

**U. PORTO**



FACULDADE DE DESPORTO  
UNIVERSIDADE DO PORTO

# Índice de Coordenação e Custo Energético na técnica de Costas

Nuno Filipe Magalhães Caetano

Porto, 2008



## Índice de Coordenação e Custo Energético na técnica de Costas

Monografia realizada no âmbito da disciplina de Seminário do 5º ano, da Licenciatura em Desporto e Educação Física, Opção Complementar de Desporto de Rendimento - Natação, da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Orientador: Prof. Doutor João Paulo Vilas-Boas  
Co-orientador: Prof. Doutor Ricardo Fernandes  
Nuno Caetano

Porto, 2008

Caetano, N. (2008). *Índice de Coordenação e Custo Energético na técnica de Costas*. Porto: N. Caetano. Dissertação de Licenciatura apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

**PALAVRAS CHAVE:** ÍNDICE DE COORDENAÇÃO, CUSTO ENERGÉTICO, TÉCNICA DE COSTAS, BIOMECÂNICA, BIOENERGÉTICA.

Aos meus pais e irmãos. À Marta.



## **Agradecimentos**

Este documento é “apenas” a tarefa final de um conjunto de anos de formação, e como tal, algumas pessoas estiveram especialmente envolvidas em todo este processo. Por considerar que sem o seu apoio, de diversas formas, não seria possível aqui estar, sinto neste momento necessidade de as reconhecer como fundamentais no meu percurso.

Gostava de começar por agradecer ao professor orientador desta tese, Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas. Não só pela orientação no seminário do 5º ano, mas por todo o processo de crescimento e aprendizagem na área da Natação. Pela paixão, interesse, sugestões, explicações e críticas aos seus pupilos, principalmente porque sentimos a construtividade das suas intervenções na nossa formação pessoal e profissional.

De igual modo quero agradecer ao Professor Doutor Ricardo Fernandes, co-orientador deste trabalho, que também já nos acompanha à algum tempo na nossa formação em natação. A sua disponibilidade e profissionalismo merecem o profundo reconhecimento público.

Ao Engenheiro Pedro Gonçalves, técnico do Gabinete de Biomecânica, pelas tardes (que terminavam no breu da noite) em que nos tirou dúvidas tanto do âmbito biomecânico, estatístico ou informático, assim como a afabilidade com que nos recebeu. Sempre conseguindo atender-nos e estar disponível para as nossas angústias. O meu especial agradecimento.

Ao Pedro Morais, pelas ajudas iniciais e não só, e principalmente pelo sincero apoio e interesse ao longo de todo o processo.

Agradeço também ao Pedro Figueiredo pela resolução de alguns problemas e/ou dúvidas.

Ao Miguel, Elfie, Rui e Carla pela ajuda na elaboração do resumo deste trabalho na língua francesa.

Quero também agradecer aos meus irmãos, Tiago e Miguel, por permitirem que tudo “ficasse para depois”, sem deixarem de estar ao meu lado.

Quero agradecer em especial à Marta. Pelo apoio no meu trabalho, nas minhas lutas, e à minha pessoa. Por me ajudar a ser melhor.

Aos meus pais. Obrigado por me proporcionarem o estudo e formação, mesmo quando não o mereci. Sem vocês não seria possível este momento. Obrigado pelo amor e apoio incondicional. Espero que se orgulhem destas minhas primeiras vitórias. Dedico-as a vocês.

A todos aqueles que, directa ou indirectamente, contribuíram para que este momento fosse possível, através de apoio, e, ou, compreensão.

A todos o meu Sentido Obrigado.



## Índice Geral

Agradecimentos .....	V
Índice Geral .....	VIII
Índice de Figuras .....	XI
Índice de Quadros .....	XIII
Resumo .....	XV
Abstract .....	XVII
Résumé .....	XIX
Abreviaturas e símbolos .....	XXI
1. Introdução .....	1
2. Revisão da Literatura .....	4
2.1. Enquadramento teórico da temática .....	4
2.2. Índice de Coordenação .....	7
2.2.1. Contextualização .....	7
2.2.2. Índice de Coordenação e factores condicionantes .....	11
2.2.3. Estudos sobre Índice de Coordenação na técnica de Costas .....	13
2.3. Economia de Nado e Custo Energético .....	15
2.3.1. Contextualização .....	15
2.3.2. Custo Energético e factores condicionantes .....	16
2.3.3. Custo energético, eficiência propulsiva e arrasto .....	19
2.4. Estudos acerca do IdC e do Custo Energético .....	20
3. Objectivos e hipóteses .....	22
3.1. Objectivos .....	22
3.1.1. Geral .....	22
3.1.2. Específicos .....	22
3.2. Hipóteses .....	22
4. Material e métodos .....	23
4.1. Caracterização da amostra .....	23
4.2. Metodologia .....	23
4.2.1. Preparação da amostra .....	24
4.2.2. Protocolo .....	24

4.2.3. Recolha e análise dos dados bioenergéticos .....	25
4.2.4. Recolha e análise dos dados biomecânicos .....	27
4.2.5. Procedimentos estatísticos .....	28
5. Apresentação dos resultados .....	29
6. Discussão.....	40
6.1. Discussão da Metodologia.....	40
6.2. Discussão dos Resultados.....	42
7. Conclusões.....	50
8. Bibliografia.....	51



## Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama síntese dos factores determinantes do rendimento desportivo (adaptado de Fernandes & Vilas-Boas, 2002) .....	4
Figura 2. Válvula respiratória.....	25
Figura 3. Oxímetro (K4 b <sup>2</sup> ). .....	25
Figura 4. Recolha de sangue capilar .....	26
Figura 5. Analisador de Lactatemia Yellow Springs Incorporated. ....	26
Figura 6. Câmaras em plano sagital.....	27
Figura 7. Mesa de mistura Panasonic Digital Mixer. ....	27
Figura 8 – Regressão linear estabelecida entre o IdC e a v, com respectiva recta de regressão, valor do coeficiente de determinação (r <sup>2</sup> ) e valor de prova (p) para cada nadador e para a totalidade da amostra. ....	32
Figura 9. Regressão linear estabelecida entre o $\dot{E}$ e a v, com respectiva recta de regressão, valor do coeficiente de determinação (r <sup>2</sup> ) e valor de prova (p) por nadador e para a totalidade da amostra.....	34
Figura 10. Regressão linear estabelecida entre o $\dot{E}$ e a v <sup>3</sup> , com respectiva recta de regressão, valor do coeficiente de determinação (r <sup>2</sup> ) e valor de prova (p), para cada nadador e para a totalidade da amostra.....	36
Figura 11. Regressão linear estabelecida entre IdC e $\dot{E}/v^3$ e respectiva recta de regressão, valor de prova (p), para cada nadador e para a a totalidade da amostra. ....	38
Figura 12. Regressão linear estabelecida entre IdC e o valor de $\dot{E}/v^3$ e respectiva recta de regressão, valor de prova (p), para a totalidade da amostra sem o nadador 5. ....	39



## Índice de Quadros

Quadro 1. Resenha de estudos contemplando o IdC e respectivas técnicas de nado e objectivos visados. ....	9
Quadro 2. Idade (anos), Massa Corporal (Kg), Altura (cm) e valor percentual de massa gorda (% massa gorda); valores médios (méd) e respectivos desvios-padrão (dp) dos nadadores constituintes da nossa amostra. ....	23
Quadro 3. Valores de velocidade correspondente ao consumo de oxigénio ( $vVO_2$ ), percentagem do consumo máximo de oxigénio ( $\%VO_{2m\acute{a}x}$ ), dispêndio energético ( $\dot{E}$ ), custo energético (C) e índice de coordenação (IdC), por nadador e patamar de nado. ....	29
Quadro 4. Valores médios (méd) e respectivos desvios-padrão (dp) de velocidade ao consumo de oxigénio ( $vVO_2$ ), percentagem do consumo máximo de oxigénio ( $\%VO_2$ ), dispêndio energético ( $\dot{E}$ ), custo energético (C) e índice de coordenação (IdC) por patamar e valores de média amostral de $vVO_2$ , $\dot{E}$ e C. ....	30
Quadro 5. Coeficientes de correlação (r) e de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear estabelecida entre o IdC e a v, por nadador e média amostral. ....	31
Quadro 6. Coeficientes de correlação (r) e de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear estabelecida entre o $\dot{E}$ a v, por nadador e média amostral. ....	33
Quadro 7. Coeficientes de correlação (r) e de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear estabelecida entre o $\dot{E}$ a $v^3$ , por nadador e média amostral. ....	35
Quadro 8. Coeficientes de correlação (r) e de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear estabelecida entre IdC e $E/v^3$ , por nadador e média amostral. ....	37
Quadro 9. Comparação dos valores médios e respectivos desvios-padrão do IdC, entre o estudo de Chollet, Seifert & Carter (2008) e o presente estudo. ...	43
Quadro 10. Breve resenha de estudos que contemplaram custo energético na técnica de Costas, em nadadores do sexo masculino. ....	45



## Resumo

O objectivo deste estudo foi relacionar o índice de coordenação (IdC) com o custo energético (C) de nado, na técnica de Costas. Cinco nadadores de elite, da selecção nacional e de nível 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 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. Em cada intervalo de recuperação foram recolhidas amostras de sangue capilar do lóbulo da orelha 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 nadadores e para a média amostral, em cada repetição realizada. Os percursos de nado 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 a obtenção do IdC foi utilizado o programa APAS (Ariel Dynamics Inc, USA). Os principais resultados obtidos foram: (i) um aumento do valor do IdC com o incremento da velocidade de nado (v) para todos os nadadores da nossa amostra; (ii) um aumento linear do  $\dot{E}$  com a v em termos médios ( $r^2=0.466$ ,  $p<0.01$ ) e para 1 nadador ( $r^2=0.967$ ,  $p<0.01$ ), e cúbico para 4 nadadores ( $0.919\leq r^2\leq 0.972$ ,  $p<0.01$ ); (iii) uma diminuição do C associado a um aumento do IdC para 1 nadador ( $r^2=0.830$ ,  $p<0.05$ ) e uma tendência no mesmo sentido para outros 3 nadadores; (iv) um aumento do C associado a um aumento do IdC a nível amostral, demonstrando a forte natureza individual da relação entre as variáveis. Conclui-se que os nadadores adaptam o seu IdC à v e que o IdC parece influenciar o C, sendo a natureza da relação entre as variáveis de carácter individual.

**Palavras-chave:** ÍNDICE DE COORDENAÇÃO, CUSTO ENERGÉTICO, TÉCNICA DE COSTAS, BIOMECÂNICA, BIOENERGÉTICA.



## Abstract

The purpose of this study was to analyse the relationship between the index of coordination (IdC) and energetic cost (C) of swimming, in backstroke. Five elite swimmers, of the national team and national level, performed 5 or 6 stages of an incremental test of 200m, with 30 seconds to recover. 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. In each recovery pause, capillary blood samples from the ear lobe were collected, and after the end of the test, at 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 swimmer and sample mean. The swimmers were videotaped in sagittal plan during the 100m, 125m and 150m of each stage 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 obtain the IdC. The main results were: (i) the IdC value increase with the increase in velocity, for each swimmer; (ii) a linear increase of  $\dot{E}$  with velocity for the sample mean values ( $r^2=0.466$ ,  $p<0.01$ ) and for one swimmer ( $r^2=0.967$ ,  $p<0.01$ ) and a cubic relation for the 4 other swimmers ( $0.919 \leq r^2 \leq 0.972$ ,  $p<0.01$ ); (iii) a decrease of C related to an increase of the IdC for one swimmer ( $r^2=0.830$ ,  $p<0.05$ ) and a trend to a decrease of C with an increase of the IdC for 3 other swimmers; (iv) a increase in C related to an increase in the IdC, showing the strongly individual nature of the variables relation. It is concluded that the swimmers adapt their IdC to velocity and that the IdC seems to influence C, being the nature of the variables individual.

**Key words:** INDEX OF COORDINATION, ENERGETIC COST, BACKSTROKE, BIOMECHANICS, BIOENERGETICS.



## Résumé

L'objectif de cette étude fut de corréler l'index de coordination (IdC) et le coût énergétique (C) dans la technique du dos crawlé. Cinq nageurs d'élite, de la sélection national et de niveau national, qui ont constitué l'échantillon, ont effectué 5 à 6 répétitions de 200m d'intensité progressive, avec entre chaque course 30 secondes de repos. La consommation d'oxygène a été mesurée à chaque respiration par le biais d'un oxymètre portable (K4 b<sup>2</sup>, Cosmed, Italy). Une valve respiratoire avec une faible résistance hydrodynamique a été utilisée pour recueillir les échantillons des gaz expirés. Des échantillons de sang capillaire du lobule de l'oreille ont été recueillis à chaque repos ainsi qu'à la fin du protocole aux minutes 1, 3, 5 et 7 afin d'analyser la lactatémie (Yellow Springs Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA). La dépense énergétique (E) et le C ont été calculés pour chaque nageur ainsi que pour la moyenne de l'échantillon, et ce pour chacune des courses. Les parcours à la nage ont été filmés, en plan sagittal, durant les 100, 125 et 150m de chaque course, en utilisant deux caméras placées au-dessus et en-dessous de la surface de l'eau, ce qui a permis d'obtenir des images en double moyen. Le programme APAS (Ariel Dynamics Inc, USA) a été utilisé pour calculer le IdC. Les principaux résultats obtenus ont été : (i) augmentation de la valeur du IdC en fonction de la vitesse du nageur (v); (ii) une augmentation linéaire de  $\dot{E}$  en fonction de v de la moyenne ( $r^2=0.466$ ,  $p<0.01$ ) et d'un nageur ( $r^2=0.967$ ,  $p<0.01$ ), et cubique pour 4 nageurs ( $0.919 \leq r^2 \leq 0.972$ ,  $p<0.01$ ); (iii) une diminution de C associé à une augmentation du IdC d'un nageur ( $r^2=0.830$ ,  $p<0.05$ ) et une même tendance pour 3 autres nageurs; (iv) une augmentation de C en fonction de IdC dans les termes moyens, confirmant la individuel nature de la relation entre les deux variables. On peut conclure que les nageurs adaptent leur IdC à v et que l'IdC paraît influencer le C, la relation entre les variables étant à caractère individuel.

**Mots-clés:** INDEX DE COORDINATION, COÛT ÉNERGÉTIQUE, TECHNIQUE DE DOS CRAWLÉ, BIOMÉCANIQUE, BIOÉNERGÉTIQUE.



## Abreviaturas e símbolos

% - percentagem

\* - evidência de uma diferença estatisticamente significativa

< - menor que

= - igual

> - maior que

± - mais ou menos

≤ - menor ou igual que

≥ - maior ou igual que

C – custo energético

cf – conforme

cm – centímetros

D – força de arrasto hidrodinâmico

dp – desvio-padrão

dv – flutuações intracíclicas da velocidade de nado

Ė – dispêndio energético

EN – economia de nado

$e_p$  – eficiência propulsiva

$e_{pt}$  – eficiência mecânica propulsiva total

et al. – e colaboradores

FC – frequência cardíaca

Hz - Hertz

IdC – Índice de Coordenação

J - joules

kg – kilogramas

$l \cdot \text{min}^{-1}$  – litros por minuto

m – metros

$m \cdot s^{-1}$  – metros por segundo

máx - máximo

méd - média

MS – membros superiores

NPD – natação pura desportiva

° - graus

p – valor de prova

r – coeficiente de correlação

R – quociente respiratório

$r^2$  – coeficiente de determinação

s – segundos

v – velocidade de nado

$VO_2$  – consumo de oxigénio

$VO_{2m\acute{a}x}$  – consumo máximo de oxigénio

$vVO_2$  – velocidade correspondente ao consumo de oxigénio

$vVO_{2m\acute{a}x}$  – velocidade correspondente ao consumo máximo de oxigénio

w – potência

## 1. Introdução

Em Natação Pura Desportiva (NPD) observam-se significantes preocupações relativamente à qualidade e objectivação do processo de treino (Vilas-Boas, 1990; Fernandes & Vilas-Boas, 2006). Assim, para que ocorra uma evolução no rendimento desportivo dos nadadores, nenhum factor influenciador desse rendimento deve ser esquecido e todos deverão ser alvo de especial atenção para que o possamos maximizar.

