



Determinação do Coeficiente de Arrasto na Posição Inicial e Final da Braçada Subaquática de Bruços

Lígia Maria Cardoso da Costa

Porto, 2007

U. PORTO



FACULDADE DE DESPORTO
UNIVERSIDADE DO PORTO

Determinação do Coeficiente de Arrasto na Posição Inicial e Final da Braçada Subaquática de Braços

Monografia realizada no âmbito da disciplina de Seminário do 5º ano da licenciatura em Desporto e Educação Física, na opção complementar de Desporto de Rendimento - Natação, da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto

Orientador: Prof. Doutor João Paulo Vilas-Boas
Lígia Maria Cardoso da Costa

Porto, 2007

Costa, L. (2007). Determinação do Coeficiente de Arrasto na Posição Inicial e Final da Braçada Subaquática de Bruços. Porto: L. Costa. Dissertação de Licenciatura apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Palavras Chave: NATAÇÃO, ARRASTO PASSIVO, COEFICIENTE DE ARRASTO, POSIÇÃO HIDRODINÂMICA,

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho só se tornou possível devido à colaboração, incentivo e apoio de um conjunto de pessoas, as quais estou profundamente agradecida, nomeadamente:

- Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas, pelo tempo disponibilizado na orientação deste trabalho, pela transmissão de saberes ao longo do curso e pelo apoio determinante na realização deste trabalho.

- Ao Professor Doutor Ricardo Fernandes, pela boa receptividade e disponibilidade demonstrada em todos os momentos da minha pesquisa bibliográfica, bem como a transmissão de saberes.

- Ao Professor Doutor Leandro Machado, pela disponibilidade demonstrada ao longo de todo o processo e, pela ajuda no esclarecimento de dúvidas no tratamento dos dados e interpretação estatística.

- Aos nadadores pela disponibilidade na recolha dos dados.

- Ao João Ribeiro e à Inês Aleixo pela ajuda incondicional durante a realização do trabalho.

- À Desportuna pelo companheirismo, paciência, incentivo, apoio e pelos momentos de descontração que me proporcionou.

- Ao Ivan pelo apoio incondicional.

- Aos meus pais pela compreensão, apoio e confiança.

Índice Geral

Agradecimentos	I
Índice Geral	II
Índice de Figuras	IV
Índice de Quadros	V
Índice de Equações	VI
Resumo	VII
Abstract	VIII
Resume	IX
Abreviaturas	X
1. Introdução	1
2. Revisão da Literatura	4
2.1. Arrasto Hidrodinâmico.....	4
2.1.1. Arrasto de Pressão.....	6
2.1.2. Arrasto de Onda.....	6
2.1.3. Arrasto de Fricção.....	8
2.2. Posição Hidrodinâmica Fundamental.....	9
2.3. Avaliação da Força de Arrasto Hidrodinâmico.....	9
2.3.1. Arrasto Activo.....	9
2.3.2. Arrasto Passivo.....	10
2.3.3. Arrasto activo vs arrasto passivo.....	12
2.4. Técnica de Bruços.....	13
2.4.1. Definição.....	13
2.4.2. Regulamento Técnico.....	13
2.4.3. Fase Subaquática de Bruços.....	14
3. Objectivos e Hipóteses	18
3.1. Objectivos.....	18
3.2. Hipóteses.....	18
4. Material e Métodos	19
4.1. Caracterização da Amostra.....	19
4.2. Caracterização do Envolvimento.....	20

4.3. Instrumentos e Procedimentos.....	20
4.3.1. Determinação do Arrasto Passivo.....	20
4.3.2. Determinação da Área de Secção Transversal.....	24
4.3.3. Determinação do Coeficiente de Arrasto.....	25
4.3.4. Tratamento Estatístico.....	25
5. Apresentação dos Resultados.....	27
6. Discussão dos Resultados.....	32
7. Conclusões.....	34
8. Bibliografia.....	35

Índice de Figuras

Figura 1: Representação esquemática da área de secção máxima do nadador em deslize ventral, identificada no seu plano transversal em relação à direcção da aplicação de D , oposta à direcção de aplicação da força (adaptado de Clarys, 1979).....	5
Figura 2: Efeito da profundidade no arrasto total (adaptado de Toussaint, 2002).....	7
Figura 3: Primeiro Deslize: Posição Hidrodinâmica Fundamental (adaptado de Haljand, 2002)	16
Figura.4: Segundo deslize (adaptado de Haljand, 2002).	16
Figura 5: Velocímetro (Swimsensor)	21
Figura 6: Representação gráfica de velocidade instantânea e média do nadador.....	22
Figura 7: Representação do gráfico de velocidade instantânea e velocidade filtrada.....	23
Figura 8: Cálculo da área de secção transversal através da decomposição da área da imagem num sistema de triângulos.....	25

Índices de Quadros

Quadro1: Principais características da amostra: idade, peso, altura, área de secção transversal	19
Quadro 2: Valores da área de secção transversal da amostra total, média e desvio padrão (SD), para as duas posições de deslize em estudo.....	27
Quadro 3: Valor de prova do T-Teste para medidas repetidas, para as diferenças entre S* e S**; S* masculino e S** masculino; S* feminino e S** feminino. E os valores de prova do T-Teste para medidas independentes, para as diferenças entre S* masculino e S* feminino e para S** masculino e S** feminino.....	28
Quadro 4: Valores do coeficiente de arrasto hidrodinâmico (C_D) do total da amostra, bem como os valores mínimos (Min), máximo (Max.), média e desvio padrão (SD).....	29
Quadro 5: Valor de prova do T- teste para medidas repetidas, para as diferenças entre C_D^* e C_D^{**} , assim como de C_D^* feminino e C_D^{**} feminino e para C_D^* masculino e C_D^{**} masculino. E os valores de prova do T-Teste para medidas independentes, para as diferenças entre C_D^* masculino e C_D^* feminino e para C_D^{**} masculino e C_D^{**} feminino.....	30

Índice de Equações

Equação 1: Equação Newtoniana

$$D = 1/2 C_D \rho S v^2 \dots\dots\dots 2$$

Equação 2: Equação da aceleração

$$a = \Delta V / \Delta T \dots\dots\dots 22$$

Equação 3: Equação da Força

$$F = m \times a \dots\dots\dots 22$$

Equação 4: Equação do Coeficiente de arrasto

$$C_D = 2D / \rho S v^2 \dots\dots\dots 25$$

Resumo

O deslize após partidas e viragens assume um papel determinante no rendimento final numa prova de natação, sendo importante otimizar ao máximo esta fase. Há muito tempo que a investigação em natação pura desportiva se tem preocupado em estudar o Arrasto hidrodinâmico (D) em várias posições de deslize, uma vez que um pequeno decréscimo nos valores do D pode levar a melhorias significativas na performance do nadador. O arrasto hidrodinâmico pode ser determinada através de duas grandes categorias: arrasto passivo (D_p) e arrasto activo (D_a).

O objectivo deste estudo consistiu na determinação e comparação do coeficiente de arrasto hidrodinâmico (C_D) na posição inicial e final da braçada subaquática de braços. Sendo estas, duas posições distintas de deslize.

Foram avaliados 10 nadadores, sendo 4 do sexo masculino e 6 do sexo feminino. O C_D foi determinado através da modelação da curva de desaceleração obtida por um velocímetro electromecânico desenvolvido por Lima et al. (2006).

Os resultados obtidos permitem concluir que: (i) O C_D da posição inicial da braçada subaquática de braços (1º deslize) é significativamente inferior ao C_D da posição final da braçada subaquática de braços (2º deslize), mas estas diferenças são especialmente notáveis nos sujeitos do sexo feminino; (ii) A área de secção transversal na posição inicial da braçada subaquática de braços é significativamente inferior à área de secção transversal da posição final da braçada subaquática de braços, estas diferenças são especialmente notáveis nos sujeitos do sexo feminino.

Abstract

The glide after the start and turns has a determinant role in swimming competition. For a long time has investigation in swimming studied hydrodynamic drag (D) of various glide positions, as any decrease in the D value may improve swimming performance. The hydrodynamic drag by two categories: passive drag (D_p) and active drag (D_a).

The objective of this study is to determine and compare the hydrodynamic drag coefficient (C_D) during initial and final position of the sub aquatic stroke in breaststroke.

Ten swimmers were tested, four males and six females. An electromechanic swim-meter, developed by Lima et al (2006) was used to determine C_D through modulation of the deceleration curve.

The results allow concluding that: (i) C_D of the initial position of the sub aquatic stroke in breaststroke (1st slide) is significantly inferior to the C_D of the final position of the sub aquatic stroke in breaststroke (2nd slide) but this differences are specially evident in the female swimmers; (ii) The frontal surface area of the swimmer at the initial position of the sub aquatic stroke in breaststroke is significantly inferior to the frontal surface area of the swimmer at the final position of the sub aquatic stroke in breaststroke but this differences are specially evident in the female;

Resumé

Le glissement après départ et virages supposent un élément déterminant dans le revenu final dans une épreuve de natation, il est important d'optimiser au maximum cette phase. Cela fait un moment que l'investigation en natation pure sportive s'est préoccupée à étudier l'entrave hydrodynamique (D) dans plusieurs positions de glissement, une fois qu'une petite diminution dans les valeurs de D peut amener à des améliorations significatives dans la performance du nageur. L'entrave hydrodynamique peut-être déterminée à travers deux grandes catégories : entrave passive (D_p) et entrave active (D_a).

