



Universidade do Porto  
Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física

**CUSTO ENERGÉTICO E VARIAÇÃO INTRACÍCLICA DA  
VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DO CENTRO DE MASSA  
NA TÉCNICA DE COSTAS**

Ana dos Santos Portela

Porto, 2005



Universidade do Porto  
Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física

**CUSTO ENERGÉTICO E VARIAÇÃO INTRACÍCLICA DA  
VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DO CENTRO DE MASSA  
NA TÉCNICA DE COSTAS**

Monografia realizada no âmbito da disciplina de Seminário, do 5º ano do Curso de Licenciatura em Ciências do Desporto e de Educação Física, da Opção Complementar de Desporto de Rendimento – Natação.

Orientador: Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas

Co-Orientador: Mestre Ricardo Fernandes

Autor: Ana Portela

Porto, 2005

## Agradecimentos

---

Um trabalho desta natureza e o facto de se traduzir num culminar de vários anos de vida académica, envolve sempre muitas pessoas a quem nos apraz agora agradecer.

Gostava de começar pelo agradecimento ao orientador da monografia, o Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas, pelo permanente interesse demonstrado, sugestões, ajuda e críticas apresentadas, que permitiram um melhor desenvolvimento deste trabalho.

De igual forma, ao Mestre Ricardo Fernandes, co-orientador deste trabalho, em primeiro lugar, por ter sido um dos responsáveis pelo meu enveredar pelos caminhos da Natação. Depois, pela ajuda e disponibilidade demonstrada neste trabalho, principalmente no âmbito dos dados bioenergéticos.

Agradeço em especial, ao Engenheiro Pedro Gonçalves, por todas as noites em que nos retirou as imensas dúvidas da mais diversa natureza, nomeadamente nos processos de digitalização dos dados, tratamento estatístico e outras ajudas de âmbito informático.

Ao Dr. Lima, pelas orientações iniciais em termos dos processos de tratamento de vídeo e de digitalização e pelo interesse demonstrado sempre no desenrolar do trabalho.

À Ana Balonas, ao Daniel Novais e ao Francisco Lima, cujo trabalho conjunto ao nível da análise de vídeo, possibilitou que este passo fosse menos moroso e proveitoso para todos nós. De igual forma, agradeço à Vera Faria, pela colaboração prestada ao nível dos dados bioenergéticos.

Não podia ainda esquecer a importância dos colegas e particularmente do orientador de estágio, cujo trabalho cooperante e compreensão, permitiram que nenhuma das tarefas inerentes ao 5º ano da licenciatura ficasse para trás.

Um agradecimento muito especial ao Francisco, pela sua importante presença quando as minhas escolhas académicas pareciam as erradas, quando a auto-confiança se esvanecia e quando as alegrias precisavam ser partilhadas. Também pelo seu incentivo e espaço confortante que ofereceu,

particularmente nos momentos de maiores desvairios na elaboração deste trabalho. Ainda e principalmente por me compreender.

Por fim, agradeço aos meus pais, que pelas suas constantes insatisfações, me incentivaram a procurar sempre ser melhor. Que, pelas suas formas de estar e de viver, se têm mostrado os meus principais exemplos a seguir. Que pelo seu apoio incondicional, me fizeram chegar até aqui.

## Índice geral

---

Agradecimentos .....	I
Índice geral.....	III
Índice de figuras .....	V
Índice de quadros.....	VI
Resumo.....	VII
Abstract.....	VIII
Resumé.....	IX
Abreviaturas e símbolos.....	X
1. Introdução .....	1
2. Revisão da literatura .....	3
2.1. Enquadramento teórico.....	3
2.2. Factores bioenergéticos.....	4
2.3. Economia de nado e custo energético.....	5
2.4. Custo energético e factores condicionantes .....	6
2.4.1. Custo energético e velocidade .....	7
2.4.2. Custo energético, arrasto hidrodinâmico e eficiência propulsiva.....	8
2.4.3. Custo energético e variações intracíclicas da velocidade de nado .	10
2.4.3.1. Estudos acerca do custo energético e variações intracíclicas da velocidade de nado .....	11
3. Objectivos e hipóteses .....	13
4. Material e métodos.....	14
4.1. Caracterização da amostra.....	14
4.2. Metodologia .....	14
4.2.1. Preparação da amostra.....	15
4.2.2. Protocolo .....	15
4.2.3. Recolha e análise dos dados .....	16
4.2.3.1. Dados bioenergéticos .....	16
4.2.3.2. Dados biomecânicos .....	18
4.2.4. Procedimentos estatísticos .....	19
5. Apresentação dos resultados .....	21

6. Discussão dos resultados.....	33
7. Conclusões.....	39
8. Bibliografia.....	40
Anexos .....	XI
Anexo 1. Valores médios de $v$ , $d_v$ , $\dot{E}$ e $C$ , por nadador e patamar .....	XI

## Índice de figuras

---

Figura 1. Oxímetro (K4 b <sup>2</sup> ). .....	17
Figura 2. Válvula respiratória.....	17
Figura 3. Recolha de sangue capilar.....	17
Figura 4. Analisador de lactatemia Yellow Springs Incorporated. ....	17
Figura 5. Câmaras em plano sagital.....	18
Figura 6. Mesa de mistura Panasonic Digital Mixer. ....	18
Figura 7. Regressão linear entre $dv$ e $v$ para a amostra total.....	22
Figura 8. Regressão linear entre $dv$ e $v$ , para os sujeitos da amostra.....	23
Figura 9. Regressão linear entre $\dot{E}$ e $v$ (A) e entre $\dot{E}$ e $v^3$ (B).....	24
Figura 10. Regressão linear entre $\dot{E}$ e $v$ para os sujeitos 1 e 2 e entre $\dot{E}$ e $v^3$ para os sujeitos 3, 4 e 5. ....	25
Figura 11. Regressão linear entre $C$ e $v$ para a amostra total. ....	27
Figura 12. Regressão linear entre $C$ e $v$ para os sujeitos 1 e 2 e entre $C$ e $v^2$ para os sujeitos 3, 4 e 5. ....	28
Figura 13. Regressão linear entre $C$ e $dv$ para a amostra total.....	29
Figura 14. Regressão linear entre $C$ e $dv$ , para os sujeitos da amostra.....	30

## Índice de quadros

---

Quadro 1. Caracterização geral da amostra. ....	14
Quadro 2. Valores médios de $v$ , $dv$ , $\dot{E}$ e $C$ para a amostra total.....	21
Quadro 3. Regressão linear entre $dv$ e $v$ , por nadador e média amostral.....	22
Quadro 4. Regressão linear entre $\dot{E}$ e $v$ , por nadador e média amostral. ....	24
Quadro 5. Regressão linear entre $\dot{E}$ e $v^3$ , por nadador e média amostral.....	24
Quadro 6. Regressão linear entre $C$ e $v$ , por nadador e média amostral. ....	26
Quadro 7. Regressão linear entre $C$ e $v^2$ , por nadador e média amostral.....	26
Quadro 8. Regressão linear entre $C$ e $dv$ , por nadador e média amostral. ....	29
Quadro 9. Regressão linear de $C$ com $v$ e $dv$ , por nadador e para a média amostral. ....	31
Quadro 10. Correlação parcial entre $C$ e $dv$ , controlando $v$ , por nadador e para a média amostral.....	31
Quadro 11. Correlação parcial entre $C$ e $v$ , controlando $dv$ , por nadador e para a média amostral.....	32
Quadro 12. Custo energético em nadadores de Costas, em vários estudos. ...	34

## Resumo

---

O objectivo deste estudo foi relacionar o custo energético (C) com as variações intracíclicas da velocidade (dv) de nado, na técnica de Costas. Para isso, os 5 nadadores (de nível nacional e de selecção nacional) que constituíram a amostra, efectuaram 5 a 6 repetições de 200m de intensidade progressiva, com 30 segundos de intervalo de recuperação. O consumo de oxigénio foi medido respiração a respiração através de um oxímetro portátil (K4 b<sup>2</sup>, Cosmed, Italy). Foi utilizada uma válvula respiratória com uma baixa resistência hidrodinâmica, para recolher as amostras dos gases respiratórios. Foram ainda recolhidas amostras de sangue capilar do lóbulo da orelha, em repouso, entre repetições e no final do protocolo aos minutos 1, 3, 5 e 7, para permitir a análise da lactatemia (Yellow Springs Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA). O dispêndio energético ( $\dot{E}$ ) e o C foram calculados para todos os sujeitos e para a média amostral, por repetição realizada. Os percursos foram registados em imagens de vídeo, em plano sagital, durante os 100, 125 e 150m de cada repetição, usando-se duas câmaras colocadas acima e abaixo da superfície da água, que permitiram obter imagens de duplo meio. Para analisar as dv do centro de massa, foi utilizado o programa APAS (Ariel Dynamics Inc, USA). Como principais resultados verificamos: (i) a inexistência de relações estatisticamente significativas entre as dv e a velocidade (v); (ii) um aumento linear de  $\dot{E}$  com v em termos médios ( $r^2=0.449$ ,  $p\leq 0.001$ ) e para 2 sujeitos ( $0.963\leq r^2\leq 0.983$ ,  $0.001\leq p\leq 0.01$ ), e cúbico para 3 sujeitos ( $0.846\leq r^2\leq 0.970$ ,  $0.01\leq p\leq 0.05$ ); (iii) um aumento linear de C com v em termos médios ( $r^2=0.158$ ,  $p\leq 0.05$ ) e para 2 sujeitos ( $0.893\leq r^2\leq 0.926$ ,  $0.01\leq p\leq 0.05$ ), e quadrático para 3 sujeitos ( $0.764\leq r^2\leq 0.894$ ,  $p\leq 0.05$ ); (iv) um aumento de C associado significativamente a maiores dv, embora com um baixo valor de correlação ( $r^2=0.149$ ,  $p\leq 0.05$ ). Conclui-se que a v parece influenciar mais C do que as dv e que estes dois aspectos não explicam toda a variação em C.

**Palavras-chave:** técnica de costas; variação intracíclica de velocidade de nado; custo energético; centro de massa.

## Abstract

---

The purpose of this study was to examine the relationship between energetic cost ( $C$ ) and intra-cycle variation of the velocity of displacement ( $dv$ ), in backstroke. Each of the five subjects (national level and national team swimmers) performed an incremental test of 200m (5 to 6 sets), with 30 seconds for recovery. Oxygen consumption was measured breath-by-breath by portable metabolic cart (K4 b<sup>2</sup>, Cosmed, Italy). A respiratory snorkel and valve system with low hydrodynamic resistance was used to collect breathing air samples. Capillary blood samples from the ear lobe were collected before and after each swim and when test ended (1, 3, 5 and 7 minutes), to analyze blood lactate concentration (Yellow Springs Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA). Energy expenditure ( $\dot{E}$ ) and  $C$  were calculated for each swim, swimmer and sample mean. The swimmers were videotaped in sagittal plan with a set of two cameras providing dual projection from both underwater and above the water surface. APAS (Ariel Dynamics Inc, USA) was used to analyse  $dv$  for the centre of mass. Results showed: (i) non existence of significant statistic relationship between  $dv$  and velocity ( $v$ ); (ii) a linear increase of  $\dot{E}$  with  $v$  for the sample mean values ( $r^2=0.449$ ,  $p\leq 0.001$ ) and for 2 of the subjects ( $0.963\leq r^2\leq 0.983$ ,  $0.001\leq p\leq 0.01$ ), and a cubic relation for the 3 other subjects ( $0.846\leq r^2\leq 0.970$ ,  $0.01\leq p\leq 0.05$ ); (iii) a linear increase of  $C$  with  $v$  for the sample mean values ( $r^2=0.158$ ,  $p\leq 0.05$ ) and for 2 of the subjects ( $0.893\leq r^2\leq 0.926$ ,  $0.01\leq p\leq 0.05$ ), and a cubic relation for the 3 other subjects ( $0.764\leq r^2\leq 0.894$ ,  $p\leq 0.05$ ); (iv) an increase of  $C$  significantly associated with an increase of  $dv$ , but with low correlation values ( $r^2=0.149$ ,  $p\leq 0.05$ ). It is concluded that  $v$  seems to influence more  $C$  than  $dv$  and that these two aspects do not explain all the variation in  $C$ .

**Key words:** backstroke; velocity fluctuation, energy cost, centre of mass.

## Resumé

---

L'objectif de cette étude a été analyser la relation entre le coût énergétique (C) et les variations intracyclique de la vitesse (dv) de nage, dans la technique de dos crawlé. Pour cela, les 5 nageurs (de niveau national et de sélection nationale) qui ont constitué l'échantillon, ont effectué 5-6 répétitions de 200m d'intensité progressive, avec 30 secondes d'intervalle de récupération. La consommation d'oxygène a été mesurée de la respiration à travers un oxymètre portable (K4 b<sup>2</sup>, Cosmed, Italy). A été utilisée une valve respiratoire avec une basse résistance hydrodynamique, pour derassembler les échantillons des gaz respiratoires. Encore ont été enlevés des échantillons de sang capillaire du lobe de l'oreille, dans repos, entre répétitions et à la fin du protocole aux minutes 1, 3, 5 et 7, pour permettre analyse la lactacidemie (Yellow Springs Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA). La dépense énergétique (Ė) et le C ont été calculés pour tous les sujets et pour la moyenne l'échantillon, par répétition réalisée. Les nageurs ont été filmés dans plan sagittal pendant les 100, 125 et 150m de chaque répétition, s'utilisant deux appareils-video placées ci-dessus et au-dessous de la surface de l'eau, qui ont permis d'obtenir des images de double moyen. Pour analyser dv du centre de masse, a été utilisé le programme APAS (Ariel Dynamics Inc, USA). Comme principaux résultats nous vérifions: (i) l'inexistence de relations statistiquement significatives entre dv et la vitesse (v); (ii) une augmentation linéaire de Ė avec le v dans des termes moyens ( $r^2=0.449$ ,  $p\leq 0.001$ ) et cubique dans des termes individuels ( $0.846\leq r^2\leq 0.978$ ,  $0.001\leq p\leq 0.05$ ); (iii) une augmentation linéaire de C avec le v dans des termes moyens ( $r^2=0.158$ ,  $p\leq 0.05$ ) et individuels ( $0.737\leq r^2\leq 0.926$ ,  $0.01\leq p\leq 0.05$ ); (iv) une augmentation de C s'est associée de manière significative à une augmentation de dv, bien qu'avec de basses valeurs de corrélation ( $r^2=0.149$ ,  $p\leq 0.05$ ). Il se conclut que v semble influencer plus C dont dv et que ceux-ci deux aspects n'expliquent pas toute la variation dans C.

