



ANÁLISE DOS MOVIMENTOS DA MÃO DE UM NADADOR NOS QUATRO ESTILOS DA NATAÇÃO: COMPARAÇÃO ENTRE MODELO TEÓRICO E ANÁLISE CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL

Thiago Telles

Amanda Piaia Silvatti

Ricardo Machado Leite de Barros

Universidade Estadual Campinas – Brasil

Pietro Cerveri

Faculdade de Bioengenharia da Politecnica de Milão – Itália

Resumo: Para a obtenção da trajetória e da velocidade máxima da mão, foi utilizado o sistema para análise cinemática 3D submersa (SILVATTI et al., 2009, 2010). Quatro percursos, um em cada estilo, de uma ex-nadadora foram filmados por duas câmeras laterais com lentes de grande angular (50 Hz). A variação da posição da extremidade distal do dedo médio de um ciclo da fase submersa de um braço foi obtida por medição manual no software DVideo. Os dados experimentais foram comparados com o modelo teórico (MAGLISCHO, 1993). O sistema para análise submersa utilizado foi capaz de quantificar a trajetória e a velocidade máxima da mão em todos os nados, identificando as igualdades e diferenças entre os resultados e o modelo teórico.

Palavras-chave: natação; biomecânica; técnica.

INTRODUÇÃO

A evolução da *performance* esportiva na natação exige que métodos cada vez mais sofisticados de análise do movimento sejam desenvolvidos, pois uma melhor compreensão da mecânica do nado possibilita aumentar o desempenho do atleta. Da mesma maneira, modelos qualitativos de representação do movimento que sintetizem suas principais fases são importantes e muito úteis no ensino e no treinamento da técnica da natação. Assim, deve-se conhecer o quanto um modelo teórico de representação de uma técnica se aproxima dos dados experimentais obtidos com os métodos mais atualizados.

Na biomecânica, a videogrametria é uma metodologia que viabiliza a análise cinemática dos movimentos do atleta. Com o avanço tecnológico e a proposição de novos modelos matemáticos para a calibração de câmeras submersas, os resultados encontrados são cada vez mais precisos (SILVATTI et al., 2010; CERVERI; BORGHESE; PEDOTTI, 1998). Embora análises cinemáticas tridimensionais submersas na natação sejam cada vez mais frequentes na literatura científica (GOURGOULIS et al., 2008), não foi encontrada nenhuma comparação de seus resultados com o de um modelo teórico como o descrito em Maglischo (1993), amplamente usado para a análise da técnica de um nadador ou mesmo para o ensino da técnica de braçada em cada um dos nados. Diante disso, este estudo objetiva comparar a trajetória da mão de um nadador na fase submersa nos quatro estilos da natação predita por um modelo teórico qualitativo muito difundido e as trajetórias obtidas experimentalmente por análise cinemática tridimensional submersa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sujeito

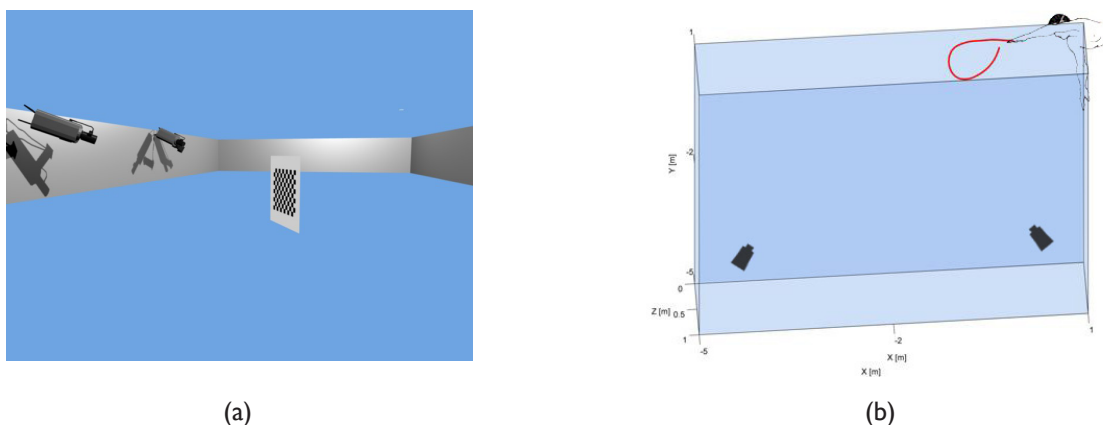
Um único atleta foi analisado nadando os quatro estilos da natação. Uma ex-nadadora com experiência de cinco anos de treinamento competitivo em natação, com 26 anos, 1,70 m e 59 kg, foi analisada.