L'objectif de cette étude a consisté à la détermination et à la comparaison du coefficient d'entrave hydrodynamique (C_D) dans la position initiale et finale de la brasse subaquatique de la technique de la brasse. Etant celles-ci, deux positions distinctes de glissement.

Ont été évalués 10 nageurs, 4 du sexe masculin et 6 du sexe féminin. Le C_D a été déterminé à travers le modelage de la courbe de décélération obtenue par un tachymètre électromécanique développé par Lima et al (2006).

Les résultats obtenus permettent de conclure que : (i) Le C_D de la position initiale de la brasse subaquatique de technique de la brasse (1° glissement) est significativement inférieure au C_D de la position finale (2° glissement).

Abreviaturas

- Acção Ascendente – (AA)
Acção Lateral Exterior – (ALE)
Acção Lateral Interior – (ALI)
Aceleração – (a)
Aceleração da gravidade – (g)
Área de secção máxima do corpo transversal à direcção da força – (S)
Arrasto Activo – (Da)
Arrasto Hidrodinâmico – (D)
Arrasto Passivo - (Dp)
Centímetros – (cm)
Coeficiente de arrasto – (C_D)
Coeficiente de viscosidade – (μ)
Comprimento do corpo – (l)
Confrontar – (Conf.)
Desvio Padrão – (SD)
Feminino – (Fem.)
Força – (F)
Masculino (Mas.)
Massa do nadador – (M)
Massa volúmica da água – (ρ)
Máximo – (Máx.)
Membros Inferiores – (MI)
Membros Superiores – (MS)
Metro – (m)
Metros por segundo – ($m.s^{-1}$)
Milímetros – (mm)
Mínimo – (Min.)
Natação Pura Desportiva – (NPD)
Número de Froud – (Fr)
Pressão – (p)
Segundos – (s)

Valor de Prova – (p)

Velocidade de deslocamento – (v)

1. Introdução

Com o evoluir da investigação, os resultados desportivos têm caminhado para níveis de excelência tais, que a vitória depende cada vez mais de diferenças mínimas (Mason, 1999). Desta forma, a ínfima melhoria torna-se particularmente decisiva no resultado final do desempenho Desportivo.

Dado que, a Natação é uma modalidade que se desenvolve num meio físico com características mecânicas específicas, coloca ao nadador problemas também eles específicos (Vilas-Boas, 2001).

A propulsão do nadador não depende apenas das suas habilidades propulsivas, mas também das suas capacidades para reduzir ao mínimo as forças de arrasto hidrodinâmico durante o nado (Taiar et al., 1999). Tal como refere Sanders (2001), é frequente observar, que alguns nadadores, parecem “deslizar” através da água necessitando de menor esforço do que outros. Como também há nadadores que parecem nadar bem a baixas velocidades, mas quando tentam aumentar a velocidade não melhoram tanto como outros. Uma das principais razões para estas diferenças é o aumento da resistência (Arrasto Hidrodinâmico) criado pelo nadador (Sanders et al., 2001). Normalmente considera-se o arrasto dividido em duas categorias, o arrasto passivo (D_p) e o arrasto activo (D_a), consoante se considere o nadador numa posição fixa ou em actividade intersegmentar. O nosso estudo centra-se no arrasto passivo.

As primeiras tentativas, na determinação do Arrasto Hidrodinâmico, consistiriam na sua determinação enquanto arrasto passivo (Individuo rebocado). Neste sentido, a posição de decúbito ventral com os Membros Superiores (MS) estendidos à frente foi estudada por diversos autores desde 1919 (Liljestrand e Stenstrom, cit. Vilas – Boas, 1997). Apesar da posição de decúbito dorsal não ter sido tão estudada como a anterior, existem estudos que comparam os valores do Arrasto Passivo em decúbito ventral e em decúbito

dorsal, onde concluem que na primeira posição, os valores são inferiores (Clayrs, 1979).

Mas, em Natação Pura Desportiva (NPD), encontramos ainda outra posição de deslize, a posição de decúbito ventral com os MS estendidos ao lado do corpo. No entanto, durante a nossa pesquisa, não encontramos nenhum estudo que comparasse essa posição com uma das seguintes posições: decúbito ventral com os MS estendidos à frente ou decúbito dorsal com os MS estendidos atrás da cabeça. Julgamos que isto se deve ao facto, de a posição de decúbito ventral com os MS estendidos ao lado do corpo ser a posição de deslize menos utilizada nas técnicas de NPD, quando comparadas com as posições hidrodinâmicas de decúbito ventral e dorsal. Esta posição de deslize é apenas utilizada na técnica de Bruços, após as partidas e após as viragens. Uma vez que a fase subaquática durante as partidas e as viragens, tem-se revelado uma componente importante para o tempo total de prova (Guimarães et Hay, 1985), torna-se pertinente compreender as duas posições (inicial e final da braçada subaquática de bruços) no que diz respeito ao arrasto.

O arrasto a que se sujeita um nadador pode ser calculado pela seguinte expressão :

$$D = 1/2 C_D \rho S v^2 \quad (1)$$

Onde ρ representa a massa volúmica da água, C_D o coeficiente de arrasto, v a velocidade de deslocamento e S a área de secção máxima do corpo transversal à direcção da força.

O coeficiente de arrasto do corpo (C_D), é uma grandeza adimensional que, ao depender dos números de Strouhal, Froude, Euler e Reynolds, expõe a dependência da força relativamente às variáveis independentes (massa volúmica da água – ρ , velocidade – v , secção transversal máxima – S), sendo por sua vez função do comprimento do corpo (l), de (ρ), de (v), da pressão

(p), da aceleração da gravidade (g), do coeficiente de viscosidade do fluido (μ) da forma e orientação do corpo relativamente às direcções de deslocamento (Fédiaevski *et al.*, 1979).

Com este estudo pretendemos comparar o coeficiente de arrasto na posição inicial [posição de decúbito ventral, com o corpo em total extensão, com a cabeça entre os MS e o olhar dirigido para baixo, os Membros Inferiores (MI) juntos e em extensão, com os pés em flexão plantar e com as mãos sobrepostas] e na posição final [posição de decúbito ventral, com o olhar dirigido para baixo, MS estendidos ao longo do corpo com as mãos nas coxas, com os MI juntos e em extensão, com os pés em flexão plantar], na braçada subaquática de braços.

Iniciamos o nosso trabalho com uma breve revisão da literatura, onde pretendemos focar o estado de conhecimento acerca das variáveis que nos propomos estudar. De seguida apresentamos os objectivos e as hipóteses do nosso estudo. Após a descrição de material e métodos utilizados, passaremos à apresentação e discussão dos resultados obtidos, confrontando-os entre si e com os resultados da literatura. Por fim, serão sintetizadas as principais conclusões, sugerindo aspectos importantes a ter em conta em futuras investigações.

2. Revisão da Literatura

De acordo com Vilas-Boas (1997b), o progressivo refinamento de uma técnica de nado consubstancia-se no incremento do nível de aproveitamento dos recursos energéticos em velocidade de nado, o que deveria passar:

1. Pela minimização da resistência oposta ao deslocamento que é determinada pelo meio líquido (Arrasto);
2. Pela maximização da capacidade propulsiva das acções segmentares;
3. Pela minimização das flutuações da velocidade de deslocamento por ciclo gestual.

Desta forma, torna-se fundamental estudar o Arrasto Hidrodinâmico (D).

2.1. Arrasto Hidrodinâmico

Quando um nadador se desloca na água, o seu corpo sofre uma força frenadora devido à resistência que aquela proporciona (Toussaint et al., 2000). Essa força (D), caracteriza-se por ser uma força externa que actua sobre o corpo do nadador, com a mesma direcção mas com sentido oposto ao seu vector de deslocamento, pelo que, quanto menor for a sua intensidade, maior será a velocidade de deslocamento, se todas as outras condições se mantiverem constantes (Vilas-Boas 1997a).

A intensidade de D depende de um conjunto de factores, dos quais se destacam quatro grandes categorias:

1. As características morfológicas do sujeito;
2. As características dos equipamentos desportivos;
3. As características físicas do meio;
4. A técnica de nado propriamente dita (Vilas-Boas 1997a).

O arrasto a que se sujeita um nadador, pode ser calculado seguinte equação:

$$D = 1/2C_D \rho S v^2 \quad (1)$$

A secção transversal máxima (S) ao vector de D é um dos factores determinantes do arrasto hidrodinâmico que assume especial importância em biomecânica da natação, nomeadamente na correcção da técnica de nado. No caso do arrasto hidrodinâmico, S corresponde na sua maioria à área de projecção do corpo no seu plano frontal (Figura 1), e pode ser agravado por faltas técnicas como, por exemplo:

1. A acentuada obliquação do corpo em imersão, com os MI em posição mais profunda que o tronco – Desalinhamento Horizontal – poderá ser consequência da manutenção da cabeça em extensão nas técnicas ventrais, ou flexão na técnica de costas.
2. A entrada cruzada dos MS na água após a recuperação – Desalinhamento Lateral (Vilas-Boas, 1997a).