**Mots-clé:** dos crawlé, variation intracyclique de la vitesse de nage, coût énergétique, centre de masse.

## Abreviaturas e símbolos

---

NPD – natação pura desportiva

$e_p$  – eficiência propulsiva

D – força de arrasto hidrodinâmico

$\dot{E}$  – dispêndio energético

C – custo energético

v – velocidade

dv – variações intracíclicas de velocidade

$e_{pt}$  – eficiência mecânica propulsiva total

E – economia de nado

$\dot{w}$  – potência

VO<sub>2</sub> – consumo de oxigénio

R – quociente respiratório

r – coeficiente de correlação

$r^2$  – coeficiente de determinação

## 1. Introdução

---

Actualmente, em Natação Pura Desportiva (NPD) observam-se preocupações quer em termos de quantidade, quer, mais recentemente, em termos da qualidade do treino. Desta forma, para que as performances sejam cada vez melhores, nenhum factor influenciador do rendimento deve ser esquecido e todos deverão ser alvo de atenção.

Os factores bioenergéticos e os biomecânicos (que incluem a técnica e factores morfológicos) parecem ser os que mais atenções despertam (Vilas-Boas, 1997), não fossem ser os mais explícitos na equação geral da performance do nadador, desenvolvida por di Prampero et al. (1974), Rennie et al. (1975), Pendergast et al. (1977), Pendergast et al. (1978) e Holmér (1983).

Um dos principais objectivos em NPD é nadar-se o mais economicamente possível (van Handel et al., 1988; Chatard et al., 1990; Smith et al., 2002), o que implica uma maior eficiência propulsiva ( $e_p$ ), um menor arrasto ( $D$ ), e um também menor dispêndio energético ( $\dot{E}$ ) (Vilas-Boas, 2000).

Desta forma, os factores de natureza biomecânica e bioenergética parecem estar amplamente relacionados.

O custo energético ( $C$ ), o inverso da economia de nado (Pendergast et al., 1977), parece estar bastante relacionado com a velocidade ( $v$ ) de nado, aumentando com o aumento desta, principalmente devido ao arrasto hidrodinâmico (Pendergast et al., 1978; di Prampero, 1986; Klentrou e Montpetit, 1992; Alves et al., 1996).

No entanto, a maiores velocidades parece existir uma maior eficiência propulsiva, nomeadamente devido a menores variações intracíclicas da velocidade de nado ( $dv$ ) (di Prampero et al., 1974; Kornecki e Bober, 1978; Vilas-Boas, 1996; Martins-Silva et al., 1999), contrapondo-se desta forma ao efeito negativo do arrasto hidrodinâmico sobre o custo energético (Pendergast et al., 1978; di Prampero, 1986; Klentrou e Montpetit, 1992; Alves et al., 1996).

Por este motivo, quanto maiores forem as variações intracíclicas da velocidade, maior será o trabalho a ser realizado (Nigg, 1983) e,

consequentemente, maior será o C (Vilas-Boas, 1996; Alves et al., 1996; Barbosa et al., 2005).

Apesar disso, poucos estudos demonstraram a nível prático esta evidência e, nos realizados, os resultados nem sempre foram claros ou conclusivos, para além das metodologias utilizadas não serem as mais actuais.

Por estes motivos, propomo-nos a realizar uma análise da relação entre as variações intracíclicas da velocidade do centro de massa e o custo energético, na técnica de costas.

Começaremos então por realizar uma breve revisão da literatura onde pretendemos verificar o estado do conhecimento acerca das principais variáveis em estudo, nomeadamente do dispêndio energético, do custo energético e principais factores influenciadores, das variações intracíclicas da velocidade e terminando com os estudos relativos à relação entre as variações intracíclicas da velocidade e o custo energético.

## 2. Revisão da literatura

---

### 2.1. Enquadramento teórico

Em Natação Pura Desportiva são vários os factores influenciadores do rendimento desportivo do nadador, apresentados por vários autores, como referem Fernandes e Vilas-Boas (2002), no seu artigo de revisão. De entre esses factores, referimos os bioenergéticos e biomecânicos, alvo de muitos estudos desde há algumas décadas e que, sem dúvida alguma, devem ser tidos em consideração na análise da prestação desportiva.

Aliás, a equação geral da performance do nadador, desenvolvida por di Prampero et al. (1974), Rennie et al. (1975), Pendergast et al. (1977), Pendergast et al. (1978) e Holmér (1983) e apresentada por Vilas-Boas (2000), espelha bem a importância destes dois factores:

$$v = \dot{E} \cdot (e_{pt} \cdot D^{-1}) \quad (1)$$

Onde:

- v – velocidade de nado
- $\dot{E}$  – dispêndio energético
- $e_{pt}$  – eficiência mecânica propulsiva total
- D – arrasto hidrodinâmico

Através desta equação, verificámos que a velocidade de nado está dependente do dispêndio energético, da eficiência mecânica propulsiva total e do arrasto hidrodinâmico.

A partir desta equação, podemos melhor esclarecer a relação entre estes diversos factores através da igualdade:

$$\dot{E} / v = D / e_{pt} \quad (2)$$

A equação (2) permite-nos assim referir a economia de nado (E) como uma medida da qualidade mecânica da técnica e da morfologia ( $E = e_{pt} / D$ ) do nadador e o custo energético como o seu inverso ( $C = D / e_{pt}$ ), ou seja, quanto

maior for a economia de nado, menor será o custo energético (Pendergast et al., 1977). Posteriormente esclareceremos melhor alguns destes conceitos.

Ao analisarmos a equação geral da performance do nadador, podemos então constatar que a capacidade de rendimento do nadador depende de factores que condicionam a acessibilidade de energia para a realização de trabalho (designados por factores condicionais ou bioenergéticos) e dos factores que condicionam a qualidade do seu aproveitamento em velocidade de nado, ou seja, os factores biomecânicos (técnicos e morfológicos), como refere Vilas-Boas (1997).

A biomecânica e a bioenergética, parecem, assim, ser factores muito relacionados entre si e de extrema importância para o rendimento desportivo em NPD.

## **2.2. Factores bioenergéticos**

Para que o corpo se desloque na água, é necessário energia, sendo esta transformada a nível muscular (Toussaint e Hollander, 1994).

A energia disponível para o trabalho muscular depende essencialmente de duas fontes – uma anaeróbia e outra aeróbia, existindo ainda uma reserva energética rapidamente utilizável – a reserva de fosfagénios (Vilas-Boas, 2000). Cada um destes sistemas e reserva energéticas terá uma maior ou menor participação de acordo com a duração do exercício (Toussaint e Hollander, 1994).

No entanto, para além da mensuração das reservas energéticas disponíveis, deveremos saber quais as suas possibilidades de mobilização, transporte e utilização durante o exercício (Cazorla et al., 1984 cit. p/ Fernandes e Vilas-Boas, 2002).

De acordo com Vilas-Boas (2000), o trabalho muscular está dependente tanto da capacidade (maior ou menor quantidade de energia disponibilizável) como da potência (velocidade de disponibilização) de cada um dos sistemas energéticos.

Apesar da inequívoca contribuição tanto do sistema aeróbio como do anaeróbio durante o nado, as avaliações e estudos em NPD nem sempre contemplam os aspectos anaeróbios, já que normalmente só se tem em consideração o consumo de oxigénio, para além das avaliações serem feitas a velocidades submáximas, não observadas em competição (Costill et al., 1992; Capelli et al., 1998). No entanto, parece ser importante ter sempre em atenção tanto a participação aeróbia como a anaeróbia ao nível do fornecimento e disponibilização energética.

Esta importância também foi notada por di Prampero (1978) e daí que se tenha dedicado a perceber a contribuição do sistema anaeróbio no dispêndio energético. A partir dos seus resultados, tornou-se possível determinar o  $\dot{E}$  tendo em conta estas duas fontes energéticas (apesar de não necessariamente a contribuição relativa de cada uma delas), através do consumo de oxigénio e das concentrações sanguíneas de lactato.

### **2.3. Economia de nado e custo energético**

Ao atentarmos ao que referem Sano et al. (1992) relativamente à melhoria da performance com a idade, verificamos que esta se deve não só à melhoria dos sistemas de produção energética mas também às melhorias verificadas em termos da economia de nado.

Aliás, a economia de nado é considerada como uma das mais importantes determinantes da performance em natação (van Handel et al., 1988; Chatard et al., 1990; Smith et al., 2002) e, como vimos anteriormente, constitui o inverso do custo energético.

Tendo em conta que o  $C$  é o inverso da economia de nado, podemos referir que esta não é mais o que o dispêndio energético associado a uma determinada velocidade de nado (Smith et al., 1988 e Alves et al., 1996). Ou seja, um menor  $\dot{E}$  para velocidades superiores traduz-se numa melhor economia de nado (Alves et al., 1996).

Parece-nos, desta forma, possível aferir a economia de nado a partir do C, como aliás tem-se vindo a fazer desde há algumas décadas (Fernandes et al., submetido a publicação).

O custo energético poderá então ser definido como a quantidade de energia utilizada por unidade de distância (di Prampero, 1986).

#### **2.4. Custo energético e factores condicionantes**

Vários têm sido os estudos realizados em termos de C e diversos aspectos têm sido alvo de investigação, nomeadamente a comparação do C em diferentes técnicas de nado, níveis de proficiência, género e idade (Costill et al., 1992; Fernandes et al., submetido a publicação).

Montpetit et al. (1983) e di Prampero (1986) verificaram que os indivíduos do género masculino têm maiores C do que os do género feminino, justificando estas dissemelhanças nas diferenças em termos de dimensões e densidades corporais, com benefícios para o género feminino, que pelas suas características antropométricas, consegue uma maior fluabilidade horizontal, tornando-se assim os sujeitos mais económicos. Aliás, Klentrou e Montpetit (1992) referem que, quando se ajustam os resultados em termos das massas corporais dos sujeitos, as diferenças entre géneros parecem eliminarem-se. Apesar disso, já Pendergast et al. (1978) haviam verificado no seu estudo que os indivíduos do género feminino continuam a apresentar menores valores de C que os do género masculino, mesmo quando se tem em consideração as massas corporais, justificando as diferenças nas menores densidades corporais (razão entre a massa e o volume), com repercussões positivas em termos de arrasto hidrodinâmico e de eficiência propulsiva.

Relativamente às diferentes técnicas de nado, vários estudos também têm sido realizados, mostrando ser o crol a técnica mais económica, seguindo-se a técnica de costas, com uma diferença de cerca de 11 a 13% (Hólmer, 1974a; Hólmer, 1983; Smith et al., 1988; Klentrou e Montpetit., 1992; Capelli et al., 1998) e, em alguns casos, de 13 a 32% (Alves et al., 1996). O maior C verificado na técnica de costas comparativamente com o crol parece dever-se,

segundo Alves et al. (1996), a condições mecânicas mais desfavoráveis: (i) a pernada tem uma maior participação na técnica de costas, quer em termos propulsivos, quer para uma minimização do D, o que leva a uma maior massa muscular implicada e um conseqüente maior C e, (ii) existe uma maior variação intracíclica da velocidade, que resulta num aumento do trabalho realizado pelo nadador.

#### **2.4.1. Custo energético e velocidade**

A relação do C com a distância de nado, expressa na definição apresentada por di Prampero (1986), leva-nos a recordar o principal objectivo em NPD: percorrer uma determinada distância o mais rapidamente possível, sendo portanto a velocidade entendida como medida de rendimento desportivo (Nigg, 1983; Pendergast et al., 1977; Pendergast et al., 1978; Termin e Pendergast, 2000 e Hólmer, 1983).

Talvez por isso, as primeiras investigações realizadas no domínio do dispêndio energético procurassem analisar a relação deste com a velocidade (Lavoie e Montpetit, 1986).

Os vários estudos realizados mostram-nos um aumento do  $\dot{E}$  com o aumento da v. No entanto, parece não existir consenso relativamente ao tipo de aumento. Ou seja, alguns autores consideram existir uma relação exponencial entre  $\dot{E}$  e a v, principalmente a velocidades submáximas (Hólmer, 1983; Capelli et al., 1998), outros referem uma relação cúbica (Klentrou e Montpetit, 1992; Toussaint e Hollander, 1994; Kjendlie et al., 2004) e outros ainda referem que o  $\dot{E}$  aumenta linearmente com a velocidade (Montpetit et al., 1983; Toussaint et al., 1988; Smith et al., 1988; Chatard et al., 1990; Vilas-Boas e Santos, 1994; Vilas-Boas, 1996; Barbosa et al., 2005; Fernandes et al., submetido a publicação).

