

ECONOMIA DE NADO E TEMPO LIMITE À VELOCIDADE MINIMA DE VO2MAX. NOVAS DESCOBERTAS.

Tiago Barbosa¹, Ricardo Fernandes^{2,3}, João Paulo Vilas-Boas^{2,3}

¹Instituto Politécnico de Bragança

²Universidade do Porto, Faculdade de Desporto

³Federação Portuguesa de Natação

INTRODUÇÃO

A economia de nado é uma área de investigação que teve como pioneiros, em Portugal, Vilas-Boas (1993) e Alves (1995). Passada uma década, novos momentos experimentais foram realizados e resultados *up to date* foram obtidos. As mais recentes metodologias foram empregues e, inclusivamente, uma nova área de treino parece ter emergido - o tempo até à exaustão à intensidade de nado correspondente à Potencia Aeróbia, isto é, ao consumo máximo de oxigénio ($\dot{V} O_{2max}$). É exactamente esta temática que vimos expor a este XXX Congresso Técnico-Científico da APTN (IX Congresso Ibérico).

Produção energética em Natação Pura Desportiva: fundamentos teóricos

Na maioria das actividades desportivas orientadas para o rendimento, o objectivo final da sua prática é a obtenção do melhor resultado desportivo possível em contexto competitivo. No caso da Natação Pura Desportiva (NPD), o carácter claramente temporal e espacial do seu rendimento, permite uma quantificação energética precisa da mesma (Alves, 1996a).

A velocidade de nado depende de cinco factores fundamentais (Toussaint, 1992): a força de arrasto hidrodinâmico, a taxa de entrada de energia no sistema (potência metabólica), a eficiência mecânica, a eficiência propulsiva e a taxa de energia produzida pelo nadador (potência mecânica externa).

A produção total de potência metabólica [Pmet] determina-se a partir do somatório da produção energética decorrente da degradação do ATP-CP, da glicólise anaeróbia e da fosforilação oxidativa (Toussaint e Hollander, 1994) em que:

$$Paer = Paer,max (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

$$Pan = Pan,max \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Onde [Paer] é a potência aeróbia, [Pan] a potência anaeróbia, [Paer,max] é a potência aeróbia máxima, [Pan,max] a potência anaeróbia máxima, [t] o tempo, [λ] uma constante que expressa o aumento ou a diminuição da potência e [e] a eficiência.

Para a maioria das provas que constituem o quadro competitivo da NPD, o contributo do sistema ATP-CP para a [Pmet] é negligenciável (Capelli et al., 1998). Dado que a duração da maioria das provas oficiais de NPD privilegiam a produção de energia a partir dos sistemas aeróbio e anaeróbio, considera-se como sendo o contributo percentual do “sistema” ATP-CP pouco significativo, para o valor total da [Pmet]. Consequentemente, a [Pmet] decorre da soma da potência aeróbia com a potência anaeróbia:

$$Pmet = Paer + Pan \quad (3)$$

Desta forma, a quantidade total de energia aeróbia ou anaeróbia dispendida num dado intervalo de tempo poder ser calculada integrando a respectiva potência (Toussaint e Hollander, 1994):

$$E_{aer} = \int_0^t P_{aer, \max} (1 - e^{-\lambda t}) dt = P_{aer, \max} \cdot t + \frac{P_{aer, \max}}{\lambda} \cdot (e^{-\lambda t} - 1) \quad (4)$$

$$E_{an} = \int_0^t P_{an, \max} \cdot e^{-\lambda t} dt = \frac{P_{an, \max}}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \quad (5)$$

Onde [E_{aer}] é a quantidade total de energia aeróbia produzida e [E_{an}] a quantidade de energia anaeróbia produzida.

Economia e custo de nado: definições

A intensidades submáximas, a quantificação da taxa de dispêndio energético total é bastante precisa, definindo a economia de nado. A economia de nado é um critério que expressa a qualidade técnica de uma execução (Cavanagh e Kram, 1985; Barbosa e Vilas-Boas, 2005).