Di Prampero et al. (1974), Rennie et al. (1975), Pendergast et al. (1977), Pendergast et al. (1978) e Holmér (1983), desenvolveram uma Equação Geral da Performance do Nadador [ $v = \dot{E} \times (e_{pt} \times D^{-1})$ ], onde os factores bioenergéticos e os biomecânicos (que incluem a técnica de nado e factores morfológicos) parecem ser os que mais atenções despertam (Vilas-Boas, 1997).

Entre os factores biomecânicos, os parâmetros cinemáticos de braçada são vistos como importantes factores da caracterização da eficiência técnica dos nadadores. Para além destes factores, Chatard et al. (1990) revelaram que a organização temporal das acções dos membros superiores (MS), se constitui também como um importante parâmetro de caracterização da referida habilidade motora dos nadadores de alto nível. Assim, a organização temporal das acções dos MS e a coordenação entre MS têm vindo a merecer crescente atenção da comunidade científica. Foi neste enquadramento Chollet et al. (2000) propuseram uma metodologia capaz de quantificar a coordenação entre MS, denominada de Índice de Coordenação (IdC). Este método baseia-se na análise da duração das diferentes fases ou acções dos MS, permitindo a mensuração da coordenação entre os mesmos, o IdC, pelo intervalo de tempo entre a ocorrência de fases propulsivas.

Chollet et al. (2000), descrevem, na técnica de Crol, três modelos de coordenação de MS: (i) *catch-up* (IdC<0%), em que ocorre um intervalo de tempo entre as fases propulsivas de ambos os MS; (ii) oposição (IdC=0%), em que a fase propulsiva de um MS termina no momento em que se inicia a fase propulsiva do MS oposto; (iii) sobreposição (IdC>0%), em que as fases propulsivas dos MS se sobrepõem.

A técnica de Costas é nadada exclusivamente em modelo *catch-up* (Lerda & Cardelli, 2003; Lerda et al., 2005, Chollet et al., 2008), devido à rotação alternada do corpo e das limitações anatómicas do ombro não permitirem uma acção contínua de fases propulsivas (Chollet et al, 2008).

Seifert et al. (2007) referem que o IdC parece ser influenciado por diferentes tipos de constrangimentos: (i) constrangimentos do contexto; (ii) constrangimentos impostos pela tarefa; (iii) constrangimentos de ordem orgânica. Para além da influência que estes factores parecem exercer sobre o IdC, o estudo da relação com outros factores, nomeadamente de ordem bioenergética, dá agora os primeiros passos. Alberty et al. (2005) procuraram relacionar as flutuações intracíclicas da velocidade e o IdC, na técnica de Crol, durante exercício exaustivo, verificando que em situações de fadiga os valores do IdC aumentam mesmo quando se verifica a diminuição ou manutenção da velocidade de nado ( $v$ ). Morais et al. (2008), num estudo piloto, encontraram uma relação positiva e significativa entre o IdC e o custo energético ( $C$ ) na técnica de Crol. Deste modo, o aumento nos valores do IdC não deve ser automaticamente associado ao aumento da  $v$ . Esta situação parece ir de encontro ao defendido por diversos estudos (Chatard et al., 1990; Alves, 1996; Barbosa et al., 2006b; Barbosa et al., 2008) quando referem que os aspectos biomecânicos e bioenergéticos se encontram altamente correlacionados e, mais concretamente, que a Economia de Nado (EN) e os parâmetros biomecânicos da braçada se encontram altamente relacionados.

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

A EN é uma temática de grande interesse para a comunidade científica, tendo-se iniciado o seu estudo na década de setenta, sendo os parâmetros a ela associados, como o  $C$  ou o  $\dot{E}$ , sido estudados por diversos autores (Schmidt-Nielsen, 1972; di Prampero, 1986; Alves, Vilas-Boas & Santos, 1994; Gomes-Pereira & Pereira, 1996; Vilas-Boas, 1994; Pendergast et al., 2003; Barbosa et al., 2005a; Fernandes et al., 2005; Fernandes et al., 2006b;

Barbosa et al., 2008) como parâmetros a considerar no treino de nadadores no sentido de potenciar o seu rendimento desportivo.

O C, o inverso da EN (Pendergast et al., 1977; Vilas-Boas, 2000), 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).

É neste contexto que se insere o nosso estudo, no sentido compreender de que forma se relacionam o IdC (um parâmetro eminentemente biomecânico), e o C (um parâmetro eminentemente bioenergético), na técnica de Costas, onde ainda não se efectuou investigação a este nível. O objecto do presente estudo passa então por tentar compreender como se adapta o gesto técnico, nomeadamente a acção dos MS ao aumento da intensidade de nado, mais concretamente a nível coordenativo, quantificado através do IdC, e que tipo de influência tem este parâmetro no C.

Neste trabalho, começaremos então por realizar uma revisão da literatura acerca da temática em causa, onde pretendemos verificar o estado do conhecimento acerca das principais variáveis em estudo, nomeadamente do Índice de Coordenação, seus factores condicionantes, dos estudos efectuados em IdC na técnica de Costas, do custo energético e economia de nado, e seus principais factores influenciadores, e terminando com os estudos relativos à relação entre IdC e o custo energético. Em seguida definiremos os objectivos e hipóteses do nosso estudo, apresentaremos o material e métodos utilizados, os resultados por nós obtidos, seguidos de uma discussão acerca dos mesmos tendo em conta o quadro teórico nacional e internacional de referência e apontando no fim quais as conclusões obtidas que derivam da discussão desenvolvida no capítulo anterior. O último capítulo está reservado para as referências bibliográficas correspondentes à pesquisa efectuada para a realização deste estudo.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1. Enquadramento teórico da temática

O rendimento desportivo em NPD é influenciado por diversos factores. Fernandes & Vilas-Boas (2002) enumeram na sua obra de revisão, inúmeros autores que se debruçaram acerca deste tema. Todos eles, embora com designações diferentes, referem os factores bioenergéticos e biomecânicos como dos mais relevantes para o rendimento desportivo específico da NPD. Os mesmos autores supracitados apresentam eles próprios uma proposta de modelação do complexo de factores determinantes do rendimento desportivo em natação (Fernandes & Vilas-Boas, 2002), onde se pode verificar que os Factores Biomecânicos e os Factores Bioenergéticos são tidos como muito importantes nesta estruturação complexa.

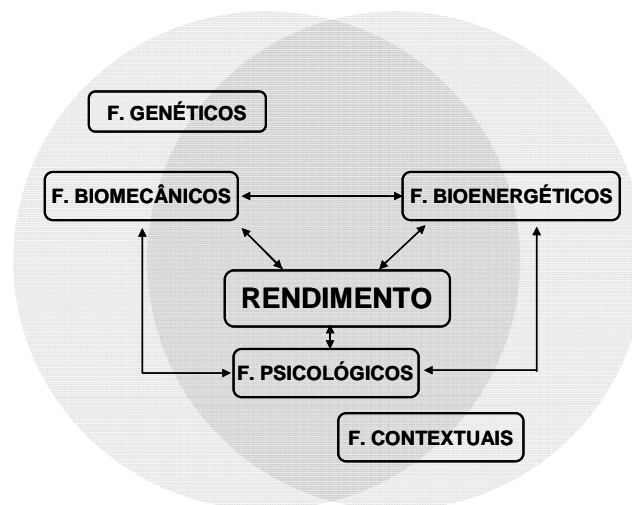


Figura 1. Diagrama síntese dos factores determinantes do rendimento desportivo (adaptado de Fernandes & Vilas-Boas, 2002)

Segundo Vilas-Boas (1989, cit in Fernandes & Vilas-Boas, 2002), a avaliação dos Factores Biomecânicos permite: (i) determinar a predisposição morfo-funcional individual para o desempenho em determinada especialidade; (ii) despistar eventuais insuficiências de preparação; (iii) avaliar os progressos induzidos no treino, nos domínios de evidente treinabilidade; (iv) prospecionar

indivíduos especialmente dotados para a deslocação no meio aquático; (v) seleccionar as variantes das técnicas que são mais ajustadas a cada indivíduo e (vi) avaliar os resultados do treino técnico. Ora, em termos biomecânicos, pode dizer-se que o presente estudo irá tentar satisfazer os dois últimos pontos. Vilas-Boas (1997) reforça a importância destes factores ao afirmar que é de extrema importância o nível da técnica e da biomecânica do nadador, no quadro da estrutura de treino dos factores de rendimento.

Relativamente aos Factores Bioenergéticos, Cazorla et al. (1984) referem que avaliar a capacidade fisiológica da motricidade traduz-se, principalmente, na mensuração directa ou indirecta das reservas energéticas disponíveis, assim como das suas possibilidades de mobilização, transporte e utilização durante o exercício. Vilas-Boas (1999) refere os seguintes grandes factores condicionantes do rendimento desportivo: a) dois sistemas fornecedores de energia, b) uma reserva energética rapidamente disponibilizável; c) a “capacidade” característica de cada sistema e da reserva de fosfagénios e d) a “potência” máxima a que, em cada ambiente fisiológico e celular, cada sistema e a reserva de fosfagénios conseguem operar. Assim, considerando o nível do desempenho dos dois sistemas fornecedores de energia, destacam-se, de entre os factores bioenergéticos, a avaliação do potencial aeróbio e do potencial anaeróbio (Fernandes & Vilas-Boas, 2002).

Os dois factores anteriormente referidos estão bem evidenciados na Equação Geral da Performance do Nadador, desenvolvida por di Prampero et al. (1974), Rennie et al. (1975), Pendergast et al. (1977) e Holmér (1983) :

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

onde:  $v$  – velocidade de nado;  $\dot{E}$  – dispêndio energético;  $e_{pt}$  – eficiência mecânica propulsiva total;  $e$ ,  $D$  – arrasto hidrodinâmico.

Da análise à equação (1) podemos aferir que a velocidade de nado está dependente do dispêndio energético, da eficiência mecânica propulsiva total e do arrasto hidrodinâmico. A equação constituiu-se como um dos mais notáveis

contributos para o progresso do conhecimento em natação, fundamentalmente pelas seguintes razões: (a) por ter favorecido o desenvolvimento de vários métodos de avaliação de diferentes competências do nadador; (b) por ter estimulado progressos teóricos ulteriores do maior interesse e por abrir caminho a uma nova estruturação conceptual, ou novas bases para uma melhor estruturação conceptual do que é crítico para o treinador conhecer e do que é decisivo para ele estimular e controlar (Vilas-Boas, 2000). Em síntese, diríamos que a Equação Geral da Performance do Nadador esclarece que a capacidade de rendimento do nadador depende dos factores que condicionam a acessibilidade de energia para a realização de trabalho (factores bioenergéticos) e dos factores que condicionam a qualidade do seu aproveitamento em velocidade de nado, que designaríamos por factores biomecânicos (técnicos e morfológicos) (Vilas-Boas, 1997).

Com base na equação anterior, é possível escrever a seguinte igualdade:

$$D \times e_{pt}^{-1} = E \times v^{-1} \quad (2)$$

e que esta evidencia uma relação fundamental para o entendimento da natação, sendo:

$$E \times V^{-1} \quad (3)$$

o custo energético do nado a uma velocidade  $v$ , crescendo este com  $D$  e diminuindo com  $e_{pt}$ . Então, a economia motora (ou, se se preferir, o custo energético, seu inverso), constitui um indicador global para a avaliação do nível de adequação mecânica da técnica de nado, nomeadamente no que concerne à minimização de  $D$  e à maximização da eficiência com que se produz e aplica a potência (Vilas-Boas, 2000). Desta forma, quanto maior for a economia de nado, menor será o custo energético (Pendergast et al., 1977).

Neste momento não restam então dúvidas quanto à relação entre a área da biomecânica e da bioenergética, enquanto elementos influenciadores, e determinantes, do rendimento desportivo específico da NPD. Barbosa et al. (2006) referem que poucos têm sido os projectos desenvolvidos no sentido de

conhecer e compreender as possíveis relações que se estabelecem entre estes dois domínios.

## **2.2. Índice de Coordenação**

### **2.2.1. Contextualização**

O Índice de Coordenação (IdC) como forma de avaliação da coordenação dos MS, foi apresentado por Chollet (1997), na sua obra para a comunidade técnica “Natation Sportive: Approche Scientifique”. O autor refere que poucos estudos foram consagrados à análise da coordenação de nado propriamente dita, isto é, a forma como são estruturadas as acções segmentares que constituem um ciclo de nado. As análises efectuadas destinam-se a estudar as fases intra-cíclicas da braçada, de uma forma meramente apreciatória dos parâmetros cinéticos e cinemáticos, e, então, isolada de um estudo acerca da coordenação do nado (Chollet, 1997). Chollet, Chalies & Chatard (2000) apresentaram à comunidade científica o "novo índice de coordenação para a técnica de Crol", respeitando os mesmos princípios e metodologia de Chollet (1997), mas agora dando evidências da utilidade e pertinência deste parâmetro biomecânico na investigação em NPD.

O IdC apresenta-se como uma quantificação entre os tempos propulsivos de ambos os MS. Para identificar a coordenação propriamente dita, afere-se a relação entre os MS, no que respeita ao início e final das acções propulsivas, através do IdC (Chollet, 1997). O IdC define-se como uma tentativa de quantificação da percentagem de tempo total do ciclo consagrado a um padrão de coordenação específico entre o MS direito e o MS esquerdo (Chollet, 1997).

Chollet, Chalies & Chatard (2000) descrevem da seguinte forma como se afere o IdC relativamente aos três modelos de coordenação existentes: *catch-up* – IdC negativo ( $\text{IdC} < 0\%$ ); oposição – IdC nulo ( $\text{IdC} = 0\%$ ); e, sobreposição – IdC positivo ( $\text{IdC} > 0\%$ ).

Num primeiro estudo, Chollet, Chalies, Benavente & Nicol (1997, cit in Chollet, 1997), verificaram a adaptação do padrão coordenativo dos nadadores, em função da crescente velocidade de nado. Para uma velocidade de nado correspondente ao tempo dos 800m, os nadadores executaram o modelo *catch-up* ( $IdC > -6\%$ ); à velocidade dos 100m, os nadadores mantêm o modelo *catch-up*, porém aproximando-se do valor 0 ( $IdC < -5\%$ ); e, em nado máximo estão próximos do nado em oposição, o ideal, pois providencia uma acção propulsiva contínua (Costill, Maglisco & Richardson, 1992; Maglisco, 2002), sendo que  $IdC < -2\%$  e um nadador adopta o modelo de superposição ( $IdC > 0\%$ ).

Chatard, Collomp, Maglisco, E., Maglisco, C. (1990) observaram, na técnica de Crol, que a organização temporal das acções dos MS, ou os padrões de braçada utilizados, se constitui como um parâmetro de grande validade na caracterização da habilidade técnica de nadadores.

O  $IdC$  mede então a coordenação das acções dos MS, quantificando de forma precisa a duração do período de tempo entre início da fase propulsiva de um MS e o fim da fase propulsiva do MS oposto. Podemos então aferir o intervalo de tempo, ou não, entre o início da fase propulsiva, ou da propulsão de um MS, e o final da fase propulsiva do MS oposto, procurando a (des)continuidade das acções propulsivas no nado.

Dada a actualidade deste tema, decidimos elaborar uma resenha (quadro 1) dos estudos efectuados acerca do  $IdC$  até aqui, assim como as técnicas de nado visadas e os objectivos do trabalho, para se conhecer quais as temáticas estudadas até ao momento.

Quadro 1. Resenha de estudos contemplando o IdC e respectivas técnicas de nado e objectivos visados.