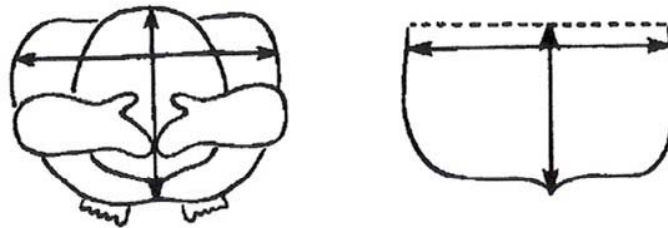


Figura 1: Representação esquemática da área de secção máxima do nadador em deslize ventral, identificada no seu plano transversal em relação à direcção da aplicação de D , oposta à direcção de aplicação da força (adaptado de Clarys, 1979)

Sendo o Coeficiente de arrasto uma grandeza adimensional que ao depender dos números de Strouhal, Froude, Euler e Reynolds, expõe a dependência da força relativamente às variáveis independentes (ρ , v , S), sendo por sua vez função de l , de ρ , de V , de p , g , do coeficiente de viscosidade do fluido (μ) da forma e orientação do corpo relativamente às direcções de deslocamento (Fédiaevski *et al.*, 1979).

A força total de arrasto hidrodinâmico a que um nadador se sujeita, pode ser dividida em 3 categorias: arrasto de pressão, arrasto de onda e arrasto de fricção (Colwin, 1992; Maglischo, 1993).

2.1.1. Arrasto de Pressão

Segundo Sanders et al. (2001), um fluido que passa ao longo do corpo de um nadador, pode separar-se num certo ponto dependendo da forma, dimensões e velocidade do nadador. Este ponto designa-se por ponto de separação da camada limite e pode dar origem a uma esteira (Clayrs, 1979). Em consequência geraram-se diferenças de pressão entre a parte anterior do nadador (ponto ou região de estagnação – zona de altas pressões) e a parte posterior deste (esteira – zona de elevada vorticidade traduzindo-se numa zona de baixas pressões), do qual resultam as forças denominadas de arrasto de pressão (Vilas-Boas, 1997a).

Para minimizar este tipo de arrasto o nadador deverá manter uma posição corporal o mais alinhada possível enquanto se desloca na água – posição hidrodinâmica. A forma mais hidrodinâmica é a forma de uma gota de água, tal como refere Vilas-Boas (1997a).

2.1.2. Arrasto de Onda

O arrasto de onda é causado pela oscilação das partículas da água em torno do seu ponto de equilíbrio na superfície da água (Maglischo, 1993). O corpo do nadador ao deslocar-se na superfície de separação da água e do ar, dois meios fluidos com densidades diferentes, provoca perturbações dessa superfície, que se traduzem numa oscilação de partículas em torno da sua posição de equilíbrio (Vilas-Boas, 1997a).

Tendo o corpo do nadador vários pontos de pressão (cabeça, cintura escapular, região glútea e pés), causa alterações na pressão hidrodinâmica.

Uma vez que, cada ponto cria o seu próprio sistema de ondas, com uma velocidade de propagação igual, poder-se-á dizer que a onda resultante é caracterizada por rápidos aumentos dos valores de pressão ao nível da cabeça e cintura escapular (onda anterior), da região glútea (onda média) e dos pés (onda posterior) (Clarys, 1979).

A energia necessária para a formação de um sistema total de ondas é transferida para a massa líquida pelo movimento do corpo. Este processo de transferência de energia designa-se por arrasto por produção de ondas (Clarys, 1979).

Sanders *et al.* (2001), destacam o facto de movimentos verticais acentuados aumentarem o arrasto de onda, como por exemplo, acentuada elevação do tronco na transição da fase final da Acção Ascendente para a recuperação em mariposa e elevar a cabeça no momento da inspiração em crawl. Qualquer acção que produza uma força não orientada no eixo longitudinal do corpo, na direcção de nado, irá provocar movimentos laterais do corpo, ancas ou pernas, a não ser que o movimento seja compensado por outra acção. A anatomia humana não permite que todas as forças se desenrolem no eixo longitudinal; no entanto, alguns nadadores evidenciam técnicas que lhes permitem minimizar estes movimentos laterais, mais do que outros. Quando os movimentos verticais e laterais são maiores do que o necessário, a performance é limitada por um excessivo arrasto de onda (Sanders *et al.*, 2001)

Toussaint (2002) refere que o arrasto de onda se torna negligenciável a profundidades três vezes superiores ao diâmetro do objecto mergulhado na água (Figura 2). À superfície, o arrasto total aumenta consideravelmente devido ao arrasto de onda.

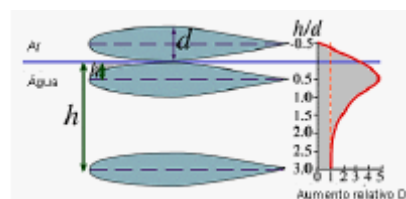


Figura 2: Efeito da profundidade no arrasto total (adaptado de Toussaint, 2002)

As causas mais frequentes para o arrasto de onda, para além do *design* da piscina e dos separadores inadequados, há que ter em conta também as entradas dos MS a “esmagar” a água e as oscilações verticais e laterais do corpo (Maglischo, 1993).

2.1.3. Arrasto de Fricção

Representa o arrasto produzido como resultado da fricção entre a água e a superfície do corpo em movimento e aumenta de forma linear com o aumento da velocidade de nado (Rushall et al., 1994).

A magnitude do arrasto de fricção depende da velocidade do fluido relativamente à do corpo, à área de superfície corporal e às características da superfície (Toussaint, 2002). Quanto mais viscoso for o líquido, mais turbulento o regime de escoamento, e quanto mais rugosa e extensa a superfície corporal em contacto com a água, mais importante será a componente de fricção do arrasto hidrodinâmico (Vilas-Boas, 1997a). Para Vilas-Boas (1997a), independentemente da maior ou menor expressão do arrasto de fricção na determinação do arrasto total a que se sujeita um nadador, torna-se sempre justificável garantir a sua minimização.

2.2. Posição Hidrodinâmica Fundamental

É fundamental minimizar o arrasto durante o deslize, devendo o nadador adoptar uma posição o mais hidrodinâmica possível (Guimarães e Hay, 1985). Navarro (1990), salienta que, para poder nadar mais rápido e com menor gasto de energia é necessário adoptar na água uma posição que ofereça a mínima superfície frontal do corpo e uma redução da sucção que se produz nas partes posteriores do mesmo. O objectivo do nadador deveria ser o de imitar um peixe, tanto quanto possível. Durante o percurso subaquático o nadador deverá assumir uma postura o mais hidrodinâmica possível, de forma a minimizar o

arrasto hidrodinâmico (Nistri, 1982; Guimarães e Hay, 1985; Hay, 1988, Goya et al., 2002). Neste sentido, o seu corpo deve estar totalmente em extensão, com a cabeça entre os MS e o olhar dirigido para baixo. Os MS devem estar juntos e em extensão, procurando colocar uma mão sobre a outra (Maglischo, 1993)

Segundo Vilas-Boas (1997), quanto maior for o comprimento total do corpo do nadador, menor será D , pelo que se deverão privilegiar as posições alongadas na água durante o deslize. Pois o valor de C_D varia com o Número de Froud (Fr) de forma não linear. O número de Froud está ligado a uma das componentes do arrasto aparentemente mais importantes (arrasto de onda) e ajuda-nos a compreender a importância do comprimento do corpo na definição de D (Larsen et al., 1981).

2.3. Avaliação da Força de Arrasto Hidrodinâmico

A determinação objectiva da intensidade da(s) força(s) de arrasto hidrodinâmico a que se sujeita um corpo humano ao deslocar-se na água, tem como objectivo fundamental clarificar, quando conjugado com outros parâmetros, o problema de natureza do próprio arrasto (Alley, 1952). Para além deste objectivo mais essencial, a determinação de D tornou-se necessária, em natação, para lidar com problemas tais como a determinação do trabalho mecânico externo propulsivo realizado e cálculo da eficiência de nado enquanto tipo de locomoção (Karpovich, 1933).

Na literatura distinguem-se, fundamentalmente, duas grandes categorias de arrasto: o arrasto passivo e o arrasto activo (Vilas-Boas et al., 2001).

2.3.1. Arrasto Activo

Segundo Kolmogorov *et al.* (1997), *Da* é a resistência da água associada com o movimento de nado.

Visto que o nosso estudo não se baseia nesta categoria de arrasto, apenas apresentamos a sua definição.

2.3.2. Arrasto Passivo

O D_p é a quantidade de resistência da água que um corpo humano experimenta, sem actividade intersegmentar (Kolmogorov et al., 1997).