O facto de alguns autores terem encontrado uma relação linear e não exponencial ou cúbica entre estes dois factores poderá dever-se à eficiência propulsiva ser maior a velocidades elevadas, provavelmente devido às

menores variações intracíclicas da velocidade de nado (di Prampero et al, 1974; Kornecki e Bober, 1978; Vilas-Boas, 1996).

#### **2.4.2. Custo energético, arrasto hidrodinâmico e eficiência propulsiva**

Como vimos previamente, o principal objectivo em NPD é atingir a máxima velocidade para uma determinada distância. No entanto, para consegui-lo, não se depende exclusivamente da capacidade e potência dos sistemas energéticos, mas também da capacidade do nadador converter uma maior parte da energia química em energia mecânica (Cruz, 2003).

Uma parte da energia química é efectivamente convertida pelo nadador, através da contracção muscular, em energia mecânica (Cavanagh e Kram, 1985) e outra parte, na variação da energia cinética da água a ele adjacente (Toussaint, et al., 1988).

A relação aqui implícita entre os aspectos bioenergéticos e os biomecânicos, já anteriormente havia sido referida, já que o custo energético aumenta quando o arrasto hidrodinâmico é superior e diminui quando é maior a eficiência propulsiva ( $C = D / e_{pt}$ ).

Aliás, vários estudos apontam para uma muito menor  $e_{pt}$  em NPD comparativamente com modalidades terrestres, o que se repercutirá, obviamente, em termos de C. Em termos percentuais, o valor médio da  $e_{pt}$  em natação varia entre os 3 e os 10% (Hólmer, 1974a; Rennie et al., 1975; Pendergast et al., 1977; Toussaint et al., 1988), enquanto que na corrida ou ciclismo, por exemplo, a  $e_{pt}$  se aproxima dos 20% (Hólmer, 1974a). Ou seja, apenas uma percentagem muito reduzida da energia dispendida pelo nadador é usada para fins propulsivos (Vilas-Boas, 1997).

Este facto parece dever-se, antes de mais, à locomoção em NPD se dar num meio com características mecânicas muito próprias (fluido), o que trás dificuldades acrescidas nomeadamente na viabilização dos apoios para o deslocamento e porque o sujeito se depara com forças resistivas opostas ao deslocamento de intensidade e natureza inusuais (Vilas-Boas, 1997).

Holmér (1983) refere que o maior objectivo do trabalho propulsivo em NPD é vencer a resistência da água sobre o corpo, ou seja, o arrasto hidrodinâmico (D).

O D é uma força dinâmica dependente do tamanho, forma, posição e velocidade do corpo (di Prampero et al, 1974; Hólmer, 1974a; Hólmer, 1983). Através da equação (3) podemos identificar os vários factores que determinam o D, dos quais somente a v e S variam, sendo os restantes constantes.

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D v^2 S \quad (3)$$

Onde:

D – força de arrasto hidrodinâmico

$\rho$  – massa específica da água

$C_D$  – coeficiente de arrasto

v – velocidade de nado

S – área de secção máxima do corpo transversal à direcção da força D

A partir desta equação (3), parece evidente a influência da v sobre o D e, conseqüentemente sobre o C. Desta forma, podemos verificar que o D aumenta com o quadrado da velocidade, facto referido por um grande número de autores (di Prampero, 1974; Hólmer, 1974a; Hólmer, 1983; Nigg, 1983; di Prampero, 1986; Klentrou e Montpetit, 1992; Alves, 1996).

A influência negativa do D sobre o C, tão evidenciada na literatura (Pendergast et al., 1978; di Prampero, 1986; Klentrou e Montpetit, 1992; Alves et al., 1996), torna bem evidente a necessidade da sua minimização.

O aumento do D com a  $V^2$  parece ainda explicar uma relação cúbica entre o  $\dot{E}$  e a v, pois se a potência ( $\dot{w}$ ) é o produto entre o D e a v ( $\dot{w} = D.v$ ) e é ainda equivalente ao  $\dot{E}$ , então podemos referir que a relação entre o dispêndio energético e a velocidade é expressa pela expressão:

$$\dot{E} \approx k.v^3 \quad (4)$$

Onde:

$\dot{E}$  – dispêndio energético

k – constante

v – velocidade de nado

Quanto à área de secção do corpo, transversal à direcção da força D (S), ela pode ser agravada por faltas técnicas, como os desalinhamento horizontal e laterais, sendo por isso, consequência das constantes alterações corporais e segmentares durante o nado (Vilas-Boas, 1997).

### **2.4.3. Custo energético e variações intracíclicas da velocidade de nado**

As alterações posicionais dos segmentos corporais poderão ser responsáveis pelo corpo não se movimentar a velocidades constantes (Nigg, 1983).

No entanto, as variações da velocidade durante o nado, para além de serem influenciadas pelo arrasto hidrodinâmico, podem dever-se também às forças propulsivas aplicadas. Isto porque a velocidade de deslocamento é resultado de forças resistivas e propulsivas (Nigg, 1983), que mudam periodicamente durante o nado (Fujishima e Myashita, 1999). Maglischo et al. (1989) também nos fala destes períodos de aceleração e desaceleração em cada ciclo gestual, reportando-se aos vários estudos realizados desde a década de 60.

As implicações das variações da velocidade parecem ser claros para vários autores. Nigg (1983) refere que qualquer alteração na velocidade de nado resulta num aumento do trabalho. As variações da velocidade também se repercutem numa menor velocidade média e, conseqüentemente, em piores performances (Nigg, 1983; Fujishima e Myashita, 1999; Toussaint, 1988), pelo que a variação intracíclica da velocidade de nado ( $dv$ ) pode ser considerada um indicador de eficiência motora (Martins-Silva et al., 1999; Barthels e Adrian, 1975; Kornecki e Bober, 1978).

Vilas-Boas (1996) acrescenta que, se o nado não é constante, o nadador deve realizar um esforço extra para vencer as forças inerciais, o que se reflectirá em termos de C e na performance individual.

Apesar de parecer evidente a influência das  $dv$  sobre o C, poucos têm sido os estudos que compararam estas duas variáveis. Apenas encontramos três estudos na literatura relativamente à comparação entre estes dois

aspectos, dos quais dois utilizaram as dv da anca (Alves et al, 1996; Vilas-Boas, 1996) e apenas um se assemelha mais ao nosso estudo, ao usar as dv do centro de massa (Barbosa et al., 2005). Referimo-nos a estas diferenças, pois alguns autores consideram que, para a determinação das dv, deve-se usar preferencialmente o centro de massa, já que este dá informações mais precisas acerca das dv do que quando se usa a anca (Maglischo et al., 1987; Maglischo et al., 1989; Barbosa et al., 2003). Aliás, Maglischo et al. (1987) referem uma correlação menos forte entre o deslocamento do centro de massa e da anca em costas do que nas restantes técnicas, justificando, contudo, os seus resultados nas maiores dificuldades na digitalização nesta técnica, causada por uma maior turbulência em torno do corpo do nadador de costas.

#### **2.4.3.1. Estudos acerca do custo energético e variações intracíclicas da velocidade de nado**

Vilas-Boas (1996) comparou as dv da anca com a economia de nado, na técnica de bruços. Para isso, usou uma amostra de 13 nadadores de elevado nível competitivo. Para determinação das dv usou o método foto-opticométrico das luzes tracejantes intermitentes e o C foi calculado utilizando a metodologia descrita por di Prampero et al. (1978), utilizando-se na sua determinação os valores de consumo de oxigénio ( $VO_2$ ) medidos a partir do oxímetro Sensormedics 2900 e da lactatemia *net*. Nos seus resultados, encontrou correlações significativas entre C e dv da anca em termos individuais, mas não em termos de médias amostrais.

Alves et al. (1996) realizaram um estudo idêntico, mas desta vez para as técnicas de crol e costas. A sua amostra constituiu-se de 12 nadadores de bom nível. Para determinação do  $VO_2$  utilizou um saco de *Douglas* e um analisador de gases electrónico e a lactatemia também foi determinada. Nos seus resultados apenas encontrou correlações significativas entre as dv da anca e o C para a técnica de costas e a baixas velocidades ( $1.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Mais recentemente, Barbosa et al. (2005) estudou a relação entre o C e as dv do centro de massa na técnica de mariposa. A sua amostra constituiu-se

de 5 nadadores de nível nacional. Para determinação do C utilizaram a metodologia descrita por di Prampero et al. (1978), sendo os valores de  $VO_2$  medidos a partir de um oxímetro portátil (K4 b<sup>2</sup>) e usando-se também os valores de lactatemia. As dv foram determinadas a partir da digitalização de imagens recolhidas com câmaras colocadas acima e abaixo da superfície da água. Os resultados apontam para uma correlação positiva entre as dv e o C na técnica de mariposa.

### 3. Objectivos e hipóteses

---

O objectivo deste trabalho é relacionar o custo energético com as variações intracíclicas de velocidade do centro de massa, na técnica de costas. Esta relação será analisada em termos médios e para a média amostral.

Formulamos como objectivos específicos:

- determinar a relação entre as  $dv$  e a  $v$  em termos individuais;
- determinar a relação entre as  $dv$  e a  $v$  em termos médios amostrais;
- determinar a relação entre o  $\dot{E}$  e a  $v$  em termos individuais;
- determinar a relação entre o  $\dot{E}$  e a  $v$  em termos médios amostrais;
- determinar a relação entre o  $C$  e a  $v$  em termos individuais;
- determinar a relação entre o  $C$  e a  $v$  em termos médios amostrais.

De acordo com os objectivos enunciados e tendo em conta a revisão da literatura, formulamos como hipóteses:

- quanto maiores as  $dv$  do centro de massa, maior será o  $C$ ;
- quanto maior a  $v$ , menores serão as  $dv$ ;
- quanto maior a  $v$ , maior será o  $\dot{E}$ ;
- quanto maior a  $v$ , maior será o  $C$ .

## 4. Material e métodos

---

### 4.1. Caracterização da amostra

Como se pode verificar no quadro 1, a nossa amostra é constituída por um total de 5 nadadores, todos do sexo masculino, dos quais 3 são pertencentes à selecção nacional e 2 de nível nacional. Nesse quadro, podemos ainda verificar a idade, massa corporal e altura dos sujeitos da amostra.

Quadro 1. Caracterização geral da amostra.

	Sujeitos	Idade (anos)	Massa Corporal (kg)	Altura (cm)
Seleccção Nacional	1	17	67,4	180,0
	2	20	75,0	182,0
	3	19	62,2	178,0
Nível Nacional	4	20	82,6	180
	5	17	63,6	176,0
	méd±dp	18,6±1,5	70,2 ± 8,5	179,2 ± 2,3

### 4.2. Metodologia

Os nadadores envolvidos no estudo e respectivos treinadores, após terem sido devidamente informados dos objectivos do mesmo e dos procedimentos a que seriam sujeitos, foram voluntários na sua participação.

Todas as avaliações foram realizadas em piscina interior aquecida (27°C), com 25m de comprimento e 12,50m de largura.

#### **4.2.1. Preparação da amostra**

Previamente à realização dos testes, os sujeitos foram avaliados em termos de altura, massa e composição corporal, utilizando-se para isso uma antropómetro e uma balança de bioimpedância (Tanita).

Foram ainda realizadas marcações com fita adesiva de cor contrastante (preta ou branca), de 12 pontos anatómicos de referência, de forma a facilitar o posterior processo de análise das imagens recolhidas. Os pontos articulares marcados foram os seguintes: as duas regiões cárpicas, os dois olecrâneos, os côndilos femorais e as duas regiões tíbio-társicas. Foram ainda marcadas as duas articulações escápulo-umerais e os grandes trocânteres femorais com marcador preto.

Por fim, colocou-se um cárdiofrequencímetro nos nadadores (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) de modo a monitorizar as suas frequências cardíacas, quer em repouso, quer na realização dos testes (de 5 em 5 segundos).

#### **4.2.2. Protocolo**

Os nadadores iniciaram o teste dentro de água, tendo o mesmo sido realizado nas mesmas condições por todos os indivíduos.

Os nadadores foram instruídos no sentido de utilizarem uma viragem aberta, sempre para o mesmo lado da piscina e para não realizarem deslize subaquático. Foram ainda verbalmente encorajados para nadarem durante o teste o mais possível ao ritmo pré-determinado.

O protocolo de avaliação consistiu na realização de “n” patamares de 200m (até a um máximo de 8), sendo estes de intensidade progressiva (incrementos de  $0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

A velocidade inicial foi determinada a partir da velocidade correspondente ao tempo actual dos nadadores nos 200m, subtraídos dos 7 incrementos de  $0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dos patamares. Para além disso, a velocidade inicial

foi ajustada, tendo-se em conta ainda o tipo de partida e viragem realizada durante o teste.

As pausas de recuperação entre patamares foram de 30 segundos, usadas para a recolha do sangue capilar para análise da lactatemia.

O fim do protocolo ocorria quando se alcançavam os critérios fisiológicos tradicionais, primários e secundários, de determinação de  $VO_2$  máximo (Howley et al., 1995): (i) *plateau* de  $VO_2$ , ainda que se verifique um aumento da  $v$ ; e, (ii) lactatemia igual ou superior a  $8\text{mmol.l}^{-1}$ ; quociente respiratório superior ou igual a 1.0; frequência cardíaca (FC) superior a 90% da FC máxima (utilizando a expressão  $220 - \text{idade}$ ); e através da exaustão observada (controlada visualmente).