A quantidade de energia dispendida por unidade de distância define o custo energético (Schmidt-Nielsen, 1972). Portanto, assume-se que o aumento do custo energético [\dot{C}] implicará uma diminuição da eficiência do nadador. Da mesma forma, o [\dot{C}] pode ser definido como o dispêndio energético total associado a uma determinada velocidade de deslocamento (Barbosa et al., 2005a):

$$\dot{C} = \frac{\dot{E}_{tot}}{\bar{v}} \quad (6)$$

Onde [\dot{C}] é o custo energético e [\dot{E}_{tot}] o dispêndio energético total e [\bar{v}] a velocidade de nado.

A economia de nado parece depender de diversas variáveis biomecânicas. O objectivo desta parte da comunicação será apresentar as mais recentes relações identificadas entre a economia e as técnicas de nado.

Economia e custo de nado: relações de dependência com o perfil biomecânico

Barbosa et al. (2006a) estudaram a evolução da economia de nado das quatro técnicas de nado ao longo das últimas três décadas, confrontando os seus resultados com os descritos por outros autores (p.e., Holmér, 1974). Verificou-se que, nas quatro técnicas de nado, a uma dada velocidade, os nadadores estudados actualmente são mais económicos do que os das décadas passadas. Esta melhoria estará indubitavelmente ligada ao maior e melhor entendimento dos pressupostos técnico-científico do treino e da competição em NPD. A técnica de Bruços foi a que apresentou uma menor evolução. Este facto poderá estar relacionado com as fortes restrições regulamentares que dificultam o surgimento de inovações técnicas que permitam um aumento da sua economia.

Barbosa et al. (2006b) compararam o [\dot{E}_{tot}] entre as diversas técnicas de nado, em nadadores portugueses de elite. Verificou-se que para uma determinada velocidade de nado, Crol foi a técnica mais económica, seguida respectivamente por Costas, Mariposa e Bruços. Esta ordenação das técnicas de nado parece estar relacionada com o impulso médio resultante ao longo do ciclo gestual. Comparando a variação intracíclica do impulso médio resultante das quatro técnicas de nado, com base em dados da literatura (p.e., van Tilborgh et al., 1988;

Vilas-Boas, 1994; Alves 1996b; Barbosa et al., 2002) verificou-se que Crol também foi a técnica com menor variação, seguida de Costas, de Mariposa e de Bruços (Barbosa, 2005).

Num outro estudo Barbosa et al. (2006c) procuraram identificar as relações que se estabelecem entre o custo energético, a velocidade de nado e a variação intracíclica da velocidade horizontal do centro de massa nas quatro técnicas de nado. Constatou-se a existência de uma relação linear positiva e significativa entre o $[\dot{E}_{tot}]$ e a velocidade de nado ($0.67 \leq R \leq 0.88$), assim como entre o $[\dot{C}]$ e a variação intracíclica da velocidade ($0.38 \leq R \leq 0.79$). Já a relação entre a flutuação da velocidade e a velocidade de nado, apresentou uma função polinomial de 2º grau positiva e significativa a Mariposa, a Costas e a Crol ($0.47 \leq R \leq 0.65$). Aumentos da velocidade induziram aumentos da flutuação até um dado valor crítico onde a curva defleuiu. O maior ajuste da relação linear entre o $[\dot{E}_{tot}]$ e a velocidade de nado (Barbosa et al., 2005a; 2005b) e a relação significativa entre o $[\dot{C}]$ e a flutuação da velocidade (Barbosa et al., 2005a) já tinham sido verificadas pelo menos para a técnica de Mariposa.

Barbosa et al. (2007) estudaram as relações entre o $[\dot{C}]$, a frequência gestual e a distância de ciclo nas quatro técnicas de nado. Aumentos da frequência gestual induziram aumentos significativos do $[\dot{C}]$ em todas as técnicas analisadas ($0.14 \leq R^2 \leq 0.25$). Aumentos da distância de ciclo tenderam a diminuir o $[\dot{C}]$. Contudo, esta relação apenas foi significativa a Bruços ($R^2=0.24$, $P=0.02$). Com efeito, numa análise individualizada de mariposistas, Barbosa et al. (2005b) tinham observado um fenómeno semelhante.