Autores	Ano de Publicação	Técnicas de Nado e Objectivos
Chollet, Chalies, Benavente, Nicol	1997	Crol (IdC, velocidade de nado)
Chollet, Chalies & Chatard	2000	Crol (IdC, velocidade e nível proficiência)
Sidney et al.	2001	Crol (IdC, variações intra-cíclicas, palas)
Lerda, Cardelli & Chollet	2001	Crol (IdC, respiração)
Millet, Chollet, Chalies & Chatard	2002	Crol (Triatletas vs NPD)
Lerda & Cardelli	2003	Costas (IdC, parâmetros braçada, nível prof.)
Hue, Benavente & Chollet	2003	Crol (IdC, Triatletas vs NPD)
Hue, Benavente & Chollet	2003	Crol (IdC, uso dos fatos dos Triatletas)
Lerda & Cardelli	2003	Crol (IdC, respiração, nível proficiência, veloc.)
Seifert, Boulesteix, & Chollet	2004	Crol (IdC, Género)
Chollet et al.	2004	Bruços (aferição do IdC, nível proficiência, vel)
Seifert, Chollet, & Bardy	2004	Crol (IdC, velocidade)
Alberty et al.	2005	Crol (IdC, parâmetros braçada, exaustão)
Leblanc et al.	2005	Bruços (IdC, elite vs não elite)
Lerda, Cardelli & Coudereau	2005	Costas (IdC, nível proficiência, género)
Seifert & Chollet	2005	Bruços (IdC, velocidade, género)
Seifert, Chollet & Allard	2005	Crol (IdC, respiração, nível proficiência)
Seifert et al.	2006	IdC vs Observação objectiva vs subjectiva
Schnitzler et al.	2006	Crol (IdC, nado máximo e nado sub-máximo)
Schnitzler et al.	2006	Crol (IdC, velocidade, variações intra-cíclicas)
Chollet, Carter & Seifert	2006	Costas (IdC, erros técnicos)
Schnitzler et al.	2006	Crol (IdC, vel intra-cíclica, fases braçada)
Seifert et al.	2006	Mariposa (vel, nível proficiência)
Schnitzler et al.	2007	Crol (IdC, vel intra-cíclica, velocidade, género)
Seifert, Chollet & Rouard	2007	Crol (IdC, factores condicionantes)
Seifert et al.	2007	Mariposa (IdC, vel, nível proficiência)
Chollet, Seifert & Carter	2008	Costas (IdC, velocidade)
Seifert et al.	2008	Mariposa (IdC, vel, nível proficiência, género)
Morais et al.	2008	Crol (IdC, custo energético) – estudo piloto
Figueiredo et al. (“no prelo”)	2008	Crol (IdC, flutuações intra-cíclicas da vel.)

A técnica de Crol tem sido a mais estudada, no que respeita ao IdC, com cerca de um terço dos trabalhos, em cerca de trinta. As principais variáveis analisadas vão de encontro à velocidade de nado, nível de proficiência, género. No entanto, parecem emergir novas preocupações com as outras técnicas de nado e variáveis como as flutuações intra-cíclicas da velocidade e custo energético, ainda que visando apenas a técnica de Crol.

Chollet, Chalies & Chatard (2000) descrevem, na técnica de Crol, três modelos de coordenação de MS: (i) *catch-up* (onde o IdC<0%), em que ocorre um intervalo de tempo entre as fases propulsivas de ambos os MS; (ii) oposição (IdC=0%), em que a fase propulsiva de um MS termina no momento em que se inicia a fase propulsiva do MS oposto; (iii) e sobreposição (IdC>0%), em que as fases propulsivas dos MS se sobrepõem. Em Costas, o único modelo de coordenação entre MS possível é o *catch-up* devido à acentuada rotação alternada do corpo, que pode levar a uma abdução do ombro na ordem dos 90 graus (°) (Colwin, 2002; Maglischo, 2003) e das limitações de flexibilidade da estrutura mio-articular do ombro. Estes dois factores levam a que, nesta técnica, seja necessária uma fase adicional de braçada para que o MS recupere até à superfície. Maglischo (2003), Lerda & Cardelli (2003a) e Lerda et al. (2005) referem que a segunda fase ascendente, ou *clearing phase*, não permite a continuidade das acções propulsivas entre os dois MS nesta técnica. Maglischo (2003) refere que alguns nadadores apresentam um padrão de braçada com três picos propulsivos, onde a segunda fase ascendente é propulsiva, porém, este padrão não é comum nos nadadores (Chollet, Seifert & Carter, 2008). Deste modo, o modelo *catch-up*, com descontinuidade entre acções propulsivas, é o adoptado pelos nadadores de Costas (Lerda & Cardelli, 2003). Mesmo assim os nadadores deverão minimizar o tempo entre as acções propulsivas entre os MS na técnica de Costas com o intuito de diminuir as flutuações intra-cíclicas da velocidade de nado, já que estas estão associadas a um maior C (Alves, Gomes-Pereira & Pereira, 1996; Barbosa et al., 2006b).

Para a técnica de Costas, Chollet, Carter & Seifert (2006) e Chollet, Seifert & Carter (2008) modelam a braçada desta técnica em seis fases: (i) *entry and catch*; (ii) *pull*; (iii) *push*; (iv) *hand lag time at the thigh*; (v) *clearing*; e,

(vi) *recovery*. No entanto, tal como Lerda & Cardelli (2003a) e Lerda, Cardelli & Coudereau, (2005), no presente estudo não observamos a fase (iv) *hand lag time at the thigh*.

O IdC tem vindo a ser visto como uma adaptação a um dado constrangimento, já que, por exemplo, o modo *catch-up*, no nado de Crol, parece ser uma adaptação do nadador à intensidade de nado, ao invés de um erro, como sempre é considerado (Seifert, 2007). Parece possível que a manipulação do IdC possa ser um dos factores através do qual os nadadores poderão alterar o custo energético de nado, para uma dada velocidade (Morais et al., 2008).

### **2.2.2. Índice de Coordenação e factores condicionantes**

A coordenação entre dois segmentos corporais deve ser vista não como resultado de uma prescrição simbólica de padrões de acção, mas antes como consequência de constrangimentos impostos por essa mesma acção (Seifert, Chollet & Rouard, 2007). Os mesmo autores referem ainda que deve reflectir daquele modo uma propensão dos sistemas biológicos para a auto-organização, no sentido da optimização dessa mesma acção.

De acordo com Seifert et al. (2007) os factores condicionantes do IdC, para a técnica de Crol são: (i) *factores relacionados com o envolvimento*, ou seja com as condições em que decorre a acção; (ii) *factores condicionantes advindos da tarefa* e (iii) *factores de ordem orgânica*. Neste sentido, é possível distinguir três ordens de factores condicionantes das acções dos MS na técnica de Crol, e por via disso do tipo de coordenação adoptado para os MS na realização de uma dada tarefa, quantificada através do IdC.

Os factores condicionantes do IdC relacionados com o envolvimento são factores externos ao organismo e não são passíveis de serem manipulados pelo investigador. Em NPD, o ambiente aquático impõe naturalmente uma resistência a vencer (Toussaint et al., 1988) e requer forças propulsivas (Berger, Hollander & De Groot, 1999; Schleihauf, 1979) em relação à velocidade para ultrapassar esta resistência.

Os factores condicionantes impostos pela tarefa dizem respeito às características da mesma, como a velocidade imposta, os objectivos a atingir, as regras e intruções, e as máquinas (Newel, 1986, cit in Seifert et al., 2007).

Os factores condicionantes do IdC de ordem orgânica dizem respeito aos factores de ordem estrutural ou funcional do próprio nadador. Neste grupo de factores incluem-se o género, nível de performance e características antropométricas dos nadadores.

Para além destes factores amplamente estudados, e que se verificou condicionarem a coordenação entre os MS, Alberty et al. (2005) no seu estudo sobre a relação entre as flutuações intracíclicas de velocidade e o IdC, em exercício exaustivo, observaram que o IdC poderá não ser apenas uma consequência do aumento da velocidade, uma vez que estes autores observaram que a um aumento do IdC nem sempre correspondia um aumento da velocidade de nado. Mais recentemente, Morais et al. (2008) relacionaram o IdC com o C, na técnica de Crol, afirmando que parece haver uma adaptação coordenativa do nadador, através do IdC, face ao custo energético de nado. Os autores referem ainda que a manipulação do IdC pode ser um dos factores através dos quais se pode alterar o C para uma dada velocidade de nado. Esta situação parece indicar que, e tal como Alberty et al. (2005) defendem, que os aspectos metabólicos poderão também estar relacionados com o IdC. Contudo, e para o nosso conhecimento, mais nenhum estudo foi feito até à presente data no sentido de compreender a influência e a relação que se possa estabelecer entre o IdC e parâmetros de ordem bioenergética, especialmente na técnica de Costas. Esta relação não é contudo de desprezar pois ao observarmos estudos conduzidos no sentido de analisar a relação entre parâmetros biomecânicos e parâmetros bioenergéticos é possível desde logo concluir a sua elevada correlação (Costill et al., 1985; Chatard et al., 1990; Vilas-Boas, 1996; Fernandes et al., 2006; Barbosa et al., 2005a; Barbosa et al., 2007).

### 2.2.3. Estudos sobre Índice de Coordenação na técnica de Costas

Até à data, foram realizados quatro estudos incidindo sobre o IdC, visando a técnica de Costas. Dada a actualidade do tema, optamos por realizar um breve resumo acerca das características e resultados dos mesmos, a fim de se conhecer o que se procurou investigar até aqui.

Lerda & Cardelli (2003a) aferiram o IdC em função do nível de *performance*, em 36 nadadores do sexo masculino. Os nadadores executaram três repetições de 25m, com eliminação do factor fadiga, à velocidade do tempo dos 100m Costas. Os principais resultados concluíram que: (i) a continuidade das acções propulsivas dos MS não variou significativamente em função do nível de *performance*; (ii) todos os nadadores utilizaram o *catch-up mode*, como modelo de coordenação dos MS; (iii) foram observadas alterações nas diferentes fases da braçada – duração da *entry*, *catch* e *pull* aumentaram nos nadadores “mais peritos”, enquanto que a fase *clearing* decresceu. Este ajuste técnico permite uma aplicação da força propulsiva mais prolongada e uma diminuição do arrasto, reduzindo também o Custo Energético; (iv) a quantificação do modo de organização da braçada, em Costas, indicou o nível técnico do nadador.

Lerda, Cardelli & Coudereau (2005) aferiram a organização dos MS, utilizando o IdC, em função do nível de *performance* e do sexo, em 36 nadadores, estudantes de Ciências do Desporto. Os nadadores executaram três repetições de 25m, com eliminação do factor fadiga, à velocidade do tempo dos 100m Costas. Os principais resultados evidenciam que: (i) o aumento da duração da fase *entry and catch* é o melhor preditor da *performance*, em ambos os sexos, sendo que os nadadores “mais peritos” sofrem menos arrasto porque a saída da água do MS oposto é efectuada mais cedo ; (ii) uma maior duração da *entry and catch* auxilia o alinhamento corporal e limita desequilíbrios; (iii) a melhoria da *performance* dá-se por diferentes modificações na técnica de nado entre os sexos - variáveis como a flutuação, deslize e o torque subaquático influenciam os resultados entre sexos; (iv) em ambos os sexos, as melhores performances são acompanhadas por uma

modificação na sincronização dos MS e dos MI – o número de batimentos dos MI por ciclo de braçada aumenta com a duração da fase *clearing*; v) há um aumento da *entry and catch* com a velocidade de nado – estes aumentos estão relacionados com a distância de ciclo de braçada, que é um factor na eficiência de braçada.

Chollet, Carter e Seifert (2006) utilizaram o IdC para quantificar a influência de dois erros comuns à técnica de Costas: (i) a entrada da mão fora do eixo do ombro (OS) e (ii) a flexão da cabeça sobre o tronco (FT), com incrementos na velocidade de nado. 16 nadadores nacionais franceses simularam as duas incorrecções técnicas, observadas frequentemente em nadadores de nível técnico inferior. Os erros foram executados separadamente e depois em conjunto (2M). Os nadadores executaram ainda o seu nado técnico habitual, para comparação. Todas as situações criadas foram aplicadas às velocidades de 400m, 200m, 100m e 50m de cada nadador. As principais conclusões deste trabalho foram: (i) erro OS parece ser o que mais influencia a coordenação entre MS e ainda é mais significativo quando em conjunto com o erro FT; (ii) os treinadores podem utilizar o IdC e a duração das fases da braçada para quantificar as relações existentes na coordenação dos MS; (iii) estas informações, juntamente com os parâmetros espaço-temporais da braçada (velocidade, frequência gestual, distância por ciclo) podem ser utilizados na correcção de nadadores de nível técnico inferior.

Chollet, Seifert & Carter (2008) aferiram a coordenação entre MS, através do IdC, ao incrementar a velocidade de nado. Catorze nadadores efectuaram nados às velocidades de 400m, 200m, 100m e 50m de cada um, em percursos de 25m, para evitar a fadiga. Com o aumento da velocidade os nadadores aumentaram a frequência gestual, a duração relativa da fase *pull*, e ainda o seu IdC. A distância por ciclo decresceu. O modo de coordenação adoptado pelos nadadores foi sempre o *catch-up*. O IdC permite ao treinador aferir erros técnicos dos nadadores, particularmente a fase *hand's lag time at the tigh*.

Como se pode concluir, todos estes trabalhos relacionam o IdC a outros parâmetros biomecânicos. Assim sendo, torna-se pertinente a investigação que

inclua parâmetros fisiológicos, já que a relação entre estes dois factores do rendimento é amplamente reconhecida pela comunidade científica mundial.

## **2.3. Economia de Nado e Custo Energético**

### **2.3.1. Contextualização**

Diversos são os autores que reconhecem a economia de nado como um dos principais determinantes da performance em NPD (di Prampero, 1986; van Handel et al., 1988; Chatard et al., 1990; Smith et al., 2002; Barbosa & Vilas-Boas, 2005; Fernandes et al., 2005; Barbosa et al., 2006b; Fernandes et al., 2006a; Fernandes et al., 2006b; Silva et al., 2006). 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; Alves et al., 1996), o que quer dizer que um menor  $\dot{E}$  para velocidades superiores se traduz numa melhor economia de nado (Alves et al., 1996).

O conceito de “custo energético específico de transporte” foi introduzido por Schmidt-Nielson (1972) e exprime o dispêndio de energia que ocorre por unidade de distância percorrido pelo indivíduo. O custo energético poderá então ser definido como a quantidade de energia utilizada por unidade de distância (di Prampero, 1986; Pendergast et al., 2003; Zamparo et al., 2005). Para di Prampero (1986) o C é o principal determinante fisiológico das melhores performances na NPD.

Para Barbosa et al. (2007) o C é um conceito que se encontra na área de intercepção mecânico-fisiológica. De facto, o C tem sido descrito como o melhor preditor bioenergético do rendimento em diversas formas de locomoção humana, quer no meio terrestre, quer no meio aquático (Alexander, 2005). A economia motora das técnicas de nado constitui-se como um parâmetro central no controlo de treino, nomeadamente por permitir estimar o percentual de participação energética aeróbia e anaeróbia em diferentes distâncias de prova

e por permitir avaliar quantitativamente o nível de adequação mecânica global do gesto técnico (Silva et al., 2006).

### **2.3.2. Custo Energético e factores condicionantes**

Os estudos realizados acerca de C têm focado diversos aspectos como a comparação do mesmo em diferentes meios de locomoção, técnicas de nado, níveis de proficiência, género, idade, variações intracíclicas da velocidade de nado, tempo limite à intensidade mínima correspondente ao consumo máximo de O<sub>2</sub>, parâmetros cinemáticos da braçada (di Prampero et al., 1974; Hólmer, 1974b, Pendergast et al., 1977; di Prampero, 1986; Costill et al., 1992; Alves, 1994; Toussaint & Hollander, 1994; Barbosa et al., 2006b; Fernandes et al., 2006b; Barbosa et al., 2008).

