

COMPARAÇÃO DO COEFICIENTE DE ARRASTO CALCULADO COM RECURSO À TRÊS FORMAS DISTINTAS DE MEDIÇÃO DA ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA DO TRONCO DE NADADORES

Jorge E Morais, Mário J Costa, Marc Moreira, Pedro Morouço, Nuno D Garrido, António J Silva, Daniel A Marinho, Tiago M Barbosa
Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal

INTRODUÇÃO

O acto de nadar é caracterizado pela aplicação intermitente de uma força propulsiva para ultrapassar o arrasto hidrodinâmico. Entre outros, o arrasto é condicionado pela área de superfície frontal, pela forma e pela velocidade a que um objecto se desloca no meio aquático (Marinho *et al.*, 2010). Numericamente, o arrasto expressa-se através da equação:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A \quad (1)$$

Em que F_d corresponde ao arrasto em [N], ρ corresponde à densidade da água em [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], v é a velocidade de nado observada em [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], A é a área de superfície frontal em [cm^2] e C_d é o coeficiente de arrasto hidrodinâmico que se altera com a forma, a orientação e o número de Reynolds.

O arrasto hidrodinâmico pode ser avaliado através de métodos experimentais, como seja o método de perturbação de velocidade de Kolmogorov e Duplishcheva (1992). O método baseia-se no pressuposto de que o nadador é capaz de produzir, de uma forma constante, uma potência mecânica propulsiva máxima. Para o seu cálculo é necessária a inclusão da área de secção transversa do tronco (ASTT) do sujeito. Clarys (1979) sugeriu a estimação da ASTT através de determinadas características antropométricas:

$$ASTT = 0,00015 M^2 \quad (2)$$

Em que M corresponde ao diâmetro transversal máximo do corpo humano em [cm^2], a massa corporal em [kg], a estatura em [cm].

Num estudo recente, Morais *et al.* (2011) estimaram e validaram a ASTT para ambos os sexos de acordo com o nível competitivo do sujeito. As equações de estimativa da ASTT para nadadores federados dos sexos feminino e masculino foram, respectivamente:

$$ASTT = 0,00015 M^2 \quad (3)$$

$$ASTT = 0,00015 M^2 \quad (4)$$

Em que A corresponde à área de secção transversa do tronco em [cm^2], P ao perímetro peitoral em [cm] e D ao diâmetro tóraco-sagital em [cm].

Foi objectivo deste estudo comparar o coeficiente de arrasto activo calculado com base em três formas distintas de avaliação da ASTT: (i) medida com recurso a fotogrametria; (ii) estimada a partir da equação (2) e; (iii) estimada a partir das equações (3) e (4).

MÉTODOS

A amostra foi composta por 23 sujeitos (12 do sexo masculino e 11 do sexo feminino) com uma média de idades de $13,61 \pm 0,83$ anos. Os nadadores participam frequentemente em provas de nível regional e nacional. Foram respeitados os princípios da Declaração de Helsínquia no que diz respeito a procedimentos científicos envolvendo Seres Humanos.

Foi solicitado aos nadadores que realizassem dois percursos de 25 [m], o primeiro na técnica de Crol à máxima velocidade. O primeiro percurso foi realizado livremente e após uma recuperação passiva completa, um segundo percurso com o corpo

hidrodinâmico acoplado. Os nadadores realizaram este procedimento individualmente, com partida dentro de água, sem qualquer impulso a partir da parede testa, e aceleraram gradualmente até aos 10 metros, altura em que estariam animados da sua velocidade máxima. O tempo para percorrer a distância foi medido entre os 11 [m] e os 24 [m] com um cronómetro manual (Golfinho Sports MC 815, Aveiro, Portugal).

Para a avaliação do arrasto activo foi utilizada a equação (Kolmogorov e Duplishcheva, 1992):

$$\text{---} \quad (5)$$

Em que F_{arr} corresponde ao arrasto activo do nadador à sua velocidade máxima em [N], F_{res} corresponde à resistência do corpo hidrodinâmico em [N], v_{max} corresponde à velocidade de nado com o corpo hidrodinâmico em [m·s⁻¹], e v_{sem} corresponde à velocidade de nado sem o corpo hidrodinâmico em [m·s⁻¹].

Para a avaliação do coeficiente de arrasto foi utilizada a equação:

$$\text{---} \quad (6)$$

Em que C_d corresponde ao coeficiente de arrasto, F_{arr} corresponde ao arrasto activo em [N], ρ corresponde à densidade da água em [kg·m⁻³], A corresponde à área de projecção frontal do nadador em [cm²], e v corresponde à velocidade de nado em [m·s⁻¹].