Assim, os primeiros estudos neste domínio consistiram na determinação de D rebocando os nadadores (Toussaint *et al.* 2004) de forma mais ou menos criativa. Dubois-Reymond (1905) rebocou pessoas na parte de trás de um barco a remos medindo a resistência com um dinamómetro. Liljestrand and Stenstrom (1919) mediram a resistência rebocando nadadores através de um guindaste na margem.

A posição de decúbito ventral com os membros superiores estendidos à frente foi de todas as posições aquela onde D_p foi mais estudado. Em contrapartida D_p em decúbito dorsal foi menos estudado. Os valores de D_p em decúbito ventral revelaram-se inferiores aos obtidos em decúbito dorsal (Clarys, 1979).

Vários autores demonstraram que D_p depende da posição do corpo e da posição da cabeça (Chatard et al., 1990). Segundo o mesmo autor D_p é considerado um bom indicador da aptidão para o deslize. O interesse no D_p é justificado, pelo facto, da fase de deslize representar uma importante componente da performance em natação, pelo que a determinação do arrasto passivamente, isto é, rebocando o corpo do nadador pela superfície da água, pode ser considerado um indicador significativo da performance em natação. No entanto, não quer dizer que o D_p é melhor ou pior preditor que o D_a .

Na investigação em NPD muitas vezes é necessário recorrer a métodos utilizados pela biomecânica para abordar as diversas formas de movimento. Esses métodos são: Antropometria, Cinemetria, Dinamometria e

Electromiografia (Baumann, 1995 cit. Amadio, 1996). Estes métodos permitem que o movimento seja descrito e modelado matematicamente, para uma maior compreensão dos mecanismos internos reguladores e executores do movimento do corpo humano (Amadio, 1996). Dada a abrangência do nosso trabalho, sintetizaremos apenas a Cinemetria, pois é a área para a qual a nossa investigação esteve direccionada. Posto isto, a Cinemetria consiste num conjunto de métodos que procuram medir e registar os parâmetros cinemáticos do movimento, estando interessada na descrição de como um corpo se move, não se preocupando em explicar as causas desses movimentos (Lima et al., 2006).

No que diz respeito aos processos de análise cinemática, encontramos os estudos bidimensionais e os tridimensionais, cada um deles com vantagens e desvantagens na sua utilização (Lima et al., 2006). Relativamente à NPD, os estudos cinemáticos, centram-se essencialmente nas questões relacionadas com as variações da velocidade de nado por ciclo gestual, a aceleração de diversos segmentos corporais e do próprio centro de gravidade, a trajectória dos movimentos e a velocidade de deslocamento, tal como refere Lima et al. (2006). As variações de velocidade são o resultado das acções de aceleração positiva e negativa do corpo, ocasionadas pelo movimento propulsivo e pelas resistências criadas pelo seu deslocamento (Lima et al., 2006).

O arrasto passivo poderá, assim, ser determinado, calculando a força necessária para rebocar um nadador a uma dada velocidade numa dada posição. Poderá ainda ser calculado através da modelação da curva de desaceleração do nadador após impulso na parede seguido de deslize (em posição hidrodinâmica ou outra) (Vilas-Boas, 1997b). Neste segundo caso, podemos recorrer a:

- i) "Swim meters" por cabo (Lima, 2006);
- ii) "Swim Speed Recorders" (Atha, 1990);
- iii) Foto-optometria com as luzes tracejadas intermitentes (Vilas-Boas, 1993);

iv) Processamento de imagens de vídeo ou filme.

No nosso estudo recorreremos ao “swim meter”, que se caracteriza pela ligação directa do nadador a um dispositivo de medida da velocidade através de um cabo, formando este com a horizontal, um ângulo mais ou menos aberto (Vilas-Boas, 1997b). Este é um método de fácil operacionalização e os seus meios permitem fornecer rapidamente informação ao treinador e aos nadadores. O “swim meter” mede o decréscimo na velocidade instantânea, quando o sujeito desacelera passivamente desde a velocidade máxima inicial (Mollendorf *et al.*, 2004).

2.3.3. Arrasto activo vs arrasto passivo

A controvérsia do arrasto passivo e arrasto activo na NPD tem sido discutida há muitos anos na literatura.

Os estudos mais antigos, que envolviam o cálculo indirecto de D_a , baseados nas alterações de consumo de oxigénio, com arrasto adicional exercido sobre o nadador, revelavam que o arrasto activo era cerca de duas ou três vezes superior ao arrasto passivo (Kolmogorov *et al.*, 1997). Mas, mais recentemente, com o desenvolvimento dos métodos directos de avaliação de D_a essa superioridade veio a reduzir-se (Kolmogorov *et al.*, 1997).

Por sua vez, Kolmogorov e Duplishcheva (1992), caracterizam como paradoxais os resultados obtidos no seu estudo, uma vez que o arrasto activo se mostrou inferior ao arrasto passivo, nas diferentes técnicas de nado, com excepção de bruços.

No que diz respeito aos coeficientes de arrasto passivo, Havriluk (2004) não encontrou diferenças entre géneros, apesar dos nadadores serem mais volumosos do que as nadadoras. Este mesmo autor, acrescenta que os nadadores de elevada performance, apresentam coeficientes de arrasto

passivo inferiores comparativamente com nadadores de médio e inferior nível de performance.

Enquanto que o arrasto activo está mais direccionado para as mudanças da posição do corpo durante o nado, o arrasto passivo pode estar mais relacionado com a fase de deslize em natação (Chatard et al., 1990). D'Acquisto et al.(1988) demonstraram que a fase de deslize representa uma importante parte da performance dos nadadores brucistas.

2.4.Técnica de Bruços

2.4.1. Definição

A técnica de Bruços é normalmente classificada como ventral, descontínua e simultânea. O bruços e a mariposa, são técnicas, que quando comparadas com as técnicas contínuas, se caracterizam por implicarem variações mais acentuadas dos valores das velocidades horizontal ao longo do ciclo (Kent e Atha, 1971; Craig e Pendergast, 1979; Nigg, 1983; Maglischo et al., 1987; Craig et al., 1988; cit. Vilas-Boas, 1993)

2.4.2. Regulamento Técnico

Os regulamentos da FINA para a técnica de bruços permitem que o nadador realize uma braçada subaquática completamente para trás até às coxas, imediatamente após as partidas e depois de cada viragem.

As regulamentações actuais da FINA para o período 2005-2009 integram a regra 7 de NPD referente à técnica de bruços (SW7). Esta regra contém sete artigos que regulamentam os vários aspectos a serem observados na análise da técnica, no entanto apenas referimos um, pois é o que está mais direccionado para o objectivo do nosso estudo.

SW 7.4 “...após a partida e após cada viragem, o nadador pode fazer uma braçada completamente para trás até às pernas. A cabeça deve romper a superfície da água antes das mãos se voltarem para dentro na parte mais larga da segunda braçada. Enquanto o nadador está completamente submerso, é permitida uma pernada de golfinho, de cima para baixo, seguida de uma pernada de bruços. Depois disto, todos os movimentos das pernas devem ser simultâneos e no mesmo plano horizontal sem movimentos alternados.”

2.4.3. Fase subaquática de Bruços

Na viragem, imediatamente a seguir à rotação, os MS devem ser estendidos para a frente adquirindo uma posição hidrodinâmica, seguindo-se uma forte impulsão dos MI no sentido do novo percurso. Durante o deslize, o corpo deverá adoptar uma posição o mais hidrodinâmica possível (Costill et al., 1992; Maglischo, 2003). Quando o nadador se aproxima da velocidade de nado deverá reiniciar as acções propulsivas, realizando a braçada subaquática.

Segundo Costill et al. (1992), a braçada subaquática, quando realizada correctamente, pode revelar-se bastante propulsiva. Daí que se torna fundamental que os nadadores a treinem de forma a torná-la mais eficiente (Termin and Pendergast, 1998; Maglischo, 2003).

Segundo Vilas-Boas et al. (2001), a braçada subaquática caracteriza-se por ser uma acção completa dos MS terminando as mãos junto das coxas. Durante a realização da braçada subaquática de bruços, o nadador irá deteriorar a sua posição hidrodinâmica. Como exemplo duma alteração da posição hidrodinâmica temos: após a acção propulsiva dos MS, o nadador deverá elevar os ombros em direcção ao sentido de nado, reduzindo dessa forma, a área de secção transversal oposta ao deslocamento do nadador (Fernandes et al., 2002).

De uma forma geral, o trajecto dos MS é similar ao movimento realizado na técnica de mariposa (Counsilman, 1986; Maglischo, 2003).

Existem também dois momentos de deslize: um antes do início da braçada, logo após a saída da parede e outro depois dos MS completarem a sua acção (Maglischo, 2003). É nestes dois momentos que se centra o nosso estudo.