Na literatura, tem sido reconhecido que as nadadoras são mais económicas que os nadadores (Pendergast et al., 1978; Montpetit, Lavoie & Cazorla, 1983; Costill et al., 1985; di Prampero 1986; Klentrou & Montpetit, 1992; Onodera et al., 1999; Fernandes et al., 2005), 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 mais económicas. Pendergast et al. (1978) verificaram que os indivíduos do género feminino apresentam menores valores de C que os do género masculino, 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. Klentrou e Montpetit (1992) referem que, quando se ajustam os resultados em termos das massas corporais dos sujeitos, as diferenças entre géneros parecem eliminar-se.

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% (Holmér, 1974a; Holmér, 1983; Smith et al., 1988; Klentrou e Montpetit., 1992; Capelli et al., 1998, Barbosa et al., 2006a) 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 como: (i) a pernada tem uma maior participação na técnica de nado, 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. A este propósito Vilas-Boas (1996) foi pioneiro na constatação de que a um aumento da variação intracíclica da velocidade corresponde um maior C de nado.

Ao comparar-se o arrasto activo a seqüência era a mesma. Para uma dada velocidade de nado, a técnica com menor arrasto era o Crol, seguido por Costas, Mariposa e Bruços (Kolmogorov et al. 1997).

Barbosa et al. (2006b) relatam a relação positiva entre o C e as flutuações intracíclicas da velocidade de nado ( $dv$ ), onde um aumento das  $dv$  promoveu um aumento significativo do C, excepto na técnica de Bruços. Fernandes et al. (2006b) confirmaram que a economia de nado é um importante factor determinante da performance, já que os nadadores com um maior declive da recta de C e uma mais elevada velocidade ao  $VO_2$ máx, perconizaram menores valores de tempo limite à velocidade mínima correspondente ao consumo máximo de oxigénio ( $Tlim-vVO_2$ máx).

Smith et al. (1988) estudaram a relação entre o C e a mecânica gestual na técnica de Costas. Os autores verificaram uma relação inversa e significativa entre o C e a distância de ciclo. Por outro lado, uma maior frequência gestual está associada a uma maior custo energético, independentemente da massa corporal e da v. Barbosa et al. (2008) vão mais além, e referem que a manipulação das variáveis mecânicas da braçada pode ser um factor através do qual o C pode ser alterado em NPD. Ao manipular a distância de ciclo e a frequência gestual os nadadores podem atingir uma determinada v com um menor custo energético.

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, conforme referem Nigg (1983), Pendergast et al. (1977) Pendergast et al. (1978), Hólmer (1983): percorrer uma determinada distância o mais rapidamente possível, sendo portanto a velocidade entendida como medida de rendimento desportivo em NPD. 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  $v$ , embora não haja consenso relativamente à tipologia desse aumento, isto é, alguns autores consideram existir uma relação exponencial entre  $\dot{E}$  e a  $v$ , principalmente a velocidades submáximas (Hólmer, 1983; Capelli et al., 1998). Outros autores defendem 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., 2005a; Fernandes et al., 2005).

O aumento da eficiência propulsiva a  $v$  de nado mais levadas, parece ser devido às menores variações intracíclicas da velocidade de nado (di Prampero et al, 1974; Montpetit, Lavoie & Carzola, 1983; van Handel et al., 1988; Vilas-Boas, 1996; Barbosa et al., 2005b), e talvez por isso alguns autores encontraram uma relação linear e não exponencial ou cúbica entre estes dois factores.

O aumento da velocidade de deslocamento induz um aumento da força de arrasto ( $D = k.v^2$ ). A potência mecânica ( $P$ ) é o resultado entre o  $D$  e a velocidade de nado ( $P = D.v$ ). Então,  $P = k.v^2.v$ , ou,  $P = k.v^3$ . A potência externa necessária para vencer a força de arrasto é descrita por uma função cúbica. Assim, teoricamente, a relação entre o dispêndio energético e a velocidade é cúbica (Hollander, Toup & Toussaint, 1990; Wakayoshi et al., 1995; Wakayosshi et al., 1996).

### 2.3.3. Custo energético, eficiência propulsiva e arrasto

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. 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:

$$C = D / e_{pt}. \quad (4)$$

Aliás, vários estudos apontam para uma muito menor  $e_{pt}$  em NPD comparativamente com modalidades terrestres, o que se repercutirá, obviamente, em termos de custo energético. Em termos percentuais, o valor médio da  $e_{pt}$  em NPD varia, segundo (Holmér, 1974a; Rennie et al., 1975; Pendergast et al., 1977; Toussaint et al., 1988), entre os 3% e os 10%, 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 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). Podemos identificar os vários factores que determinam o D, dos quais somente a v e S variam, sendo os restantes constantes, na seguinte equação:

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D v^2 S, \quad (5)$$

onde: D – força de arrasto hidrodinâmico;  $\rho$  – massa específica da água;  $C_D$  – coeficiente de arrasto; v – velocidade de nado, e, S – área de secção máxima do corpo transversal à direcção da força D.

A partir desta equação, parece evidente a influência da v sobre o D e, conseqüentemente sobre o custo energético. 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.

Quanto à área de secção transversal do corpo à direcção da força D (S), Vilas-Boas (1997) refere que 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.

#### **2.4. Estudos acerca do IdC e do Custo Energético**

Como já foi referido anteriormente, Alberty et al. (2005) relacionaram o IdC com parâmetros bioenergéticos. Em exercício exaustivo, na técnica de Crol, os autores verificaram que um aumento dos valores de IdC poderá não ser apenas uma consequência do aumento da velocidade, uma vez que a um aumento do valor do IdC nem sempre correspondia um aumento da velocidade de nado, fazendo assim crer que este parâmetro biomecânico poderá influenciar parâmetros bioenergéticos.

Morais et al. (2008), num estudo piloto, relacionaram o IdC com o C na técnica de Crol, aferindo uma relação positiva e muito significativa entre as duas variáveis. Os autores crêem que o nadador poderá manipular o seu IdC para assim atingir uma dada  $v$ , alterando o custo energético de nado.

A relação entre o IdC e parâmetros bioenergéticos parece revelar que os nadadores poderão alterar o seu valor de IdC, isto é, o seu padrão coordenativo, para assim serem mais eficientes durante o nado.

Apesar de estes primeiros trabalhos terem revelado resultados interessantes entre o IdC e parâmetros bioenergéticos, visaram apenas a técnica de Crol. Neste sentido, procuraremos revelar as possíveis relações existentes entre o IdC e o C, na técnica de Costas.

### **3. Objectivos e hipóteses**

#### **3.1. Objectivos**

##### **3.1.1. Geral**

O objectivo geral deste trabalho é relacionar o Índice de Coordenação com o Custo Energético, na técnica de Costas.

Esta relação será analisada a nível individual e para a média amostral.

##### **3.1.2. Específicos**

Formulamos como objectivos específicos:

- determinar a relação entre o Índice de Coordenação e a velocidade de nado a nível individual e amostral;
- determinar a relação entre o dispêndio energético e a velocidade de nado a nível individual e amostral;
- determinar a relação entre o Índice de Coordenação e o Custo Energético a nível individual e amostral.

#### **3.2. Hipóteses**

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

- os nadadores aumentam o valor do IdC com o aumento da v de nado;
- os nadadores aumentam o seu dispêndio energético com o aumento da v de nado;
- os valores do custo energético de nado diminuem com o aumento do valor do IdC.

## 4. Material e métodos

### 4.1. Caracterização da amostra

A amostra, para a realização do presente estudo, foi constituída por 5 nadadores de elite, do sexo masculino, pertencentes à selecção nacional e de nível nacional.

O Quadro 2 apresenta as características gerais da amostra: idade, massa corporal, altura e percentagem de massa gorda dos nadadores.

Quadro 2. Idade (anos), Massa Corporal (Kg), Altura (cm) e valor percentual de massa gorda (% massa gorda); valores médios (méd) e respectivos desvios-padrão (dp) dos nadadores constituintes da nossa amostra.

Nadador	Idade (anos)	Massa Corporal (kg)	Altura (cm)	% massa gorda (%)
1	17	67,4	180,0	4
2	20	75,0	182,0	10
3	19	62,2	178,0	5
4	20	82,6	180	8
5	17	63,6	176,0	7
méd±dp	18,6±1,5	70,2 ± 8,5	179,2 ± 2,3	6.8 ± 2.4

### 4.2. Metodologia

Os nadadores envolvidos no estudo, e respectivos técnicos, após 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, 12,5m de largura e 2m de profundidade.

#### **4.2.1. Preparação da amostra**

Previamente à realização dos testes foram registadas as medidas antropométricas dos sujeitos (altura, massa e composição corporal), através de um antropómetro e uma balança de bioimpedância (Tanita).

Colocou-se um cardiofrequencímetro nos nadadores (Polar Vantage NV, Polar electro Oy, Kempele, Finland) a fim de monitorizar as suas Frequências Cardíacas (FC) de 5 em 5 segundos, quer em repouso, quer na realização dos testes.

#### **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, sendo estes de intensidade progressiva, com incrementos de  $0,05\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

A velocidade inicial foi determinada a partir da velocidade correspondente ao tempo actual 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.

Considerou-se que o nadador atingiu a velocidade correspondente ao máximo consumo de oxigénio ( $v\text{VO}_2\text{máx}$ ) de acordo com os critérios fisiológicos primários e secundários segundo Howley et al. (1995). Considerou-se ainda que o nadador nadou a sua  $v\text{VO}_2\text{máx}$  quando correspondia com o

primeiro patamar em que ele atingia o seu  $VO_2$ máx. Se não ocorresse um plateau menor que  $2.1 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a  $vVO_2$ máx foi calculada como proposto por Kuipers et al. (1985):

$$vVO_2\text{máx} = v + \Delta v \cdot (n \cdot N^{-1}), \quad (6)$$

onde:  $v$  é a velocidade de nado correspondente ao último patamar cumprido,  $\Delta v$  é o incremento de velocidade,  $n$  indica o número de segundos que os nadadores conseguiram cumprir no patamar anterior e  $N$  o tempo pré-definido, em segundos, para esse patamar.

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

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

O fim do protocolo ocorria quando os nadadores não cumpriam com a velocidade proposta, por exaustão.

#### 4.2.3. Recolha e análise dos 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 3). 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 2. Válvula respiratória



Figura 3. Oxímetro (K4 b<sup>2</sup>).

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 1, 3, 5 e 7 minutos (figura 4). As amostras foram analisadas através de um auto-analisador de concentrações sanguíneas de ácido láctico (Yellow Springs Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA) (figura 5).



Figura 4. Recolha de sangue capilar



Figura 5. 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 1º patamar, o valor de repouso) transformando-se depois estes valores em equivalentes de oxigénio usando-se a constante 2,7  $mlO_2.Kg^{-1}.mmol.l^{-1}$  e os procedimentos descritos por di Prampero, Pendergast, Wilson & Rennie (1978). A contribuição energética dos fosfatos da alta energia foi considerada negligenciável (Vilas-Boas, 1993, Vilas-Boas & Duarte, 1994). O custo energético para cada patamar foi calculado dividindo-se o dispêndio energético pela velocidade de deslocamento (di Prampero, 1986; Pendergast et al., 2003; Barbosa et al, 2005a; Zamparo, 2005). Posteriormente converteram-se os valores de C em  $J.Kg^{-1}.m^{-1}$ , tendo em conta que o consumo de 1  $mlO_2$  no corpo humano gera 20,9J, para um quociente respiratório ( $R=VCO_2 / VO_2$ ) de 0,96, de acordo com a sugestão de

Minetti (1998). Assume-se que esta relação se mantém constante para pequenas variações do quociente respiratório.

#### 4.2.4. Recolha e análise dos dados biomecânicos

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 reconstrução de imagens de duplo meio, acima e abaixo da superfície da água. Estas câmaras foram colocadas de forma estacionária na parede lateral oposta da piscina, perpendicularmente à direcção de deslocamento do nadador e a 10m do mesmo (figura 6). 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 7).

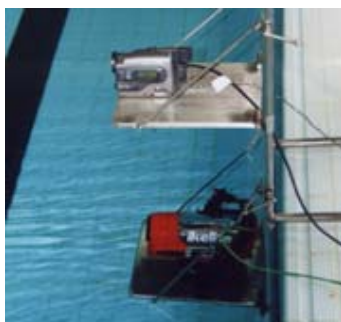


Figura 6. Câmaras em plano sagital.



Figura 7. Mesa de mistura  
Panasonic Digital Mixer.

A digitalização das imagens captadas foi realizada usando-se o programa APAS (Ariel Dynamics Inc, USA), para a contagem dos *frames* de 50 Hertz (Hz), a fim de se aferir o IdC. Contabilizando o número total de *frames* de um ciclo de braçada, aferiu-se depois o número de frames entre o final da acção propulsiva de um MS e o início da acção propulsiva do outro, constituindo-se o IdC como a percentagem de tempo em que não ocorriam acções propulsivas entre os MS, nesse ciclo.

A braçada de Costas foi modelada em cinco fases: (i) entrada e agarre (*entry and catch*); (ii) puxada (*pull*); (iii) empurre (*push*); (iv) saída (*clearing*); e v) recuperação (*recovery*), tal como Lerda & Cardelli (2003a) e Lerda, Cardelli & Coudereau, (2005). O IdC foi determinado desde o final da fase (iii) empurre, de um MS, até à fase (i) agarre do outro MS após a entrada.

#### **4.2.5. Procedimentos estatísticos**

Os dados recolhidos no presente estudo foram tratados estatisticamente através dos programas *Microsoft Excel*<sup>®</sup> 2003, do *Microsoft Office*<sup>®</sup> 2003, para ambiente *Windows*<sup>®</sup> e do programa *SPSS*<sup>®</sup> versão 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences), também para ambiente *Windows*<sup>®</sup>.

A normalidade da distribuição da amostra foi aferida através do teste de *Shapiro-Wilk*.

Ao nível da estatística descritiva, utilizaram-se medidas de tendência central (média) e de dispersão (desvio-padrão), máximo e mínimo, para todas as variáveis em estudo.

Para a análise estatística inferencial, realizaram-se regressões lineares entre as variáveis em estudo: IdC e velocidade de nado; dispêndio energético e velocidade de nado; e IdC e custo energético de nado.

Foram obtidos os coeficientes de correlação ( $r$ ) e de determinação ( $r^2$ ) para todas as regressões referidas e o nível de significância foi fixado em  $\alpha \leq 0.05$ .

## 5. Apresentação dos resultados

Para os dados da nossa amostra foi efectuada uma análise descritiva das variáveis em estudo ( $vVO_2$ ,  $\%VO_2$ ,  $\dot{E}$ , C e IdC), por nadador e patamar de nado, conforme se apresenta no Quadro 3.

Quadro 3. Valores de velocidade correspondente ao consumo de oxigénio ( $vVO_2$ ), percentagem do consumo máximo de oxigénio ( $\%VO_2$ máx), dispêndio energético ( $\dot{E}$ ), custo energético (C) e índice de coordenação (IdC), por nadador e patamar de nado.

