



Comparação e caracterização da resposta cardiorrespiratória e metabólica de praticantes de natação

Dissertação apresentada com vista à obtenção do grau de Mestre em Exercício e Saúde, Instituto Politécnico de Bragança, ao abrigo do Decreto-Lei 74/2006, de 24 de Março

Autor: Jean Erik Gonçalves Mejias

Orientador: Professor Doutor Tiago Manuel Cabral dos Santos Barbosa

Bragança

2012

Instituto Politécnico de Bragança

Escola Superior de Educação

Escola Superior de Saúde

Comparação e caracterização da resposta cardiorrespiratória e metabólica de praticantes de natação

Dissertação apresentada com vista à obtenção do grau de Mestre em Exercício e Saúde, Instituto Politécnico de Bragança, ao abrigo do Decreto-Lei 74/2006, de 24 de Março

Autor: Jean Erik Gonçalves Mejias

Orientador: Professor Doutor Tiago Manuel Cabral dos Santos Barbosa

Bragança, Julho 2012

Mejias, JE. (2012) Comparação e caracterização da resposta cardiorrespiratória e metabólica de praticantes de natação. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

Palavras-chaves: Nadadores de recreação;

Nadadores de elite;

Envelhecimento;

Crol;

Bioenergética;

Biomecânica;

Natação;

As seguintes partes da presente tese estão publicadas:

1. **MEJIAS JE**, COSTA MJ, BRAGADA JA, SILVA AJ, BARBOSA TM. Caracterização e comparação da resposta fisiológica e biomecânica entre nadadores *masters* e de elite. *Actas do 35º Congresso Técnico Científico da Associação Portuguesa de Técnicos de Natação*. Editor Associação Portuguesa de Técnicos de Natação; Vila Nova de Paiva 2012.

As seguintes partes da presente tese foram submetidas para publicação:

1. **MEJIAS JE**, BRAGADA JA, COSTA MJ, REIS VM, GARRIDO ND, BARBOSA TM. Comparison of performance, energetics, kinematics and efficiency of master versus elite swimmers. *Eur J Appl Physiol*. In press.

“Quando se deseja muito alguma coisa todo o
universo conspira ao nosso favor”

Paulo Coelho

Dedico este trabalho

Aos meus pais e meus irmãos pela força e motivação
que têm dado ao longo da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me apoiaram, ajudaram e motivaram ao longo deste percurso académico. O caminho tem sido árduo, com momentos difíceis pelo meio, contudo foram ultrapassados com a força, ajuda e amizade de todos aqueles a quem aqui deixo a minha palavra de apreço.

Um agradecimento especial ao Professor Doutor Tiago Barbosa pela amizade e disponibilidade demonstrada ao longo de toda a minha formação académica. Grato pelas linhas orientadoras e seu conhecimento técnico e científico, contributos fundamentais na elaboração deste trabalho. Agradeço também pela liberdade de acção que me permitiu para que este trabalho contribuísse para o meu desenvolvimento pessoal.

Ao amigo e companheiro Professor Mário Costa pela amizade e pelo seu apoio e ajuda através do seu conhecimento académico.

Ao Professor José Bragada pela amizade e disponibilidade apresentada para qualquer ajuda. Grato pelo seu conhecimento técnico e científico.

Ao Sérgio Jesus pela força e amizade ao longo destes anos.

À Tânia Morgado pela amizade, disponibilidade, ajuda, compreensão e escuta ao longo destes anos académicos.

À Ewelina Drabek pela força e motivação que me tem dado

Aos meus pais, Francisco Pereira e Oleida Mejias, pelo grande apoio, incentivo, compreensão e o amor que sempre demonstraram.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 Performance	5
2.2 BIOENERGÉTICA	11
2.2.1 Capacidade aeróbia	11
2.2.2 Capacidade anaeróbia.....	13
2.2.3 Potência aeróbia	15
2.2.4 Custo energético	17
2.3 BIOMECÂNICA.....	17
2.3.1 Velocidade nado.....	18
2.3.2 Cinemática da Braçada.....	19
2.3.3 Eficiência de nado	20
3. PROBLEMA	25
4. OBJECTIVOS.....	25
4.1 Objectivo geral.....	25
4.2 Objectivos Específicos.....	25
5. HIPÓTESES.....	27
5.1 Hipótese Principal.....	27
5.2 Hipóteses secundárias	27
6. METODOLOGIA	29
6.1 Amostra.....	29
6.2 Procedimentos.....	29
6.3 Recolha dos Dados.....	30
6.3.1 Cardiorrespiratórios e bioenergéticos.....	30
6.3.2 Biomecânicos	32
6.4 Tratamento estatístico	34

6.4.1	Análise exploratória	34
6.4.2	Análise descritiva	34
6.4.3	Análise inferencial.....	34
7.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	37
7.1	Bioenergéticos.....	37
7.1.2	Capacidade aeróbia	37
7.1.3	Capacidade anaeróbia.....	37
7.1.4	Potência aeróbia	38
7.1.5	Dispêndio energético total.....	38
7.1.6	Custo energético	39
8.	Apresentação dos dados Biomecânicos.....	40
8.1	Cinemática da Braçada	40
8.2	Velocidade de nado.....	41
8.3	Eficiência de nado.....	41
9.	DISCUSSÃO.....	43
9.1	Discussão da metodologia.....	43
9.1.1	Amostra	43
9.1.2	Protocolo	44
9.1.3	Variáveis.....	45
9.1.4	Procedimentos estatísticos.....	46
9.2	Discussão dos resultados	47
9.2.1	Capacidade aeróbia	47
9.2.2	Capacidade anaeróbia.....	48
9.2.3	Potência aeróbia	48
9.2.4	Dispêndio energético total.....	49
9.2.5	Custo energético	50
9.2.6	Velocidade de nado	50

9.2.7	Cinemática da Braçada	51
9.2.8	Eficiência de nado	52
10.	CONCLUSÃO	53
11.	BIBLIOGRAFIA	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hipotética relação entre a performance na natação e os domínios que a determinam (adaptado de Barbosa (27))	6
Figura 2. A relação entre biomecânica, a energética e a performance em natação (adaptado de Barbosa (28)).....	6
Figura 3. O Aumento dos tempos relacionados com a idade no <i>US Masters Swimming</i> championship nas provas de 1500 metros livres e 50 metros livre. Provas realizadas entre 1991 e 1995 (adaptado de Tanaka. (8))..	10
Figura 4. Comparação da capacidade aeróbia, expressa pela V_4 , entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição)	37
Figura 5. Comparação da capacidade anaeróbia, expressa pelo La_{pico}^- , entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição)	37
Figura 6. Comparação da potência aeróbia, expressa pelo $VO_2@V_4$ e pela vVO_{2max} , entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição)	38
Figura 7. Comparação do gasto energético total, expresso pela \dot{E}_{tot} , entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição)	39
Figura 8. Comparação do custo energético, expresso pelo $C@V_4$, entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição)	39
Figura 9. Comparação da cinemática da braçada, expressa pela $FG@V_4$ e pela $DC@V_4$, entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição)	40
Figura 10. Comparação da velocidade de nado entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição)	41
Figura 11. Comparação da eficiência de nado, expressa pelo $IN@V_4$ e pela $\eta_p@V_4$, entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição).....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização antropométrica da amostra.....	29
--	----

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1	17
Equação 2	18
Equação 3	19
Equação 4	22
Equação 5	32
Equação 6	32
Equação 7	32
Equação 8	33
Equação 9	33
Equação 10	33
Equação 11	33
Equação 12	50