Apesar de em alguns dos casos não existir uma divisão absolutamente evidente, a generalidade dos autores realiza a descrição do movimento tendo como referência o padrão do movimento da braçada subaquática dividido em quatro fases fundamentais (Maglischo 1982; 1993; 2003; Counsilman, 1986; Costill e tal., 1992; Termin and Pendergast, 1998; Haljand, 2002):

- i) Primeiro Deslize;
- ii) Acção dos MS;
- iii) Segundo Deslize;
- iv) Recuperação dos MS e pernada para a superfície.

i) Primeiro Deslize

Esta fase inicia-se a partir do momento em que os pés deixam de estar em contacto com a parede e termina no momento em que os MS iniciam a acção lateral exterior (ALE) (Haljand, 2002). Durante esta fase de deslize, o nadador deverá adoptar uma posição o mais hidrodinâmica possível, de forma a minimizar o arrasto hidrodinâmico, até que a sua velocidade comece a diminuir (Costill et al., 1992; Fernandes et al., 2002). Segundo Termin and Pendergast (1998) o corpo do nadador atinge a sua velocidade máxima exactamente no momento em que os pés deixam de contactar a parede, sendo o objectivo fundamental desta fase, permitir que o nadador adopte uma postura corporal o mais hidrodinâmica possível de forma a conservar ao máximo a velocidade ganha com o impulso na parede. Sendo assim, o corpo do nadador deverá estar em extensão completa, com os MS juntos e colocados acima da cabeça e

o olhar dirigido para o chão (Fernades et al.,2002). Costill et al. (1992) e Maglischo (2003) acrescentam que a colocação de uma mão por cima da outra ajuda a manter esta posição. Os MI deverão permanecer juntos e em extensão com os pés em flexão plantar (Counsilman, 1986; Haljand, 2002; Maglischo, 2003) cf. Fig.3.



Figura 3. Primeiro Deslize: Posição Hidrodinâmica Fundamental (adaptado de Fernandes et al., 2002).

Maglischo (2003) refere que os nadadores devem manter a posição hidrodinâmica até ao momento em que sentem que desaceleram até próximo da velocidade de prova, enquanto Counsilman (1986) refere que esta deve ser mantida por aproximadamente 1,30s, ou até ao momento em que o nadador desacelera próximo dos valores da velocidade média de nado. Haljand (2002), apresenta-nos um modelo técnico, referindo que a duração desta fase é 1.35 ± 0.75 s e que a velocidade do nadador varia entre 1.90 e 2.20 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

iii) Segundo Deslize

Assim que a AA tenha sido completada, as superfícies palmares rodam para dentro e repousam sobre as coxas, para conferir hidrodinâmica à posição do corpo (Maglischo, 2003). O corpo deve permanecer numa posição hidrodinâmica durante o deslize, estando o nadador com os MS estendidos ao lado do corpo, com os MI em extensão completa e a cabeça alinhada com o corpo (Maglischo, 2003), cf. Fig.4.



Figura.4: Segundo deslize (adaptado de Haljand, 2002).

No modelo técnico apresentado por Haljand (2002), é referido que nesta fase a velocidade média do nadador varia entre 1,55 e 1,82 m.s⁻¹. Relativamente à velocidade do deslize, este autor salienta que velocidades muito elevadas nesta fase indicam um início precoce das acções de recuperação e que velocidades muito baixas podem traduzir um incorrecto alinhamento corporal ou uma duração demasiado longa do segundo deslize. Segundo Counsilman (1986), este deslize deve ser mantido menos tempo, comparativamente com o primeiro. Por sua vez, Maglischo (2003) refere que pelo facto de os nadadores desacelerarem muito significativamente, o deslize deve ser muito curto. A partir do momento em que a velocidade do nadador se começa a dissipar, os nadadores devem realizar a recuperação seguida da pernada para a superfície (Maglischo, 2003).

3. Objectivos e Hipóteses

3.1. Objectivos

O nosso estudo tem como objectivo:

- Comparar o coeficiente de arrasto na posição de decúbito ventral com o corpo em extensão e os MS estendidos acima da cabeça (1º deslize) e na posição de decúbito ventral com o corpo em extensão e os MS em extensão ao lado do corpo (2º deslize) da braçada subaquática de braços.

3.2. Hipóteses

No nosso estudo pretendemos verificar a seguintes hipótese:

- O C_D na posição de decúbito ventral com os MS em extensão ao lado do corpo é superior ao C_D na posição de decúbito ventral com os MS juntos e em extensão acima da cabeça;

4. Material e Métodos

4.1. Caracterização da Amostra

A amostra foi constituída por 10 nadadores (4 do sexo masculino e 6 do sexo feminino) praticantes de natação pura desportiva de nível desportivo diferenciado (regional e nacional).

Para realizar a caracterização da nossa amostra recorreremos à idade, altura, massa corpo (Quadro 1).

Quadro1: Principais características da amostra: idade, massa, altura.

	NADADOR	IDADE	PESO	ALTURA (cm)
Sexo Masculino	1	18	79	194
	2	14	60	173
	3	15	52	171
	4	14	52	177
	Média	15,15	60,75	178,75
	S.D.	1,89	12,73	10,46
Sexo Feminino	5	21	61	163
	6	19	64	170
	7	14	56	170
	8	14	60	166
	9	19	56	160
	10	14	50	166
	Média	16,83	57,83	165,83
S.D.	3,18	4,91	3,92	
Total	Média	16,20		
	S.D.	2,74		

4.2. Caracterização do Envolvimento

Todas as sessões de teste foram realizadas numa piscina coberta e aquecida (25x10m), com 2m de profundidade, 6 pistas e com variação da temperatura entre os 27 e os 27,5°C.

4.3. Instrumentos e Procedimentos

A realização dos testes decorreu durante seis sessões repartidas por três dias. Todos os nadadores foram voluntários para a recolha dos dados.

A primeira fase de cada sessão, foi constituída pelo preenchimento de uma ficha de identificação pessoal, tendo sido registado a idade, a massa corporal e a altura dos nadadores. Posteriormente os nadadores passaram por um período de adaptação, onde foram familiarizados com o velocímetro.

O teste de velocímetria foi precedido por uma activação específica, que consistiu de nado livre, durante 5 min., seguido de um pequeno período para os sujeitos praticarem a braçada subaquática em bruços. A cada nadador foi solicitado que realizasse a braçada subaquática, que executava em situação de prova. O início do teste foi efectuado com o nadador dentro de água, com um impulso na parede testa do cais da piscina após sinal sonoro emitido por um dos elementos da equipa de investigação. Cada nadador realizou 3 repetições à máxima intensidade. Entre cada repetição foram dados *feedbacks* relativamente à *performance* de cada nadador.

4.3.1. Determinação do Arrasto Passivo

O instrumento utilizado no nosso estudo para determinação do arrasto passivo foi o velocímetro (Swimsensor), desenvolvido por Lima *et al.* (2006). Este instrumento consiste numa caixa rectangular, com 27.5cm de largura, 19.5cm de comprimento e 8cm de altura (Figura 5).

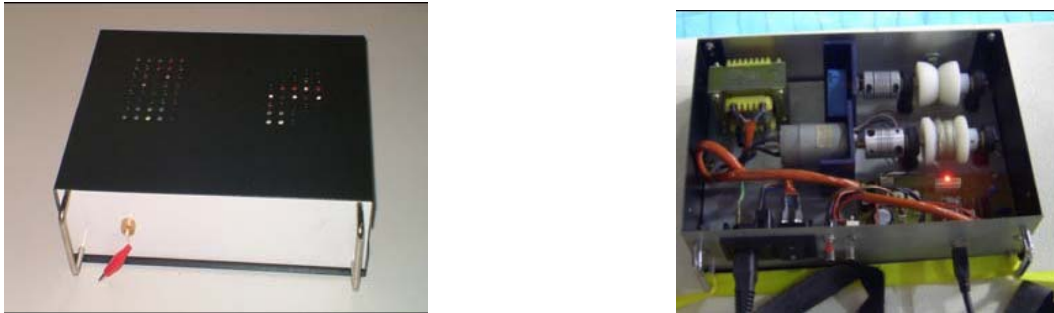


Figura 5: Velocímetro (Swimsensor)

No seu interior, encontra-se um carroto para enrolamento do fio, e outro, que tem um diâmetro útil fixo de 25mm, por onde o fio passa ao ser desenrolado. O primeiro está conectado a um motor de freio que garante a insignificância da inércia de todo o sistema e a manutenção do fio em tensão permanente. É também este motor que permite o enrolamento do cabo, após a finalização do nado.

O segundo carroto está ligado a um codificador incremental (ou sensor incremental rotativo), que gera um número de impulsos constante (500 pontos por volta) a cada volta do carroto, ou de desenrolamento do fio. Os impulsos gerados pelo codificador são processados por um microcontrolador, o qual comporta uma unidade de microprocessamento que os traduz em valores de velocidade.

O fio a que o dispositivo recorre é uma linha de nylon do tipo fireline, com elasticidade desprezível, fixada ao nadador por meio de um pequeno prendedor à altura da anca (cintura pélvica), que se desenrola à medida que este se desloca.

O microcontrolador do velocímetro comunica com o computador, enviando informação, através de um cabo USB. A informação recebida no computador é processada num programa que foi desenvolvido por Lima et al. (2006), em *Labview*.