Para controlo da velocidade de nado foi usado um *pacemaker* luminoso (GBK-Pacer, GBK-Electronics, Portugal), colocado por cima da pista, ao longo dos 25m da piscina.

#### **4.2.3. Recolha e análise dos dados**

Dois tipos de dados devem ser considerados na sua recolha e análise – os bioenergéticos e os biomecânicos.

##### **4.2.3.1. Dados bioenergéticos**

Para determinação do consumo de oxigénio, utilizou-se um oxímetro portátil (K4 b<sup>2</sup>, Cosmed, Italy), que permite analisar o consumo de oxigénio respiração a respiração (figura 1).

Foi também utilizada uma válvula respiratória desenvolvida por Toussaint et al. (1987) e adaptada por Keskinen et al. (2003) para o K4 b<sup>2</sup> (figura 2).



Figura 1. Oxímetro (K4 b<sup>2</sup>).



Figura 2. Válvula respiratória.

Este analisador de gases portátil permite enviar os dados relativos aos gases analisados, por telemetria, para um computador, possibilitando assim visualizar os resultados em tempo real e o seu posterior armazenamento.

Para determinação da lactatemia, recolheram-se amostras de sangue capilar do lóbulo da orelha (25 $\mu$ l), em repouso, entre patamares e no final do protocolo, aos minutos 1, 3, 5, e 7 (figura 3). As amostras foram analisadas através de um auto-analisador de concentrações sanguíneas de ácido láctico (Yellow Springs Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA) (figura 4).



Figura 3. Recolha de sangue capilar.



Figura 4. Analisador de lactatemia Yellow Springs Incorporated.

O dispêndio energético por patamar foi calculado usando-se o  $VO_2$  *net* (diferença entre o valor obtido no final do patamar e o valor de repouso) e lactatemia *net* (diferença entre o valor obtido no final do patamar e o valor do patamar anterior, ou, no caso do 1<sup>o</sup> patamar, o valor de repouso), transformando-se depois estes valores em equivalentes de oxigénio usando-se a constante 2.7 mlO<sub>2</sub>.Kg<sup>-1</sup>.mmol.l<sup>-1</sup> e os procedimentos descritos por di Prampero et al. (1978). A contribuição energética dos fosfatos de alta energia foi considerada negligenciável (Vilas-Boas, 1993).

O custo energético para cada patamar foi calculado dividindo-se o dispêndio energético pela velocidade de deslocamento. Posteriormente, converteu-se os valores de C em  $J.kg^{-1}.m^{-1}$ , tendo em conta que o consumo de  $1mlO_2$  no corpo humano gera 20.9J, para um quociente respiratório ( $R = VCO_2 / VO_2$ ) de 0.96. Assume-se que esta relação se mantém constante para pequenas variações do quociente respiratório.

#### 4.2.3.2. Dados biomecânicos

Antes da captação das imagens, foi registado durante 2 minutos um objecto de calibração bidimensional de forma rectangular plana, constituído por 4 pontos de calibração. Este objecto foi colocado na trajectória de deslocamento do nadador, com o objectivo de permitir a posterior calibração e transformação das coordenadas do sistema informático em coordenadas reais.

De forma a representar cada um dos 200m nadados, seleccionou-se 1 ciclo gestual dos 100m, 125m, 150m de cada patamar.

Os percursos realizados foram registados em imagens de vídeo, no plano sagital, usando-se 2 câmaras (JVC GR-SX1 SVHS e JVC GR-SXM 25 SVHS), permitindo uma dupla projecção, acima e abaixo da superfície da água. Estas câmaras foram colocadas de forma estacionária na parede lateral oposta da piscina, perpendicularmente à linha de acção do nadador e a 10m do sujeito (figura 5).

As imagens das duas câmaras foram sincronizadas em tempo real, gravadas em vídeo (Panasonic AG 7355) e editadas numa mesa de mistura (Panasonic Digital Mixer WJ-AVE55 VHS) (figura 6), para criar imagens de duplo meio, como descrito por Vilas-Boas et al. (2004).

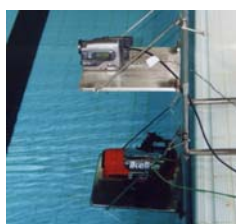


Figura 5. Câmaras em plano sagital.



Figura 6. Mesa de mistura Panasonic Digital Mixer.

A digitalização das imagens captadas foi realizada usando-se o programa APAS (Ariel Dynamics Inc, USA).

Nesta digitalização, seguiu-se o modelo antropométrico biomecânico de Zatsiorsky, com as adaptações de de Leva (1996).

Foram utilizados 20 pontos anatômicos, que referimos seguidamente: 1) vértex; 2) meato acústico; 3) Ombro direito; 4) Cotovelo direito; 5) Pulso direito; 6) Dedo indicador direito; 7) Ombro esquerdo; 8) Cotovelo esquerdo; 9) Pulso esquerdo; 10) Dedo indicador esquerdo; 11) Cabeça do fêmur direito) 12) Joelho direito; 13) Tornozelo direito; 14) Calcâneo direito; 15) Hálux direito; 16) Cabeça do fêmur esquerdo; 17) Joelho esquerdo; 18) Tornozelo esquerdo; 19) Calcâneo esquerdo; 20) Hálux esquerdo.

Estes pontos, numerados de 1 a 20, constituíram os seguintes segmentos: a) cabeça (1 e 2); b) braço direito (3 e 4); c) antebraço direito (4 e 5); d) mão direita (5 e 6); e) braço esquerdo (7 e 8); f) antebraço esquerdo (8 e 9); g) mão esquerda (9 e 10); h) tronco (3, 7, 11, 16); i) coxa direita (11 e 12); j) perna direita (12 e 13); l) pé direito (13, 14 e 15); m) coxa esquerda (16 e 17); n) perna esquerda (17 e 18); e, o) pé esquerdo (18, 19 e 20).

Foi usado ainda um filtro digital passa-baixo de 5Hz, para a análise da curva de velocidade de deslocamento horizontal do centro de massa, conforme o sugerido por Winter (1990).

#### **4.2.4. Procedimentos estatísticos**

No tratamento dos nossos dados foi utilizado o programa *Microsoft EXCEL* versão *XP*, para *Windows* e o programa *SPSS* versão *10.0*, para *Windows*.

Verificou-se a normalidade da distribuição da amostra, usando-se o teste de *Shapiro-Wilk*.

Ao nível da estatística descritiva foram calculadas as médias e o desvio padrão das principais variáveis do nosso estudo. Foi ainda calculado o coeficiente de variação para a *v* de deslocamento horizontal do centro de massa, de cada ciclo gestual considerando.

Relativamente à estatística inferencial, foram efectuadas regressões lineares entre as dv e a v, o  $\dot{E}$  e a v, o  $\dot{E}$  e a  $v^3$ , entre o C e as dv e, finalmente, de C com dv e v. Foram obtidos os coeficientes de correlação (r) e de determinação ( $r^2$ ) para todas as regressões referidas. Calculou-se ainda o valor de correlação parcial entre o C e as dv, controlando-se a variável ve entre C e v, controlando-se dv.

O nível de significância foi estabelecido em  $\alpha=0.05$ .

## 5. Apresentação dos resultados

---

Foi realizada uma análise descritiva da nossa amostra, composta por médias e desvios padrão das variáveis em estudo ( $v$ ,  $dv$ ,  $\dot{E}$  e  $C$ ), por nadador e patamar, cuja quadro síntese se encontra em anexo (anexo 1).

A partir desse quadro, calcularam-se os valores médios da amostra para as variáveis apresentadas ( $v$ ,  $dv$ ,  $\dot{E}$  e  $C$ ), por patamar de nado, conforme se apresenta no quadro 2.

Quadro 2. Valores médios de  $v$ ,  $dv$ ,  $\dot{E}$  e  $C$  para a amostra total.

Patamar	$v$ (m.s <sup>-1</sup> )	$dv$ (%)	$\dot{E}$ (mlO <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	$C$ (J.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )
1	1.13±0.03	19.59±3.65	45.43±10.17	13.94±2.79
2	1.23±0.03	19.79±3.16	51.65±7.08	14.68±2.06
3	1.27±0.04	20.49±3.17	54.30±6.55	14.90±1.96
4	1.31±0.06	19.96±3.58	62.49±7.32	16.57±1.98
5	1.37±0.07	18.68±3.43	68.10±8.46	17.41±2.45
6	1.36±0.04	20.36±2.55	70.49±11.09	18.22±3.34

Da sua observação, verificamos que os valores médios do  $\dot{E}$  e do  $C$  aumentam do primeiro ao último dos 6 patamares percorridos por quase todos os nadadores. Quanto à velocidade do último patamar, ela diminui em termos amostrais devido a apenas dois sujeitos terem realizado esse patamar (embora nestes nadadores, como observamos no anexo 1, haja um aumento da velocidade do primeiro ao último patamar).

Em termos médios, a velocidade mínima de nado foi de 1.13±0.03 m.s<sup>-1</sup> e a do último patamar foi de 1.36±0.04 m.s<sup>-1</sup>, a que corresponde, respectivamente, um custo energético de 13.94±2.79 J.kg<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup> e de 18.22±3.34 J.kg<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>.

No entanto, relativamente aos valores médios de  $dv$ , verificamos que os resultados não descrevem o mesmo comportamento das variáveis anteriores, sendo as diferenças entre patamares inclusivamente menores. O valor mais baixo da variação intracíclica da velocidade ocorre assim no 5º patamar de nado (18.68±3.43%) e o mais elevado no 3º patamar (20.49±3.17%).

Passamos agora a analisar as regressões entre as diferentes variáveis, começando pela relação entre as variações intracíclicas da velocidade e a velocidade (quadro 3).

Quadro 3. Regressão linear entre dv e v, por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra total
	1	2	3	4	5	
r	0.874	-0.604	0.571	-0.604	-0.669	-0.251
r <sup>2</sup>	0.763*	0.365	0.326	0.365	0.448	0.063

\* significativo para  $p \leq 0.05$ .

Da análise deste quadro, percebe-se que os valores de coeficiente de determinação ( $r^2$ ) são reduzidos, quer em termos individuais, quer – e principalmente – para a amostra total. De referir igualmente que apenas foi encontrado resultado estatisticamente significativo para o sujeito 1 ( $p \leq 0.05$ ), verificando-se um aumento das dv com o aumento da velocidade, sendo a variância explicada da ordem dos 76.3%.

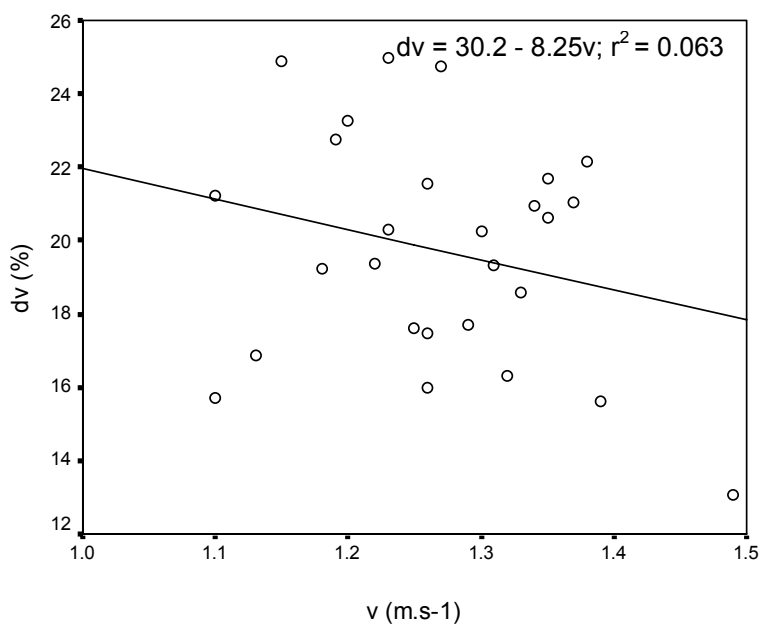


Figura 7. Regressão linear entre dv e v para a amostra total.

Será de referir que as diferenças (entre o valor máximo e mínimo) nas dv dos vários patamares por indivíduo vão de 4.03% a 5.78%. Em termos de média amostral as diferenças são mais reduzidas, observando-se um valor de

1.81% entre o valor superior e inferior das  $dv$  dos patamares. Apesar da inexistência de resultados estatisticamente significativos e do baixo valor de  $r^2$ , pela observação da figura 7 e respectiva equação de regressão, podemos verificar, em termos médios, uma tendência para a diminuição das variações intracíclicas da velocidade com o aumento da velocidade.