Resumo

Foi objectivo desta dissertação comparar e caracterizar a resposta cardiorrespiratória, metabólica e biomecânica em nadadores de recreação *versus* competição. Fizeram parte do presente estudo 20 nadadores portugueses do sexo masculino (8 recreação e 12 de competição). Recorreu-se à aplicação de um teste incremental de 7 x 200-m Crol de modo a determinar diversas variáveis cardiorrespiratórias, metabólicas e biomecânicas. Para ser possível comparar os grupos à mesma intensidade de esforço, procedeu-se à relativização das variáveis seleccionadas à velocidade de nado das 4 mmol·l⁻¹ de concentração de lactato. Para verificar a existência de diferenças significativas entre os dois grupos recorreu-se ao teste de Anova a um factor (nadador: recreação *vs* competição). Os nadadores de competição apresentaram uma velocidade às 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 73,541$, $p= 0,001$), um consumo máximo de oxigénio ($F_{(1,18)}= 13,152$, $p= 0,002$), uma velocidade mínima de obtenção do consumo máximo de oxigénio ($F_{(1,18)}= 29,364$, $p= 0,001$), um dispêndio energético total às 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 11,717$, $p= 0,003$), uma frequência gestual às 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 45,584$, $p= 0,001$), uma velocidade ($F_{(1,18)}=52,690$, $p= 0,001$) e um índice de nado às 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}=25,424$, $p= 0,001$) significativamente superior aos nadadores de recreação. Não se verificaram diferenças significativas entre os grupos no pico de lactato após o esforço ($F_{(1,18)}= 1,832$, $p= 0,193$); no custo energético às 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}=1,50$, $p= 0,703$); na distância de ciclo às 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 0,044$, $p= 0,836$), e na eficiência propulsiva às 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 0,315$, $p= 0,582$). Os nadadores de competição apresentaram valores superiores aos de recreação em quase todas as variáveis estudadas. Essa superioridade permite-lhes obter melhores *performances* quando comparados com os nadadores de recreação pela presença de um perfil fisiológico mais elevado.

Palavras-chave: Nadador de recreação; Nadador de elite; envelhecimento; Crol; bioenergética; biomecânica; natação

Abstract

The aim of the present dissertation was to compare and characterize the cardio-respiratory, metabolic and biomechanical response between recreation swimmers and competitive swimmers. Twenty Portuguese male swimmers (eight masters and twelve elite) were evaluated. An incremental set of 7 x 200 m swims Crawl was applied to assess the cardio-respiratory, metabolic and biomechanical data. All energetic and biomechanical variables were related at velocity of the 4 mmol·l⁻¹ to of lactate concentrations to compare all swimmers at the same intensity. Differences between both groups were testes with one away Anova (swimmer: recreation versus competition). The competitive swimmers presented a velocity at the 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 73,541$, $p= 0,001$), maximal oxygen consumption ($F_{(1,18)}= 13,152$, $p= 0,002$), minimum swimming velocity where the maximal oxygen consumption is reached ($F_{(1,18)}= 29,364$, $p= 0,001$), maximal total metabolic power at velocity at the 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 11,717$, $p= 0,003$), stroke frequency at velocity at the 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 45,584$, $p= 0,001$), mean swimming velocity ($F_{(1,18)}= 52,690$, $p= 0,001$) and stroke index at velocity at the 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 25,424$, $p= 0,001$) significantly higher than recreational swimmers. There were no significant differences between the groups in the highest value of peak lactic acid after exercise ($F_{(1,18)}= 1,832$, $p= 0,193$); energy cost at velocity at the 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 1,50$, $p= 0,703$); stroke length at velocity at the 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 0,044$, $p= 0,836$), and propelling efficiency at velocity at the 4 mmol·l⁻¹ ($F_{(1,18)}= 0,315$, $p= 0,582$). The competitive swimmers presented higher values than recreational swimmers in almost all variables assessed. This superiority allows them to achieve better performances when compared to recreational swimmers by the presence of a physiological profile more accurate.

Key words: recreational swimmers; elite swimmers; Ageing; freestyle swim, bioenergetics; biomechanical; swimming

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

NPD	Natação Pura Desportiva
v	Velocidade
\bar{v}	Velocidade média de nado
dV	Velocidade intra-cíclica do centro de massa na horizontal
V4	Velocidade de lactato estimado às 4 mmol.l ⁻¹
VC	Velocidade crítica
Vmão	Velocidade da mão
Vpés	Velocidade dos pés
ω	Velocidade angular
FG	Frequência gestual
FG@V4	Frequência gestual à velocidade das 4 mmol.l ⁻¹
DC	Distância de ciclo
DC@V4	Distância de ciclo à velocidade das 4 mmol.l ⁻¹
IN	Índice de nado
IN@V4	Índice de nado à velocidade das 4 mmol.l ⁻¹
\dot{E}	Potência metabólica
\dot{E}_{tot}	Dispêndio energético total
$\dot{E}_{\text{tot}}@V4$	Dispêndio energético total à velocidade das 4 mmol.l ⁻¹
C	Custo energético
C@V4	Custo energético à velocidade das 4 mmol.l ⁻¹
η	Eficiência
η_p	Eficiência propulsiva
$\eta_p@V4$	Eficiência propulsiva à velocidade das 4 mmol.l ⁻¹

Idc	Índice de coordenação
TTG	Tempo total de intervalo
O ₂	Oxigénio
VO ₂	Consumo de oxigénio
VO _{2máx}	Consumo máximo de oxigénio
VO _{2net}	Diferença entre o valor medido no final do patamar e o valor de repouso
[La ⁻]net	Diferença entre o valor medido no final do patamar e o valor de repouso
La ⁻ _{pico}	Máxima concentração de lactato após esforço
OBLA	Onset of blood lactate
Pmet	Potência metabólica do sistema
D	Arrasto
l	Distância entre o ombro e a mão no instante da acção lateral interior
R	Coefficiente respiratório
FC	Frequência cardíaca
FCM	Frequência cardíaca máxima
ATP	Adenosina Trisfosfato
Pmet	Potência metabólica do sistema
π	Pi
d	Distância
t	Tempo
Hz	Hertz
m	Metro
s	Segundo
ml	Mililitro
min	Minuto
mmol	Milimole

j	Joule
c	Ciclos
m ²	Metro quadrado
Kg	Quilograma
Km	Quilometro

1. Introdução

Durante vários séculos a água foi usada como meio terapêutico e medicinal (1, 2). Actualmente, continua a ser vista da mesma forma, mas com um impacto maior, uma vez que as suas propriedades e características únicas são conhecidas. Por outro lado, estas características permitem que as pessoas realizem exercícios físicos que seriam incapazes de se realizarem em terra (3). Os exercícios aquáticos utilizam os princípios da hidrostática e hidrodinâmica para criar desafios que promovem a saúde. Presentemente, dentro das actividades/exercícios físicos quer num âmbito recreativo, competitivo e de saúde, os realizados dentro de água, continuam a ser uma tendência, sendo a natação um dos mais populares.

De entre os praticantes de natação podem-se distinguir vários tipos: (i) nadadores de elite/competição que realizam uma prática mas direccionada para o rendimento; (ii) nadadores *masters* (ex-atletas) que continuam em competição, após ultrapassarem a idade mínima necessária que a modalidade exige (igual ou superior a 25 anos) e; (iii) nadadores de recreação – nadadores, com prática regular de natação (no mínimo duas a três sessões por semana) e sem estatuto federativo em Natação Pura Desportiva (NPD). Desta forma, os nadadores *masters* constituem uma amostra mais próxima dos indivíduos adultos e não federados que praticam esta modalidade (nadadores de recreação) em busca de uma melhor condição física.

A investigação com os praticantes de natação no domínio do rendimento é muito productiva. Contudo, quando atentando para a vertente da saúde (i.e., *masters* e recreação) são poucos os estudos em questão e nenhum de relevância para a comunidade científica relativamente aos nadadores de recreação. A maioria da literatura versa o estudo dos nadadores de competição. Neste sentido, dada a consistência da literatura para uns (competição) e a ausência para outros (recreação), este estudo comparou praticantes de natação e índole orientada para a saúde (i.e. nadadores de recreação) com praticantes de natação numa vertente de competição (i.e. nadadores de competição).