O software (Labview) verifica os valores de velocidade calculados pelo microcontrolador a cada 20 ms, realizando o respectivo traçado da relação $v(t)$ (m/s). Além da curva $v(t)$, o software estima ainda os valores máximo, médio (e respectivo desvio padrão) e mínimo da velocidade, a distância percorrida e o tempo de duração do ensaio.

Na sequência de cada ensaio são produzidos três ficheiros de *output*. É gerado um ficheiro *Word* com um relatório tabular contendo os dados do nadador e do ensaio, os valores estimados da velocidade, tempo do ensaio e distância percorrida, bem como o gráfico típico da variação $v(t)$ (registo da velocidade instantânea) com a curva da velocidade média acoplada. Simultaneamente, os dados são exportados para um ficheiro em formato CSV (*Excel*), ficheiro a partir do qual se podem aceder a todas as coordenadas do gráfico $v(t)$. É ainda produzido um ficheiro de imagem, em formato *jpeg*, contendo apenas o gráfico isolado da variação $v(t)$ e respectiva curva média (Fig.6)

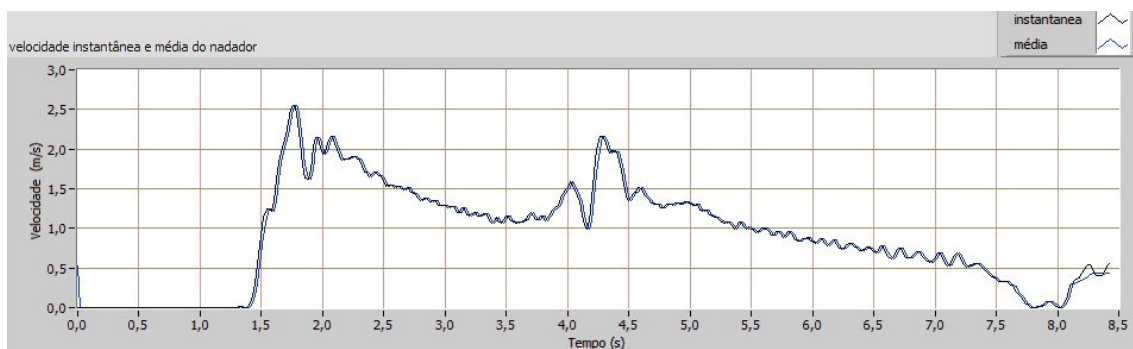


Figura 6. Representação gráfica de velocidade instantânea e média do nadador.

Assim, para determinarmos o arrasto passivo, procedemos à filtragem da curva $v(t)$, utilizando uma média móvel de 20 pontos.

Para efeitos de tratamentos de dados foi escolhida uma curva representativa da velocidade instantânea e da velocidade média de cada nadador. De referir que na generalidade dos casos, a curva seleccionada correspondeu à terceira tentativa de cada nadador, pelo facto de as suas performances terem sido

influenciadas positivamente através dos feedbacks que foram sendo fornecidos pela equipa de investigação.

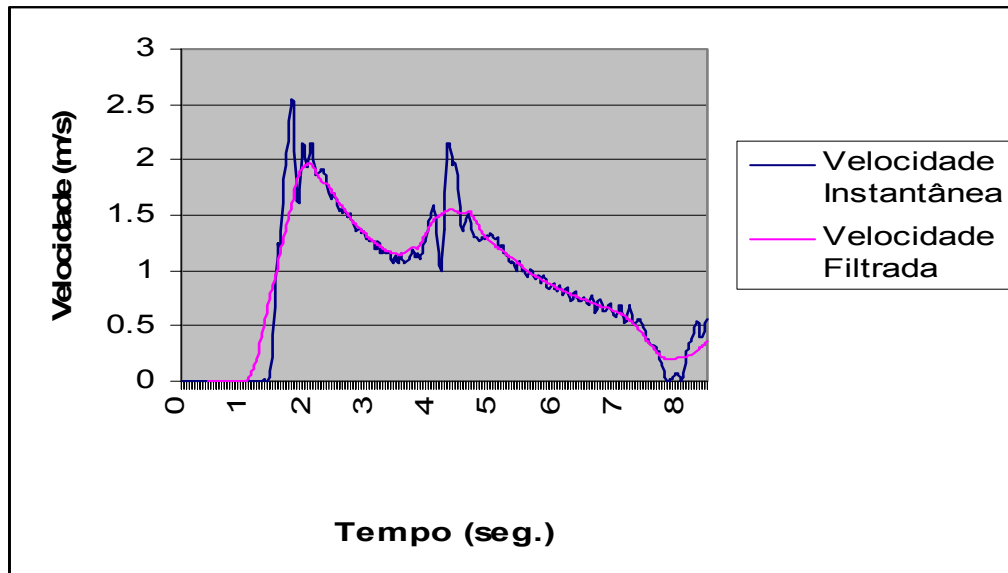


Figura 7. Representação do gráfico de velocidade instantânea e velocidade filtrada.

De seguida calculamos a aceleração, através da velocidade filtrada, através da seguinte equação:

$$a = \Delta V / \Delta T \quad (2)$$

Após obtermos a aceleração, procedemos a uma nova filtragem desta distribuição utilizando uma média móvel de 30 pontos.

A força de arrasto passivo foi calculada utilizando a expressão:

$$F = m \times a \quad (3)$$

Onde (m) representa a massa do nadador e (a) a aceleração filtrada de média móvel 30 pontos.

A análise dos dados foi realizada, delimitando temporalmente o primeiro e o segundo deslize da braçada subaquática de braços, tendo como referência o padrão do movimento da braçada subaquática dividido em quatro fases fundamentais (Maglischo, 1982; 1993; 2003; Counsilman, 1986):

- i) Primeiro deslize;
- ii) Acção dos MS e/ou MI;
- iii) Segundo deslize;
- iv) Recuperação dos MS e pernada para a superfície.

As velocidades utilizadas para os cálculos do C_D cumpriram os seguintes critérios:

- Velocidade filtrada mínima igual nos dois deslizes para cada nadador;
- Ser uma velocidade semelhante para todos os nadadores.

4.3.2. Determinação da área de Secção Transversal

A área de secção transversal (S) foi determinada por planimetria, utilizando fotografias com escala, tal como descreveu Clarys (1979).

Situação de Teste

Os nadadores foram fotografados de cima em duas posições:

1ª Posição

Em pé, os nadadores adoptavam uma posição o mais hidrodinâmica possível com o corpo em total extensão, MI juntos e em extensão, com a cabeça entre os MS e olhar dirigido para a frente. Os MS deveriam estar juntos e em extensão procurando colocar uma mão sobre a outra. Após os nadadores adoptarem esta posição eram fotografados de um plano superior, a cerca de 3m do solo.

2ª Posição

Em pé, os nadadores adoptavam a seguinte posição: o corpo em total extensão, MI juntos e em extensão, com os MS em extensão ao lado do tronco e o olhar dirigido para a frente. Após os nadadores adoptarem esta posição eram fotografados de um plano superior, a cerca de 3m do solo.

Em cada fotografia foi colocada uma régua, graduada em centímetros, à altura da cabeça do nadador, para posterior calibração, das dimensões da imagem.

Utilizando uma rotina desenvolvida no programa Matlab versão 7.0, delimitamos o perímetro da área a calcular em cada fotografia e, através da decomposição desta num sistema de triângulos, calculamos a respectiva área (Figura 8). Realizamos este procedimento três vezes e o valor final para cada nadador é dado pela média dos três resultados obtidos.

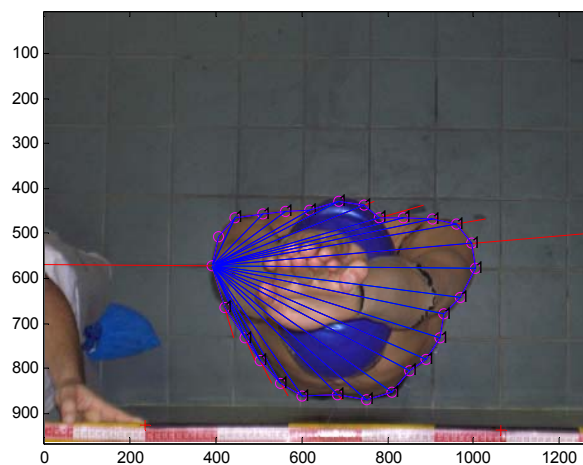


Figura 8: Cálculo da área de secção transversal através da decomposição da área da imagem num sistema de triângulos.

4.3.3. Determinação do Coeficiente de Arrasto

Depois de conhecido S , o valor do coeficiente de arrasto passivo foi calculado utilizando a equação

$$C_D = 2D/\rho SV^2 \quad (4)$$

4.3.4. Tratamento Estatístico

Para efectuarmos o tratamento estatístico recorreremos aos programas SPSS (Statistical Package for the Social Science), versão 15.0 para Windows e Microsoft Excel.

Em termos de estatística descritiva foram calculadas os mínimos, máximos, médias e respectivos desvios padrão, das variáveis relevantes para o estudo.

Ao nível da estatística inferencial, visto que a amostra é reduzida, comparamos as médias provenientes de dois grupos independentes (masculino e feminino), através da aplicação do T-Teste para Medidas Independentes.