Sistema para análise cinemática tridimensional

Para aquisição das variáveis cinemáticas da mão, utilizou-se o sistema de análise cinemática inicialmente proposto por Figueroa, Leite e Barros (2003) e adaptado para o ambiente subaquático (SILVATTI et al., 2009, 2010). Esse sistema consiste em um computador conectado a duas câmeras com lentes grande angular (Basler®) protegidas em caixas estanques especialmente desenhadas para essa finalidade. As câmeras foram fixadas em tripés e posicionadas conforme demonstra a Figura 1. Para fixação no solo da piscina, os tripés foram adaptados com ventosas. As câmeras foram conectadas a uma unidade de sincronização (Genlock) e a frequência nominal de aquisição foi de 50 Hz. A calibração das câmeras baseou-se no método de calibração não linear descrito em Silvatti et al. (2010). Oito pontos com coordenadas tridimensionais conhecidas em relação ao sistema de coordenadas global foram utilizados para definir os parâmetros extrínsecos das câmeras. Para a obtenção dos parâmetros intrínsecos e de distorção das câmeras, movimentou-se um objeto plano à prova d'água, com formato similar ao de um tabuleiro de xadrez (100 × 100 cm com 42 cantos), na região submersa de interesse (4,5 × 1,0 × 0,6 m³). A avaliação da acurácia do sistema mostrou que o erro médio absoluto encontrado foi de 0,64 mm (SILVATTI et al., 2010).

Figura 1

- (a) Posicionamento das câmeras na piscina e o objeto utilizado para a calibração não linear.
(b) Trajetória da mão durante o nado *crawl* em relação às câmeras.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para analisar a trajetória e a velocidade escalar máxima da mão da nadadora, foi feita a medição manual, no *software* DVide, da posição da extremidade distal do dedo médio de um ciclo da fase submersa de um braço nos nados borboleta, *crawl*, costas e peito. As coordenadas tridimensionais foram obtidas usando o método DLT. A posição da origem do sistema de coordenadas global foi definida no plano da água, sendo o eixo X a variação anteroposterior, com sentido positivo para trás, o eixo Y a variação laterolateral com sentido positivo para a esquerda e o eixo Z a vertical, com sentido positivo para baixo. As trajetórias foram filtradas por um filtro digital passa baixa (Butterworth de 2ª ordem) com uma frequência de corte de 2,5 Hz.

Procedimento experimental

Após o aquecimento de 15 min e uma familiarização com as condições experimentais, a nadadora realizou quatro percursos (em sentidos aleatórios) de 25 m, um para cada nado (borboleta, *crawl*, costas e peito), em velocidade submáxima. Os testes foram realizados em uma piscina de 25 m de comprimento por 12,5 m de largura.

Modelo teórico

Maglischo (1993) apresenta um modelo teórico da forma das curvas de trajetória da mão nos quatro nados e alguns resultados quantitativos em relação à abertura, profundidade e velocidade máxima encontrados na literatura. Esse modelo foi usado para a apresentação e comparação com as trajetórias da mão obtidas em cada nado, nas vistas lateral, frontal e inferior.

A divisão da fase submersa das braçadas em varreduras – para fora, para dentro, para cima e para baixo (MAGLISCHO, 1993) – é um modelo técnico muito utilizado na aprendizagem e no treinamento em natação. As fases de entrada, alongamento, liberação e recuperação são consideradas partes adicionais da braçada. Visto que os movimentos realizados são diferentes em cada nado, temos uma associação diferente das varreduras durante as braçadas.