Numa prática de exercício físico aquático orientado para a saúde, como é o caso da natação de recreação, o estudo da função cardiorrespiratória é um elemento essencial. A função cardiorrespiratória é definida como a capacidade que o organismo tem em adaptar-se a esforços físicos moderados, envolvendo a participação de grandes grupos musculares, por períodos de tempo relativamente longos (4). Associada a este conceito,

encontra-se a Capacidade Fisiológica Funcional que é definida como a capacidade de realizar as tarefas físicas diárias da vida e a facilidade com que essas tarefas podem ser executadas (5). A Capacidade Fisiológica Funcional diminui com o avançar da idade sendo que essas diminuições são atribuídas à redução no sistema cardiovascular, respiratório, metabólico e funções neuromusculares (6-8).

Uma das formas de avaliar e/ou estimar esta capacidade é averiguando as mudanças que ocorrem no pico da *performance* com a idade (6, 8, 9). Neste caso, a *performance* pode ser entendida não no sentido estrito de rendimento desportivo, mas também de rendimento motor. Por outras palavras, melhorias na *performance* podem-se traduzir na capacidade do sujeito executar uma determinada tarefa motora com uma maior eficácia. Este é um conceito amplamente utilizado em contextos de reeducação e reabilitação motora onde o pressuposto da *performance* é a melhoria em termos de eficácia e/ou eficiência de um movimento motor ou uma actividade quotidiana. Assim, neste contexto verifica-se que as investigações realizadas na *performance* proporcionam um número de vantagens para estudar as mudanças ocorridas pelo envelhecimento e na Capacidade Fisiológica Funcional.

Assim, o estudo da capacidade cardiorrespiratória dos praticantes de natação é de todo o interesse uma vez que este nos permite estudar e verificar as mudanças que ocorrem com o avançar da idade nesta capacidade fisiológica tão importante pelas razões descritas nos parágrafos anteriores.

Em NPD importa estudar a sua *performance* (enquanto forma de estimativa da Capacidade Fisiológica Funcional) e os factores que a determinam. De entre estes, grande atenção tem sido despendida para os factores bioenergéticos (onde se encontram a capacidade cardiorrespiratória e outras variáveis associadas) e para os factores biomecânicos. Um estudo de revisão muito recente determinou que a *performance* em natação está fortemente associada aos factores bioenergéticos, sendo estes dependentes do comportamento biomecânico e das estratégias motoras adoptadas pelo nadador (10, 11). A análise de variáveis bioenergéticas e biomecânicas têm sido recorrentes em nadadores adultos e de elite (12-14). No entanto, os estudos nestes domínios com nadadores de recreação e *masters* são muito reduzidos.

Os estudos demonstram que a *performance* parece ser afectada negativamente pela idade (15). As evidências demonstram haver um declínio progressivo até aos 70 anos, duplicando após essa idade. Este declínio na *performance* evidencia-se mais nas provas de maior distância e duração, sugerindo uma perda significativa ao nível da

resistência cardiovascular com a idade (5). Este declínio também parece ocorrer nos parâmetros biomecânicos. Favaro et al. (16) ao avaliar as alterações nos parâmetros biomecânicos da braçada em nadadores *masters* em diferentes faixas etárias, verificaram que a velocidade (v), a frequência gestual (FG) e a distância de ciclo (DC) diminuíram com o avançar da idade.

Esta dissertação teve como objectivo caracterizar e comparar as respostas cardiorrespiratórias e os factores que lhe estão associadas (i.e, resposta metabólicas e biomecânicas) em diferentes tipos de praticantes de natação (nadadores de recreação *versus* nadadores de competição).

O primeiro capítulo da dissertação é composto pela revisão da literatura onde são aprofundados e explorados os indicadores cardiorrespiratórios, metabólicos e biomecânicos determinantes do exercício de natação. Por outro lado, apresenta uma comparação entre os nadadores de competição e os nadadores de recreação tentando compreender o comportamento das variáveis em estudo. O segundo capítulo explica o problema do estudo, assim como o objectivo e as hipóteses propostas. O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada nesta dissertação onde se encontra descrito pormenorizadamente todo o processo para a recolha e tratamento dos dados. No quarto capítulo são descritos todos os resultados obtidos. No quinto capítulo é efectuada uma discussão dos resultados confrontando os mesmos com a escassa literatura existente. No sexto e último capítulo são apresentadas as principais conclusões desta dissertação.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Performance

A *performance* sempre foi uma variável que suscitou grande interesse no contexto desportivo, essencialmente devido à procura por uma melhor prestação ou por um melhor resultado, o qual sempre despertou a curiosidade do ser humano. Não sendo uma excepção, a Natação Pura Desportiva (NPD) também tenta identificar as variáveis que determinam ou predizem a *performance*, surgindo assim como um dos principais temas de interesse nas investigações na área.

Este interesse pela *performance* é óbvio para a prática do desporto de rendimento. De igual forma tem pertinência no exercício físico orientado para a saúde. Este facto, prende-se com a importância de analisar a Capacidade Funcional Fisiológica através do pico da *performance*. A Capacidade Funcional Fisiológica define-se como a capacidade de realizar as tarefas físicas diárias da vida e a facilidade com que essas tarefas podem ser realizadas (5). Esta tende a diminuir com o avançar da idade, mesmo em adultos saudáveis (7, 8, 17-19). Neste sentido, uma das formas descritas na literatura para avaliar a Capacidade Funcional Fisiológica em seres humanos, é determinando as mudanças que ocorrem no pico da *performance* com o avançar da idade em atletas de elite (8, 9).

São vários os estudos efectuados com a finalidade de identificar os melhores preditores da *performance*, quer em crianças (20-22), quer em nadadores adultos de competição/elite(10, 21-26).

Numa perspectiva mais lata, a *performance* na natação é um fenómeno multifactorial e está relacionada com domínios energéticos, biomecânicos, genéticos, controlo motor, antropométricos e maturação biológica tanto para os nadadores jovens como para os nadadores adultos (10, 27) incluindo os de recreação e mais orientados para o exercício físico numa perspectiva da saúde. Ou seja, aos primeiros enunciados poder-se-ão possivelmente acrescentar outros tipos de nadadores, como os de recreação e os *masters*. Existem relações específicas entre estes domínios, a fim de determinar a *performance* da natação como é demonstrado na figura 1 (27).

Neste sentido, abordar isoladamente Fisiologia, Controlo Motor ou Biomecânica não é suficiente para a melhoria da *performance* na natação. Os domínios que apresentam maior influência e que suscitam maior interesse nas investigações realizadas são os fisiológicos e os biomecânicos.

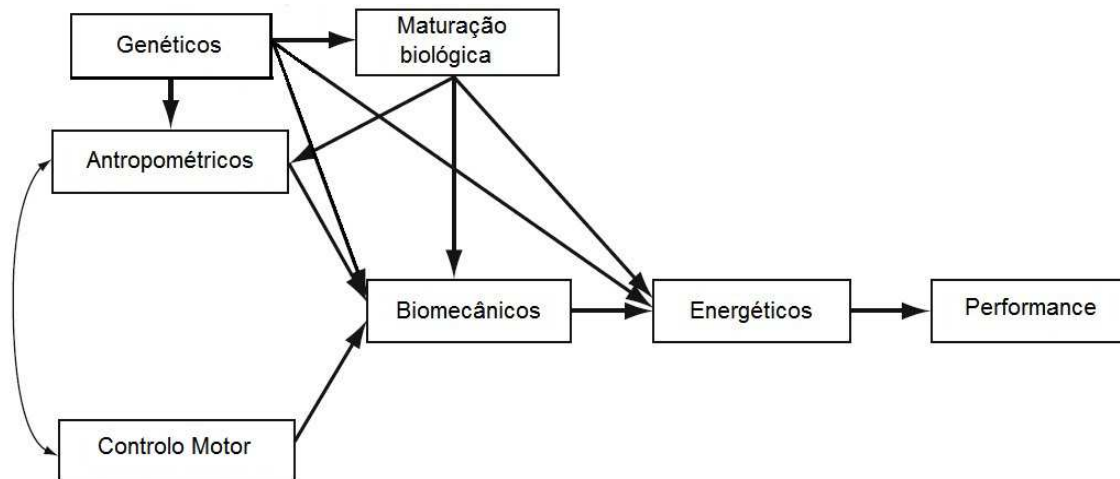


Figura 1. Hipotética relação entre a *performance* na natação e os domínios que a determinam (adaptado de Barbosa (27)).