Potencia Aeróbia: definição e importância em NPD

Embora a grande maioria das distâncias utilizadas em competição não ultrapasse, ou quase não ultrapasse, os 2 minutos de duração (provas de 50, 100 e 200 metros), a zona bioenergética relacionada com o $\dot{V} O_{2max}$, comumente denominada Potência Aeróbia, é considerada como muito importante nesta modalidade desportiva (Libicz et al., 2005). Esta constatação parece dever-se ao facto da prova de 400 metros livres ser realizada a intensidades elevadas, muito similares à intensidade de exercício correspondente ao $\dot{V} O_{2max}$ (Rodriguez, 2000).

Grosso modo, o conceito de Potência Aeróbia refere-se à velocidade de processamento de energia de origem oxidativa, disponibilizável para o trabalho muscular, a qual se poderá mensurar pelo $\dot{V} O_{2max}$ individual de cada nadador. Assim, o $\dot{V} O_{2max}$ parece traduzir um dos mais importantes factores bioenergéticos condicionantes da prestação desportiva do nadador: a “potência” máxima a que o sistema oxidativo consegue operar (Vilas-Boas, 1999).

Tempo Limite à velocidade correspondente ao $\dot{V} O_{2max}$: nova categoria de treino

Vários autores ligados à NPD estudaram a intensidade de esforço requerida para atingir o $\dot{V} O_{2max}$ durante o nado (cf., p. ex., Astrand e Saltin, 1961; Lavoie et al., 1985; Vilas-Boas e Santos, 1994; Alves, 1995; e Ogita, 2000). No entanto, foram raras as investigações desenvolvidas com o objectivo de determinar a capacidade limite, em termos temporais, de permanência do nadador a essa velocidade, i.e., à velocidade correspondente ao $\dot{V} O_{2max}$ ($v \dot{V} O_{2max}$). Esta capacidade de sustentar a intensidade mínima de nado correspondente ao $\dot{V} O_{2max}$, parece constituir uma nova categoria de treino em natação, esta, enquanto tal, ainda menos estudada até agora.

Este parâmetro do treino, que implica a permanência do desportista à intensidade de exercício correspondente à sua $v \dot{V} O_{2max}$, teve por base o trabalho pioneiro de Hill e Lupton (1923). Billat e Koralsztejn (1996) designaram esse parâmetro como Tempo Limite e definiram-no como sendo o tempo máximo em que a $v \dot{V} O_{2max}$ é mantida até à exaustão (TLim- $v \dot{V} O_{2max}$). Estes últimos autores salientaram o facto do TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ ser um parâmetro de muito recente estudo. Assim, somente na década de 90 do século anterior é que este parâmetro fisiológico e funcional teve a sua relevância reconhecida pela comunidade científica, sobretudo em estudos realizados em tapete rolante e em bicicleta ergométrica.

Tempo Limite à velocidade correspondente ao $\dot{V} O_{2max}$ em NP

Em NP, os constangimentos impostos pelo meio aquático atrasaram consideravelmente a investigação nesta área. No entanto, temos conhecimento de três estudos na temática do TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ realizados em *swimming flume* (Billat et al., 1996; Faina et al., 1997; Demarie et al., 2001). Os principais resultados obtidos foram: (i) o TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ não apresenta grande variabilidade inter-individual em NP, ao contrário do verificado noutras modalidades como a corrida em tapete rolante; (ii) existe uma relação inversa entre o TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ e a $v \dot{V} O_{2max}$, à semelhança do que já tinha sido descrito para a corrida; (iii) observou-se uma relação inversa entre o TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ e o limiar anaeróbio.

No entanto, sabe-se que a utilização de ergómetros específicos para situação de nado, nomeadamente *swimming flumes*, poderão implicar constrangimentos técnicos significativos (Thompson et al., 2004). Desta forma, o nosso grupo de investigação implementou situações de determinação do TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ realizadas sempre em situação específica de treino e competição, i.e., utilizando nado livre em piscina convencional.

TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ em NP: novos resultados

Os resultados por nós obtidos, avaliando nadadores de ambos os géneros e de níveis de desempenho distintos, vieram corroborar alguns dos dados anteriormente apresentados: (i) foi observada uma pequena variabilidade do TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ entre sujeitos pertencentes ao mesmo nível de desempenho (Fernandes et al., 2003a; Fernandes et al., 2003b), assim como entre grupos de nível competitivo diferenciado (Fernandes et al., 2006a), entre géneros (Fernandes et al., 2005) e entre técnicas de nado (Fernandes et al., 2006b); (ii) foram verificadas relações inversas entre o TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ e a $v \dot{V} O_{2max}$ (Fernandes et al., 2003b; Fernandes et al., 2005; Fernandes et al., 2006b) e (iii) foram observadas relações inversas entre o TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ e o limiar anaeróbio (Fernandes et al., 2003b).

Por outro lado, foi possível evidenciar factos ainda não anteriormente observados. Em primeiro lugar foi possível constatar a validade da utilização de um teste incremental intermitente para a determinação da $v \dot{V} O_{2max}$ em NP (Cardoso et al., 2003). Posteriormente, observou-se que: (i) o TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ apresenta uma relação directa com a economia de nado (Fernandes et al., 2005; Fernandes et al., 2006a); (ii) o TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ correlaciona-se inversamente com a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio individual (Fernandes et al., 2006b); (iii) o TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ apresenta valores de correlação negativos com a diferença obtida entre as concentrações de lactato sanguíneo obtidas no final e no início do exercício, assim como com os valores máximos de lactatemia (Fernandes et al., in press); (iv) o TLim- $v \dot{V} O_{2max}$ não apresentou correlação significativa com o $\dot{V} O_{2max}$ (Fernandes

et al., 2003a; Fernandes et al., 2003b; Fernandes et al., 2005; Fernandes et al., 2006a; Fernandes et al., 2006b; Fernandes et al., in press b); (v) o $TLim-v \dot{V} O_{2max}$ depende significativamente dos parâmetros biomecânicos gerais, correlacionando-se inversamente com a frequência gestual e directamente com a distância de ciclo e com o *stroke index* (Fernandes et al., in press b); e (vi) durante o teste de $TLim-v \dot{V} O_{2max}$ verificou-se um aumento significativo da frequência gestual, assim como uma diminuição acentuada da distância por ciclo (Marinho et al., 2006).

Em nossa opinião, a economia de nado, traduzida pelo custo energético específico do exercício, assim como o $TLim-v \dot{V} O_{2max}$, são parâmetros que deveriam ser incluídos nos protocolos de controlo do treino e de avaliação de nadadores de elite. Estes parâmetros, em conjunto com outros indicadores mais divulgados, como o limiar anaeróbio e os parâmetros biomecânicos gerais, poderão permitir, cada vez mais, alargar a base e a qualidade da avaliação e da consequente prescrição de programas de treino, permitindo tornar o processo de treino mais objectivo e eficiente.