Nadador	Patamar	$vVO_2$ (m.s <sup>-1</sup> )	$\%VO_2$ máx(%)	$\dot{E}$ (mIO <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	C (J.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	IdC (%)
1	1	1.13	75.1	41.72	12.83	-22.55
	2	1.22	89.0	50.02	14.26	-21.99
	3	1.26	91.9	51.98	14.33	-20.66
	4	1.30	95.0	55.20	14.75	-19.34
	5	1.35	98.7	58.07	15.00	-18.43
	6	1.38	100.0	64.68	16.38	-17.15
2	1	1.10	72.0	30.30	9.62	-23.17
	2	1.25	93.6	45.03	12.05	-22.40
	3	1.32	99.4	46.88	12.26	-20.80
	4	1.39	99.7	59.36	15.04	-19.78
	5	1.49	100.0	63.73	15.98	-19.59
3	1	1.18	76.2	53.09	15.73	-23.81
	2	1.26	85.1	59.04	16.32	-22.17
	3	1.31	87.9	62.47	16.58	-21.70
	4	1.35	99.4	70.75	18.27	-20.99
	5	1.37	100.0	74.73	19.02	-19.60
4	1	1.15	71.3	55.32	16.78	-21.24
	2	1.19	78.2	58.54	17.15	-18.25
	3	1.23	79.6	62.04	17.63	-17.67
	4	1.27	94.6	73.01	20.01	-15.79
	5	1.34	100.0	79.00	20.54	-15.52
5	1	1.10	67.3	39.40	12.50	-19.59
	2	1.20	77.6	46.01	13.30	-19.08
	3	1.23	81.8	50.26	14.20	-18.63
	4	1.26	93.9	57.37	15.82	-18.00
	5	1.29	100.0	64.74	17.52	-17.13

A partir deste quadro calcularam-se os valores médios da amostra, com respectivos desvios-padrão, para as variáveis apresentadas ( $vVO_2$ ,  $\%VO_2$ ,  $\dot{E}$ , C

e IdC), por patamar de nado, conforme se apresenta no Quadro 4. De salientar que se excluiu o primeiro patamar do nadador 1, para que todos os sujeitos tivessem 5 patamares nesta análise, permitindo assim uma observação e análise mais real.

Quadro 4. Valores médios (méd) e respectivos desvios-padrão (dp) de velocidade ao consumo de oxigénio ( $vVO_2$ ), percentagem do consumo máximo de oxigénio ( $\%VO_2$ ), dispêndio energético ( $\dot{E}$ ), custo energético (C) e índice de coordenação (IdC) por patamar e valores de média amostral de  $vVO_2$ ,  $\dot{E}$  e C.

Patamar	$vVO_2$ ( $m.s^{-1}$ )	$\%VO_2$ máx (%)	E ( $mlO_2.kg^{-1}.min^{-1}$ )	C ( $J.kg^{-1}.m^{-1}$ )	IdC (%)
1	1.15±0.05	75.16±8.36	45.63±10.52	13.78±2.83	-21.96±1.66
2	1.23±0.03	85.28±7.45	52.12±6.65	14.63±2.10	-20.51±1.84
3	1.28±0.04	88.74±8.44	55.37±6.95	15.08±2.10	-19.63±1.63
4	1.32±0.06	97.26±2.78	63.71±7.53	16.83±2.22	-18.60±1.96
5	1.37±0.07	100.00±0.00	69.38±7.01	17.89±1.90	-17.80±1.77
méd±dp	1.27±0.09		57.24±9.40	15.64±1.68	

Como se pode verificar, os valores médios da velocidade de nado e da percentagem do consumo máximo de oxigénio aumentam do primeiro ao último patamar, onde atingem a percentagem de 100%. Relativamente aos valores médios de  $\dot{E}$  e C, eles aumentam do primeiro ao quinto patamar. Quanto ao IdC podemos observar um aumento do seu valor percentual do primeiro ao último patamar.

Em termos de média amostral, a velocidade de nado mínima foi de  $1.15\pm 0.05 m.s^{-1}$  e a do último patamar de  $1.37\pm 0.07 m.s^{-1}$ . O  $\dot{E}$  foi de  $45.63\pm 10,52 mlO_2.kg^{-1}.min^{-1}$  no primeiro patamar e  $69.38\pm 7.01 mlO_2.kg^{-1}.min^{-1}$  no último. Quanto ao custo energético de nado, no primeiro patamar foi de  $13.78\pm 2.83 J.kg^{-1}.m^{-1}$  e no quinto de  $17.89\pm 1.90 J.kg^{-1}.m^{-1}$ .

No que diz respeito ao Índice de Coordenação, observa-se que no primeiro patamar o valor é de  $-21.96\pm 1.66\%$ , e no último de  $-17.80\pm 1.77\%$ .

Observemos agora as regressões entre as variáveis em estudo, iniciando pela relação entre o Índice de Coordenação e a velocidade de nado, no Quadro 5.

Quadro 5. Coeficientes de correlação ( $r$ ) e de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear estabelecida entre o IdC e a  $v$ , por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra
	1	2	3	4	5	
$r$	0.967	0.956	0.965	0.919	0.920	0.367
$r^2$	0.935**	0.914*	0.931**	0.844*	0.847*	0.135

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

Da análise do Quadro 3 constata-se que os valores de  $r^2$  são elevados, acima de 0.900, excepto para os nadadores 4 e 5, que, mesmo assim, assinalam 0.844 e 0.847, respectivamente.

Verifica-se que para os nadadores 1 e 3 foi encontrado significado estatístico para  $p \leq 0.01$ . Para os nadadores 2, 4 e 5 foi encontrado significado estatístico para  $p \leq 0.05$ .

Verificou-se um aumento do valor de IdC com o aumento da velocidade, com variância explicada na ordem dos 93.5% para o nadador 1, 91.4% para o nadador 2, 93.1% para o nadador 3, 84.4% para o nadador 4 e 84.7% para o nadador 5. Apesar disso, o valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para a média amostral é baixo e sem valor estatístico ( $p=0,065$ ), na ordem dos 0.135.

Apresentamos agora (figura 8) a representação gráfica da regressão linear entre o IdC e a velocidade de nado, para cada nadador da nossa amostra e a nível amostral.

É possível observar na mesma o aumento do valor do IdC, à medida que a  $v$  aumenta, isto é, a diminuição do tempo não propulsivo entre as fases propulsivas de cada MS, para cada nadador com significado estatístico e para a média amostral, apesar de sem resultados estatisticamente significativos, uma tendência no mesmo sentido.

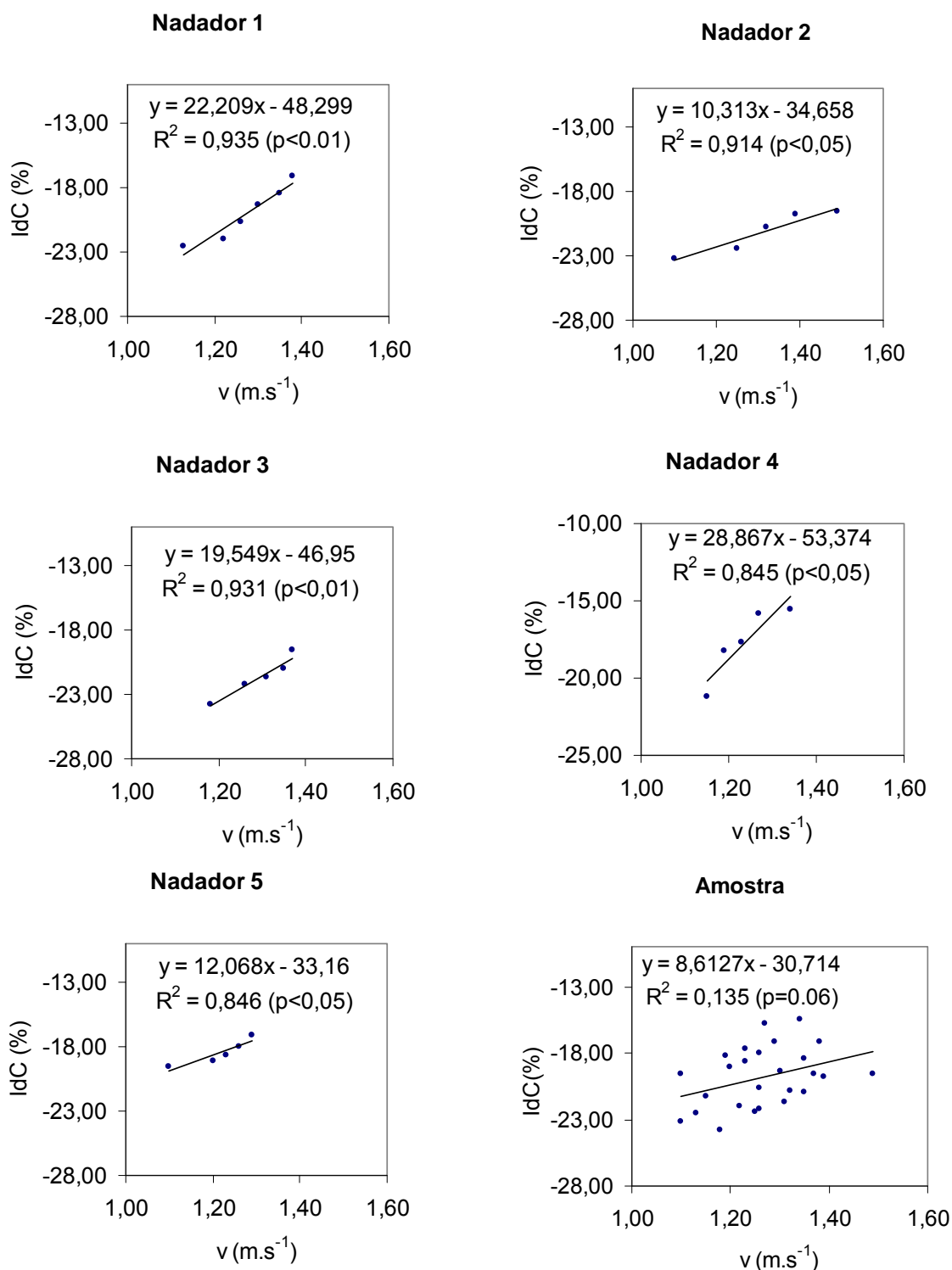


Figura 8 – Regressão linear estabelecida entre o IdC e a v, com respectiva recta de regressão, valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e valor de prova ( $p$ ) para cada nadador e para a totalidade da amostra.

Passamos agora a analisar a relação entre o Dispendio Energético e a velocidade de nado.

Quadro 6. Coeficientes de correlação ( $r$ ) e de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear estabelecida entre o  $\dot{E}$  a  $v$ , por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra
	1	2	3	4	5	
$r$	0.984	0.983	0.965	0.977	0.943	0.683
$r^2$	0.967**	0.967**	0.932**	0.954**	0.890*	0.466**

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

Da análise do Quadro 6 constata-se que os valores de  $r^2$  são elevados, acima de 0.900, excepto para os nadador 5, que, mesmo assim, assinala 0.890.

Verifica-se que para os nadadores 1, 2, 3 e 4 foi encontrado significado estatístico para  $p \leq 0.01$ . Para os nadador 5 foi encontrado significado estatístico para  $p \leq 0.05$ .

Verificou-se um aumento do valor de  $\dot{E}$  com o aumento da velocidade, com variância explicada na ordem dos 96.7% para o nadador 1, 96.7% para o nadador 2, 93.2% para o nadador 3, 95.4% para o nadador 4 e 89.0% para o nadador 5. Apesar disso, o valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para a média amostral é mais discreto (0,466) ainda que com elevado significado estatístico para  $p \leq 0.01$ .

Apresentamos agora (figura 9) a representação gráfica da regressão linear entre o  $\dot{E}$  e a velocidade de nado, para cada nadador da nossa amostra e a nível amostral.

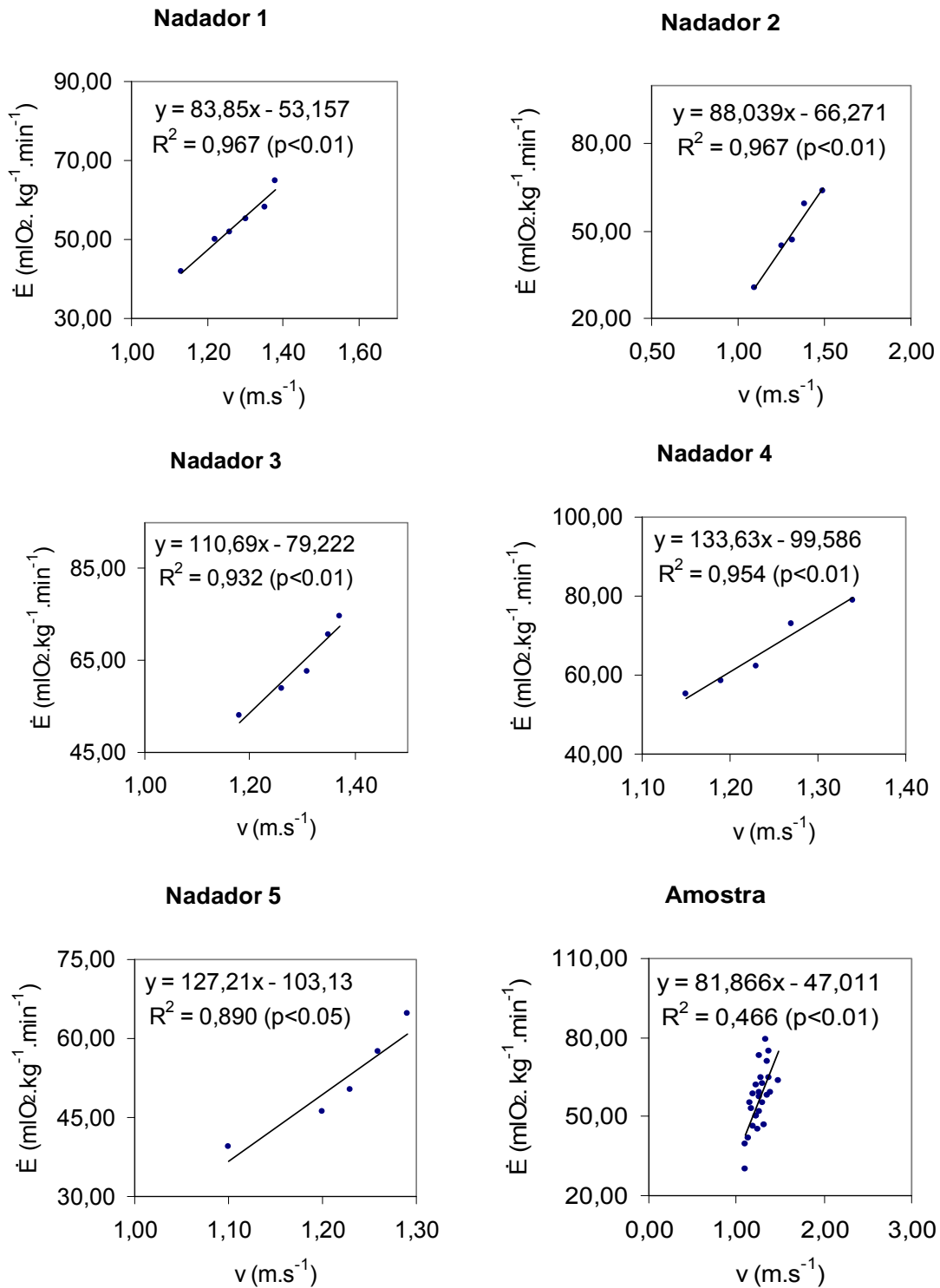


Figura 9. Regressão linear estabelecida entre o  $\dot{E}$  e a  $v$ , com respectiva recta de regressão, valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e valor de prova ( $p$ ) por nadador e para a totalidade da amostra.

Vejamos os resultados obtidos da regressão linear da relação cúbica entre o  $\dot{E}$  e a velocidade de nado, no Quadro 7.

Quadro 7. Coeficientes de correlação ( $r$ ) e de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear estabelecida entre o  $\dot{E}$  e  $v^3$ , por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra
	1	2	3	4	5	
$r$	0.986	0.975	0.974	0.977	0.958	0.655
$r^2$	0.972**	0.951**	0.948**	0.955**	0.919**	0.429**

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

Da análise do Quadro 7 constata-se que os valores de  $r^2$  são elevados, acima de 0.900. Verifica-se que para todos os nadadores foi encontrado significado estatístico para  $p < 0.01$ .

Verificou-se um aumento do valor de  $\dot{E}$  com o aumento da  $v^3$ , com variância explicada na ordem dos 97.2% para o nadador 1, 95.1% para o nadador 2, 94.8% para o nadador 3, 95.5% para o nadador 4 e 91.9% para o nadador 5. Apesar disso, o valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para a média amostral é mais discreto (0,429) ainda que com elevado significado estatístico para  $p < 0.01$ .