Com efeito, estes domínios científicos são apontados como aqueles que mais directamente contribuem para alcançar elevados níveis de *performance* na NPD (28). A figura 2 apresenta a relação entre os domínios da biomecânica e da energética com a *performance* na NPD.

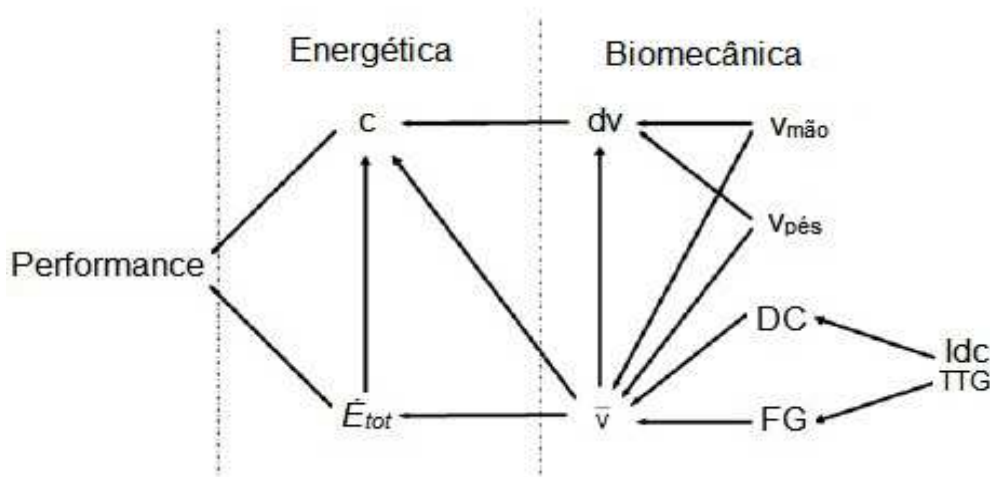


Figura 2. A relação entre biomecânica, a energética e a *performance* em natação (adaptado de Barbosa et al. (28)).

C : custo energético; \dot{E}_{tot} : dispêndio energético total; dV : velocidade intra-cíclica do centro de massa na horizontal; I_{dc} : índice de coordenação; TTG : Tempo total de intervalo; FG : frequência gestual; DC : distância de ciclo; v : velocidade média de nado; $v_{mão}$: velocidade da mão; $v_{pés}$: velocidade dos pés.

Esta relação demonstra que a *performance* dos nadadores está fortemente associada aos factores bioenergéticos, sendo estes dependentes do comportamento biomecânico (28). Especula-se que a mesma ou uma relação próxima exista para outros tipos de nadadores, como sejam os de recreação, mas sem que haja evidências científicas a sustentar esta especulação. Através da análise da figura 2 pode-se dizer que o Custo energético (C) e o dispêndio energético total (\dot{E}_{tot}) permitem uma previsão moderada-elevada da *performance*. Através da avaliação da velocidade (v) e da variação intra-cíclica da velocidade (dV), observa-se uma quantificação global do nível técnico do nadador, isto porque ambas são o resultado do equilíbrio das forças de propulsão e arrasto (28).

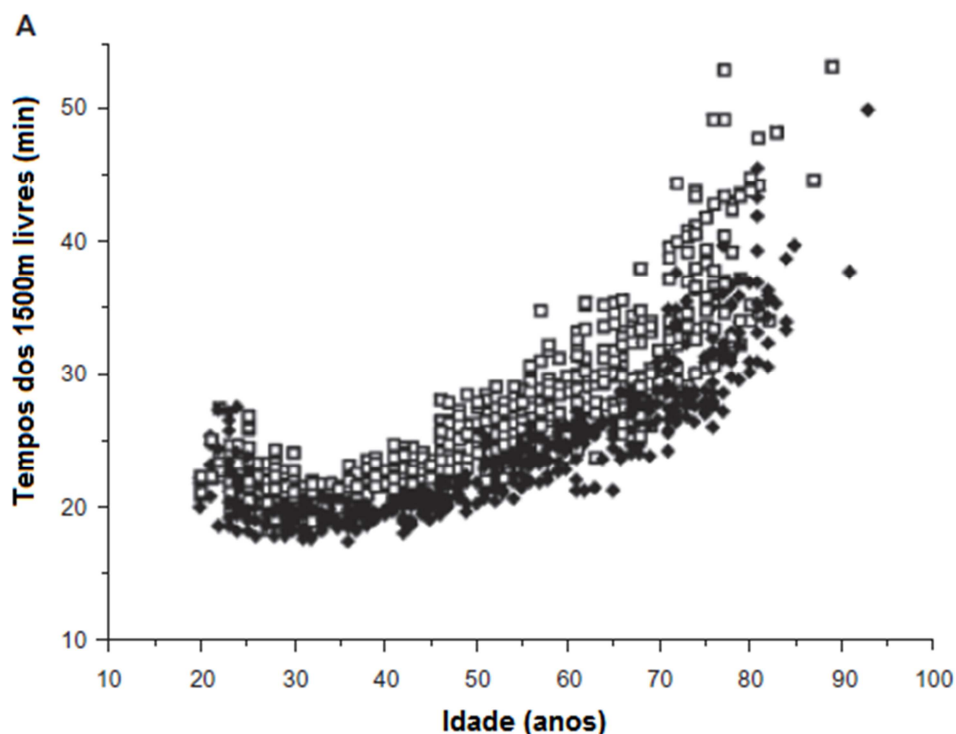
São vários os estudos que têm sido efectuados com jovens nadadores e que procuram determinar dentro de cada domínio (p.e., antropométrico, bioenergético, biomecânico) a magnitude de contribuição de cada variável para a *performance* em determinada prova. Latt et al. (21) verificaram que duas variáveis do domínio biomecânico - o índice de nado (IN) e a frequência gestual (FG) - explicaram 92,6% da *performance* nos 100-m Crol em jovens nadadores. Ficou ainda patente que o IN (domínio biomecânico), a envergadura (domínio antropométrico) e o diferencial de acumulação de lactato (domínio bioenergético) foram os melhores indicadores dentro de cada domínio analisado. Vitor et al. (29) reportaram que 88% da *performance* nos 100-m livres deveu-se essencialmente à potência anaeróbia, ao IN e à velocidade crítica (VC). Recentemente, Saavedra et al. (22) identificaram um conjunto de quatro variáveis (i.e., idade, altura sentado, capacidade aeróbia através dos testes de 30-min, 6 x 50-m em 1:30 e o IN) com uma capacidade preditiva de 82,4% para a *performance* em nadadores jovens. No entanto, à medida que a distância de nado aumenta, a contribuição do domínio bioenergético para a *performance* passa a ser superior. Este facto ocorre porque nas médias e longas distâncias a principal via energética a ser solicitada será a aeróbia. De facto, vários estudos têm confirmado esta evidência. Ribeiro et al. (30) num estudo, mais uma vez com jovens nadadores, observaram que 79% da *performance* na prova dos 400-m Crol foi explicada pela velocidade a 85% do consumo máximo de oxigénio ($VO_{2máx}$) e pela velocidade às 4 mmol/l ($V4$). Já Obert et al. (31) apenas indicaram o $VO_{2máx}$ como a única variável responsável pela variação da *performance* nos 200 e 400-m Crol. Este dado é corroborado com os resultados de Poujade et al. (32) os quais permitem afirmar que há uma associação muito forte, entre a *performance* e o $VO_{2máx}$.