O cálculo da equação (6) foi efectuado três vezes: (i) com recurso à ASTT medida; (ii) com recurso à estimação da ASTT de acordo com a equação (2) e; (iii) com recurso à estimação da ASTT de acordo com as equações (3) e (4).

Para a medição da ASTT, a partir de fotogrametria, solicitou-se aos sujeitos que se colocassem numa posição bípede, plantígrada, ortostática, com a cabeça numa posição neutra, os membros superiores em extensão completa no prolongamento do corpo com a superfície palmar de uma mão em contacto com o dorso da mão oposta e os dedos também eles em extensão. Os sujeitos foram fotografados no plano transversal superior com uma máquina digital (Sony DSC-T7, Tóquio, Japão) de 5.1 *mega pixels*. Simultaneamente, foi fotografado junto dos sujeitos, um objecto de calibração com 0,945 m de largura que se encontrava ao nível da cintura escapular. Posteriormente, as imagens foram editadas no *software* específico para medição da área (*Universal Desktop Ruler*, v3.3.3268, AVPSOft, E.U.A.).

A estimativa da ASTT foi realizada através das equações (2), (3) e (4). A massa corporal foi medida com recurso a uma balança digital (SECA, 884, Hamburgo, Alemanha) e a estatura com um estadiómetro digital (SECA, 242, Hamburgo, Alemanha). O diâmetro tóraco-sagital e o perímetro peitoral foram avaliados com recurso a um *clip* de medição (Campbell, 20, RossCraft, Canadá).

Foi realizada a análise de simetria (*skewness*) e de achatamento (*kurtosis*) das curvas, bem como da normalidade aplicando o teste de Kolmogorov-Smirnov. Para a estatística descritiva foram calculados a média, o desvio padrão, valor mínimo e máximo. A comparação dos valores de arrasto, baseados nas três formas de cálculo da ASTT, foi realizada com recurso a: (i) comparação dos valores médios através do Teste T-*student* Emparelhado; (ii) coeficiente de determinação e; (iii) *plot* de Bland-Altman.

RESULTADOS

A tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas para as variáveis antropométricas avaliadas e estimadas. A tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas referentes ao arrasto hidrodinâmico e coeficiente de arrasto para as três condições estudadas.

Tabela 1. Caracterização antropométrica dos sujeitos da amostra.

	Massa [kg]	Estatura [cm]	DTS [cm]	PP [cm]	ASTT_medida [cm ²]	ASTT_estimada (equação 2) [cm ²]	ASTT_estimada (equações 3 e 4) [cm ²]
Média	52,19	163,47	20,47	81,17	778,34	557,16	692,91
DP	9,84	8,30	2,10	6,76	150,75	94,83	101,10
Min	39,8	149,3	16,9	71	604,1	421,6	557,2
Max	73,2	179,5	26,6	100	1243,6	758,8	986,2

Tabela 2. Valores descritivos de arrasto hidrodinâmico e coeficiente de arrasto para as três formas de cálculo da [ASTT].

	Da Medido [N]	Cd Medido [adimen.]	Da (equação 2) [N]	Cd (equação 2) [adimen.]	Da (equações 3 e 4) [N]	Cd (equações 3 e 4) [adimen.]
Média	52,46	0,24	52,46	0,33	52,46	0,22
DP	23,32	0,10	23,32	0,13	23,32	0,09
Min	25,07	0,14	25,07	0,19	25,07	0,13
Max	113,06	0,57	113,06	0,82	113,06	0,53

A figura 1 apresenta a comparação de valores médios, a análise de regressão linear simples e o *plot* de Bland Altman para o coeficiente de arrasto, baseado nas três formas de cálculo da ASTT, respectivamente. O valor de coeficiente de arrasto avaliado com a inclusão da ASTT medida foi $26,88 \pm 5,62$ % inferior comparativamente ao avaliado com a estimação da ASTT através da equação (2) e $8,91 \pm 9,31$ % superior em comparação ao avaliado com a estimação da ASTT a partir das equações (3) e (4). Já a diferença do valor de coeficiente de arrasto com a estimação da ASTT através da equação (2) foi $49,00 \pm 7,49$ % superior em relação ao avaliado com a estimação da ASTT a partir das equações (3) e (4). A análise de regressão linear simples entre as três condições apresentou em todas as condições coeficientes de determinação muito elevados e significativos. O coeficiente de arrasto avaliado com a ASTT medida e estimada a partir da equação (2), bem como, das equações (3) e (4) foram de $R^2 = 0,98$ ($p < 0,001$) e $R^2 = 0,952$ ($p < 0,001$), respectivamente. O coeficiente de arrasto avaliado com a estimação da ASTT a partir da equação (2) e as equações (3) e (4) foi de $R^2 = 0,983$ ($p < 0,001$). Os *plots* de Bland Altman encontraram-se sempre com mais de 80 % dos pontos dentro dos 95 % do intervalo de confiança.

