os nadadores pertencentes à amostra.



**Figura 1:** Válvula específica para natação Aquatrainer (Cosmed, Rome, Italy)

### 2.3 RECOLHA DOS DADOS

Duas câmaras registaram respectivamente imagens aéreas (Sony *Mini DV*) e subaquáticas (Sony *Mini DV*) no plano sagital, a 25 metros da parede testa de partida e a 10 metros da trajectória de deslocamento do bruçista. Foi efectuada a análise cinemática (Ariel Performance Analysis System, Ariel Dynamics Inc., Califórnia, EUA) de um ciclo gestual completo, com uma frequência de 50 Hz. A reconstrução das imagens utilizou-se um objecto de calibração com uma volumetria de  $27 \text{ m}^3$  e 12 pontos. Recorreu-se ao método de digitalização em planos separados (aéreo e subaquático) e subsequente reconstrução pela aplicação do algoritmo 2D-DLT (figura 2). Foi adoptado o modelo antropométrico de Zatsiorsky, adaptado por de Leva<sup>[10]</sup>.



**Figura 2:** Digitalização através do sistema cinemétrico da imagem da imagem APAS( Ariel Performance Analysis System)

## 2.4 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS

Na análise de Fourier <sup>[2]</sup>, após a subtração do valor médio do sinal (componente contínua), encontrar a noção vertical de qualquer ponto do corpo dos nadadores de modo a verificarmos os valores de ondulação. Os resultados compreendem ao coeficiente do seno e do co-seno das frequências fundamentais e dos seus respectivos harmónicos. Para estimar o espectro em frequência,  $H(f)$ , de um determinado sinal contínuo no domínio do tempo,  $h(t)$ , usa-se a transformada de Fourier definida por Brigham<sup>[11]</sup>:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

**Figura 3:** Espectro em frequência,  $H(f)$ , de um determinado sinal contínuo no domínio do tempo

Para a estimação do espectro em frequência dos sinais discretos no domínio do tempo,  $h(kT)$ , aplica-se a transformada discreta de Fourier (DFT – Discrete Fourier Transform) <sup>[11]</sup> definida por:

$$H(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(kT) e^{-\frac{j2\pi nk}{N}}$$

**Figura 4:** Espectro em frequência dos sinais discretos no domínio do tempo  $h(kT)$

onde: a transformada discreta de Fourier  $H(n)$ , com  $n$  a variar de 0 até  $N-1$ , é uma função discreta aproximada de  $H(f)$ , onde  $N$  é o número de amostras do sinal e  $T$  o período de amostragem. Note-se que  $H(0)$  corresponde à T.F. em  $f=0$  Hz,  $H(1)$  à T.F. em  $f=f_s/N$ , e assim sucessivamente.

Utilizou-se o cálculo da DFT dos sinais em estudo para determinar as componentes principais em frequência, ou seja os harmónicos mais relevantes, de vários sinais recolhidos de um conjunto de nadadores.

## 3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A velocidade do deslocamento do centro de massa (CM) apresenta um valor médio de 0.91 m.s.<sup>-1</sup> (DP= 0.30), no que diz respeito à distância que o nadador percorre, durante um ciclo completo de membros superiores, é em média de 1.22 m.c.<sup>-1</sup> (DP=0.44), a frequência gestual foi de 45.34 ciclos por unidade de tempo (DP= 9.21).

Em média os nadadores demoram 1.31 segundos a concluíram um ciclo de nado com snorkel. Este valor é superior ao valor médio de 1.02s apresentado por D'Acquisto *et al.* <sup>[12]</sup> com brucistas e ao valor médio de 1.2s apresentado por Sanders *et al.* <sup>[2]</sup>, com mariposistas, mas sem a utilização deste instrumento.

O número de Strouhal (St) é um número adimensional que traduz o padrão de movimento oscilatório, baseando-se na frequência gestual (Hz) multiplicada pela amplitude dos MI (dada pelo tornozelo) e dividida pela velocidade de nado. Em média o número de Strouhal foi igual a 0.53 com uma amplitude média de 0.12 m variando entre 0.08 m e 0.18 m.

Na análise de Fourier (H1), o valor da frequência apresenta valores próximos de 0.78 Hz e em H2, a frequência apresenta valores médios de 1.56 Hz.

O período de ondulação (quadro 1) em H1 demonstra uma ligeira variação entre nadadores, sendo que o sujeito 2 é aquele que precisa de mais tempo até que seja formada a onda (1.49 s); e o sujeito 4 (1.08 s) aquele cuja onda se forma mais rapidamente. Estes resultados de H1 são semelhantes aos dos de H2, onde se verifica que o sujeito 2 (0.75 s) é o que demora mais tempo até que seja formada a onda e, o sujeito 4 (0.54 s) aquele em que mais rapidamente se forma a oscilação.