No que diz respeito aos nadadores de recreação e/ou *masters* esta temática encontra-se ainda pouco explorada. Pelo menos considerando nadadores de recreação adultos, já que os estudos atrás descritos com jovens nadadores, de certa forma, podem ser incluídos num domínio mais recreativo de igual forma, já que ainda não assenta numa perspectiva puramente de alto rendimento. Nos últimos anos estudos sobre atletas *masters* têm suscitado algum interesse por parte dos investigadores. Esse facto deve-se essencialmente a uma maior afluência por parte das pessoas seniores á prática de exercício físico regular, e a um aumento do número de ex--nadadores (*masters*) que continuam em competição, após ultrapassarem a idade mínima necessária que cada modalidade exige. Sendo um outro dos motivos para essa prática as preocupações com a saúde dos mesmos. Para além destes, é ainda necessário a contabilização dos nadadores de recreação – nadadores com idade igual ou superior a 25 anos, com prática regular de natação (no mínimo três sessões por semana) e sem estatuto federativo em NPD há pelo menos quatro anos. Se existem alguns estudos com nadadores adultos *masters*, no caso de nadadores adultos de recreação, salvo melhor opinião, eles serão completamente inexistentes. Nesta revisão focar-se-ão fundamentalmente os estudos realizados em nadadores *masters* uma vez que, estes constituem um grupo de coorte mais próximo com dados dos nadadores de “recreação”.

Na natação, a idade mínima para pertencer ao escalão *masters* é de 25 anos, uma vez que, os recordes mundiais são mantidos por adolescentes/adultos. Os atletas *masters* nesta modalidade são agrupados por escalões etários da seguinte forma: (i) nadadores entre os 25-29 anos pertencem ao escalão A; (ii) nadadores entre os 30-34 anos pertencem ao escalão B; (iii) nadadores entre os 35-39 anos pertencem ao escalão C; (iv) nadadores entre 40-44 anos pertencem ao escalão D; (v) nadadores entre os 45-49 pertencem ao escalão E; (vi) nadadores entre os 50-54 pertencem ao escalão F; (vii) nadadores entre 55-59 pertencem ao escalão G; (viii) nadadores entre 60-64 pertencem ao escalão H; (ix) nadadores entre 65-69 pertencem ao escalão I; (x) nadadores entre 70-74 pertencem ao escalão J; (xi) nadadores entre 75-79 pertencem ao escalão K; (xii) nadadores entre 80-84 pertencem ao escalão L. Sempre que tal se verifique, podem existir escalões etários para nadadores com idades superiores a 84 anos, mantendo-se sempre a regra do intervalo temporal de cinco anos (33).

Segundo Fairbrother (34) o pico da *performance* neste grupo de nadadores parece dar-se entre os 25 e os 40 anos, correspondendo este intervalo aos três primeiros

escalões. Contudo, verifica-se através de alguns estudos realizados, que na natação após os 25 anos de idade a *performance* apresenta uma diminuição progressiva até perto dos 70 anos, decrescendo de forma acentuada após esta idade (5, 35). Resultados semelhantes já tinham sido relatados por Tanaka et al. (8) após uma análise retrospectiva de quatro anos dos melhores tempos nas provas livres de 50-m e de 1500-m do *US Masters*. Os autores concluíram que os tempos nas provas aumentaram de forma linear aproximadamente até aos 70 anos, aumentando de forma exponencial após esta idade. Este facto pode ser verificado através da figura 3 que representa os dados obtidos por Tanaka e Seals onde podemos verificar que, com o aumento da idade, aumentou o tempo em prova. Também Favaro (16) verificou um decréscimo da v dos nadadores *masters* mais velhos em relação aos nadadores *masters* mais novos. Quer isto dizer que, os nadadores tornam-se mais lentos com o avançar da idade. Deste modo, parece não haver dúvidas que a diminuição da *performance* com a idade é inevitável (5, 15, 36, 37). Num estudo longitudinal realizado, através dos dados obtidos entre 1971 e 1973, do programa *U.S Masters Swim*, concluiu-se que a *performance* para todas as provas livres (100, 200, 500 e 1500-m) diminuiu aproximadamente 0,8% por ano. Todavia, no que diz respeito às distâncias nadadas, também estas parecem ter influência na *performance* dos nadadores. Provas de maior distância e duração apresentam um declínio superior, em valores relativos, quando comparadas com provas de menor distância e duração (5, 8, 38, 39).



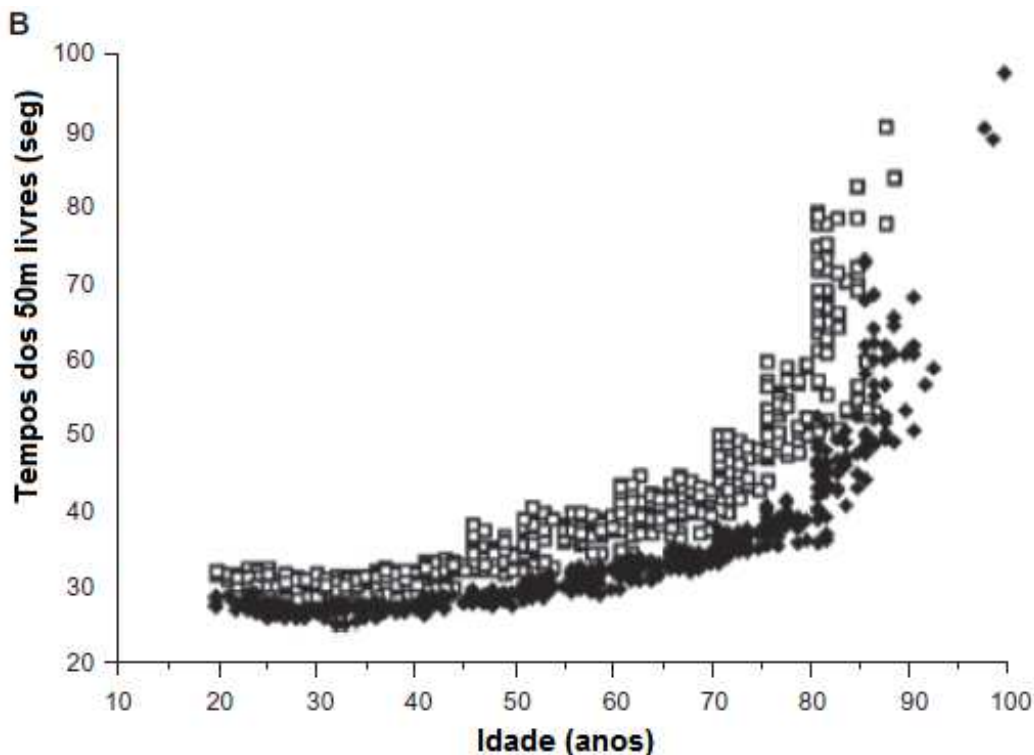


Figura 3. Aumento dos tempos relacionados com a idade no *US Masters Swimming championship* nas provas de 1500 metros livres (A) e 50 metros livre (B). Provas realizadas entre 1991 e 1995 (adaptado de Tanaka et al. (8)).

Barbosa et al. (27) desenvolveram um modelo que traduz a variação da *performance* desde jovens nadadores (aproximadamente 10 anos de idade) até à 3ª idade (aproximadamente 70 anos de idade). Os autores verificaram que entre os 12 anos e os 18 anos a *performance* dos praticantes apresentou uma melhoria, rondando os 20 %. No entanto, a partir deste ponto, a *performance* decaiu progressivamente com a idade até chegar aos 70 anos de idade. Algumas evidências sugerem que este declínio progressivo em provas mais longas está relacionado principalmente com perdas e limitações no perfil fisiológico, com especial acuidade para a diminuição do $VO_{2máx}$ (40).

No que diz respeito a estudos que comparam nadadores jovens/adultos com nadadores *masters* estes são inexistentes pelo menos em relação a *performance*.