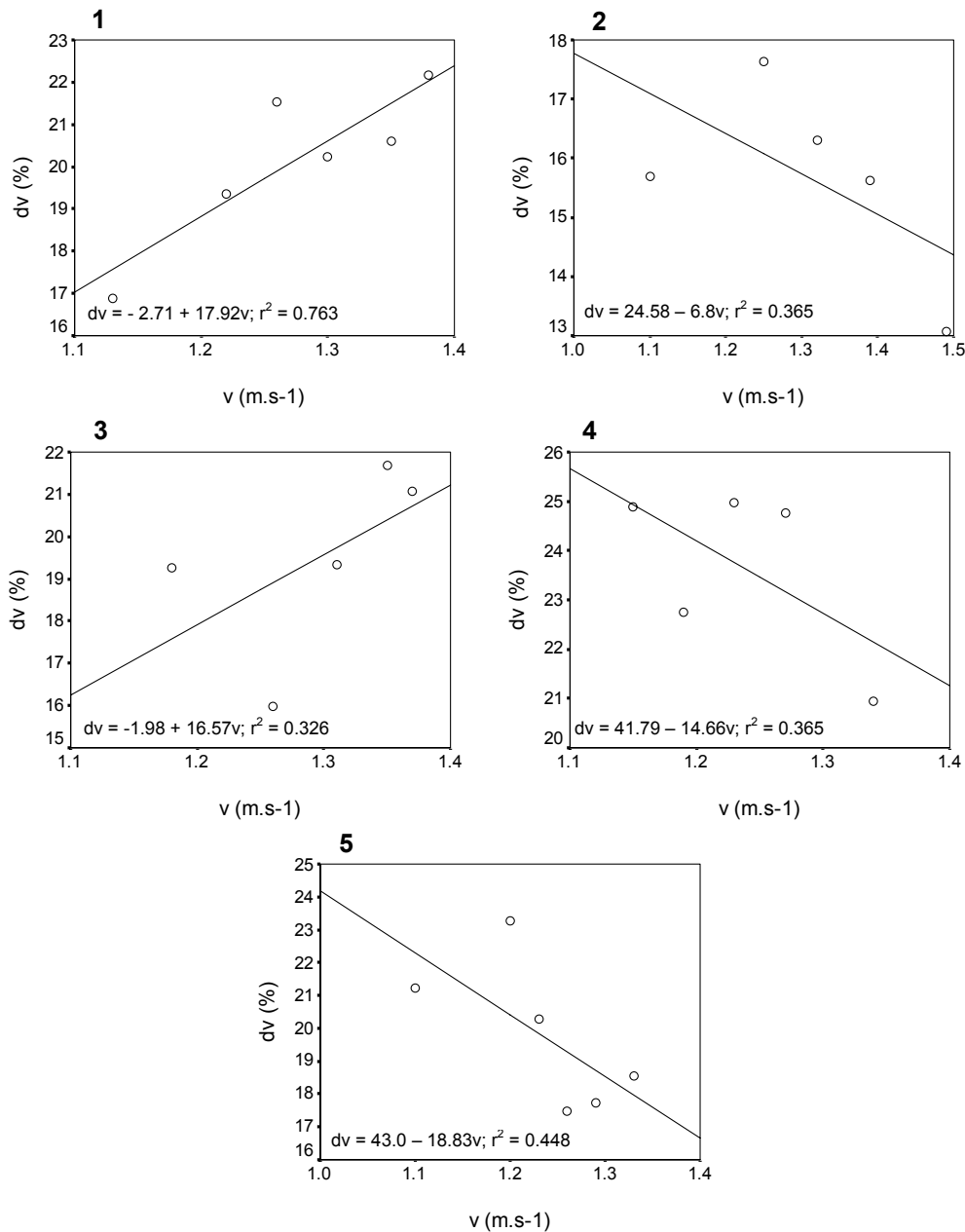


Figura 8. Regressão linear entre  $dv$  e  $v$ , para os sujeitos da amostra.

No entanto, se observarmos os gráficos individuais (figura 8), constatamos que nos sujeitos 1 e 3 da nossa amostra, a relação entre  $dv$  e  $v$  é

inversa à encontrada em termos médios, ou seja, as variações intracíclicas da velocidade de nado aumentam com o aumento da velocidade.

Passamos agora a analisar a relação entre o dispêndio energético e a velocidade. Em termos de média amostral, verificámos que o  $r^2$  é maior para uma relação linear entre  $\dot{E}$  e  $v$ , como podemos observar nos quadros 4 e 5 e na figura 9. A variância em  $\dot{E}$  é explicada, em termos médios, em cerca de 45% da variância da velocidade. Quando observamos a recta de regressão entre  $\dot{E}$  e  $v$  (figura 9-A), verificámos um aumento do dispêndio energético com a velocidade.

Quadro 4. Regressão linear entre  $\dot{E}$  e  $v$ , por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra total
	1	2	3	4	5	
r	0.992	0.981	0.929	0.975	0.910	0.670
$r^2$	0.983***	0.963**	0.863*	0.950**	0.827*	0.449***

\* significativo para  $p \leq 0.05$ ; \*\* significativo para  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*significativo para  $p \leq 0.001$ .

Quadro 5. Regressão linear entre  $\dot{E}$  e  $v^3$ , por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra total
	1	2	3	4	5	
r	0.989	0.976	0.923	0.985	0.920	0.633
$r^2$	0.978***	0.953**	0.868*	0.970**	0.846**	0.401***

\* significativo para  $p \leq 0.05$ ; \*\* significativo para  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*significativo para  $p \leq 0.001$ .

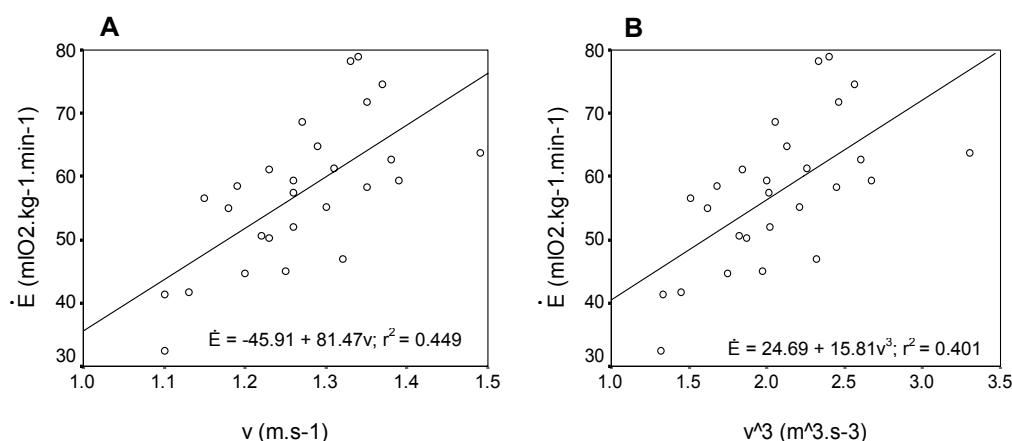


Figura 9. Regressão linear entre  $\dot{E}$  e  $v$  (A) e entre  $\dot{E}$  e  $v^3$  (B).

Em termos individuais, encontramos resultados estatisticamente significativos para todos os sujeitos da nossa amostra, embora em dois deles

(1 e 2) o coeficiente de determinação seja superior quando se realiza uma relação linear entre  $\dot{E}$  e  $v$  e, nos outros três sujeitos (3 a 5), o  $r^2$  seja superior na regressão entre  $\dot{E}$  e  $v^3$  (quadro 4 e 5). Nos quadros referidos e nos respectivos gráficos individuais (figura 10), pode observar-se uma relação positiva entre as variáveis, nuns sujeitos relativamente à relação entre  $\dot{E}$  e  $v$  (figuras 10-1 e 10-2) e noutros, à relação entre  $\dot{E}$  e  $v^3$  (figuras 10-3, 10-4 e 10-5).

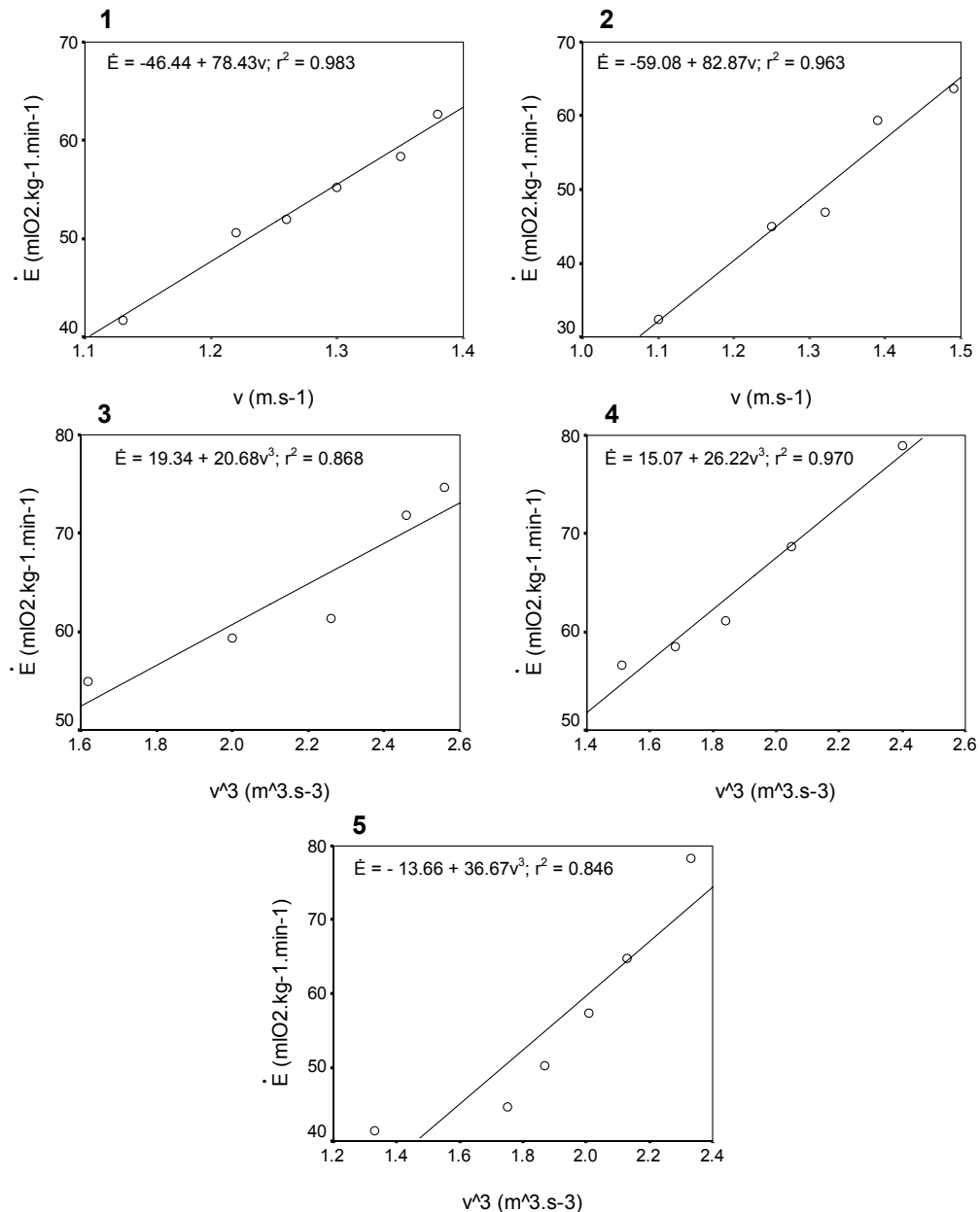


Figura 10. Regressão linear entre  $\dot{E}$  e  $v$  para os sujeitos 1 e 2 e entre  $\dot{E}$  e  $v^3$  para os sujeitos 3, 4 e 5.

Ainda na figura 10, observam-se também as respectivas equações de regressão e pode verificar-se uma variância explicada de 84.6% a 98.3%.

Analisaremos agora a relação entre o custo energético e a velocidade e entre o custo energético e o quadrado da velocidade.

Observando-se os quadros 6 e 7, verificamos melhores resultados para os sujeitos 1 e 2 da nossa amostra numa relação linear entre o custo energético e a velocidade e, para os sujeitos 3 a 5, um valor de  $r^2$  mais elevado na regressão entre o custo energético e o quadrado da velocidade. Será ainda de referir que apenas para o sujeito 3 não foram encontrados resultados estatisticamente significativos.

Quadro 6. Regressão linear entre C e v, por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra total
	1	2	3	4	5	
r	0.962	0.945	0.792	0.939	0.858	0.399
$r^2$	0.926**	0.893*	0.628	0.881*	0.737*	0.158*

\* significativo para  $p \leq 0.05$ ; \*\* significativo para  $p \leq 0.01$ .

Quadro 7. Regressão linear entre C e  $v^2$ , por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra total
	1	2	3	4	5	
r	0.960	0.941	0.803	0.945	0.874	0.384
$r^2$	0.921**	0.886*	0.645	0.894*	0.764*	0.148*

\* significativo para  $p \leq 0.05$ ; \*\* significativo para  $p \leq 0.01$ .

Relativamente à média amostral, apesar da baixa diferença, encontra-se uma melhor relação entre o custo energético e a velocidade, comparativamente com a relação entre aquele e o quadrado da velocidade. Destaca-se ainda que o coeficiente de determinação na regressão entre as duas variáveis é muito reduzido, ou seja, apenas 15.8% da variância no custo energético é explicada pela variância da velocidade.

Também na figura 11, podemos observar a relação positiva entre o custo energético e a velocidade, verificando-se na respectiva equação de regressão, apesar do baixo valor de  $r^2$ , o incremento do custo energético com o aumento da velocidade.