**Quadro 1** – Período de ondulação (s) no primeiro e segundo harmónico (H1 e H2) para todos os nadadores

Segmento		H1							
Corporal		Suj 1	Suj 2	Suj 3	Suj 4	Suj 5	Suj 6	Suj 7	Suj 8
Todos		1.32	1.49	1.35	1.08	1.28	1.30	1.25	1.27
Segmento		H2							
Corporal		Suj 1	Suj 2	Suj 3	Suj 4	Suj 5	Suj 6	Suj 7	Suj 8
Todos		0.66	0.75	0.68	0.54	0.64	0.65	0.63	0.63

A amplitude de movimento (quadro 2) nos vários segmentos produzido pelo sinal original foi bastante superior à amplitude de ondulação proveniente da análise de fourier (entre duas a quatro vezes superior), o que se verificou também com Sanders *et al.* <sup>[3]</sup>. De referir que este valor superior, no sinal original, ocorre uma vez que o coeficiente de fourier é equivalente a metade do deslocamento, a partir da posição de equilíbrio até à máxima ondulação <sup>[3]</sup>.

**Quadro 2-** Amplitude (m) dos movimentos dos nadadores em estudo de H1+H2.

Segmento	Vértex	Cervical	Ombro	Tronco	Anca	Joelho	Tornozelo	Dedo do Pé
Corporal								
X ± DP	0.71±0.59	0.28±0.15	0.17±0.07	0.04±0.01	0.02±0.01	0.10±0.03	0.12±0.02	0.15±0.04

Uma elevada percentagem da potência total da onda, está contida na frequência fundamental de Fourier (H1) para a cervical, ombro e joelho, o que poderá significar que a amplitude da cervical até ao joelho, correspondem a fases importantes para o movimento sinusoidal.

#### 4. CONCLUSÕES

Através deste estudo podemos concluir que a utilização do snorkel influencia a eficácia da técnica de nado, como podemos verificar com os resultados cinemáticos e ondulatórios.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] Vilas-Boas JP, Cunha P, Figueiras T, Ferreira M, Duarte J. (1997). *Movement analysis in simultaneously swimming technique*. In: Daniel K, Hoffman U, Klauck J (eds). *ölners Schwimmsporttage*. Symposiumsbericht Sport Fahneman Verlag. Bockenem;95-103.
- [2] Sanders RH, Cappaert, JM, Devlin, RK.(1995). *Wave characteristics of butterfly swimming*. Journal of Biomechanics; 28(1): 9-16.
- [3] Sanders R, Cappaert JM, Pease DL.(1998). *Wave characteristics of Olympic breaststroke Swimmers*. Journal of Applied Biomechanics; 14(1):40-51.
- [4] Ungerechts BE (1982). *A comparison of the movements of the rear parts of dolphins and butterfly swimmers*. In: A.P. Hollander et al., *Biomechanics and medicine in swimming*. Champaign. Human Kinetics; 215-221.
- [5] Thornton KM. (1984). *Learning from the the Olympians : Butterfly stroke rhythm*. Swimming World; 28-30.
- [6] Oxford, SW; James, R; Price, M ;Payton (2010). *Coordination Changes during a maximal effort 100m Short Course Breaststroke*. Proceedings of: XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine and Swimming, Oslo, 64.
- [7] McLaughling JE, King GA, Howley ET, Basset DR Jr, Ainsworth BE. (2001). *Validation of the Cosmed K4b<sup>2</sup> portable metabolic system*. International Journal Sports Medicine; 22:280-284.
- [8] Keskinen KL, Rodriguez FA, Keskinen OP (2003) *Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming*. Scand Journal Medicine Science Sports;13:322–329.
- [9] Barbosa, T.;Silva, AJ; Reis, A.; Costa, M.; Garrido, N.; Policarpo, F.; Reis. V.(2010). *Kinematical changes in swimming front crawl and breakstroke with the Aquatrainer snorkel*. European Journal of Applied Phsiology.
- [10] de Leva, P. (1996). *Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters*. Journal of Biomechanics; 29: 1223-1230.
- [11] Brigham, EO (1974). *The Fast Fourier Transform* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall).
- [12] D'Acquisto LJ, Costill DL, Gehlsen GM, Young WT & Lee G.(1988). *Breaststroke economy, skill and performance: study of breaststroke mechanics using a computer based "Velocity-video" system*. Journal of Swim Research; 4: 9-13.