Apresentamos agora (figura 10) a representação gráfica da regressão linear entre o  $\dot{E}$  e a velocidade de nado para a totalidade da amostra.

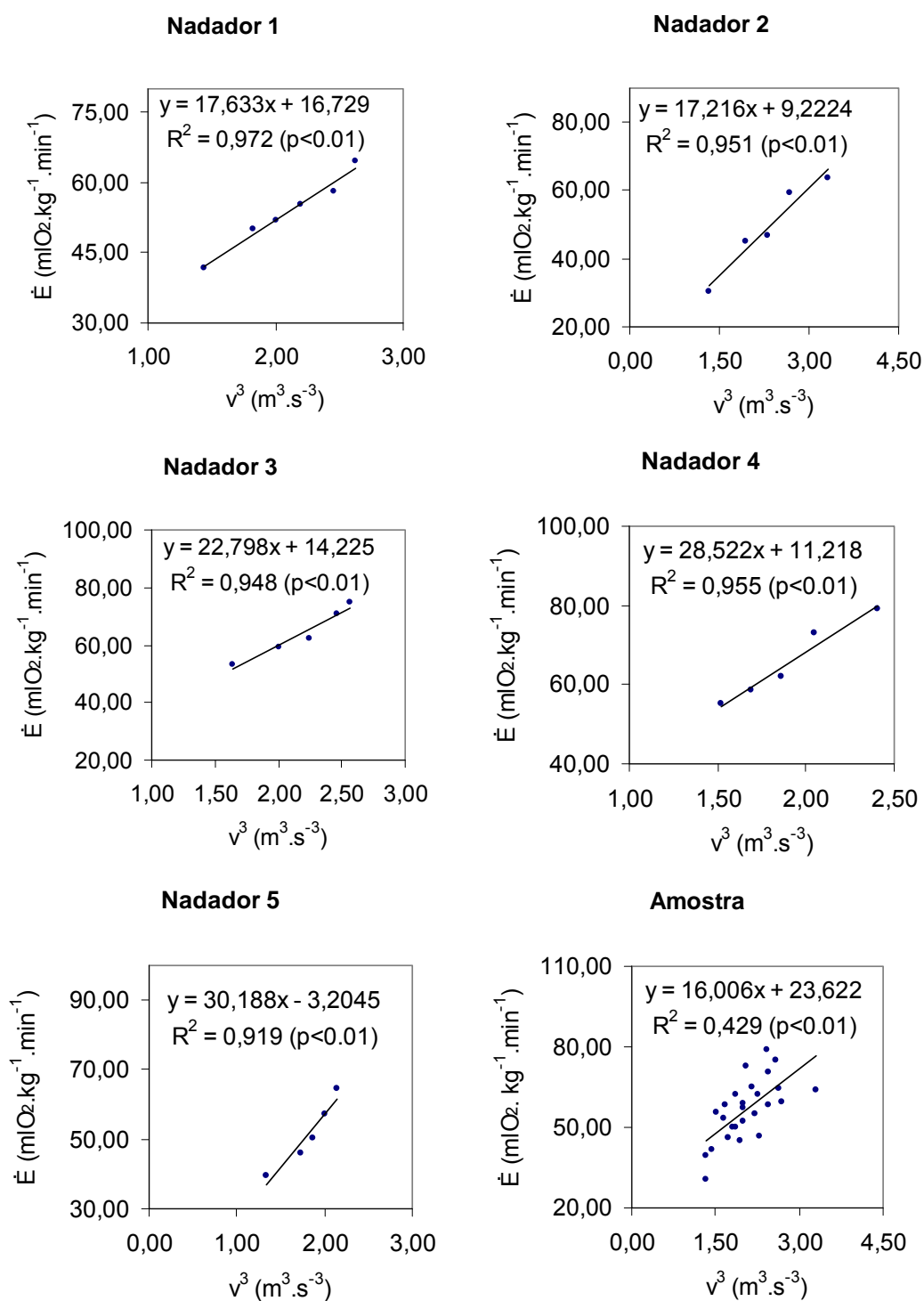


Figura 10. Regressão linear estabelecida entre o  $\dot{E}$  e a  $v^3$ , com respectiva recta de regressão, valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e valor de prova ( $p$ ), para cada nadador e para a totalidade da amostra.

Quando observamos a recta de regressão entre o  $\dot{E}$  e a  $v$ , na figura 9, verificamos um aumento do  $\dot{E}$  com o aumento da  $v$ . Em termos de média amostral, verificámos que o valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) é superior para uma relação linear entre  $\dot{E}$  e  $v$ , como se pode aferir nos Quadros 6 e 7 e figuras 9 e 10. A variância em  $\dot{E}$  é explicada, em termos médios, em cerca de 47% da variância da velocidade.

A nível individual podemos observar resultados estatisticamente significativo ( $p < 0,01$ ), para os cinco nadadores da nossa amostra, sendo que para os nadadores 1,3,4 e 5 o coeficiente de determinação é superior quando se realiza uma regressão linear entre  $\dot{E}$  e  $v^3$ , e para o nadador 2 quando se realiza uma regressão linear entre  $\dot{E}$  e  $v$ , conforme Quadros 6 e 7.

Ainda na figura 10 observam-se as respectivas equações de regressão e verifica-se uma variância explicada de 91.8% a 97.2%, a nível individual.

Analisemos agora a relação entre o Índice de Coordenação e o custo energético de nado, através do valor de  $\dot{E}/v^3$ , no Quadro 8.

Quadro 8. Coeficientes de correlação ( $r$ ) e de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear estabelecida entre IdC e  $E/v^3$ , por nadador e média amostral.

	Nadador					Amostra
	1	2	3	4	5	
$r$	0.911	0.723	0.697	0.606	0.503	0.254
$r^2$	0.830*	0.523	0.486	0.367	0.253	0.065

\* significativo para  $p \leq 0.05$

A partir da análise do Quadro 8 constatamos 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 nadador 1 ( $p \leq 0.05$ ), verificando-se uma diminuição do valor de  $\dot{E}/v^3$  com o aumento do valor do IdC, sendo a variância explicada da ordem dos 83.0%.

Na figura 11 podemos observar a representação gráfica da relação entre  $IdC$  e  $\dot{E}/v^3$  para cada nadador e totalidade da amostra.

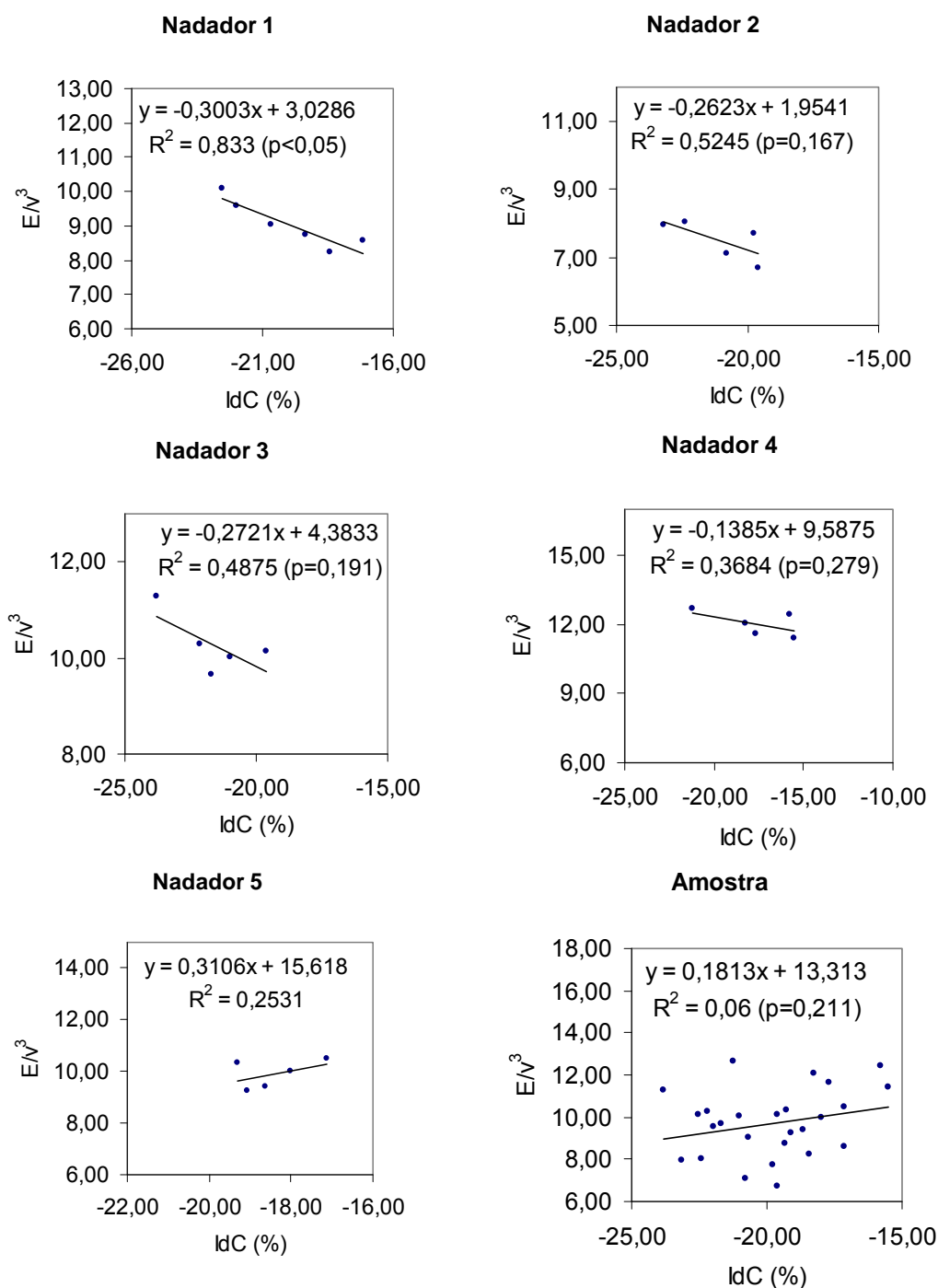


Figura 11. Regressão linear estabelecida entre  $IdC$  e  $\dot{E}/v^3$  e respectiva recta de regressão, valor de prova ( $p$ ), para cada nadador e para a totalidade da amostra.

Sem resultados estatisticamente significativos e com um valor de  $r^2$  baixo, pode-se verificar uma tendência para o aumento do valor de  $\dot{E}/v^3$  com um aumento do valor do IdC, a nível amostral, de onde podemos constatar a forte natureza individual da relação das variáveis em estudo. Isto porque, a nível individual, verificamos que a mesma diminui com valor estatisticamente significativo ( $p < 0.05$ ) para o nadador 1 e para os nadadores 2, 3 e 4, apesar de não ser com valor estatisticamente significativo, parece haver também tendência para a diminuição do valor de  $\dot{E}/v^3$  com o aumento do valor do IdC. Para o nadador 5, sem resultado estatisticamente significativo e com um valor de  $r^2$  baixo, pode verificar-se uma tendência para o aumento do valor de  $\dot{E}/v^3$  com um aumento do valor do IdC, considerando-se este nadador como um *outlier*, a nível estatístico.

Ainda na figura 11 podemos aferir que, para o nadador 1, a relação entre IdC e  $\dot{E}/v^3$ , apresenta uma variância explicada de 83.3%, com  $p < 0.05$ .

Para confirmar a elevada natureza individual dos resultados, realizamos a mesma análise amostral sem o nadador 5 (figura 12):

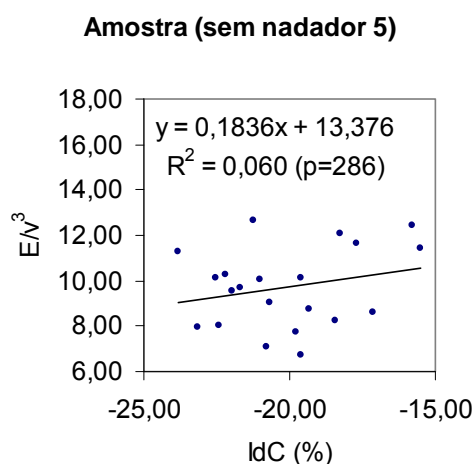


Figura 12. Regressão linear estabelecida entre IdC e  $\dot{E}/v^3$  e respectiva recta de regressão, valor de prova ( $p$ ), para a totalidade da amostra sem o nadador 5.

Como podemos observar na figura 12, mesmo sem o nadador 5, a mesma tendência para um aumento do valor de  $\dot{E}/v^3$  com o aumento do valor do IdC mantem-se, confirmando a elevada natureza individual dos resultados.

## 6. Discussão

### 6.1. Discussão da Metodologia

O protocolo adoptado para o presente estudo, foi executado em condições que mantivessem o mais possível a situação real de nado, a fim de se respeitar as condições específicas em que o mesmo ocorre, e mantendo elevada reprodutibilidade, consistência, validade e fiabilidade do que se pretende avaliar (Alves, 1996). No presente trabalho foi nossa preocupação obter dados bioenergéticos de nado em situação de execução “natural”, ou seja, tentando perturbar o menos possível aquilo que é o comportamento habitual do nadador em situação de treino ou competição. Mesmo assim, foi absolutamente necessária a imposição de alterações na execução, como a não realização da viragem usualmente utilizada pelos nadadores (rolamento ventral), a saída em posição hidrodinâmica subaquática, assim como o impedimento da execução livre de movimentos que ocorre quando o nadador é levado a transportar consigo instrumentos de recolha de dados (Alves, 1996). De referir ainda que Kjendlie et al. (2003) não observaram diferenças estatisticamente significativas na técnica de Crol ao utilizar-se o *snorkel* e a válvula de respiração, sendo que o uso das mesmas é considerado válido na recolha de dados em NPD (Toussaint et al., 1987; Keskinen et al. 2000; Keskinen et al., 2002) não aumentando significativamente o arrasto (Keskinen et al., 2003).

Relativamente à captação das imagens utilizadas na determinação do IdC, Chollet et al. (2000) utilizaram originalmente um procedimento que passa pela captação de imagens em 3 planos distintos: (i) plano lateral e paralelo ao deslocamento do nadador; (ii) plano frontal e superior ao deslocamento do nadador e (iii) um plano oblíquo ao deslocamento do nadador. A captação sincronizada das imagens a partir destes três planos tinha como principal objectivo uma maior facilidade na análise e identificação das acções do nadador. Contudo e atendendo aos objectivos do presente trabalho

consideramos mais adequada a utilização de uma metodologia que passa pela captação de imagens de duplo meio apenas no plano sagital.

No que se refere ao método de determinação do IdC, duas metodologias têm sido recorrentemente utilizadas: (i) digitalização e posterior análise computacional dessas mesmas digitalizações e (ii) observação simples e directa das imagens e determinação imediata através da contagem de *frames* da duração de cada fase ou acção dos MS do IdC. Ambas as metodologias acarretam vantagens e desvantagens. A primeira tem como grande vantagem o maior rigor na delimitação de cada uma das acções dos MS, tendo como desvantagens a morosidade que o processo de digitalização envolve e ainda o facto de que só é possível analisar um ou dois ciclos dos MS (aqueles que acontecem dentro do volume de calibração). Relativamente à segunda metodologia, esta tem como principal desvantagem o possivelmente menor rigor associado a um processo que passa pela simples observação das imagens, tendo como principais vantagens a possibilidade de observar ciclo após ciclo, e não apenas um ou dois ciclos como acontece no processo de digitalização, o que permite uma mais rápida determinação do IdC. No que se refere ao presente trabalho, e atendendo aos seus objectivos e considerando a fácil identificação e delimitação de cada uma das fases, ou acções em análise, consideramos pouco pertinente e desnecessária a utilização do processo que passe pela digitalização das imagens optando desta forma por recorrermos ao método observacional. Este é aliás o método que se tornou mais comum entre os estudos realizados na temática do IdC (Chollet et al, 2000; Lerda & Cardelli, 2003a; Lerda, Cardelli & Coudereau, 2005; Chollet, Carter & Seifert, 2006, Chollet, Seifert & Carter, 2008). Em complementaridade, e por forma a garantir a validade deste método, Seifert et al. (2006) verificaram que não existem diferenças estatisticamente significativas entre o Método Objectivo e Subjectivo de determinação das fases da braçada para aferir a coordenação entre os MS, para a técnica de Crol, sugerindo mesmo o Método Subjectivo para a determinação mais imediata do IdC.