Nos nados borboleta e peito, o primeiro deslocamento é lateral, no qual o braço afasta-se da linha média do corpo, e definido pela varredura para fora. Nos nados *crawl* e costas, o primeiro deslocamento da mão é para baixo e é chamado de varredura para baixo. Ambas as varreduras são anteriores à fase de agarre e início da fase propulsiva.

A varredura para dentro é um movimento semicircular realizado logo após o agarre nos nados borboleta, peito e *crawl*, que é considerada uma fase propulsiva. O movimento semicircular realizado com o objetivo de deslocar a água para cima é chamado de varredura para cima e, normalmente, é realizado no fim da braçada de todos os nados, com exceção para o nado costas, que apresenta duas varreduras para cima, sendo uma caracterizada pela fase propulsiva e a outra no fim da braçada.

RESULTADOS

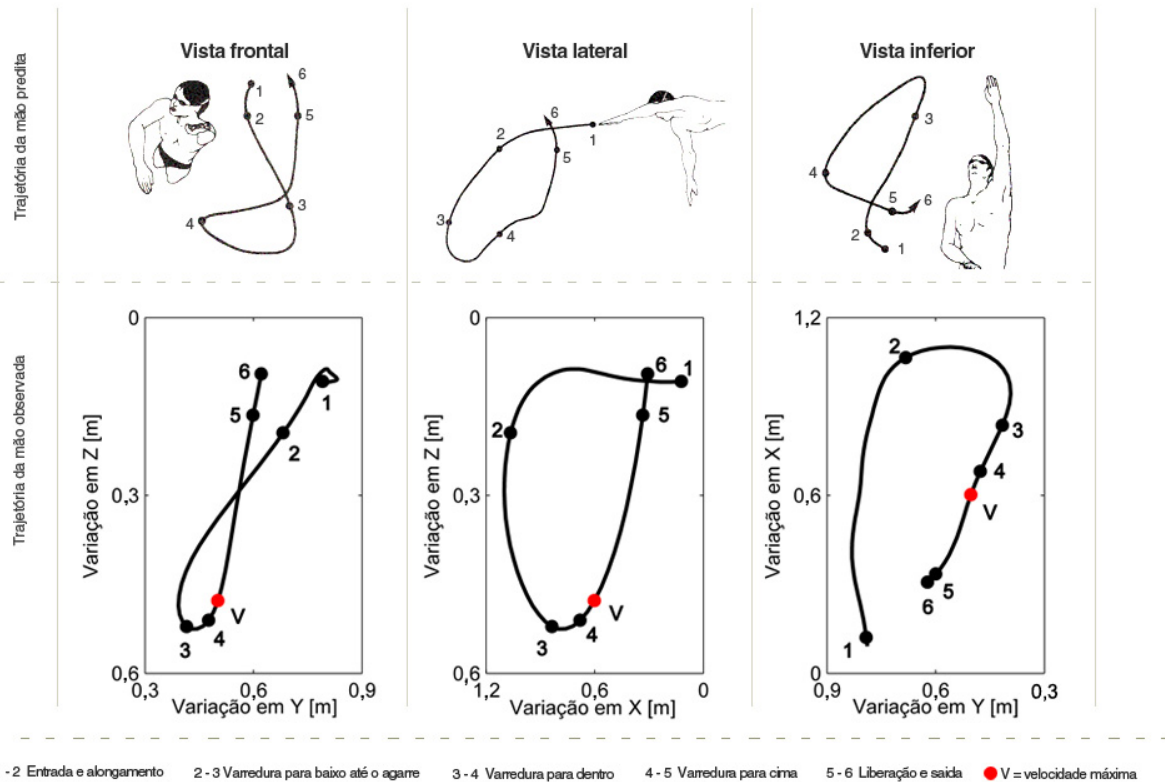
A forma das curvas de trajetória da mão em cada nado, mostradas no modelo de Maglischo (1993), foi denominada trajetória predita, e as trajetórias da mão obtidas a partir da análise cinemática tridimensional foram denominadas observadas. É importante ressaltar que as trajetórias observadas foram analisadas somente para um braço (direito para costas, *crawl* e borboleta e esquerdo para o peito), por causa do posicionamento unilateral das câmeras. Em todas as figuras apresentadas para as trajetórias observadas, os valores de escala foram definidos automaticamente para uma melhor visualização e comparação com o modelo predito. Os valores de máxima velocidade são representados por círculos vermelhos nas curvas da trajetória da mão em cada plano e os círculos pretos representam o início de cada varredura.