Referências bibliográficas

1. Alves F (1995). Economia de nado e prestação competitiva. Determinantes mecânicas e metabólicas nas técnicas alternadas. Dissertação de Doutoramento. FMH-UTL.
2. Alves F (1996a). Economia de nado, técnica e desempenho competitivo nas técnicas alternadas. Natação. V: separata.
3. Alves F (1996b). Average resultant impulse per phase in swimming: a tool for technical analysis. In: Abrantes J (ed). Proceedings of the XIVth International Symposium on Biomechanics in Sports. pp. 281-284. Ed. Faculty of Human Movement of the Technical University of Lisbon, Lisbon.
4. Astrand P-O, Saltin B (1961). Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. J Appl Physiol. 16: 977-981.
5. Barbosa TM, Santos Silva JV, Sousa F, Vilas-Boas JP (2002). Measurement of butterfly average resultant impulse per phase. In: K Gianikellis (ed). Proceeding of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports. pp. 35-38. Universidad de Extremadura, Cáceres.
6. Barbosa TM (2005). Bioenergetical and biomechanical characterization of butterfly stroke. Tese de Doutoramento. FCDEF-UP, Porto.
7. Barbosa TM, Vilas-Boas JP. (2005). A eficiência da locomoção humana no meio aquático. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto. 5: 337-349.
8. Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes RJ, Colaço C, Lima AB, Vilas-Boas JP. (2005a). Energy cost and intra-cyclic variations of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. Eur J Appl Physiol. 93: 519-523.
9. Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes RJ, Colaço P, Carmo C, Vilas-Boas JP. (2005b). Relationship between energetic, stroke determinants and velocity in butterfly stroke. Int J Sports Med. 26: 841-846.
10. Barbosa TM, Fernandes RJ, Keskinen KL, Colaço P, Vilas-Boas JP (2006a). Serão os nadadores do século XXI mais económicos do que os do século XX? XXIX Congresso Técnico-Científico da APTN. Santa Maria da Feira.
11. Barbosa TM, Fernandes RJ, Keskinen KL, Colaço P, Cardoso C, Silva J, Vilas-Boas JP. (2006b). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. Int J Sports Med. 27: 894-899.
12. Barbosa TM, Lima F, Portela A, Novais D, Machado L, Colaço P, Gonçalves P, Fernandes RJ, Keskinen KL, Vilas-Boas JP (2006c). Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds). Biomechanics and Medicine in Swimming X. Portuguese Journal of Sport Sciences. 6(supl 2): 192-194.
13. Barbosa TM, Fernandes RJ, Keskinen KL, Vilas-Boas JP. (2007). A mecânica da braçada enquanto factor predictivo do custo energético em nadadores de elite. In: Rodrigues HC, Fernandes PR, Veloso AP, Simões JÁ, Vaz MA (eds.). 2º Encontro Nacional de Biomecânica. pp. 219-224. IST Press. Lisboa.
14. Billat V, Koralsztein JP (1996). Significance of the velocity at VO_{2max} and time to exhaustion at this velocity. Sports Med. 22(2): 90-108.
15. Billat V, Faina M, Sardella F, Marini C, Fanton F, Lupo S, Faccini P, De Angelis M, Koralsztein JP, Dal Monte A (1996). A comparison of time to exhaustion at VO_{2max} in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. Ergonomics. 39(2): 267-277.