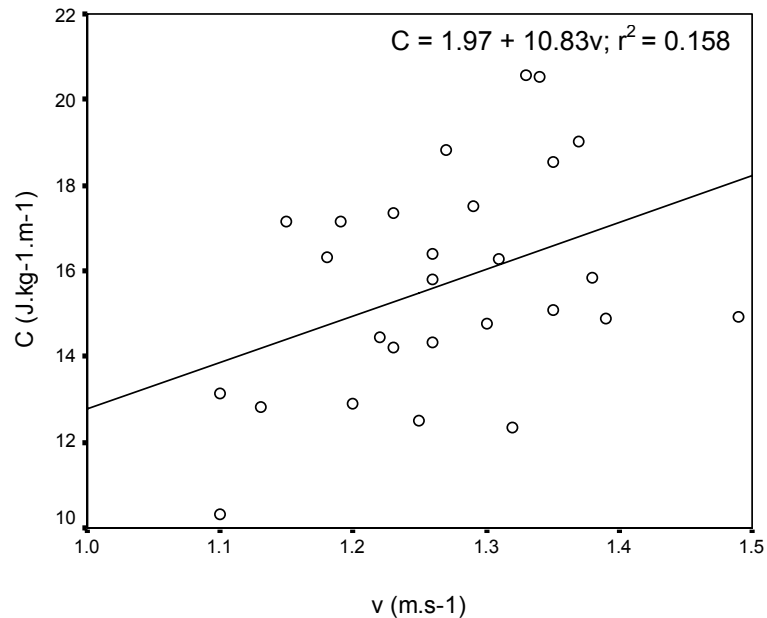


Figura 11. Regressão linear entre C e v para a amostra total.

A partir da observação dos gráficos individuais (figura 12), verificámos um aumento de custo energético com o aumento da velocidade (figuras 12-1 e 12-2) e com o aumento do quadrado da velocidade (figuras 12-3, 12-4 e 12-5), sendo apresentadas ainda as respectivas equações de regressão, explicativas desse aumento.

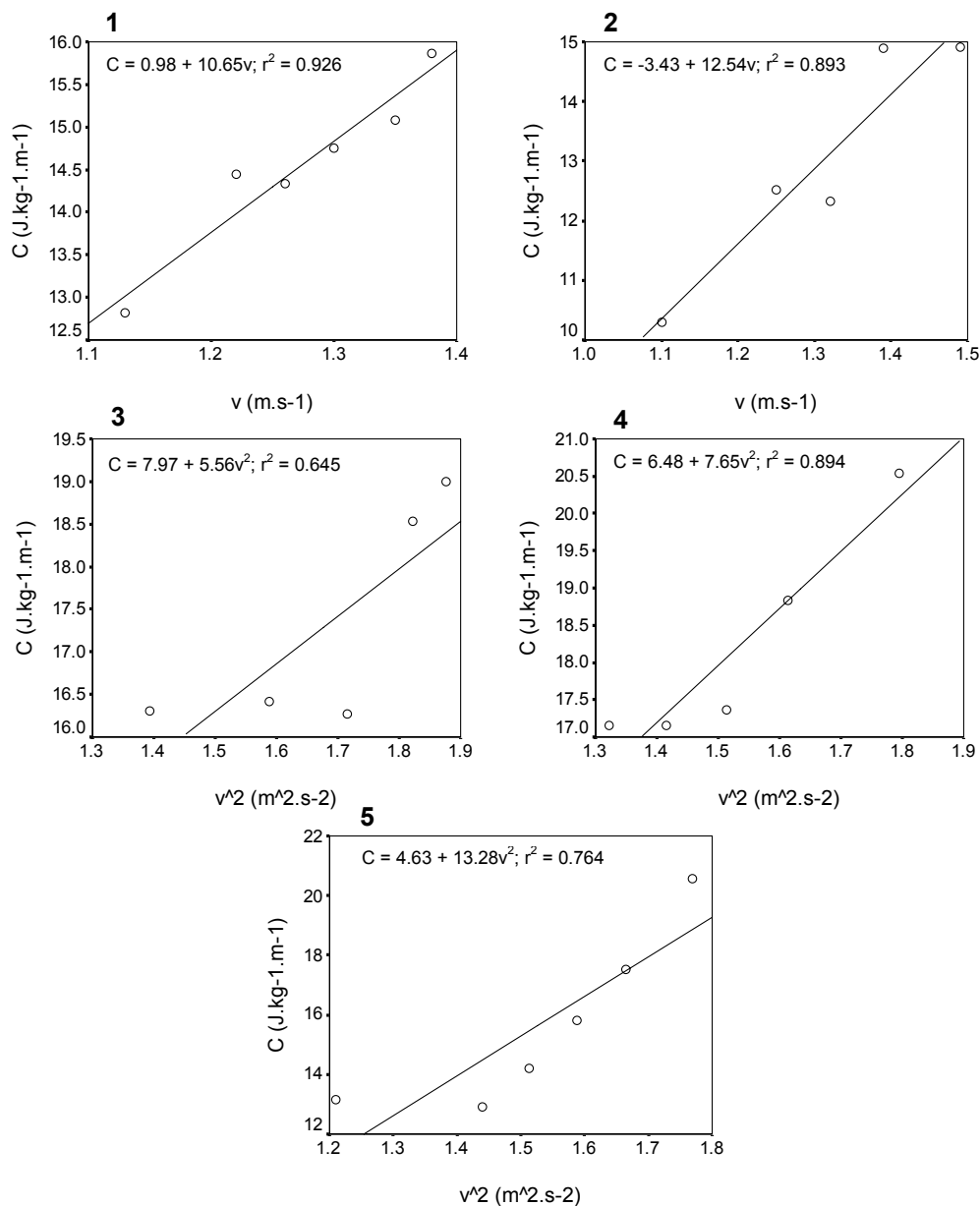


Figura 12. Regressão linear entre C e v para os sujeitos 1 e 2 e entre C e v<sup>2</sup> para os sujeitos 3, 4 e 5.

Por fim, analisaremos a relação entre o custo energético e as variações intracíclicas da velocidade, objectivo principal deste trabalho.

A partir da observação do quadro 8, verificamos que apenas para o sujeito número 1 da nossa amostra foram encontrados resultados estatisticamente significativos ( $p \leq 0.05$ ), resultados que sugerem uma influência de 78.0% das variações intracíclicas da velocidade sobre o custo energético. Já em termos amostrais, apesar da tendência para C aumentar com o

incremento de  $dv$ , o coeficiente de determinação é de apenas 14.9%, para um nível de significância de 0.05.

Quadro 8. Regressão linear entre  $C$  e  $dv$ , por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra total
	1	2	3	4	5	
$r$	0.883	-0.504	0.744	-0.670	-0.723	0.387
$r^2$	0.780*	0.254	0.554	0.449	0.523	0.149*

\* significativo para  $p \leq 0.05$ .

O incremento do custo energético com o aumento das variações intracíclicas da velocidade também é demonstrado graficamente (figura 13), sendo o respectivo aumento pouco explicado pela equação de regressão  $C = 9.39 + 0.32dv$ .

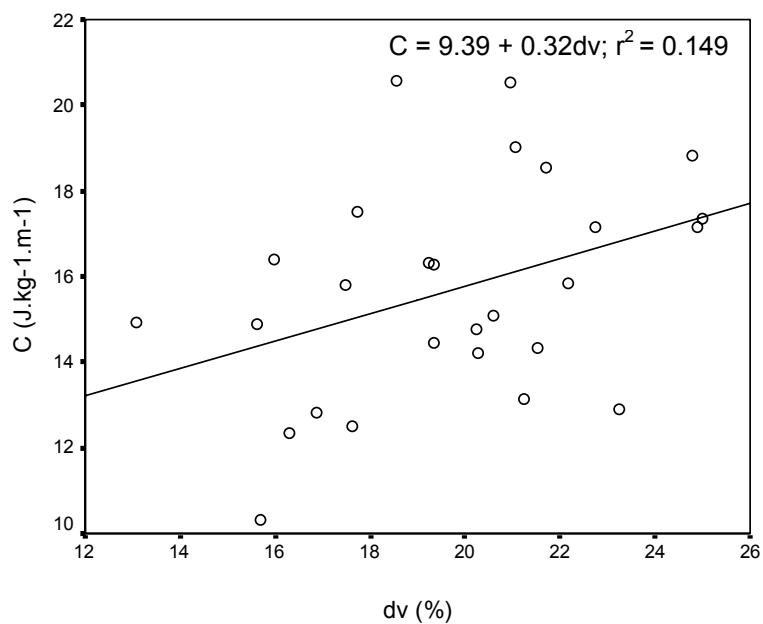


Figura 13. Regressão linear entre  $C$  e  $dv$  para a amostra total.

No entanto, se analisarmos os gráficos individuais (figura 14), verificamos algumas diferenças, à semelhança do que aconteceu na relação entre  $dv$  e  $v$ , mas desta vez, os sujeitos 1 e 3 encontram-se de acordo com a média amostral. Ou seja, nestes sujeitos, quanto maiores forem as variações intracíclicas da velocidade, maior será o custo energético. Contudo, apenas no sujeito 1 os resultados têm valor estatístico ( $p \leq 0.05$ ). Pelo contrário, nos

sujeitos 2, 4 e 5, há um aumento de C quando ocorre uma diminuição de dv, sem esquecer, porém, que em nenhum destes sujeitos foram encontrados resultados estatisticamente significativos.

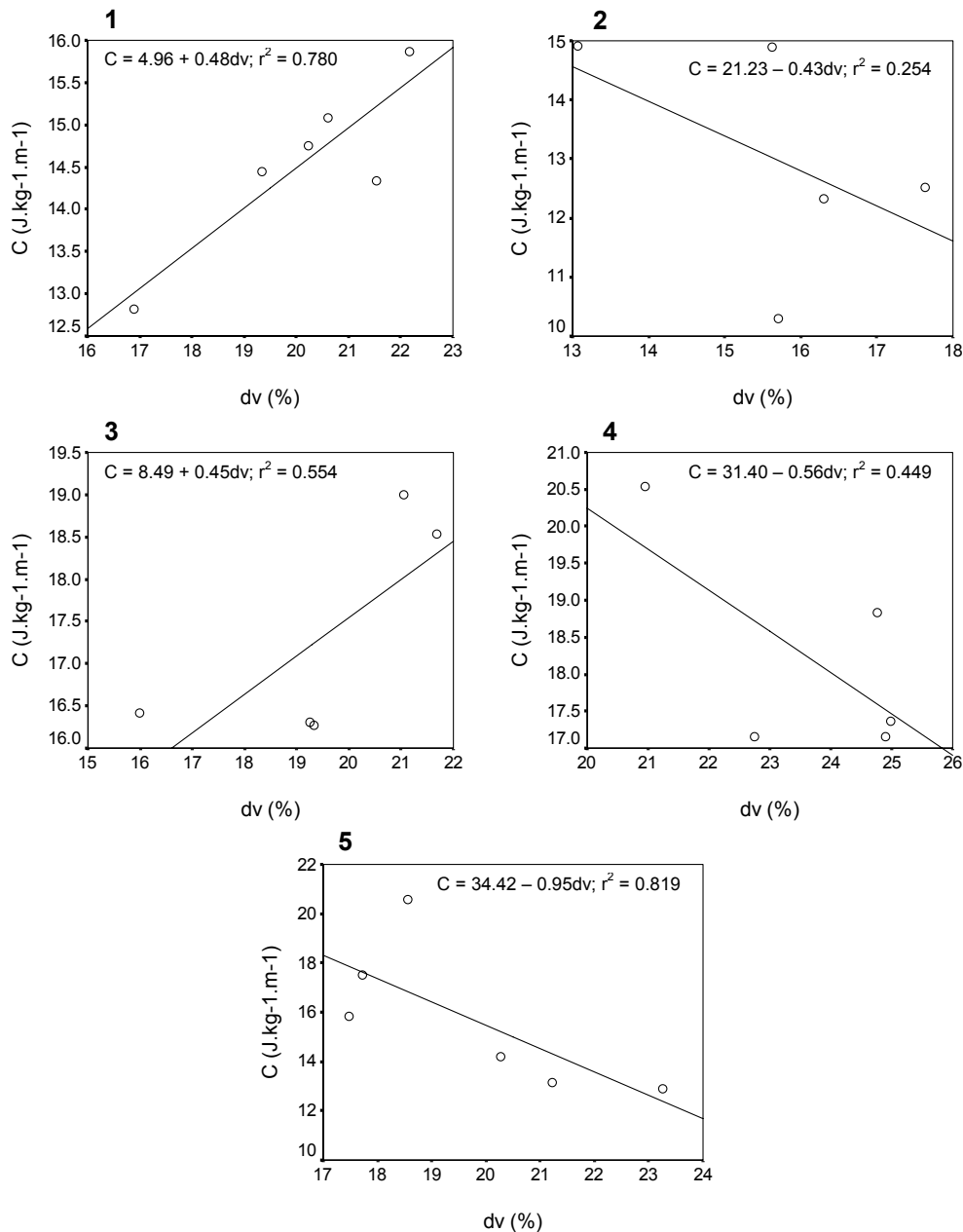


Figura 14. Regressão linear entre C e dv, para os sujeitos da amostra.

Para melhor se clarificar a relação entre o custo energético e as variações intracíclicas da velocidade, realizou-se uma regressão linear, sendo a variável dependente o custo energético e as independentes a velocidade e as

variações intracíclicas da velocidade. Os valores de  $r$  e  $r^2$  obtidos encontram-se apresentados no quadro 9.

Quadro 9. Regressão linear de C com v e dv, por nadador e para a média amostral.

	Nadador					Amostra total
	1	2	3	4	5	
r	0.966	0.949	0.868	0.948	0.881	0.641
$r^2$	0.934*	0.900	0.754	0.898	0.777	0.411**

\* significativo para  $p \leq 0.05$ ; \*\* significativo para  $p \leq 0.01$ .