As trajetórias predita e observada da mão no nado *crawl* e as varreduras realizadas – entrada e alongamento (1), varredura para baixo (2), para dentro (3), para cima (4), a liberação (5) e saída (6) – estão mostradas na Figura 2.

Os inícios da varredura para baixo (2) e da varredura para dentro (3) foram posteriores na trajetória observada, e a segunda tem uma menor duração. A profundidade e a amplitude esperadas eram de 61 a 79 cm e 40 a 48 cm, respectivamente, que foram menores na trajetória observada (42 cm e 32 cm). A velocidade máxima no nado *crawl* ocorreu durante a varredura para cima e foi de 2,47 m/s, menor que os valores esperados de 3 a 6 m/s.

Figura 2

Comparação da trajetória da mão predita com a trajetória da mão observada no nado *crawl* nas vistas frontal, lateral e inferior.



Fonte: Maglischo (1993).

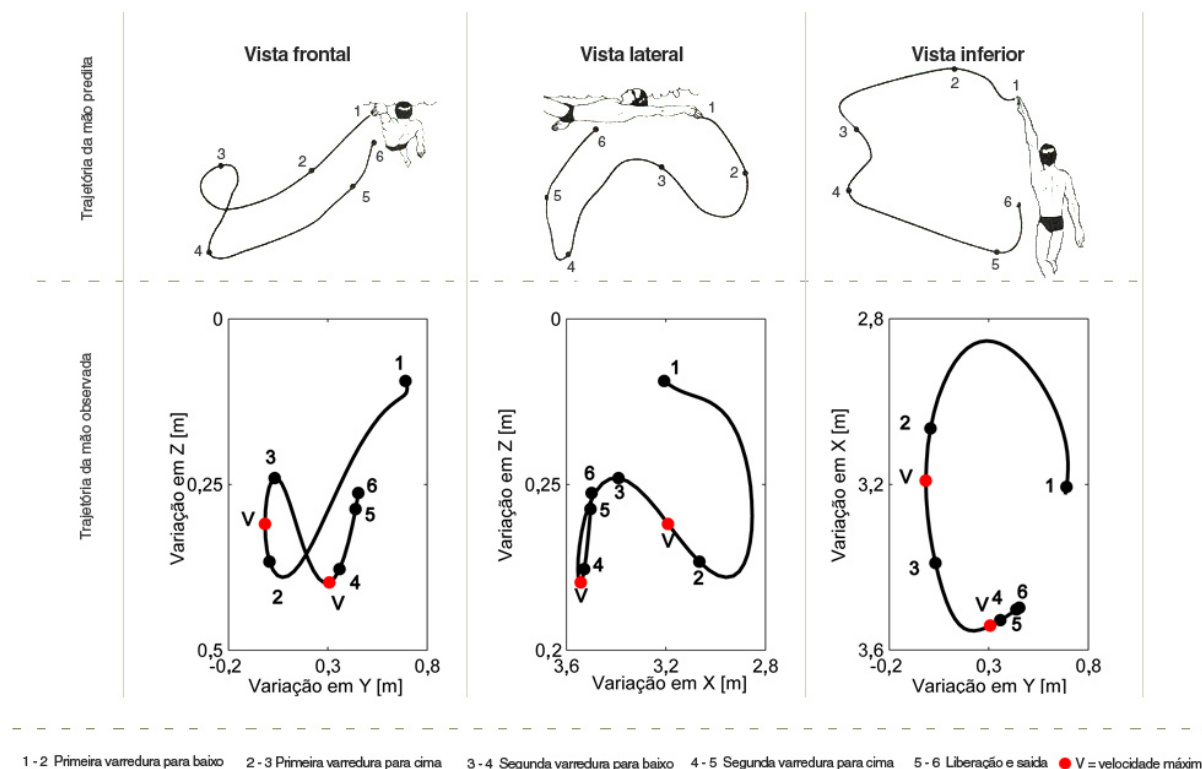
A trajetória predita e observada da mão no nado costas e as varreduras realizadas: primeira para baixo (1), primeira para cima (2), segunda para baixo (3), segunda para cima (4), a liberação (5) e saída (6) são mostradas na Figura 3.