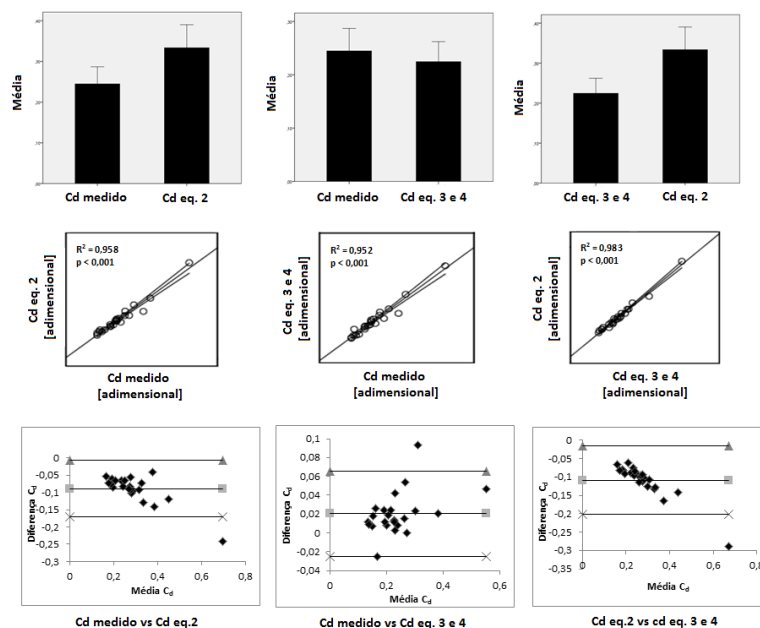


Figura 1. Comparação de valores médios, análise de regressão linear simples e *plot* de Bland Altman para o coeficiente de arrasto, baseados nas três formas de cálculo da ASTT.

DISCUSSÃO

Para a avaliação do arrasto hidrodinâmico, em que foi utilizada a equação (5), não é utilizada a ASTT. Daí não existirem diferenças nos valores de arrasto hidrodinâmico. Já para a avaliação do coeficiente de arrasto, calculado a partir da equação (6) é necessária a inclusão da ASTT.

O primeiro processo de validação (i.e. comparação de valores médios) apresentou diferenças significativas entre os pares de condições em estudo. Todavia, os dois processos restantes (i.e. análise de regressão linear simples e *plots* de Bland Altman) atingiram os critérios habitualmente propostos para a validação de técnicas, procedimentos e equipamentos. A avaliação do coeficiente de arrasto com recurso à estimação da ASTT a partir das equações (3) e (4) registou diferenças inferiores em relação aos registados a partir da estimação da ASTT com recurso à equação (2). Conclui-se que: (i) de uma forma geral, os valores de coeficiente de arrasto, através de três formas diferentes de cálculo da ASTT, foram próximas; (ii) o cálculo dos coeficientes com recurso às equações (3) e (4) foi o que registou diferenças inferiores em comparação com os valores de ASTT medidos.

Enquanto implicação prática, as equações (3) e (4) parecem ser as mais adequadas para cálculo do coeficiente de arrasto a partir da estimativa da ASTT. Todavia, deve-se corrigir a subestimação em aproximadamente 8 %.

BIBLIOGRAFIA

Clarys JP. Human morphology and hydrodynamics. In: Terauds J, Bedingfield EW (editors). *Swimming III*. Baltimore: University Park Press; 1979. p. 3–41.

Marinho D, Barbosa T, Costa M, Figueiredo C, Reis V, Silva A, Marques M. Can 8 weeks of training affect active drag in young swimmers? *Journal of Sports Science and Medicine*. 2010a; 9: 71-78.

Morais JE, Costa MJ, Mejias EJ, Marinho DA, Silva AJ, Barbosa TM. Validação de equações preditivas da área de secção transversa do tronco para avaliação do arrasto hidrodinâmico em função do sexo e do nível competitivo. Livro do 4º Congresso Nacional de Biomecânica; 2011. p. 63 – 68.