A partir da observação do quadro, constatamos que apesar dos valores dos coeficientes de determinação serem na generalidade elevados, apenas para o sujeito 1 se encontram resultados estatisticamente significativos. Relativamente à amostra, também se encontraram resultados estatisticamente significativos, apesar de apenas 41.1% da variância do custo energético seja explicada pela variância na velocidade e variações intracíclicas da velocidade.

Realizou-se ainda a correlação parcial entre o custo energético e as variações intracíclicas da velocidade, sendo controlada a velocidade, podendo-se observar no quadro 10 os resultados obtidos.

Quadro 10. Correlação parcial entre C e dv, controlando v, por nadador e para a média amostral.

	Nadador					Amostra total
	1	2	3	4	5	
r	0.320	0.257	0.583	-0.376	-0.390	0.548
$r^2$	0.102	0.066	0.340	0.141	0.152	0.300**

\*\* significativo para  $p \leq 0.01$ .

A partir da observação do quadro 10, verificamos que apenas se encontram resultados estatisticamente significativos em termos de média amostral ( $p \leq 0.01$ ), sendo a relação entre C e dv positiva, ou seja, há um aumento do custo energético com o aumento das variações intracíclicas da velocidade, sendo a variância explicada em cerca de 30%. A nível individual, em três nadadores existe uma relação deste tipo e, em dois deles a relação é inversa, não sendo significativa em nenhum dos casos.

No sentido de se perceber ainda melhor a influência das variações intracíclicas da velocidade sobre o custo energético, realizamos também a correlação parcial entre C e v, controlando-se as variações intracíclicas da velocidade.

Quadro 11. Correlação parcial entre C e v, controlando dv, por nadador e para a média amostral.

	Nadador					Amostra total
	1	2	3	4	5	
r	0.836	0.931	0.670	0.902	0.730	0.555
r <sup>2</sup>	0.700	0.867	0.449	0.814	0.533	0.308**

\*\* significativo para  $p \leq 0.01$ .

Apenas se encontraram resultados estatisticamente significativos ( $p \leq 0.01$ ) para a média amostral, embora o valor de  $r^2$  seja reduzido. No entanto, a relação entre C e v é positiva para todos os sujeitos e para a amostral total (quadro 11).

## 6. Discussão dos resultados

---

Os valores encontrados relativos às variações intracíclicas da velocidade mostram-nos a sua natureza bastante individual, já que, se para uns nadadores essas variações intracíclicas diminuem com o aumento da velocidade, para outros a relação é inversa. De facto, a velocidade de deslocamento é resultado de forças resistivas (como o D) e propulsivas (Nigg, 1983), que mudam periodicamente durante o nado (Fujishima e Myashita, 1999) e que reflectem maiores ou menores  $dv$ . Desta forma, poderá não estar a ocorrer um equilíbrio entre estas duas forças à medida que a velocidade aumenta, nos nadadores em que a relação entre  $dv$  e  $v$  é directa.

Apesar de, em termos amostrais ocorrer uma diminuição de  $dv$  com  $v$ , será importante referir que não foi encontrado qualquer significado estatístico nos resultados.

Esta inexistência de resultados estatisticamente significativos poderá dever-se a um outro aspecto verificado – às diferenças entre as variações intracíclicas da velocidade dos patamares serem baixas. Ou seja, os incrementos de velocidade entre patamares foram reduzidos, pelo que as diferenças entre as velocidades poderão não ser significativas, até porque as diferenças individuais nos valores de  $dv$  entre os vários patamares são bastante baixas (4.03 a 5.78%), facto ainda mais evidente em termos de média amostral (1.81%, apesar do elevado desvio padrão).

Estas reduzidas diferenças em termos de  $dv$  entre os diferentes patamares poderá ocorrer devido à técnica de costas ser uma técnica mais contínua e, conseqüentemente, às variações intracíclicas da velocidade serem menores comparativamente com as técnicas alternadas, aspecto referido por Barbosa et al. (2005).

Os resultados relativos ao custo energético encontrados neste trabalho, são similares aos já encontrados por Hólmer (1974b), Smith et al. (1988), Klentrou e Montpetit (1992) e Capelli et al. (1998) para indivíduos do género masculino, como se pode observar no quadro 12.

Quadro 12. Custo energético em nadadores de Costas, em vários estudos.

Estudo	N	v (m.s <sup>-1</sup> )	C (J.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )
Hólmer (1974b)	2	1.2	14.22
Smith et al. (1988)	16	1.2	15.65
Klentrou e Montpetit (1992)	22	1.2	15.59
Capelli et al. (1998)	3	1.0 e 1.5	11.42 e 19.98
Presente estudo	5	1.2	14.68

Relativamente à relação entre o dispêndio energético e a velocidade, encontramos resultados significativos para todos os sujeitos, embora nuns a regressão se ajuste mais a uma relação linear entre  $\dot{E}$  e  $v$  e noutros entre  $\dot{E}$  e  $v^3$ .

A metodologia de determinação do dispêndio energético dá-nos bastante confiança nos resultados obtidos, já que, para além de se terem efectuado as recolhas numa piscina convencional e de se ter analisado o  $VO_2$  respiração a respiração, a determinação do dispêndio energético combinou a avaliação de recursos tanto aeróbios como anaeróbios, facto que parece ser fundamental na avaliação do dispêndio energético em NPD (di Prampero et al., 1978; Capelli et al., 1998).

O aumento do dispêndio energético com a velocidade já havia sido mostrado por vários autores (Hólmer, 1974a; Hólmer, 1983; Montpetit et al., 1983; Smith et al., 1988; Klentrou e Montpetit, 1992; Capelli et al., 1998; Vilas-Boas e Santos, 1994), parecendo estar relacionado com o aumento do arrasto hidrodinâmico, que por sua vez, aumenta com o quadrado de  $v$  (di Prampero, 1974; Hólmer, 1974a; Hólmer, 1983; Nigg, 1983; di Prampero, 1986; Klentrou e Montpetit, 1992; Alves, 1996). Estes aspectos parecem justificar a esperada relação cúbica encontrada entre a velocidade e o dispêndio energético em três dos sujeitos da nossa amostra, (Klentrou e Montpetit, 1992; Toussaint e Hollander, 1994; Kjendlie et al., 2004), já que o dispêndio energético é equivalente à potência.

No entanto, a relação linear encontrada em dois dos sujeitos e em termos médios, vai de encontro a alguns resultados já anteriormente

encontrados (Montpetit et al., 1983; Toussaint et al., 1988; Smith et al., 1988; Chatard et al., 1990; Vilas-Boas e Santos, 1994; Vilas-Boas, 1996; Barbosa et al., 2005; Fernandes et al., submetido a publicação), explicada por alguns autores por uma maior eficiência propulsiva a maiores velocidades, devido provavelmente às menores variações intracíclicas da velocidade de nado (di Prampero et al, 1974; Kornecki e Bober, 1978; Vilas-Boas, 1996).

De acrescentar ainda que, apesar do valor do coeficiente de determinação encontrado em termos médios não ser muito elevado, é extremamente significativo (0.449 para  $p \leq 0.01$ ), podendo-se justificar este melhor ajustamento a uma relação linear e também o baixo valor do  $r^2$ , pelo limitado número de sujeitos da nossa amostra, facto igualmente referido por Barbosa et al. (2005).

Na relação entre o custo energético e a velocidade, foi encontrada uma relação linear e significativa em dois dos sujeitos e para a média amostral e uma melhor relação entre o custo energético e o quadrado da velocidade para os três outros sujeitos (apenas não significativa para um deles), à semelhança do que havia ocorrido na relação entre o dispêndio energético e a velocidade, podendo-se assim usar idênticas explicações. Ou seja, onde se verificou um melhor ajuste a uma relação linear entre C e v, podemos suspeitar de um aumento da eficiência propulsiva com a velocidade; nos sujeitos onde foi maior o coeficiente de determinação entre C e  $v^2$ , apresentamos os motivos expostos aquando da explicação da relação cúbica entre o dispêndio energético e a velocidade, isto é, devido ao aumento do dispêndio energético com o cubo da velocidade e ao custo energético ser a razão entre  $\dot{E}$  e v.

De destacar ainda que o nível de significância encontrado para a média amostral também foi reduzido, podendo-se justificar mais uma vez este resultado no limitado número de sujeitos da amostra.

Será ainda de mencionar que, nos nadadores onde a relação entre  $dv$  e v havia sido directa (apesar de estatisticamente não significativa), não se constata diferenças notáveis em termos dos valores do dispêndio e custo energéticos, comparativamente com os nadadores onde a relação foi inversa. Desta forma, apesar de Nigg (1983) considerar que qualquer alteração da

velocidade de nado resulta num aumento do trabalho, dessas alterações se repercutirem em menores velocidades médias e, conseqüentemente, em piores performances (Nigg, 1983; Fujishima e Myashita, 1999; Toussaint, 1988) e ainda, dos seus possíveis reflexos em termos de C (Vilas-Boas, 1996), as variações intracíclicas da velocidade parecem não estar a ter essa tão importante influência.

No entanto, será de notar que o nadador que alcançou a maior velocidade foi igualmente o nadador com menor custo energético (médio e de final de patamar). Curiosamente, também neste nadador foi encontrado um melhor ajuste a uma relação linear entre C e v e entre  $\dot{E}$  e v e uma relação inversa entre dv e v (apesar de não significativa). Desta forma, podemos considerar este sujeito o mais eficiente desta amostra e, conseqüentemente, o mais económico. A salientar ainda mais este facto, será de notar que este sujeito é ainda o mais alto da nossa amostra, aspecto que Toussaint et al. (1988) também consideram ser benéfico para uma maior eficiência propulsiva.

A importância ou não das variações intracíclicas da velocidade parece, até aqui, não ter sido ainda devidamente esclarecida, tornando-se assim necessário realizar uma análise mais directa entre C e dv, até porque são poucos os estudos realizados no sentido de dar resposta a este problema.

Porventura a escassez de estudos dever-se-à à dificuldade em estudar conjuntamente factores de distintas áreas, apesar de simultaneamente tão relacionados, como é o caso das variações intracíclicas da velocidade e o custo energético.

Estes dois factores mostraram-se relacionados positivamente e de uma forma significativa em termos amostrais, embora a variância do custo energético pela variância das variações intracíclicas da velocidade não se eleve a mais do que 14,9% ( $p \leq 0.05$ ).

Se analisarmos os resultados a nível individual, talvez se consiga uma explicação para este acontecimento. Ou seja, nos indivíduos onde as maiores variações intracíclicas da velocidade correspondiam a uma velocidade superior, o custo energético também foi maior quando as variações intracíclicas da velocidade foram superiores. Pelo contrário, para três dos sujeitos da nossa

amostra, C foi superior quando as variações intracíclicas da velocidade foram menores, já que nestes nadadores uma maior velocidade de nado correspondeu a menores dv. Desta forma, o custo energético parece estar mais dependente da velocidade do que das variações intracíclicas da velocidade.

Aliás, quando se controla a variável v, as correlações entre as variáveis C e dv diminuíram para todos os sujeitos, deixando igualmente de ser significativas.

No entanto, num dos sujeitos (2), a relação entre C e dv passou a ser positiva. Para além disso, encontraram-se também resultados estatisticamente significativos e valores de correlação superiores a nível amostral (30,0%,  $p \leq 0.01$ ). Ou seja, o C parece estar dependente das variações intracíclicas da velocidade, embora a velocidade seja o principal factor influenciador.

A influência tanto da velocidade como das variações intracíclicas da velocidade sobre o custo energético parece ser igualmente evidenciada nos resultados encontrados ao nível da regressão de C com v e dv. Ou seja, apesar de só se ter encontrado significado estatístico para um dos sujeitos e para a média amostral, quando se tem em consideração simultaneamente as variações intracíclicas da velocidade e a velocidade, observa-se um maior coeficiente de determinação, quer em termos individuais, quer médios, do que quando só se considera apenas uma das variáveis. Apesar disso, para a média amostral, apenas 41.1% da variação no custo energético é explicada pela variação daquelas duas variáveis. Desta forma, parecem existir outros factores que influenciam C, provavelmente as características antropométricas dos sujeitos, , como também Kjendlie et al. (2004) verificaram no seu estudo.

A correlação parcial efectuada entre C e v controlando-se dv, também mostram a influência (ainda que reduzida) das variações intracíclicas da velocidade sobre o custo energético, já que, a nível individual, os valores de correlação diminuíram e deixaram de ser significativos.

A realização conjunta da avaliação cinemática com a bioenergética dá-nos garantias de resultados mais fidedignos quando se relacionam estes dois aspectos (Barbosa et al., 2005).

No entanto, os nossos resultados diferem um pouco dos estudos anteriores a este, diferenças explicadas primeiramente em diferentes protocolos de avaliação.

Por outro lado, o tipo de técnica estudada também pode explicar as diferenças encontradas, já que dois dos estudos estudaram exclusivamente técnicas alternadas (Vilas-Boas, 1996; Barbosa et al., 2005), onde será mais fácil estabelecer uma relação entre as variáveis pelas maiores dv que ocorrem nessas técnicas, como já havíamos referido.

O facto de Alves et al. (1996) terem encontrado resultados estatisticamente significativos para a técnica de costas a baixas velocidades e disto não se verificar no nosso estudo, poderá dever-se a uma outra diferença metodologia, pois naquele estudo as dv foram determinadas em termos do deslocamento horizontal da anca e não do centro de massa. No entanto, alguns autores consideram que se deve usar preferencialmente o centro de massa na determinação das dv, já que este dá informações mais precisas a este nível (Maglischo et al., 1987; Maglischo et al., 1989; Barbosa et al., 2003).