Para compararmos as diferenças de médias entre as duas posições de deslize, no mesmo sexo e no total da amostra, optámos pela aplicação do T-teste para Medidas Repetidas.

As diferenças entre os valores, em ambos os testes, foram consideradas significativas para valor de $\alpha \leq 0.05$.

5. Apresentação dos Resultados

Primeiro apresentamos os resultados obtidos, através da planimetria, das áreas de secção transversal, na posição inicial (MS juntos e em extensão acima da cabeça) e final (MS em extensão ao lado do corpo) da braçada subaquática de braços, bem como as respectivas médias e desvio padrão.

Quadro 2: Valores da área de secção transversal da amostra total, média e desvio padrão (SD), para as duas posições de deslize em estudo.

S* Área de secção transversal na posição de decúbito ventral, com os MS juntos e em extensão acima da cabeça – (posição inicial da braçada subaquática de braços).

S** Área de secção transversal na posição de decúbito ventral com os MS em extensão ao lado do corpo – (posição final da braçada subaquática de braços).

	NADADOR	S* (cm ²)	S**(cm ²)
Sexo Masculino	1	971.13	942.10
	2	719.73	886.91
	3	641.70	668.47
	4	689.17	769.24
	Média	755.43	816.68
	S.D.	147.33	122.31
Sexo Feminino	5	817.98	857.35
	6	775.91	782.01
	7	723.30	773.38
	8	658.72	751.58
	9	733.14	777.90
	10	590.90	607.51
	Média	716.66	758.29
S.D.	81.56	82.18	
Total	Média	732.17	781.65
	S.D.	106.458	98.228

Quadro 3: Valor de prova do T-Teste para medidas repetidas, para as diferenças entre S* e S**; S* masculino e S** masculino; S* feminino e S** feminino. E os valores de prova do T-Teste para medidas independentes, para as diferenças entre S* masculino e S* feminino e para S** masculino e S** feminino.

S		
	S*	S**
p	0.018 [#]	
S*		
	Feminino	Masculino
p	0.603	
S**		
	Feminino	Masculino
p	0.308	
Masculino		
	S*	S**
p	0.239	
Feminino		
	S*	S**
p	0.020 [#]	

S* Área de secção transversal na posição de decúbito ventral, com os MS juntos e em extensão acima da cabeça – (posição inicial da braçada subaquática de braços).

S** Área de secção transversal na posição de decúbito ventral com os MS em extensão ao lado do corpo – (posição final da braçada subaquática de braços).

[#] Diferenças estatisticamente significativas para $p \leq 0.05$

Tal como podemos constatar nos quadros 2 e 3 a média total para a área de secção transversal da amostra é significativamente superior na posição de decúbito ventral com os MS ao longo do corpo, verificando-se o mesmo para o sexo feminino. No sexo masculino as diferenças não são estatisticamente significativas.

No que diz respeito aos coeficientes de arrasto hidrodinâmico (C_D), apresentamos no quadro 4, os resultados obtidos para cada nadador e para o total da amostra, relativamente os valores mínimos, máximo, média e desvio padrão. Os coeficientes de arrasto hidrodinâmico (C_D) são apresentados quer

para o deslize com os MS em extensão acima da cabeça, quer para a posição de deslize com os MS ao lado do corpo.

Quadro 4: Valores do coeficiente de arrasto hidrodinâmico (C_D) do total da amostra, bem como os valores mínimos (Min), máximo (Max.), média e desvio padrão (SD).

C_D^* - Coeficiente de arrasto hidrodinâmico na posição de deslize, com os MS em extensão acima da cabeça.

C_D^{**} - Coeficiente de arrasto hidrodinâmico na posição de deslize, com os MS em extensão ao lado do corpo.

		C_D^*	C_D^{**}
Sexo Masculino	1	0.39	0.60
	2	0.30	0.45
	3	0.41	0.44
	4	0.22	0.24
	Min.	0.22	0.24
	Max.	0.41	0.60
	Média	0.33	0.43
SD	0.088	0.148	
Sexo Feminino	5	0.31	0.33
	6	0.07	0.69
	7	0.15	0.66
	8	0.33	0.35
	9	0.05	0.42
	10	0.41	0.55
	Min.	0.05	0.33
Max.	0.41	0.69	
Média	0.22	0.5	
SD	0.150	0.156	
Total	Min.	0.05	0.24
	Max.	0.41	0.69
	Média	0.26	0.47
	SD	0.135	0.148

Através da análise inferencial procedemos à comparação das médias das diferentes variáveis em estudo.

Quadro 5: Valor de prova do T- teste para medidas repetidas, para as diferenças entre C_D^* e C_D^{**} , assim como de C_D^* feminino e C_D^{**} feminino e para C_D^* masculino e C_D^{**} masculino. E os valores de prova do T-Teste para medidas independentes, para as diferenças entre C_D^* masculino e C_D^* feminino e para C_D^{**} masculino e C_D^{**} feminino.

C_D		
	C_D^*	C_D^{**}
p	0.015 [#]	
C_D^*		
	Feminino	Masculino
p	0.227	
C_D^{**}		
	Feminino	Masculino
p	0.514	
Masculino		
	C_D^*	C_D^{**}
p	0.114	
Feminino		
	C_D^*	C_D^{**}
p	0.045 [#]	

[#] Diferença estatisticamente significativa para $p \leq 0.05$

Pela observação do quadro 4 podemos constatar que todos os nadadores que constituem a nossa amostra têm um coeficiente de arrasto hidrodinâmico na posição de decúbito ventral com os MS ao lado do corpo superior, quando comparada com o coeficiente de arrasto hidrodinâmico na posição de decúbito ventral com os MS em extensão acima da cabeça. No entanto só existem diferenças estatisticamente significativas entre os valores do coeficiente de arrasto nas duas posições para o total da nossa amostra e entre o sexo feminino, sendo o C_D^{**} estatisticamente superior a C_D^* (Conf. Quadro 5).

Assim, no que concerne ao C_D , do total da nossa amostra, parece-nos importante referir a maior variabilidade dos resultados encontrada ao nível de C_D^{**} . Este facto é corroborado pela comparação dos valores máximos e

mínimos e desvios padrão (Conf. Quadro 4). Assim como a média, o desvio padrão é superior em C_D^{**} .

Analisando as diferenças intersexuais nos valores de C_D^* , verificamos que a média do sexo masculino é superior à do sexo feminino, verificando-se o inverso no que diz respeito ao desvio padrão. No entanto as diferenças não se revelam estatisticamente significativas.

Relativamente às diferenças intersexuais nos valores de C_D^{**} , observamos que tanto a média como o desvio padrão, são superiores no sexo feminino quando comparadas com o sexo masculino, não sendo diferenças estatisticamente significativas.

Observando o quadro 5, podemos verificar que existem diferenças estatisticamente significativas no sexo feminino entre C_D^* e C_D^{**} . O sexo feminino apresenta um valor de C_D^* significativamente inferior a C_D^{**} .

6. Discussão dos Resultados

Analisando as áreas de secção transversal dos nadadores que constituem a nossa amostra, podemos verificar que apenas um nadador apresenta uma área de secção transversal na posição final da braçada subaquática de braços inferior à área de secção transversal na posição inicial da braçada subaquática de braços, o que se poderá justificar eventualmente pelo acentuado desenvolvimento dos músculos dorsais.

Os resultados obtidos no coeficiente de arrasto para as duas posições de deslize em estudo (posição de decúbito ventral com os MS em extensão acima da cabeça e a posição de decúbito ventral com os MS em extensão ao lado do corpo) vieram de encontro às nossas expectativas, comprovando a nossa hipótese inicial. O coeficiente de arrasto na segunda posição de deslize da braçada subaquática de braços é significativamente superior ao coeficiente de arrasto obtido para a primeira posição de deslize. No nosso entender, estas diferenças devem-se ao facto da área de secção transversal na segunda posição de deslize ser significativamente superior quando comparada com a primeira posição de deslize. As diferenças encontradas são estatisticamente significativas para $p \leq 0.05$.

Uma vez que para cada nadador utilizamos a mesma velocidade para o cálculo do coeficiente de arrasto nas duas posições de deslize, julgamos que as diferenças encontradas nos valores de C_D se devem ao aumento da área de secção transversal, evidente na segunda posição de deslize da braçada subaquática de braços. Chatard et al. (1990) verificaram que o crescimento de D_p se correlaciona positivamente com a área de secção transversal máxima. No entanto, o nadador 1, apresenta uma área de secção transversal inferior, na posição de decúbito ventral com os MS ao lado do corpo mas obtivemos um valor superior no C_D^{**} . Julgámos que uma das possíveis causas seja a inadequada profundidade de deslize. Segundo Larsen et al. (1981), o arrasto decresce em imersão com a profundidade, sendo tanto menor o C_D quanto

mais elevada for a razão profundidade/comprimento total do corpo. De acordo com alguns autores, o deslize deve ser realizado a profundidades superiores a 50cm, dependendo das dimensões lineares do nadador.