A trajetória da mão observada foi similar à trajetória predita, porém a primeira e a segunda varreduras para cima (2 e 4) iniciaram posteriormente a trajetória predita. A primeira varredura para baixo (1-2) da trajetória observada foi mais profunda que a predita. A segunda varredura deveria atingir uma profundidade de 50 cm a 70 cm, porém esta foi mais rasa, atingindo 39 cm (vista lateral). A duração das varreduras difere do modelo predito: a primeira varredura (1-2) é mais longa, e todas as outras, mais curtas. O movimento da braçada é realizado com pouca flexão do cotovelo, caracterizando a curva da vista inferior com uma abertura de 70 cm, maior que a abertura esperada de 50 cm a 60 cm. Na vista frontal, a forma da curva observada é semelhante à predita, porém a segunda varredura para baixo (3-4) deveria ser mais profunda. A lateral mostra o final da braçada mais curto, enquanto a inferior mostra uma braçada mais aberta (lateralizada) em relação à predita.

No nado costas, ocorrem dois picos de velocidade no final de cada varredura para cima, e essas velocidades devem ser em torno de 4 m/s a 5 m/s. O valor de velocidade máxima foi maior na primeira varredura para cima e foi de 2,38 m/s e de 1,6 m/s no final da segunda varredura para baixo.

Figura 3

Comparação da trajetória da mão predita com a trajetória da mão observada no nado costas nas vistas frontal, lateral e inferior.



1 - 2 Primeira varredura para baixo 2 - 3 Primeira varredura para cima 3 - 4 Segunda varredura para baixo 4 - 5 Segunda varredura para cima 5 - 6 Liberação e saída ● V = velocidade máxima

Fonte: Maglischo (1993).

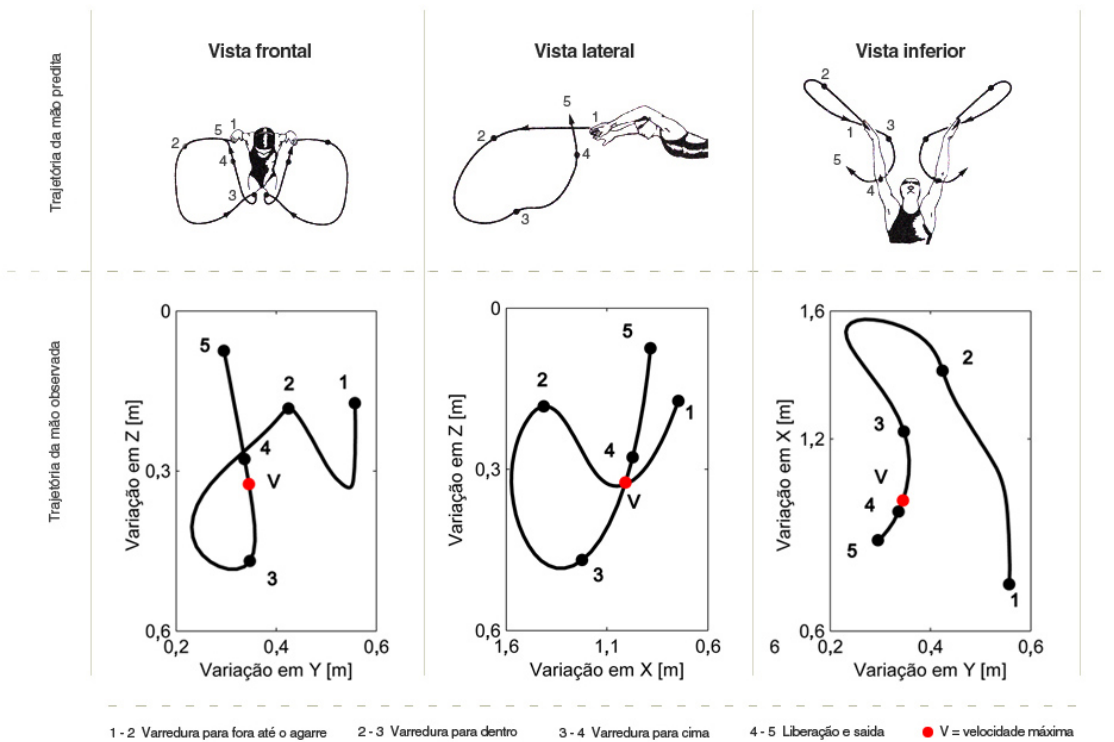
No nado borboleta, a varredura para fora é a primeira (1), logo após ocorre a varredura para dentro (2), a varredura para cima (3), a liberação (4) e saída (5) da mão da água, que são mostradas na Figura 4.