## 7. Conclusões

---

Tendo em conta os resultados obtidos, concluímos que, na técnica de costas:

i) apesar de não se terem encontrado resultados estatisticamente significativos, parece existir uma tendência de diminuição das  $dv$  com o aumento da velocidade, em termos médios;

ii) a relação entre a  $v$  e as  $dv$  parece ser de natureza individual;

iii) existe uma relação cúbica entre  $\dot{E}$  e  $v$  e quadrática entre  $C$  e  $v$  para dois sujeitos, e linear para os outros três e para a média amostral;

iv) o tipo de relação entre  $\dot{E}$  e  $v$  parece relacionar-se com a eficiência propulsiva;

v) o  $C$  e as  $dv$  mostraram-se relacionados positivamente e de uma forma significativa em termos amostrais, embora com um coeficiente de determinação reduzido;

vi) a relação entre o  $C$  e as  $dv$  é muito variável em termos individuais, mostrando-se bastante relacionada com a relação entre as  $dv$  e a  $v$ ;

vii) o  $C$  parece estar mais dependente da  $v$  do que das  $dv$ , embora estes dois aspectos apenas expliquem 41% da variação em  $C$ .

Em estudos futuros, seria importante utilizar uma amostra de dimensões superiores e utilizar um protocolo onde as diferenças de velocidades entre patamares fossem maiores.

Apesar de tudo, parece ser importante continuar a apostar em factores técnicos para a melhoria das performances, como seja a diminuição das variações intracíclicas da velocidade de deslocamento.

## 8. Bibliografia

---

Alves, F.; Gomes-Pereira, J.; Pereira, F. (1996). Determinants of energy cost of front crawl and backstroke swimming and competitive performance. In: J. P. Troup, A. P. Hollander, D. Strasse, S. W. Trappe, J. M. Cappaert, T. A. Trappe (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*, pp. 185-192. E & FN Spon. London.

Barbosa, T.; Santos Silva, V.; Sousa, F.; Vilas-Boas, J. P. (2003). Comparative Study of the Response of Kinematical Variables from the Hip and the Center of Mass in Butterfliers. In: J. C. Chatard (ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, pp. 93-98. Publications de l'Université de Saint-Étienne. Saint-Étienne.

Barbosa, T. M.; Keskinen, K. L.; Fernandes, R.; Colaço, P.; Lima, A. B.; Vilas-Boas, J. P. (2005). Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol*, 93: 519-523.

Barthels, K. e Adrian, M. (1975). Three-dimensions spatial hand patterns of skilled butterfly swimmers. In: L. Lewille; J. P. Clarys (eds.), *Swimming II*, pp. 154-160. University Park Press. Baltimore.

Capelli, C.; Pendergast; D.R.; Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 78: 385-393.

Cavanagh, P. R. E Kram, R. (1985). Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17 (3): 326-331.

Cazorla, G. (1984). De l'évaluation en activité physique et sportive. *Travaux et recherches en E.P.S. n°7, Evaluation de la valeur physique*, pp.7-35. INSEP. Paris.\*

Chatard J. C., Lavoie J., Lacour J. (1990). Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 61 (1-2): 88-92.

Costill, D. L.; Maglischo, E. W.; Richardson, A. B. (1992). *Swimming*. Blackwell Scientific Publications. London.

Cruz, A. C. (2003). *A economia de nado para nadadores de ambos os géneros e de nível desportivo diferenciado*. Monografia de licenciatura em desporto e educação física, na opção de desporto de rendimento – natação, da Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. FCDEF-UP. Porto.

de Leva, P. (1996). Adjustment to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *J. Biomechanics* 29: 1223-1230.

di Prampero, P. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int. J. Sports Med.*, 7: 55-72.

di Prampero, P. E.; Pendergast, D.R.; Wilson, D.W. e Rennie, D.W. (1974). Energetics of Swimming in Man. *J. App. Physiol.*, 37 (1): 1-5.

di Prampero, P.; Pendergast, D.; Wilson, D.; Rennie, D. (1978). Blood lactic acid concentrations in high velocity swimming. In: B. Eriksson, B. Furberg (eds.), *Swimming Medicine IV*, pp. 249-261. University Park Press. Baltimore.

Fernandes, R.; Vilas-Boas, J.P. (2002). *Factores influenciadores do rendimento em Natação Pura Desportiva. Breve revisão*. Documento de apoio à disciplina de Metodologia I – Natação. Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. Porto.

Fernandes, R. J.; Billat, V. L. ; Cruz, A. C. ; Colaço, P. J.; Cardoso, C. S.; Vilas-Boas, J. P. (submetido a publicação). Has gender any effect on the relationship

between time limit at VO<sub>2</sub> max velocity and swimming economy? *JHMS*. (sujeito a publicação).

Fujishima, M.; Miyashita, M. (1999). Velocity degradation caused by its fluctuation in swimming and guidelines for improvement of average velocity. In: K. Keskinen, P. Komi, A. P. Hollander (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, pp. 41-45. Department of Biology of Physical Activity – University of Jyväskylä. Finland.

Holmér, I. (1974a). Physiology of swimming man. *Acta Physiol. Scand.*, Suppl. 407: 1-55.

Holmér, I. (1974b). Energy of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 33:105-118.

Holmér, I. (1983). Energetics and mechanical work in swimming. In: In: A. P. Hollander, P. A. Huijing, G. de Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 155-164. Human Kinetics Publishers. Illinois.

Howley, E. T.; Bassett, T.; Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine Science and Sports Exercise*, 27: 1292-1301.

Keskinen, K. L.; Rodríguez, F. A.; Keskinen, O. P. (2003). Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming. *Scand J Med Sci Sports*, 13: 322 – 329.

Kjendlie, P. L.; Ingjer, F.; Madsen, O.; Stallman, R.; Stray-Gundersen, J. (2004) Differences in the energy cost between children and adults during front crawl swimming. *Eur. J. Appl. Physiol*, 91: 473-480.

Klentrou, P. P. e Montpetit, R. R. (1992). Energetics of backstroke swimming in males and females. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24 (3): 371-375.

Kornecki, S. e Bober, T. (1978). Extreme velocities of a swimming cycle as a technique criterion. In: B. Eriksson, B. Furberg (eds.), *Swimming Medicine IV*, pp. 402-407. University Park Press. Baltimore.

Lavoie, J.M; Montpetit, R.R. (1986). Applied Physiology of Swimming. *Sports Medicine*, 3: 165-189.

Maglischo, C. W.; Maglischo, E. W.; Santos, T. R. (1987). The Relationship Between the Forward Velocity of the Center of Gravity and the Forward Velocity of the Hip in the Four Competitive Strokes. *J. Swimming Research*, 3(2): 11-17.

Maglischo, E. W.; Maglischo, C. W.; Santos, T. R. (1989). Patterns of Forward Velocity in the Four Competitive Swimming Strokes. In: W. E. Marrison (ed.), *Proceedings of the VII<sup>th</sup> International Symposium of the Society of Biomechanics in Sport Medicine*. Melbourne.

Martins-Silva, A.; Alves, F.; Gomes-Pereira, J. (1999). Determinant factors in a 200m Butterfly Swim as Related to the Fluctuation in Horizontal Velocity of the Body Centre of Gravity. In: K. Keskinen, P. Komi, A. P. Hollander (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, pp. 21-24. Department of Biology of Physical Activity – University of Jyvaskyla. Finland.

Montpetit, R. R.; Lavoie, J. M.; Carzola, G. (1983). Aerobic energy cost of swimming the front crawl at high velocity in international class and adolescent swimmers. In: A. P. Hollander, P. A. Huijing e G. de Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 228-234. Human Kinetics Publishers. Illinois.

Nigg, B. (1983). Selected methodology in biomechanics with respect to swimming. In: A. P. Hollander, P. A. Huijing, G. de Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp.72-80. Human Kinetics Publishers. Illinois.

Pendergast, D.; di Prampero, P. E.; Craig, A.; Wilson, D.; Rennie, D. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J. Appl. Physiol.*, 43 (3), 475-479.

Pendergast, D.; di Prampero, P. E.; Craig, A.; Rennie, D. (1978). The influence of selected biomechanical factors on the energy cost of swimming. In: B. Eriksson e B. Furberg (eds.), *Swimming Science IV*, pp. 367-378. University Park Press. Baltimore.

Rennie, D. W.; Pendergast, D. R.; di Prampero, P. E. (1975). Energetics of Swimming in Man. In: L. Lewillie e J. P. Clarys (eds.), *Swimming II*, pp. 97-104. University Park Press. Baltimore.

Sano, S. ; Bongbele, J. ; Chatard, J. C.; Lavoie, J. M. (1992). Evaluation of maximal aerobic velocity and prediction of performance in backstroke. In: D. MacLaren, T. Reilly e A. Lees (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 285-288. E & FN Spon. Great Britain.

Schleihauf, R. E. (1979). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In: J. Terauds, E. W. Bedingfield (eds.), *Swimming III*, pp. 70-109. University Park Press. Baltimore.

Smith, H. H.; Montpetit, R. R.; Perrault, H. (1988). The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58: 182-188.

Smith D. J., Norris S. R., Hogg J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers. Scientific tools. *Sports Med.*, 32 (9): 539-554.

Termin, B. e Pendergast, R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *J. Swimming Research* 14: 9-17.

Toussaint, H.; Meulements, A.; de Groot, G.; Hollander, A.; Schreurs, A.; Vervoorn, K. (1987). Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. *Eur. J. Appl. Physiol*, 56:363-366.

Toussaint, H. M.; Hollander, A. P.; de Groot, G.; Schenau, G. J. ; Vervoorn, K; de Best, H. ; Meulemans, T. ; Schreurs, W. (1988). Measurement of Efficiency in Swimming Man. In: B.E. Ungerechts, K. Wilke, K. Reischle (eds.), *Swimming Science V*, pp. 45-52. Human Kinetics. Illinois.

Toussaint, H. B. e Hollander, A. P. (1994). Mechanics and Energetics of Front Crawl Swimming. In: M. Miyashita, Y. Mutoh, A. B. Richardson (eds.), *Medicine and Science in Aquatic Sports*, pp. 107-116. Karger. Basel.

van Handel P. J., Katz A., Morrow J. R., Troup J. P., Daniels J.T., Bradley P. W. (1988). Aerobic economy and competitive performance of U.S. elite swimmers. In: B. E. Ungerechts, K. Wilke, K. Reischle (eds.), *Swimming Science V: Proceedings of the Fifth International Symposium of Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 219-227. Human Kinetics Publishers. Illinois.

Vilas-Boas, J. P. (1993). *Caracterização biofísica de três variantes da técnica de bruços*. Dissertação apresentada às provas de doutoramento no ramo de Ciências do Desporto, especialidade de Biomecânica do Desporto. FCDEF-UP. Porto.

Vilas-Boas, J. P. (1996). Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. In: J. P. Troup, A. P. Hollander, D. Strasse, S. W. Trappe, J. M. Cappaert, T. A. Trappe (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*, pp. 167-171. E & FN Spon. London.

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

Vilas-Boas, J. P. (2000). Aproximação Biofísica ao desempenho e ao treino de nadadores. *Rev. Paul. Educ. Fis.* 14(2): 107-117.

Vilas-Boas, J. P. (2004). *Lição de síntese. Documento de apoio à disciplina de biomecânica*. FCDEF-UP.

Vilas-Boas, J. P.; Santos, P. (1994). Comparison of Swimming Economy in Three Breaststroke Techniques. In: M. Miyashita, Y. Mutoh, A. B. Richardson (eds.), *Medicine and Science in Aquatic Sports*, pp. 48-54. Karger. Basel.

Winter, D. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley and sons. Chichester.

\* Referência indirecta

## Anexos

---

### Anexo 1. Valores médios de v, dv, $\dot{E}$ e C, por nadador e patamar

Nadador	Patamar	v (m/s)	dv (%)	$\dot{E}$ (mlO <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	C (J.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )
1	1	1.13	16.88±0.73	41.71	12.82
	2	1.22	19.35±1.13	50.64	14.44
	3	1.26	21.53±2.19	51.98	14.33
	4	1.30	20.23±2.08	55.20	14.75
	5	1.35	20.61±7.28	58.37	15.08
	6	1.38	22.16±1.45	62.65	15.86
2	1	1.10	15.70±2.70	32.43	10.30
	2	1.25	17.63±3.56	45.03	12.51
	3	1.32	16.30±1.94	46.88	12.33
	4	1.39	15.62±3.58	59.36	14.90
	5	1.49	13.07±4.18	63.73	14.91
3	1	1.18	19.25±4.86	54.98	16.30
	2	1.26	15.99±2.41	59.37	16.41
	3	1.31	19.34±4.96	61.28	16.27
	4	1.35	21.69±3.34	71.78	18.53
	5	1.37	21.06±5.88	74.65	19.00
4	1	1.15	24.89±2.98	56.57	17.16
	2	1.19	22.74±1.09	58.54	17.15
	3	1.23	24.98±0.75	61.08	17.36
	4	1.27	24.77±1.25	68.72	18.83
	5	1.34	20.95±2.30	78.99	20.54
5	1	1.10	21.22±1.41	41.44	13.14
	2	1.20	23.26±2.88	44.66	12.91
	3	1.23	20.28±6.78	50.26	14.21
	4	1.26	17.48±1.81	57.37	15.82
	5	1.29	17.72±0.20	64.74	17.52
	6	1.33	18.56±4.51	78.33	20.58