16. Capelli C, Pendergast D, Termin B (1998). Energetics of swimming at maximal speed in humans. *Eur J Appl Physiol.* 78: 385-393.
17. Cardoso C, Fernandes R, Vilas-Boas JP (2003). Comparison of continuous and intermittent triangular protocols for direct $\dot{V}O_{2\max}$ assessment in swimming. In: Chatard J-C (ed), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. pp. 313-318. Publications de l'Université de Saint-Étienne. Saint-Étienne.
18. Cavanagh P, Kram P (1985). The efficiency of human movement - a statement of the problem. *Med Sci Sports Exerc.* 17: 304-308.
19. Demarie S, Sardella F, Billat V, Magini W, Faina M (2001). The $\dot{V}O_2$ slow component in swimming. *Eur J Appl Physiol.* 84: 95-99.
20. Faina M, Billat V, Squadrone R, De Angelis M, Koralsztein JP, Dal Monte A (1997). Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. *Eur J Appl Physiol.* 76: 13-20.
21. Fernandes R, Billat V, Vilas-Boas JP (2003a). Time limit at $v \dot{V}O_{2\max}$ and $\dot{V}O_{2\max}$ slow component in swimming. A pilot study in university students. In: J.-C. Chatard (ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. pp. 331-336. Publications de l'Université de Saint-Étienne, Saint-Étienne.
22. Fernandes RJ, Cardoso CS, Soares SM, Ascensão AA, Colaço PJ, Vilas-Boas JP (2003b). Time limit and $\dot{V}O_2$ slow component at intensities corresponding to $\dot{V}O_{2\max}$ in swimmers. *Int J Sports Med.* 24: 576-81.
23. Fernandes RJ, Billat VL, Cruz AC, Colaço PJ, Cardoso CS, Vilas-Boas JP (2005). Has gender any effect on the relationship between time limit at $\dot{V}O_{2\max}$ velocity and swimming economy? *J Hum Movement Stud.* 49: 127-148.
24. Fernandes RJ, Billat VL, Cruz AC, Colaço PJ, Cardoso CS, Vilas-Boas JP (2006a). Does net energy cost of swimming affect time to exhaustion at the individual's maximal oxygen consumption velocity? *J Sports Med Phys Fitness.* 46(3): 373-80.
25. Fernandes RJ, Cardoso CS, Silva JA, Vilar SO, Colaço PJ, Barbosa TM, Keskinen KL, Vilas-Boas JP (2006b). Assessment of time limit at lowest speed corresponding to maximal oxygen consumption in the four competitive swimming strokes. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming X*, Portuguese Journal of Sport Sciences, 6(2): 128-130.
26. Fernandes RJ, Keskinen KL, Colaço PJ, Querido AJ, Machado LJ, Morais PA, Novais DQ, Marinho DA, Vilas-Boas JP (in press a). Time Limit at $\dot{V}O_{2\max}$ velocity in elite crawl swimmers. *Int J Sports Med.*
27. Fernandes RJ, Marinho DA, Barbosa TM, Vilas-Boas JP (in press b). Is time limit at the minimum swimming velocity of $\dot{V}O_{2\max}$ influenced by stroking parameters? *Percept Mot Skills*
28. Hill AV, Lupton L (1923). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med.* 16: 135-171.
29. Holmér I (1974). Physiology of swimming man. *Acta Phys Scand.* (407): Suppl.
30. Lavoie JM, Lèger LA, Leone M, Provencher P-J (1985). A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. *J Swim Research.* 1(2): 17-22.
31. Libicz S, Roels B, Millet GP (2005). $\dot{V}O_2$ responses to intermittent swimming sets at velocity associated with $\dot{V}O_{2\max}$. *Can J Appl Physiol.* 30(5): 543-553.
32. Marinho D, Ramos L, Carmo C, Vilar S, Oliveira R, Rodriguez F, Keskinen KL, Fernandes, RJ, Vilas-Boas JP (2006). Stroke performance during front crawl swimming at the lowest speed corresponding to maximal oxygen consumption. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds), *Book of Abstracts of the Xth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*, Portuguese Journal of Sport Sciences, 6(1): 45.
33. Ogita F (2000). Aerobic and anaerobic energy release during swimming. Doctoral Thesis. Vrije Universiteit. Amsterdam.
34. Rodriguez FA (2000). Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running and cycling tests in competitive swimmers. *J Sports Med Phys Fitness.* 40: 87-95.
35. Schmidt-Nielsen K (1972). Locomotion: energy cost of swimming, flying and running. *Science.* 177: 222-228.
36. Thompson KG, Atkinson G, MacLaren DP, Lees A (2004). Reliability of metabolic and stroke-cycle responses during sub-maximal breaststroke swimming. *J Hum Mov Stud.* 46: 35-54.
37. Toussaint H (1992). Performance determining factors in front crawl swimming. In: Maclaren D, Reilly T, Lees A (eds.). *Biomechanics and Medicine in Swimming VI*. pp. 13-32. E & FN Spon, London.
38. Toussaint H, Hollander A (1994). Mechanics and energetics of front crawl swimming. In: Miyashita M, Mutoh Y, Richardson A (eds.). *Medicine and science in aquatic sports*. pp.107-116. Karger, Basel.
39. van Tilborgh L, Willems E, Persyn U (1988). Estimation of breaststroke propulsion and resistance-resultant impulses from film analyses. In: Ungerechts B, Wilke K, Reischle K (eds). *Swimming Science V*. pp. 67-71. Human Kinetics Books, Illinois.

40. Vilas-Boas JP (1993). Caracterização biofísica de três variantes da técnica de braços. Tese de Doutoramento. FCDEF-UP. Medisa - Edições e divulgações científicas. Porto.
41. Vilas-Boas JP (1994). Maximum propulsive force and maximum propulsive impulse in breaststroke swimming technique. In: Barbaras A, Fábian G (eds). Proceedings of the XIIth International Symposium on Biomechanics in Sports. pp. 307-310. Hungarian University of Physical Education, Budapest.
42. Vilas-Boas (1999). Bioenergetica do rendimento desportivo em natação: chave para o entendimento das relações operativas entre biomecânica e fisiologia do treino. XIX Congresso Internacional AETN. AETN Galicia. A Coruña.
43. Vilas-Boas JP, Santos P (1994). Comparison of swimming economy in three breaststroke techniques. In Miyashita M, Mutoh Y, Richardson AB (eds.), Medicine and Science in Aquatic Sports. pp. 48-54. Med. Sport Sci., 39. Basel: Karger.