No nado borboleta, a trajetória atingiu uma abertura máxima de 22 cm e foi menor do que a trajetória predita, que deveria variar entre 40 m/s e 54 cm (vista frontal). Na trajetória da mão observada, durante a varredura para fora até o agarre (1), a atleta afunda excessivamente a mão antes do agarre (2) (vista lateral). Posteriormente, atingiu uma profundidade máxima de 31 cm, menor que a esperada, de 52 m/s a 66 cm (vista lateral). Durante a finalização (4-5), a mão ainda estava mais aberta que a trajetória esperada (vista inferior). As outras fases do nado, nas vistas frontal e lateral, apresentam comportamento compatível com o predito. Na vista inferior, pode-se notar que a braçada predita tem trajetória mais próxima ao tronco do nadador, enquanto a observada apresenta deslocamentos laterais.

A velocidade máxima ocorreu na fase esperada pelo modelo, que é próxima à liberação e saída da mão. Porém, havia uma expectativa de valores entre 4 m/s e 5 m/s, e a velocidade máxima foi de 2,98 m/s.

Figura 4

Comparação da trajetória da mão predita com a trajetória da mão observada no nado borboleta nas vistas frontal, lateral e inferior.



Fonte: Maglischo (1993).

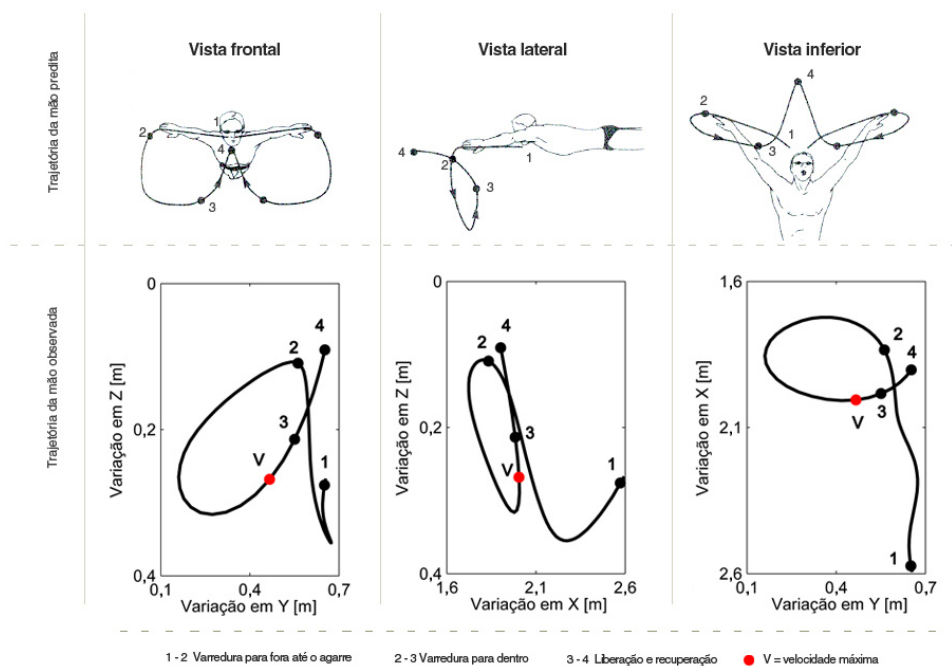
Para o nado peito, temos as trajetórias predita e observada da mão nas varreduras para fora (1), e para dentro (2); depois da braçada, há a liberação (3) e a saída (4) da mão da água, apresentadas na Figura 5.