Em síntese, a *performance* nos nadadores jovens e adultos/elite tende a melhorar até aproximadamente os 18-22 anos de idade, momento do pico da carreira. Nos nadadores *masters* parece existir um declínio progressivo da *performance*, sendo este mais acentuado a partir dos 70 anos.

2.2 Bioenergética

A Bioenergética constitui um dos principais blocos temáticos da Fisiologia, tendo como foco principal os processos químicos que tornam possível a vida celular do ponto de vista energético. Esta explica os principais processos químicos que decorrem na célula e analisa as suas implicações fisiológicas.

A bioenergética tem merecido especial destaque uma vez que esta pode ser um elemento chave para a compreensão da *performance*. São vários os estudos que demonstram que valores elevados de potência aeróbia, determinada a partir do $VO_{2máx}$ revelam uma forte associação com a *performance* em natação, pelo menos para jovens nadadores (20, 30) e nadadores adultos/elite (41-44). Parâmetros bioenergéticos tais como a $V4$; $VO_{2máx}$, velocidade mínima na qual se atinge o $VO_{2máx}$ ($vVO_{2máx}$) e o C são descritas pela literatura como variáveis de elevada capacidade determinativa da *performance*.

2.2.1 Capacidade aeróbia

O limiar anaeróbio, também conhecido como “Limiar aeróbio-anaeróbio” ou “Maxlass – estado de equilíbrio máximo de lactato”- é fundamental na avaliação da capacidade de resistência dos praticantes, nomeadamente na capacidade aeróbia, a qual pode fornecer valiosas indicações sobre a sessão de prática física. Este conceito define-se como a concentração de lactato mais elevada e estável, que pode ser suportada pelo metabolismo oxidativo durante uma carga constante de 30 minutos, em que não há uma variação superior a $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ durante os últimos 20 minutos (45). Em termos médios, sabe-se que o limiar anaeróbio ocorre às $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ sendo usual aceitar-se esse valor como referência e a partir daí, determinar a velocidade que lhe está associada ($V4$ - velocidade a que ocorre uma concentração de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ de lactato sanguíneo). Um outro conceito é o de *onset of blood lactate* (OBLA), onde se identifica por modelação matemática da curva lactato-velocidade o momento de inflexão da curva, correspondendo à altura de perda do equilíbrio entre produção e remoção do metabolismo. Apesar de discutível, este valor-referência também é adoptada de forma regular e sistemática na NPD.

A capacidade de tolerar altas concentrações de lactato no sangue é considerado um factor importante na *performance* em esforços físicos com durações de 4-5 minutos, como acontece em algumas provas de natação (i.e. 400-m) (46). Porém nas provas de

200-m, as quais são muito intensas e demoram em média cerca de 2 minutos, também a via anaeróbia tem um papel importante (47). Nestas provas o metabolismo aeróbio representa a principal via energética, sendo que, a sua contribuição para a *performance* do nadador é superior à da via energética anaeróbia. A literatura mostra-se consistente neste sentido e refere que, para a realização de esforços na natação de 30 segundos a quatro minutos, o organismo requer a contribuição tanto do sistema aeróbio como do sistema anaeróbio (48). Vários estudos têm tentado demonstrar em termos relativos a contribuição dos sistemas energéticos em relação a estas provas. Recentemente, Figueiredo et al. (49) verificaram que, para uma prova de 200-m, a contribuição do sistema aeróbio era de 66% e do sistema anaeróbio era de 34%. Resultados semelhantes foram obtidos por Ogita, (50), Troup, (48), Capelli et al. (51) e Zamparo et al. (52) no passado. Ogita, (50) e Troup, (48) observaram que em provas de dois a três minutos a contribuição do sistema aeróbio era de aproximadamente 65% e do sistema anaeróbio de 35%. Já Capelli et al. (51) observaram em provas de 200-m que a contribuição do sistema aeróbio era de 61% e do sistema anaeróbio era de 39%. Também Zamparo et al. (52) em provas de 200-m observaram que a contribuição do sistema aeróbio era de 71% e do sistema anaeróbio era de 29% em nadadores jovens de ambos os sexos. Em todos os estudos os resultados corroboram a ideia de que há uma maior prevalência na contribuição do sistema aeróbio em relação ao sistema anaeróbio. Pelo menos em nadadores jovens e adultos/elite.

No caso de nadadores *masters* e/ou de recreação a literatura será inexistente. Contudo, pode-se especular que o contributo da via anaeróbia tenderá a ser inferior. Em primeiro lugar o treino deste tipo de nadadores é essencialmente a baixos regimes (i.e. capacidade aeróbia) e a degradação do sistema anaeróbio ao longo do ciclo vital também terá um peso nesse fenómeno. Contudo, a diminuição acentuada da massa músculo-esquelética poderá trazer repercussões negativas na capacidade aeróbia, pois o tecido muscular é um local metabólico activo onde existem muitas enzimas oxidativas e mitocôndrias, que são essenciais para aperfeiçoar os processos de transferência de energia no organismo. No estudo de Proctor e Joyner (53) onde estudaram a relação entre a capacidade aeróbia e massa músculo-esquelética em idosos, observaram que os níveis reduzidos de VO_{2max} sofriam influência da composição corporal, principalmente devido a perda de massa muscular. Também Fleg e Lakatta (54) sugeriram à existência de uma relação directa entre a massa músculo-esquelética e o consumo de oxigénio

(VO_2). Por outro lado, Hunt et al. (55) descreveram uma forte relação entre a massa músculo-esquelética e o volume sanguíneo entre adultos sedentários de diferentes idades.

2.2.2 Capacidade anaeróbia

Quando se pratica esforços anaeróbios de elevada potência, a via aeróbia está a trabalhar a grande intensidade. A capacidade anaeróbia pode ser definida, como a capacidade de gerar energia (i.e, ATP- Adenosina trifosfato) na ausência de oxigénio. Deste modo, o metabolismo anaeróbio colmata a diferença entre a energia total necessária e aquela que está a ser obtida em regime aeróbio. A via anaeróbia entra em actividade não apenas quando a via aeróbia já não consegue produzir energia à velocidade requerida pela intensidade do esforço em causa (45). Esta entra em acção ainda antes de se atingir o VO_{2max} , normalmente a intensidades de esforços correspondente a 55% a 60% do VO_{2max} , em indivíduos sedentários saudáveis (45). Isto leva a constatar que é a partir destas intensidades de esforços que começa a haver produção de lactato e a sua passagem para o sangue. Em exercícios de curta duração, como é o caso das provas dos 100 e 200-m na natação a via anaeróbia tem um papel importante (47). Deste modo, sabe-se que quanto maior for a capacidade anaeróbia de um individuo maior será a sua capacidade de realizar esforços prolongados sem sofrer acumulação de lactato levando à permanência de uma elevada velocidade em provas longas.

Nas provas de 200 e 400-m são encontrados picos de concentração de lactato, superiores às provas de 800 e 1500-m (56). Porém, a concentração de lactato sanguíneo aumenta de forma não linear com o aumento da v (57). A capacidade de tolerar altas concentrações de lactato no sangue é melhorada pelo processo de exercício físico sistematizado. Vários estudos observaram melhorias com programas de treino tanto na V_4 (58, 59) como na tolerância ao lactato (60, 61), assim como, diminuições na concentração de lactato sanguíneo relacionado com a v após seis meses de treino aeróbio também foram observadas (62). No entanto, este parâmetro metabólico parece sofrer alterações com o processo de envelhecimento. Segundo Tanaka e Seals, (36) a capacidade anaeróbia sofre uma diminuição com a idade, devido em grande parte à redução do $VO_{2máx}$. Este facto estará relacionado com acumulação de lactato proveniente da via anaeróbia devido à ausência de oxigénio. Os valores baixos de VO_2

levam a um aumento de ácido láctico no sangue derivado do composto de piruvato que é formado. O ácido láctico provoca um aumento do pH sanguíneo que por sua vez vai prejudicar a ligação entre a actina e a miosina as quais são responsáveis pela contracção muscular (45). Isto, leva a uma perturbação da contracção muscular ou seja, ao condicionamento do número de fibras musculares recrutadas (i.e., fibras de contracção rápida, tipo II) para a produção de potência muscular. Com o envelhecimento, sabe-se que ocorre uma diminuição do VO_2 , logo, existirá menos oxigénio para recrutar o número de fibras suficiente para gerar potência muscular. Por outro lado, as fibras podem adoptar certas características do tipo de fibras contrárias (i.e., as fibras tipo II podem tornar-se mais oxidativas) se o treino for do tipo aeróbio (4). As fibras do tipo I (i.e., aeróbias, contracção lenta) parecem ser resistentes à atrofia associada ao envelhecimento, pelo menos até os 70 anos, enquanto a área relativa das fibras tipo II declina de 20 a 50 % com o passar dos anos (63-65).