Relativamente à definição das fases da braçada, o nosso estudo difere também um pouco do proposto por Chollet, Carter & Seifert (2006) e Chollet,

Seifert & Carter (2008). Os autores modelam a braçada de Costas em seis fases: (i) *entry and catch*; (ii) *pull*; (iii) *push*; (iv) *hand lag time at the thigh*; (v) *clearing*; e, (vi) *recovery*. No entanto, tal como nos estudos de Lerda & Cardelli (2003a) e Lerda, Cardelli & Coudereau, (2005), no presente estudo não observamos a fase (iv) paragem da mão na coxa (*hand lag time at the thigh*), sendo que, tal como os autores supracitados, modelamos então a braçada de Costas em cinco fases para o estudo do IdC: (i) entrada e agarre (*entry and catch*); (ii) puxada (*pull*); (iii) empurre (*push*); (iv) saída (*clearing*) e v) recuperação (*recovery*).

## 6.2. Discussão dos Resultados

Os valores encontrados relativos ao IdC mostram-nos uma relevante natureza individual, já que, a título de exemplo, alguns valores encontrados no último patamar de dois nadadores correspondem ao primeiro patamar de um outro.

No Quadro 9, ainda quanto aos valores médios obtidos de IdC, podemos verificar que estão em conformidade com os encontrados no único estudo da literatura (Chollet, Seifert & Carter, 2008). Os autores aferiram o IdC na velocidade correspondente ao tempo dos 400m, enquanto que o último patamar do nosso estudo corresponde ao  $VO_2\text{máx}$ . O valor médio da velocidade de nado ao  $VO_2\text{máx}$  por nós obtido foi de  $1.37\pm 0.07\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , indo de encontro à aferida por Chollet, Seifert & Carter (2008) quanto à velocidade dos 400m ( $v_{400}$ ), que foi de  $1.34\pm 0.13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Os valores dizem respeito a nadadores de elite, uma característica do nível de proficiência não observada nos restantes estudos de Lerda & Cardelli (2003a) e Lerda, Cardelli & Coudereau, (2005).

Quadro 9. Comparação dos valores médios e respectivos desvios-padrão do IdC, entre o estudo de Chollet, Seifert & Carter (2008) e o presente estudo.

	Chollet, Seifert & Carter, 2008	Presente Estudo 5° patamar
%VO <sub>2</sub> máx		100.00±0.00%
IdC	16.3±2.8%	-17.80±1.77%

Será relevante referir que o nosso estudo foi realizado através de um protocolo incremental de intensidade, onde portanto há que ter em conta o factor fadiga, quando nos restantes estudos o nado foi efectuado sem fadiga, através de simulação da velocidade de nado de dada distância de prova, em repetições de 25m. Mesmo assim, como se pôde verificar, os valores de IdC vão de encontro aos encontrados por Chollet, Seifert & Carter (2008).

Como se pode observar, e de acordo com Lerda & Cardelli (2003a) Lerda, Cardelli & Coudereau (2005), Chollet, Carter & Seifert (2006) e Chollet, Seifert & Carter (2008), o modelo de coordenação adoptado pelos nadadores foi sempre o *catch-up* (IdC < 0%), ocorrendo portanto um intervalo de tempo entre as fases propulsivas de ambos os MS. Este é o único modelo de coordenação entre MS possível para a técnica de Costas, devido à acentuada rotação alternada do corpo e das limitações de flexibilidade da estrutura mio-articular do ombro não permitirem a continuidade das acções propulsivas nesta técnica (Chollet, Seifert & Carter, 2008). Maglischo (2003) refere que o MS que está a efectuar a recuperação deve entrar na água quando o outro MS está a terminar a fase de empurre. Dado que o MS em recuperação vai entrar na água e descrever ainda uma acção descendente até efectuar o agarre, momento do início da acção propulsiva, e de referência para a aferição do IdC, podemos desde já perceber que as acções propulsivas não serão contínuas.

Apesar de a nível amostral apenas parecer haver uma tendência para a diminuição do valor do IdC com o aumento da velocidade de nado, é importante referir que não foi encontrado significado estatístico nos resultados. Este facto parece dever-se à natureza individual dos dados, assim como o

número reduzido de elementos constituintes desta amostra. Facto constatado pelos resultados encontrados individualmente. A este nível observa-se uma diminuição do valor do IdC com o aumento da velocidade de nado, com valor estatisticamente significativo para todos os nadadores da nossa amostra, corroborando assim os estudos onde a mesma constatação acerca desta relação foi aferida, tanto na técnica de Costas, como em outras (Chollet et al, 2000; Lerda & Cardelli, 2003a; Lerda & Cardelli, 2003b; Seifert, L., Chollet, D. & Bardy, B.G., 2004; Lerda, Cardelli & Coudereau, 2005; Chollet, Carter & Seifert, 2006, Schnitzler et al., 2006a; Schnitzler et al., 2006b; Seifert et al. 2007; Chollet, Seifert & Carter, 2008). Esta diminuição do valor do IdC, ou seja, uma maior simultaneidade das acções propulsivas entre os MS, parece ser uma estratégia que o nadador utiliza para vencer um maior arrasto, induzido pelo aumento da velocidade de nado (Seifert, Chollet & Bardy, 2004).

Estes dados revelam também que os nadadores modificaram a sua coordenação entre MS por forma a atingirem velocidades de nado superiores. Em complementaridade, é possível observar que os nadadores parecem estar a alternar de um modelo coordenativo *catch-up*, para um mais próximo ao de oposição, o modelo que garante a continuidade das acções propulsivas do nadador, sem, no entanto, atingirem valores próximos daquele que o caracterizam, pelas razões anteriormente apontadas por Chollet, Seifert & Carter (2008), para a técnica de Costas.

O facto de o nosso protocolo ter seguido incrementos de  $v$  de  $0,05\text{m.s.}^{-1}$ , ou seja, de menor grandeza do que as velocidades estudadas nos outros estudos da literatura, pode influenciar os resultados obtidos na relação entre o IdC e a velocidade de nado. Chollet, Seifert & Carter (2008) estudaram as  $v$  correspondentes à  $v$  dos 400m, seguida da dos 200m, dos 100m e finalmente dos 50m, onde as diferenças entre cada uma serão esperadamente mais marcadas. É possível então verificar que o nadador vai alterando a coordenação entre os MS à medida que aumenta a velocidade de nado, aumentando o valor percentual do IdC, ou seja, encurtando o tempo não propulsivo entre as fases propulsivas de cada MS (Chollet, 1997; Chollet, Chalies e Chatard, 2000).

Tal como no IdC, os valores do custo energético obtidos no nosso estudo aumentam, e estão em conformidade com os descritos nos trabalhos de Holmér (1974), Smith et al. (1988), Klentrou & Montpetit (1992), Capelli et al. (1998), Capelli et al. (2006) e Barbosa et al. (2008), para a técnica de Costas e nadadores do sexo masculino, como se observa no quadro 10.

Quadro 10. Breve resenha de estudos que contemplaram custo energético na técnica de Costas, em nadadores do sexo masculino.

Estudo	C (J.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	v (m.s <sup>-1</sup> )	n amostra
Holmér (1974)	14.22	1.2	2
Smith et al (1988)	15.65	1.2	16
Klentrou & Montpetit (1992)	15.59	1.2	22
Capelli et al. (1998)	11.42 e 19.98	1.0 e 1.5	3
Capelli et al. (2006)	20.69	1.21	20
Barbosa et al. 2008	10,30 – 20,60	1,10 – 1,49	5
Presente estudo	15.64±1.68	1.27±0.09	5

A metodologia utilizada no nosso estudo para a determinação dos dados bioenergéticos (dispêndio energético do nadador) reforça a validade e confiança nos resultados obtidos, já que, para além de se terem efectuado as recolhas numa piscina com as mesmas características de treino/competição e de se ter analisado o consumo de oxigénio “respiração a respiração”, a determinação do dispêndio energético combinou a avaliação de dados aeróbios com anaeróbios, facto fundamental na avaliação do dispêndio energético em NPD segundo Holmér (1974a), di Prampero et al. (1978), Cazorla et al. (1984); Costill et al. (1992), Toussaint & Hollander (1994), Wakayoshi et al. (1996), Capelli et al. (1998), Fernandes et al. (2005), Barbosa et al. (2006b), Fernandes et al. (2006b).

Na relação entre o dispêndio energético e a velocidade foram encontrados resultados estatisticamente significativos para todos os sujeitos da amostra, para  $p < 0.01$ . Para os nadadores 1, 3, 4 e 5 a regressão ajusta-se

mais a uma relação cúbica entre o  $\dot{E}$  e a  $v$  e para o nadador 2 a uma relação linear entre o  $\dot{E}$  e a  $v$ .

Diversos estudos reportam o aumento do dispêndio energético com a velocidade (Holmér, 1974a; Holmér, 1983; Montpetit et al., 1983; Smith et al., 1988; Klentrou e Montpetit, 1992; Toussaint & Hollander, 1994; Vilas-Boas e Santos, 1994; Vilas-Boas, 1996; Capelli et al., 1998; Fernandes et al., 2005; Barbosa et al., 2006b; Fernandes et al., 2006b; Barbosa et al., 2008), 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). O referido parece assim justificar a relação cúbica encontrada entre o  $\dot{E}$  e a  $v$  em quatro dos cinco nadadores da presente 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 no nadador 2, e em termos de média amostral, vai de encontro a resultados já anteriormente descritos por 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. (2005a), Fernandes et al. (2006b). Esta relação é explicada por alguns autores como sendo devido a uma maior eficiência propulsiva a velocidades de nado mais elevadas, provavelmente pela ocorrência de menores variações intracíclicas da velocidade de nado (di Prampero et al, 1974; Montpetit, Lavoie & Carzola, 1983; Vilas-Boas, 1996; Barbosa et al., 2005b). O valor do  $r^2$  encontrado em termos médios, apesar de não ser muito elevado, 0,466, é extremamente significativo 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 no estudo de Barbosa et al. (2005b).

Como já foi referido em vários momentos do presente estudo, Morais et al. (2008) foram responsáveis pelo único estudo piloto até ao momento que relacionou directamente o  $IdC$  e o custo energético. Os autores encontraram uma positiva e significativa relação entre o  $IdC$  e o  $C$ , referindo que o os

nadadores poderão manipular o IdC a fim de alterar o seu C para uma dada velocidade de nado, atingindo assim  $v$  superiores de uma forma mais eficiente. Apesar de este ter sido o único estudo que relacionou o IdC com o C de nado, outros trabalhos procuraram já a relação entre o C e parâmetros biomecânicos da braçada. Barbosa et al. (2007), Barbosa et al. (2008) verificaram que o C se encontra muito relacionado com a frequência de braçada e com a distância de ciclo de braçada. Desta forma, foi constatada a íntima relação entre o C e a técnica de nado (Smith et al., 1988; Vilas-Boas, 1996; Wakayoshi et al., 1996; Barbosa et al., 2007; Barbosa et al., 2008).

Para efectuar a relação entre o IdC e o custo energético de nado temos de ter em atenção algumas considerações, já referenciadas na revisão da literatura do presente estudo.

O custo energético aumenta quando o arrasto hidrodinâmico é superior, e diminui quando há uma maior eficiência propulsiva:  $C = D / e_{pt}$ .

O aumento da velocidade de deslocamento induz um aumento da força de arrasto ( $D = k.v^2$ ). Como a potência externa necessária para vencer a força de arrasto é descrita por uma função cúbica ( $P = k.v^3$ ), teoricamente, a relação entre o dispêndio energético e a velocidade de nado é considerada cúbica. Se a potência ( $w$ ) é o produto entre o D e a  $v$  ( $w = D.v$ ) e é ainda equivalente ao  $\dot{E}$ , então podemos referir que a relação entre o dispêndio energético e a velocidade é expressa pela expressão:  $\dot{E} \sim k.v^3$ . Assim, analisamos a relação entre Índice de Coordenação e a relação cúbica entre o dispêndio energético e a velocidade de nado ( $\dot{E}/v^3$ ), já que há a necessidade de se anular o efeito da velocidade nos dados, para que possamos aferir o efeito do IdC no custo energético de nado.

Em termos médios, e para o nadador 5, podemos ver uma tendência para um aumento do valor de  $\dot{E}/v^3$  com um aumento do valor do IdC, embora sem significado estatístico e com fraco valor de coeficiente de determinação (0.06 para a média amostral e 0.25 para o nadador 5). Os resultados obtidos nesta relação para o nadador 5 parecem dever-se à relação entre o IdC e a  $v$ . Apesar do nadador aumentar o seu IdC ao aumento da  $v$  com significado estatístico, este apresenta o espectro de valores de incremento do IdC mais

baixo dos nadadores da amostra. Ora, se o seu IdC não se modifica tanto com o aumento da velocidade de nado, nesta relação onde anulamos o efeito da velocidade, poderá observar-se um resultado distinto dos outros nadadores da nossa amostra.

Os resultados obtidos parecem demonstrar a forte natureza individual do IdC (cf. Figueiredo et al., 2008), já que a a nível individual é possível verificar uma diminuição do valor do IdC com a diminuição do custo energético, com significado estatístico ( $p < 0.05$ ) para o nadador 1, com uma variância explicada na ordem dos 83,3% e para os nadadores 2, 3 e 4, embora sem resultados estatisticamente significativos, é possível constatar uma tendência para uma também diminuição na mesma regressão linear entre IdC e  $\dot{E}/v^3$ . Podemos assim referir que, a uma diminuição do tempo não propulsivo entre braçadas corresponde um menor custo energético de nado, fazendo crer que os nadadores poderão manipular o seu IdC de forma a alterar C, para atingirem uma dada v (Morais et al., 2008). Estes resultados parecem ir de encontro ao afirmado por Seifert (2007), quando refere que o IdC tem vindo a ser visto como uma adaptação a um dado constrangimento, já que, por exemplo, o modo de coordenação de MS *catch-up*, no nado de Crol, parece ser uma adaptação do nadador à intensidade de nado, ao invés de um erro, como sempre é considerado. Neste sentido, ao observarmos que o IdC, um parâmetro biomecânico coordenativo da técnica de nado, está relacionado com o custo energético de nado, os nossos resultados parecem estar de acordo com a literatura (Alberty et al., 2005), parecendo indicar que o modo de coordenação pode ser uma resposta do nadador a constrangimentos fisiológicos impostos pela tarefa, uma vez que estes autores observaram que a um aumento do IdC nem sempre correspondia um aumento da velocidade de nado. Ora, no presente protocolo os nadadores atingiram o seu  $\text{VO}_2\text{máx}$ , após 5 ou 6 repetições incrementais de 200m, pelo que o factor fadiga esteve presente, tal como no estudo de Alberty et al. (2005), e verificamos uma diminuição dos valores de IdC ao longo de todos os patamares, em todos os nadadores, como já foi referido. Em complementaridade, o facto de o nosso estudo ter sido efectuado através de um protocolo contínuo de nado, faz crer

que o fenómeno em causa poderá ser melhor analisado do que em protocolos de repetições de 25m simulando dadas velocidades.

Parece assim, que, adicionalmente aos outros factores apontados pelos outros estudos que visaram o IdC, como o género, nível de proficiência, características antropométricas, regras da tarefa, (Chollet et al, 2000; Lerda & Cardelli, 2003a; Lerda & Cardelli, 2003b; Seifert, L., Chollet, D. & Bardy, B.G., 2004; Lerda, Cardelli & Coudereau, 2005; Chollet, Carter & Seifert, 2006, Schnitzler et al., 2006a; Schnitzler et al., 2006b; Seifert et al. 2007; Chollet, Seifert & Carter, 2008), parece que a compreensão da adaptação do IdC pelo nadador é relevante na medida em que parece influenciar outros parâmetros, como os bioenergéticos, tal como o custo energético de nado. É possível então referir que, ao invés de ser apenas um parâmetro coordenativo puro, o IdC parece poder influenciar parâmetros fisiológicos. Neste sentido, a manipulação do IdC pode ser um dos factores pelos quais o C pode ser alterado para uma dada velocidade (Morais et al., 2008), e deve ser tido em consideração no processo de treino em NPD.