A varredura para fora (1-2) na trajetória observada teve início mais profundo, uma duração maior e não apresenta o deslocamento lateral demonstrado na trajetória predita, o que ocorre somente a partir da varredura para dentro. As outras varreduras se assemelham.

No modelo predito, os valores de profundidade e amplitude variam entre 50 cm e 80 cm. Os valores encontrados no trabalho foram respectivamente menores: 21 cm e 49 cm. A velocidade máxima deve ocorrer durante a varredura para dentro, com velocidades entre 3 m/s e 5 m/s. A velocidade máxima ocorreu no momento correto, mas com valor inferior (2,63 m/s).

Figura 5

Comparação da trajetória da mão predita com a trajetória da mão observada no nado peito nas vistas frontal, lateral e inferior.



Fonte: Maglischo (1993).

DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que o sistema foi sensível na detecção da trajetória da mão observada e da velocidade máxima. Uma visão geral dos nados possibilitou identificar erros da atleta, relacionados à técnica do nado, diferenças e igualdades com o modelo proposto por Maglischo (1993). Visto que esse modelo foi definido a partir de nadadores de alto nível na década de 1980, essas diferenças e igualdades podem estar relacionadas, principalmente, com o nível técnico e o gênero do sujeito utilizado, ou, ainda, com uma inadequação do modelo predito com a realidade.

Especificamente, no nado *crawl*, verificou-se que as formas das curvas preditas e observadas foram mais semelhantes que para os demais nados, sugerindo que o voluntário possuía um maior conhecimento da técnica desse nado. Em relação à braçada, a profundidade e a amplitude foram menores na trajetória observada, sugerindo ineficácia da braçada realizada em relação à trajetória predita. Para esse nado, alguns trabalhos da literatura apresentam uma análise quantitativa da trajetória da mão (VEZOS et al., 2007; GOURGOULIS et al., 2008), entretanto as fases da braçada são divididas de forma diferente da adotada neste estudo (MAGLISCHO, 1993). Apesar disso, a forma das curvas de trajetória da mão apresentadas nos trabalhos de Vezos et al. (2007) e Gourgoulis et al. (2008) foram similares à curva da trajetória da mão observada.

No nado costas, pode-se observar que o início da trajetória é similar à trajetória predita, porém isso não ocorre nas demais varreduras (3 a 6). Nestas últimas, o sujeito realiza movimentos mais profundos e mais lateralizados (mais distantes do corpo), sugerindo uma falta de força da atleta ou a necessidade de uma maior sustentação. Ainda pode estar relacionado a um baixo nível técnico do sujeito para realizar esse nado.

No nado borboleta, destacou-se a diferença entre o modelo predito e o observado na varredura para fora até o agarre (1-2), sugerindo que a nadadora apresentou uma ondulação, caracterizada pelo movimento de onda com o tronco, excessiva para a propulsão dos membros inferiores, o que não é observado no predito.

Essa ondulação excessiva utilizada pela atleta pode ter sido influenciada pela velocidade adotada, o que provoca um aumento no tempo para a atleta encontrar a sustentação do nado, ou seja, a sustentação é efetuada pela atleta em uma profundidade maior. Já durante a fase de finalização (4-5), a mão estava mais lateralizada que a trajetória predita, o que sugere um menor aproveitamento da braçada.

Para o nado peito, o aumento da fase de sustentação corresponde ao esperado, uma vez que, nesse nado, a maior parte da propulsão está nos membros inferiores (MAGLISCHO, 1993), o que faz com que os braços tenham função predominante de sustentação. Além disso, observou-se grande variação da mão na profundidade (vista lateral), enquanto, no predito, a trajetória é constante, o que pode indicar que a nadadora, simultaneamente à pernada, estaria executando movimento de onda com o tronco.