Também o pico de lactato sanguíneo (La^-_{pico}) parece diminuir com a idade, sendo que, este declínio poderá estar relacionado em grande parte com a perda de massa no músculo-esquelético (66). Comparações prévias em nadadores *masters* entre os 28-80 anos em provas de 100-m livres demonstraram não haver nenhum efeito da idade sobre o La^-_{pico} (67). Contudo, um estudo mais recente, efectuado por Benelli et al. (66) demonstrou que o pico de lactato sanguíneo após o exercício máximo anaeróbio diminuía com a idade, sendo que este declínio era mais evidente após os 70 anos.

Um estudo que comparou quatro grupos de *masters* em diferentes idades (25-35; 36-45; 46-55; e superior a 56 anos) nos 100-m livres, demonstrou que os nadadores *masters* pareciam ser capazes de produzir e remover o ácido láctico ao mesmo ritmo que os nadadores mais jovens, contudo não encontraram diferenças significativas entre os grupos (67). Os autores concluíram ainda que, a recuperação activa, ajudou a remover mais rápido as concentrações de lactato. Noutro estudo que também comparou *masters* de diferentes idades e de ambos os sexos com idades compreendidas entre os 40 e 79 anos demonstrou que os homens apresentavam concentrações de lactato superiores às mulheres e um declínio mais acentuado com o envelhecimento. Assim, dados os resultados contraditórios presentes na literatura, não fica claro qual a efectiva tendência do comportamento do La^-_{pico} com o avançar da idade.

2.2.3 Potência aeróbia

Outros dois parâmetros considerados como bons indicadores para avaliar o metabolismo aeróbio são o $VO_{2máx}$ e a $vVO_{2máx}$. Estas variáveis são consideradas importantes para o controlo e avaliação das intensidades acima da capacidade aeróbia. Habitualmente são considerados como regimes de “potência aeróbia”. Embora o VO_2 em repouso seja muito similar entre indivíduos sedentários e treinados durante o esforço máximo, os indivíduos treinados possuem valores de $VO_{2máx}$, que em média são duas vezes superiores aos apresentados pelos indivíduos sedentários (68).

O conceito de $VO_{2máx}$ foi utilizado pela primeira vez por Hill (69) sendo posteriormente desenvolvido por Astrand (70) como sendo a mais alta captação de oxigénio alcançada por um indivíduo respirando ar atmosférico ao nível do mar. Actualmente é definido como a maior taxa de consumo de oxigénio atingido durante o exercício máximo ou exaustivo (71). O $vVO_{2máx}$ é definido como sendo à velocidade mínima necessária para se atingir o VO_{2max} (72).

Alguns estudos longitudinais têm sido realizados para estudar o VO_{2max} em jovens nadadores (73-76). Uma ideia consistente por eles corroborada é de que o VO_{2max} tende a aumentar em crianças do sexo masculino entre os 8 e os 16 anos de idade. Resultados semelhantes são descritos por outro estudo que avaliou crianças de ambos os sexos (sexo masculino dos 8 aos 16 anos e sexo feminino dos 8 aos 13 anos) (77). Foi verificado um aumento anual de 11,1% no $VO_{2máx}$, entre 12 e 13 anos ($\sim 0,31 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) e dos 13 aos 14 anos ($\sim 0,32 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) nas crianças do sexo masculino. Já nas crianças do sexo feminino constatou um aumento anual de 11,6% do $VO_{2máx}$, sendo que esses aumentos foram maiores entre 11 e 12 anos ($0,25 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) e 12 e 13 anos ($0,23 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$). Este aumento, está naturalmente relacionado com o desenvolvimento ontogenético e o aumento da massa corporal (MC).

Os estudos realizados em adultos/elite determinaram que o $VO_{2máx}$ permanece praticamente inalterado ao longo de uma época desportiva (78, 79). Investigações recentes em nadadores adultos de elite demonstraram que o VO_{2max} sofreu um ligeiro aumento durante uma época desportiva (80). As conclusões encontradas são semelhantes aos estudos atrás referidos apesar da capacidade de transportar e de utilização do oxigénio aumentar com o resultado do treino. Sendo estes praticantes de alto nível, que estarão muito próximos do seu potencial máximo, e daí os aumentos

residuais com o programa de treino, levanta-se a questão se os incrementos não serão mais expressivos nos nadadores de recreação.

Foi descrita uma forte correlação entre a $vVO_{2máx}$ e a *performance* aos 200-m ao analisar oito nadadores num período coincidente a competições importantes (81). Essa forte associação já tinha sido reportada pelo menos para a prova dos 400-m (30). Estudos sobre a $vVO_{2máx}$ numa perspectiva longitudinal são quase nulos, independentemente do tipo de nadador em análise. Na literatura existe um único estudo longitudinal em nadadores de elite. Neste verificou-se um aumento significativo da $vVO_{2máx}$ ao longo de uma época desportiva (80). Já para o caso de nadadores de recreação, é dúbio se ocorrerá um aumento da $vVO_{2máx}$, uma estabilização ou uma diminuição ao longo de um prolongado processo de treino.

Em relação ao $VO_{2máx}$ as evidências científicas suportam uma diminuição de aproximadamente 10% por década no VO_{2max} em homens e mulheres, independentemente do nível de actividade física (17). Apesar desta ocorrência, exercícios de alta intensidade podem reduzir essa perda em 50% nos homens jovens e de meia-idade (82). Desta forma, tem sido proposto o treino contínuo como estratégia para atenuar as perdas ao nível do $VO_{2máx}$, que são recorrentes quando uma pessoa envelhece (83).

O declínio do $VO_{2máx}$ relacionado com a idade encontra-se bem documentado através de estudos transversais e longitudinais, em atletas de provas de resistência (84-87), de ambos os sexos, com níveis elevados de treino e com idades avançadas. Estes demonstram que a diminuição do $VO_{2máx}$ parece ser inevitável com o envelhecimento. Contudo, as taxas de perdas do $VO_{2máx}$ são sempre superiores em sedentários do que nos atletas com as mesmas idades (88-90).

Comparativamente aos nadadores *masters* e/ou de recreação, nenhuma pesquisa foi conduzida até agora relativamente à vVO_{2max} numa perspectiva longitudinal. Num recente estudo de desenho transversal com a finalidade de comparar jovens triatletas treinados com triatletas *masters* treinados, antes e depois da prova de triatlo, demonstrou-se que (91): (i) a $vVO_{2máx}$ antes do evento, era inferior nos atletas *masters* em relação aos jovens e; (ii) 24 horas após a prova verificou-se o mesmo, sendo que a vVO_{2max} era (-9,5% nos *masters*, e -5,6% nos jovens, $p < 0,05$).

2.2.4 Custo energético

Outra variável bastante estudada neste domínio é o C . Esta variável é calculada através da potência metabólica do sistema (P_{met}) e da velocidade de deslocamento do corpo (v):

$$C = \frac{P_{met}}{v} \quad (1)$$

O C representa a energia despendida para percorrer uma determinada distância (92-94). Neste sentido, assume-se que um aumento do C implicará uma diminuição da eficiência de locomoção do corpo na tarefa em análise.