Em estudos futuros aconselhamos a utilização de uma amostra de dimensões superiores por forma a obter um mais real significado estatístico dos dados a nível amostral.

Consideramos que seria interessante analisar também a utilização de um protocolo onde a velocidade de nado se mantivesse estável, e onde se pediria a manipulação/adaptação do Índice de Coordenação aos nadadores.

## 7. Conclusões

Através do nosso estudo concluímos que o valor do IdC aumenta com o aumento da velocidade de nado, assim como a esta última está associado um aumento do dispêndio energético de nado. Pudemos observar ainda, com alguma evidência, que a um aumento do IdC está associado uma diminuição do custo energético de nado. Estas constatações foram obtidas a partir das seguintes conclusões que pudemos retirar do nosso estudo e que apresentamos em seguida:

i) a nível individual, todos os nadadores apresentam um aumento dos valores do IdC com o aumento da velocidade, com valor estatisticamente significativo;

ii) a nível de média amostral, apesar de não se terem encontrado resultados estatisticamente significativos, parece observar-se uma tendência para o aumento dos valores do IdC com o aumento da velocidade de nado;

iii) a relação entre o IdC e a  $v$  parece ser de natureza individual;

iv) verificou-se uma relação cúbica na regressão linear entre o  $\dot{E}$  e a  $v$  para quatro nadadores e uma relação linear para um nadador e para a média amostral, com elevado significado estatístico;

v) verificou-se uma diminuição do valor de  $\dot{E}/v^3$  com um aumento do IdC com significado estatístico para um nadador e uma tendência no mesmo sentido para outros três nadadores, fazendo crer que a um aumento do IdC corresponde um menor C de nado;

vi) a relação entre o IdC e o C parece ser de natureza individual;

vii) a manipulação/adaptação do IdC pode ser um dos factores através do qual pode ser alterado o C de nado em relação a uma dada  $v$ , e deve ser tomado em consideração no processo de treino de nadadores.

## 8. Bibliografia

Alberty, M.; Sidney, M.; Huot-Marchand, F.; Hespel, J. M.; Pelayo, P. (2005) Intracyclic velocity variations and arm coordination during exhaustive exercise in front crawl stroke. *Int J Sports Med* 26(6):471-475.

Alexander, R. M. (2005). Models and the scaling of energy costs for locomotion. *J Exp Biol.*, 208, pp. 1645-1652.

Alves, F. (1994). Perfil Energético e Características Técnicas em Costas. In: APTN (Ed.). *XVII Congresso Técnico da APTN*, Figueira da Foz, Portugal.

Alves, F. (1996). Economia de nado, técnica e desempenho competitivo nas técnicas alternadas. *Revista Natação. Separata. V*, nº28.

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. UK.

Barbosa, T., Lima, F., Portela, A., Novais, D., Machado, L., Colaço, P., Gonçalves, P., Fernandes, R., Keskinen, K., Vilas-Boas, J. P. (2006b). Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes. In: Vilas-Boas, J.P., Alves, F. and Marques, A. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming X. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, Porto, pp. 192-194.

Barbosa, T.; Fernandes, R.; Keskinen, K.; Colaço, P.; Cardoso, C.; Silva, J.; Vilas-Boas, J. P. (2006a). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *Int J Sports Med*, 27, pp.1-6.

Barbosa, T.; Fernandes, R.; Keskinen, K.; Vilas-Boas, J. P. (2007). A mecânica da braçada enquanto factor preditivo do custo energético em nadadores de elite. In: H. Rodrigues et al. (Eds.). *2º Congresso Nacional de Biomecânica*, Évora, Portugal, pp. 219-224.

Barbosa, T.; Fernandes, R.J.; Keskinen, K.; Vilas-Boas, J.P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 149: 103-139.

Barbosa, T.; Keskinen, K.; Fernandes, R.; Colaço, P.; Carmo, C.; Vilas-Boas, J. P. (2005a) Relationship between energetic, stroke determinants and velocity in butterfly stroke. *Int J Sports Med*, 26:841–846.

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

Barbosa, T.; Keskinen, K.; Vilas-Boas, J.P. (2006). Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva. *Motricidade*, 2(4): 201 – 213.

Barbosa, T.; Vilas-Boas, J. P. (2005). Estudo de diversos conceitos de eficiência da locomoção humana no meio aquático. *Rev Port Cien Desp* 3(V), pp. 337–349.

Berger, M. A., Hollander, A. P., & De Groot, G. (1999). Determining propulsive force in front crawl swimming: A comparison of two methods. *Journal of Sports Sciences*, 17, 97–105.

Capelli, C.; Zamparo, P.; Cautero, M.; Tam, E. (2006). The energetics of competitive swimming. In : Hellard, P., Sidney, M., Fauquet, C., Lehenaff, D. (eds). *First International Symposium Sciences and Practices in Swimming*, pp. 103-108. Atlantica, Biarritz, France.

Cappelli, C.; Pendergast, D.; Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speed 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.; Montpetit, R.; Prokop, P.; Cervetti, J.-P. (1984). De l'évaluation des nageurs de haut niveau... à la détection des jeunes talent. In : *Evaluation de la valeur physique, Travaux et Recherches en E.P.S. 7* : 185-208. INSEP, Paris. France.

Chatard JC, Collomp C, Maglischo E, Maglischo C. (1990) Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *Int J Sports Med*, 11(2):156-61.

Chollet, D. (1997). *Natation sportive : approche scientifique*. 2<sup>e</sup> ed. Paris, France.

Chollet, D., Carter, M.; Seifert, L. (2006). Effect of technical mistakes on arm coordination in backstroke. In: Vilas-Boas, J.P., Alves, F. and Marques, A. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming X. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, Porto, pp. 30-32.

Chollet, D.; Chalies, S.; Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *Int J Sports Med*, 21(1), 54-59.

Chollet, D.; Seifert, L.; Carter, M. (2008). Arm coordination in elite backstroke swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 26(7): 675 – 682.

Colwin, C. M. (2002). *Breakthrough swimming*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Costill D.L.; Kowaleski J.; Porter D.; Kirwan J.; Fielding R.; King, D. (1985) Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med*. 1985;6:266-70.

Costill, D.; Maglischo, B. & Richardson, A. (1992) *Swimming*. Blackwell. Oxford, UK.

Costill, D. L.; Lee, G. e D'Acquisto, R. J. (1987). Video-computer assisted analysis of swimming technique. *J Swim Research*, 3(2): 5-9.

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.; 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.

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.

Fernandes, R. J.; Billat, V. L. ; Cruz, A. C. ; Colaço, P. J.; Cardoso, C. S.; Vilas-Boas, J. P. (2005). Has gender any effect on the relationship between time limit at VO<sub>2</sub> max velocity and swimming economy? *J Hum Movement Studies*, 49: 127-148.

Fernandes, R.; Billat, V.; Cruz, A.; Colaço, P.; Cardoso, C.; Vilas-Boas, JP. (2006b). Does net energy cost of swimming affect time to exhaustion at the

individual's maximal oxygen consumption velocity? *J Sports Med Phys Fitness*, 46: 373-380.

Fernandes, R.; Marinho, D.; Barbosa, T.; Vilas-Boas, J.P. (2006a). Is Time Limit at the minimum swimming velocity of  $\dot{V} O_2\text{max}$  influenced by stroking parameters? *Percept. Mot. Skills*, 103, pp. 67-75.

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.; Vilas-Boas, JP. (2006). Tempo limite à intensidade mínima correspondente ao consumo máximo de oxigénio : novos desenvolvimentos num parâmetro de recente investigação em natação. *Motricidade*, 2(4): 214 – 221.

Figueiredo, P.; Contreras, G.; Morales, E.; Pereira, S.; Gonçalves, P.; Arellano, R.; Seifert, L.; Chollet, D.; Vilas-Boas, J. P.; Fernandes, R. (“no prelo”). Intracyclic speed fluctuations of the center of mass and its relationship with the index of coordination – a pilot study. *Proceedings of XXVI Conference of International Society of Biomechanics in Sports 2008* (“no prelo”).

Hollander, P.; Toup, P.; Toussaint, H. (1990). Linear vs exponential extrapolation in swimming research. In: *XII<sup>th</sup> International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*. Liverpool, England.

Holmér, I. (1974a). Physiology of swimming man. *Acta Physiol. Scand.*, Suppl. 407: pp.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: A.P. Hollander, P. A. Huijing, G. de Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 155-164. Human Kinetics Publishers. Illinois.

Howley ET, Basseet T, Welch HG. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc*, 27: 1292-1301.

Keskinen, K. L.; Rodríguez, F. A.; Keskinen, O. P. (2000). Comparative validity of a modified respiratory valve system for breath-by-breath gas analysis during swimming. In J. Avela; P. V. Komi; J. Komulainen (Eds.), *Proceedings of the 5th Annual Congress of the European Collegue of Sport Science* (pp. 392). Jyvaskyla: ECSS, University of Jyvaskyla.

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.

Keskinen, K. L.; Rodríguez, F. A.; Kusch, M.; Hoffmann, U. (2002). Validity of breath-by-breath spirometric measurements with two swimming snorkels assessed by a gas exchange simulation system. In Book of abstracts of the *IXth World Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 95). France: University of Saint-Etienne.

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.

Kjendlie, P.L.; Stallman, R. & Stray-Gundersen, J. (2003). Influences of a breathing valve on swimming technique. In J.C. Chatard (Ed.), *IX*

*Biomechanics and medicine in swimming. Saint-Etienne* (pp. 69-73). France: Laboratoire de Physiologie and Service de Exploration Fonctionnelle Cardio-respiratoire et de Medecine du Sport.

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.

Kolmogorov, S.; Romyantseva. O.; Gordon, B.; Cappaert, J. (1997). Hydrodynamic characteristics of competitive swimming swimmers of different genders and performance leves. *J Appl Biomechanics*, 13, pp. 88-97.

Kuipers H, Verstappen FT, Keize HA, Guerten P, van Kranenburg G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med*, 6: 197-201.

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

Lerda, R., & Cardelli, C. (2003a). Analysis of stroke organization in the backstroke as a function of skill. *Research Quarterly in Exercise and Sport*, 74, 215 – 219

Lerda, R., & Cardelli, C. (2003b) Breathing and propelling in crawl as function of skill and swimming velocity. *International Journal of Sports Medicine* 24, 75-80.

Lerda, R., Cardelli, C., & Coudereau, J. P. (2005). Backstroke organization in physical education students as a function of skill and sex. *Perceptual and Motor Skills*, 100, 779 – 790.

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

Minetti A (1998) The biomechanics of skipping gaits: a third locomotion paradigm? [Versão electrónica]. *Proc R Soc Lond B* 265:1227–1235.

Montpetit, R.; Lavoie, J.; 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. Huijting e G. de Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 228-234. Human Kinetics Publishers. Illinois.

Morais, P., Vilas-Boas, J.P., Seifert, L., Chollet, D., Keskinen, K.L., and Fernandes, R. (2008). Relationship between energy cost and the index of coordination in front crawl - a pilot study. In: FINA. *Book of Abstracts of the 16<sup>th</sup> FINA World Sports Medicine Congress* (pp. 16). Manchester, England.

Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M. G. Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspect of coordination and control* (pp. 341–360). Dordrecht: NijhoV. \*

Onodera S, Miyachi M, Yano H, Yano L, Hoshijnma Y, Harada T (1999) Effects of buoyancy and body density on energy cost during swimming. In: Keskinen KL, Komi PV, Hollander AP (eds) *Biomechanics and medicine in swimming VIII*. Gummerus Printing, Jyvaskyla, pp 355–358.

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.

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.; Zamparo, P.; di Prampero, P.; Capelli, C.; Cerrettelli, P.; Termin, A.; Craig, A.; Bushnell, D.; Paschke, D.; Mellendorf, J. (2003). Energy balance of human locomotion in water. *Eur J Appl Physiol*, 90: pp. 377-386.

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.

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.

Schmidt-Nielson, K. (1972). Locomotion: energy cost of swimming, flying and running. *Science*, 177: pp. 222-228.

Schnitzler, C.; Erwein, V.; Seifert, L.; Chollet, D. (2006a). Use of index of coordination to assess optimal adaptation: a case study. In: Vilas-Boas, J.P., Alves, F. and Marques, A. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming X. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, Porto, pp. 257-259.

Schnitzler, C.; Erwein, V.; Seifert, L.; Chollet, D. (2006b) The stability of IdC during maximal and submaximal swim. In: Vilas-Boas, J.P., Alves, F. and Marques, A. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming X. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, Porto, pp. 255-257.

Seifert, L., Chollet, D. & Bardy, B.G. (2004) Effect of swimming velocity on arm coordination in front crawl : a dynamic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 22, 651-660.

Seifert, L., Chollet, D., Rouard, A. (2007). Swimming constraints and arm coordination. *Hum Mov Sci*, Feb;26(1):68-86.

Silva, A.; Reis, V.; Marinho, D.; Carneiro, A.; Novaes, G.; Aidar, F. (2006). Economia de Nado: Factores determinantes e avaliação. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*; 8(3):93-99.

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

Smith, H.; Montpetit, 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.

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

Toussaint, H. B.; 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.

Toussaint, H. M., De Groot, G., Savelberg, H. H. C. M., Vervoorn, K., Hollander, A. P., & Van Ingen Schenau, G. J. (1988). Active drag related to velocity in male and female swimmers. *Journal of Biomechanics*, 21, 435–438.

Toussaint, H.; Meulemans, 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.

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. USA.

Vilas-Boas, J. P. (1989). Controlo do Treino em Natação: considerações gerais, rigor e operacionalidade dos métodos de avaliação. *Jornadas Técnicas Galaico-Durienses de Natação*. A Coruña. Espanha.\*

Vilas-Boas, J. P. (1990). Questões Ético-Deontológicas da Avaliação da Capacidade de Rendimento Desportivo. In: *Desporto, Ética, Sociedade: actas*, pp. 183 – 190.

Vilas-Boas, J. P. (1993). *Caracterização biofísica de três variantes da técnica de braços*. Dissertação apresentada às provas de doutoramento no ramo de Ciências do Desporto, especialidade de Biomecânica do Desporto. FCDEF. Universidade do Porto. 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 Asociación Española de Técnicos de Natación e 4º Congreso Ibérico*. Camargo, Cantábria. Espanha.

Vilas-Boas, J. P. (1999). Bioenergética do rendimento desportivo em natação: chave para o entendimento das relações operativas entre biomecânica e fisiologia do treino. *XIX Congreso Internacional de la*

*Asociacion Espanola de Entrenadores de Natation*. AETN Galicia. A Coruña. Espanha.

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.; Duarte, J. A. (1994) Factores de eficiência no treino de nadadores. In: APTN (Ed.). *XVII Congresso da Associação Portuguesa de Técnicos de Nataçãõ*. Figueira da Foz, Portugal.

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.

Wakayoshi K, D'Acquisito J, Cappert JM, Troup JP (1995). Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming vlocity in competitive swimming. *Int J Sports Med* 16:19–23.

Wakayoshi K, D'Acquisito J, Cappert JM, Troup JP (1996). Relationship between metabolic parameters and stroking technique characteristics in front crawl. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (eds) *Biomechanics and medicine in swimming VII*. E & FN Spon, London, pp 152–158.

Zamparo, P.; Pendergast, D. R.; Mollendorf, J.; Termin, A.; Minetti, A. E. (2005) An energy balance of front crawl. *Eur J Appl Physiol*, 94: pp. 134–144.

\* citação indirecta.