Os valores das velocidades máximas encontradas foram inferiores aos preditos em todos os nados. Esse fato pode ser justificado pela velocidade submáxima adotada para a realização das tarefas.

Para tanto, são necessários estudos futuros para uma caracterização estatística de grupos de nadadores em função de nível técnico, idade ou outros fatores potencialmente intervenientes. Seria importante, também, a inclusão das fases aéreas para que os dados referentes ao ciclo de braçadas estejam completos.

Visto que este estudo foi piloto, a amostra deveria ser aumentada com atletas de alto nível, pois verificamos que a videogrametria poder ser uma ferramenta para a intervenção e correção técnica, por meio da quantificação e identificação dos erros cometidos pelos atletas.

CONCLUSÃO

Podemos concluir que o sistema para análise submersa utilizado foi capaz de quantificar a trajetória e a velocidade máxima da mão em todos os nados, identificando os movimentos da braçada da nadadora. Isso demonstra que o sistema pode ser utilizado para várias aplicações, dependendo apenas do modelo a ser adotado.

Nos quatro nados analisados, o modelo teórico e os dados experimentais relativos à movimentação da mão apresentaram boa concordância. Apesar disso, a metodologia foi capaz de identificar as fases do ciclo da braçada em que ocorreram diferenças entre os dados experimentais e o modelo teórico.

A SWIMMER HAND MOVEMENTS ANALYSIS IN THE FOUR STYLES OF SWIMMING: COMPARISON BETWEEN THEORETICAL MODEL AND THREE-DIMENSIONAL KINEMATIC ANALYSIS

Abstract: To obtain the hand trajectory and maximum velocity a system for 3D underwater kinematical analysis (SILVATTI et al., 2009, 2010) was used. Four tasks, one in each style of swimming, performed by an ex-swimmer were digitalized through two lateral cameras with wide angle lenses (50 Hz). Variations of the distal middle finger position in the underwater phase of one arm cycle were obtained through manual measurement in Dvideo software. The experimental data were compared with the theoretical model (MAGLISCHO, 1993). The underwater analysis system was able to quantify the hand trajectory and maximum velocity in all swimming tasks, identifying the similarities and differences between the results and the theoretical model.

Keywords: swimming; biomechanics; technique.

REFERÊNCIAS

CERVERI, P.; BORGHESE, N. A.; PEDOTTI, A. Complete calibration of a stereo photogrammetric system through control points of unknown coordinates. **Journal of Biomechanics**, Durham, v. 31, n. 10, p. 935-940, 1998.

FIGUEROA, P. J.; LEITE, N. J.; BARROS, R. M. L. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. **Computer Methods and Programs in Biology**, v. 72, n. 2, p. 155-165, 2003.

GOURGOULIS, V. et al. Hand orientation in hand paddle swimming. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 29, p. 429-434, 2008.

MAGLISCHO, E. W. **Swimming ever faster**. Mountain View: Mayfield, 1993.

SILVATTI, A. P. et al. Non-linear camera calibration for 3D reconstruction using straight line plane object. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOMECHANICS IN SPORT, 27., 2009, Limerick. **Proceedings...** Limerick: University of Limerick, 2009. p. 644.

_____. Underwater non-linear camera calibration: an accuracy analysis. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOMECHANICS IN SPORT, 28., 2010, Marquette. **Proceedings...** Marquette: Northern Michigan University, 2010. Disponível em: <<http://w4.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/4497/4185>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

VEZOS, N. Underwater stroke kinematics during breathing and breath-holding front crawl. **Swimming Journal of Sports Science and Medicine**, v. 6, p. 58-62, 2007.

Contato

Thiago Telles
Unicamp – Faculdade de Educação Física
Avenida Érico Veríssimo, 701 – Cidade Univ. Zeferino Vaz
Campinas – São Paulo – Brasil – Caixa Postal 6134 – CEP 13083-851
E-mail: tellesthiago@yahoo.com.br

Tramitação

Recebido em 26 de dezembro de 2010
Aceito em 31 de março de 2011