Nos resultados obtidos para os dois valores de C_D (Conf. Quadro3), observamos que duas nadadoras se destacam pelos seus valores de C_D^* serem bastante inferior quando comparado com os restantes nadadores. Julgámos que estas diferenças se devem à boa posição hidrodinâmica adoptada pelas nadadoras em questão.

O nadador 4 apresenta o valor mais baixo de C_D^{**} , julgámos que o facto de a velocidade de cálculo deste nadador ser consideravelmente superior à dos restantes nadadores possa influenciar estes resultados, pois durante o cálculo do C_D verificamos que o C_D diminui com o incremento da velocidade.

As diferenças nos resultados obtidos para as diferenças intersexuais do valor de C_D^* e de C_D^{**} não são estatisticamente significativas, talvez possa ser influenciado pelo facto de não existirem diferenças estatisticamente significativas entre as diferenças intersexuais de S^* e S^{**} .

Relativamente às diferenças encontradas para o sexo feminino entre os valores de C_D^* e C_D^{**} , verificámos que estas são estatisticamente significativa, estes valores poderão ter sido influenciados pelos baixos valores de C_D^* de duas nadadoras. Por outro lado, estas diferenças podem estar relacionadas com o facto de que apenas as raparigas obtiveram diferenças estatisticamente significativas para S^* e S^{**} .

7. Conclusões

De acordo com o objectivo formulado inicialmente, podemos concluir que:

- O C_D da posição inicial da braçada subaquática de braços (1º deslize) é significativamente inferior ao C_D da posição final da braçada subaquática de braços (2º deslize), mas estas diferenças são especialmente notáveis nos sujeitos do sexo feminino.
- A área de secção transversal na posição inicial da braçada subaquática de braços é significativamente inferior à área de secção transversal da posição final da braçada subaquática de braços, estas diferenças são especialmente notáveis nos sujeitos do sexo feminino.

8. Bibliografia

Alley, L. E. (1952). An analysis of water resistance and propulsion in swimming. *Res. Quart.*, 23: 253-270.

Amadio, A.C. (1996). *Fundamentos Biomecânicos para análise do movimento humano*. São Paulo: Ed. Lab. Biomecânica – EEFUSP.

Atha, J. (1990). Developments in the SSR. Workshop: An Expert system on PC for education of coaches and evaluation of swimmers. Satellite meeting of the V International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming. Sds, Ilokul, Leuven, Belgium.

Chatard, J.; Lavoie, J.; Bourgoin, B. e Lacour, J. (1990). The Contribution of Passive Drag as a Determinant of Swimming Performance. *Int. J. Sports Medicine*. 11(2):367-372.

Clarys, J. (1979). Human Morfology and Hidrodinamics. J. Terauds (Eds), *Swimming sciense III* , 3-41. University Park Press Baltimore.

Colwin, C. (1992). *Swimming into the 21st century*. Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics Publishers.

Costill, D.; Maglischo, E.; Richardson, A. (1992). *Swimming*. Oxford, England: Blackwell Scientific Publications.

Counsilman, J.E. (1986). *The Complete Book of Swimming*. Atheneum. New York.

D'Acquisto, L.; Costill, D.; Gehlsen, G.; Wong-Tai Y.; Lee, G. (1988). Breastroke economy skill and performance: study of breastroke mechanics using a computer based "velocity video". *J. Swim. Res.* 4: 9-14.

Dubois-Reymond, R. (1905). Zum physiologie des schwimmens. *Archive für anatomye und physiologie (abteilung physiologie)*, XXIX: 252-274.

Fédiaevski, C.; Voitkounski, I. e Faddéev, Y. (1979). *Mecânica dos fluidos*. Porto: Lopes da Silva.

Fernandes, R.; Marinho, D.; Figueiredo, J.; Ramos, L.; Mota, J.; Morouço, P.; Barbosa, V. e Soares, D. (2002). Deslize após partidas e viragens em natação pura. *Revista Digital*. (54), disponível em <http://www.efdeportes.com/>.

Goya, T.; Sugiura, K.; Matsui, A.; Hideki, T.; Oghi, Y.; Tsurumine, O.; Takahashi, S.; Ogai, Y. (2002). Forces and image analysis on gliding motion for beginning and competitive swimmers. *Book of Abstracts of the IXth Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 81. Saint-Etienne, France

Guimarães, A.; Hay, J. (1985). A mechanical analysis of the grab starting technique in swimming. *Int. J. of Sports Biomechanics*, 4: 25 – 35.

Hay, J. (1988). The status of research on the biomechanics of swimming. B. Ungerechts, K, Wilke, K. Reischle (eds), *Swimming Science V*, 3-14. Human Kinetics. Champaign, Illinois.

Haljand, R. (2002a). Modelo f breaststroke turn technique. Disponível em http://www.swim.ee/models/breast_turn1html

Karpovich, P. V. (1933). Water resistance in swimming. *Res. Quart.*, 4: 21-28.

Kolmogorov, S.; Duplischeva. O. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hidrodinamics force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *J. of Biomechanics*. 25 (3):311-318.

Kolmogorov, S.; Rumyantseva, O.; Gordon, B. And Cappaert, J. (1997). Hydrodynamics characteristics of Competitive Swimmers of Different Genders and Performance Levels. *J. of Applied Biomechanics*. 13:88-97

Larsen, O.W.; Yancher, R.P. e Baer, C.L.H. (1981). Boat design and swimming performance. *Swim. Tech*. 18 (2): 38-44.

Liljestrand G. e Stenström, N. (1919). Studiën uber die physiologie des chwimmers. *Scand. Arch. Physiol*. 39: 1-63.*

Lima, A. (2006). *Conhecimento de resultados e eficiência no treino da técnica em natação: concepção, desenvolvimento e avaliação de um sistema de biofeedbacks para o treino da técnica em nadadores*. Porto: A. Lima. Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.

Maglischo, E.W. (1982). *Swimming Faster*. Palo Alto: Mayfield Publishing Company.

Maglischo, E.W. (1993). *Swimming Even Faster*. Mountain View California: Mayfield Publishing Company

Maglischo, E.W. (2003). *Swimming Fastest*. Mountain View California, USA: Mayfield Publishing Company.

Mollendorf, J. C.; Albert, C. T. ; Eric, O., Pendergast, D. R. (2004). Effect os Swim Suit Design on Passive Drag. *Med. Sci. Sports Exerc*. 36(6): 1029-1035.

Navarro, F. (1990). *Hacia el dominio de la Natation*. Madrid: Gymnos editorial.

Nistri, M. (1982). Resistenza frontale e forma del corpo. *La Tecnica del Nuoto*: 4-7.

Rushall, B.S., L.E. Holt, E.J. Springings and J.M. Cappaert. A re-evaluation of forces in swimming. *J.I of Swim. Research*. 10:6-30, 1994.

Sanders, R.; Rushall, B.; Toussaint, H. M.; Stager, J. e Takagi, H. (2001). Bodysuit yourself: but first think about it. *Journal of Turbulence*: disponível em [Http://www.iop.org/journals/s/3/138/jot/estra/20.d](http://www.iop.org/journals/s/3/138/jot/estra/20.d)

Taiar, R.; Sagnes, P.; Henry, C.; Dufour, A. e Rouard, A. (1999). Hydrodynamics optimization in butterfly swimming: position, drag coefficient and performance. *Journal of Biomechanics*. 32(8): 803-810.

Termin, B.; Pendergast, D. (1998). The Breaststroke pull-out technique: How to optimize performance. *Swim Technique*, 4(34):41-46.

Toussaint,H. And Berg,V.(2000). Comments on: Hydrodynamics optimization in butterfly swimming position, drag coefficient and performance. *J. of Biomechanics*. 33: 507-508

Toussaint, H. M. (2002). The “Fast-Skin” body suit: hip, hype but does it reduce drag during front crawl swimming?: K.E. Gianikellis; B.R. Mason; H.M. Toussaint; R. Arellano and R.H. Sanders *Scientific Proceedings – Applied Program - XXth International Symposium on Biomechanics in Sports - Swimming*, pp. 15-24. Caceres, Spain, University of Extramedura.

Toussaint, H. M. ; Roos, P. E. e Kolmogorov, S. (2004). The determination of drag in front crawl swimming. *J. of Biomechanics*. 37:1655-1663.

Vilas-Boas, J.P. (1993). *Caracterização biofísica de três variantes da técnica de braços*. Porto: J.P. Vilas-Boas. Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.

Vilas-Boas, J. P. (1997a). Bases mecânicas da natação.: R. Fernandes, J. V. Santos Silva e J. P. Vilas-Boas. *Natação: vivências específicas e conhecimentos teóricos básicos. Colectânea de textos*, pp. 281-352. AE da FCDEF-UP. Porto.

Vilas-Boas, J. P. (1997b). *O estado actual da investigação científica sobre técnica desportiva em natação. 17º Congreso da Asociacion Española de Técnicos de Natación e 4º Congreso Ibérico*. Camargo, Cantabria, España.

Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R.; Kolmogorov, S. (2001a). Arrasto hidrodinâmico activo e potência mecânica máxima em nadadores pré – juniores de Portugal. *Rev. Port. de Ciências do Desporto*. 1(3): 14-21