Os estudos realizados demonstram que as nadadoras são mais económicas que os nadadores pelo menos a partir da puberdade (95, 96). No entanto, alguns estudos têm demonstrado que essas diferenças entre géneros são inexistentes quando o C é relativizado à massa corporal ou à área de secção corporal (97, 98). A existir diferença, esta pode ser explicada pela densidade corporal e pelas características antropométricas (99). As crianças de 11-12 anos (20, 100) apresentam valores absolutos de C inferiores aos verificados nos adolescentes (i.e, 14 anos) e nos adultos (101). Porém, os resultados variam quando se analisa o C em relação a outras variáveis tais como, massa corporal, estatura (20), área de secção corporal (97, 102) e o nível técnico (72). Resultados semelhantes foram encontrados por outro estudo realizado em nadadoras (97). Salvo melhor opinião não se conhece nenhuma investigação sobre o C em nadadores *masters* e/ou de recreação até ao momento.

Em modo de síntese, parece existir uma tendência para a diminuição das variáveis bioenergéticas discutidas com o aumento da idade. Esta diminuição aparentemente estará relacionada em alguma parte com a redução do VO_{2max} e por outro lado com perda de massa muscular, típica do decorrer do ciclo vital do sujeito.

2.3 Biomecânica

A Biomecânica é a Ciência que estuda o comportamento dos seres vivos e as suas formas de se adaptar às leis da mecânica quando realizam movimentos voluntários. Nigg (103) define Biomecânica como sendo a Ciência que examina as forças que actuam externa e internamente numa estrutura biológica e o efeito produzido por essas forças, afirmando que ela é a Ciência que estuda estruturas e funções dos sistemas biológicos usando o conhecimento e os métodos da Mecânica. Sendo esta uma ciência

com vários domínios de intervenção, levou a que surgissem vários “ramos” ou áreas científicas, entre as quais, a Biomecânica do Desporto. Um dos principais objectivos da Biomecânica do Desporto é caracterizar o padrão motor de praticantes com vista a torna-lo mais eficiente, a fim de melhorar a *performance*. Assim, foram seleccionadas variáveis biomecânicas para serem estudadas nesta dissertação no sentido de lhe dar uma maior profundidade explicativa das respostas cardiorrespiratórias que são o tema central da mesma.

No contexto da temática desta dissertação, a análise biomecânica emerge como pertinente para compreender e justificar a resposta bioenergética dos sujeitos analisados. Isto porque como dito previamente (cf. 2.1) a resposta bioenergética está dependente do comportamento biomecânico.

As variáveis biomecânicas frequentemente usadas para avaliar a *performance* dos praticantes de natação, e que estarão relacionadas com o perfil bioenergético, são a v , FG , DC , IN e a eficiência propulsiva (η_p) (14, 21, 28, 104).

2.3.1 Velocidade de nado

Sabendo que, o principal objectivo de uma prova de natação é percorrer uma determinada distância no menor tempo possível, a v tem vindo a ser considerada um dos melhores preditores da *performance* (105, 106). A v depende da capacidade propulsiva que o sujeito consegue gerar, da sua eficiência e da força do arrasto (107):

$$v = \frac{\dot{E} \cdot \eta}{D} \quad (2)$$

Onde v é a velocidade de nado, \dot{E} é a potência metabólica, η é a eficiência e D é o arrasto. Quer isto dizer que, a v será mais elevada, quanto maior for a potência metabólica, bem como a eficiência será maior quanto menor for a intensidade da força de arrasto hidrodinâmico. A equação 2 é um claro exemplo de que existe uma relação umbilical entre a resposta cardiorrespiratória e/ou bioenergética com a biomecânica, como enunciado anteriormente.

A v na natação desde a infância até à idade adulta aumenta diminuindo posteriormente com o avançar da idade. Um estudo que comparou crianças pré-púberes ($11,9 \pm 0,3$ anos) com crianças púberes ($14,3 \pm 1,4$ anos) em provas de 400-m livres, demonstrou que as crianças púberes tinham uma v superior aos pré-púberes (108). Num

outro estudo onde se compararam crianças ($11,7 \pm 0,8$) com adultos ($21,4 \pm 3,7$) os investigadores verificaram que os adultos tinham uma velocidade superior às crianças (109). Portanto, à medida que a criança cresce, ela vai desenvolvendo capacidades que levam ao aumento da v no meio aquático. Isto deve-se em grande parte ao processo de maturação e ao desenvolvimento da força muscular iniciado no período da puberdade. É por volta dos 18 até aos 22 anos que os nadadores atingem o pico da *performance* na carreira desportiva (cf. 2.1). Logo, é expectável que a sua velocidade máxima seja atingida por volta desta idade. Depois desta idade verifica-se uma quebra progressiva até aproximadamente os 50 a 60 anos sendo mais evidente e acentuada a partir dos 70 anos (cf. 2.1). Ao contrário no que ocorre nas crianças, nos mais velhos, ocorre uma diminuição da força muscular, devido ao processo de envelhecimento. Desta forma, verifica-se que a velocidade atinge o seu valor mais elevado por volta dos 22 anos diminuindo depois desta até aproximadamente os 70 anos, sendo a partir desta idade ainda mais evidente.

2.3.2 Cinemática da Braçada

Outras duas variáveis cinemáticas, mais concretamente para caracterização da braçada, são a *FG* e a *DC*. A *FG* é definida como o número de ciclos realizados pelos membros superiores, numa unidade de tempo, sendo determinada através da frequência instantânea (110). Considera-se a *DC* como sendo a distância horizontal que o corpo do nadador percorre na água durante um ciclo completo dos membros superiores (110). O produto da *FG* pela *DC* permite calcular a v que o nadador consegue desenvolver (105):

$$\bar{v} = DC \cdot FG \quad (3)$$

Portanto, a mecânica da braçada irá ter uma influência tanto na v como no C . Desta forma, é consensual na literatura, que, para uma dada v os aumentos da *FG* levam a um aumento do C (104, 111-114). Menos consensual mostra-se a relação da diminuição do C com o aumento da *DC* (95, 104, 113, 115). Através da equação três, fica claro que as variáveis biomecânicas influenciam a v que, por sua vez vai influenciar o C do nadador, o qual está dependente da P_{met} e da v como descrito na equação 1.

Ao longo de uma prova, o aumento ou a diminuição da v são determinados pela combinação do aumento ou diminuição da *FG* e da *DC*, respectivamente (107, 116). Porém, para que a v possa ser manipulada pela *FG* o nadador deverá ter uma *DC* elevada (105).

Craig et al. (107) analisaram nadadores olímpicos em 1984 e constataram que as modificações na *DC* e na *FG* estavam associadas a melhores tempos do que aqueles obtidos por nadadores olímpicos em 1976. A melhoria nos tempos finais ficou patente com maiores velocidades a serem atingidas devido a uma maior *DC* e *FG* menores ou iguais. Também Wakayoshi et al. (62) mencionaram os aumentos da *DC* como o principal factor que causou os aumentos na velocidade máxima dos nadadores, após meses de treino aeróbio. Segundo Termin et al. (117) um programa de treino baseado na relação entre *FG* e a v pode melhorar o perfil biomecânico e bioenergético do nadador aumentando a sua *performance*. Vários investigadores que estudaram as diferenças nas características da braçada entre crianças e adultos (109) demonstraram que as crianças apresentavam uma maior *FG* que os adultos (para uma dada velocidade) e que a *DC* aumentava com a idade. O aumento da *DC*, está associada ao aumento da estatura e conseqüentemente da envergadura. No estudo de Kjendlie et al. (109) ficou demonstrado que nadadores jovens de 11 anos apresentam uma menor *FG* e menor *DC* do que os nadadores adultos para uma velocidade submáxima. Quanto menor é a *DC*, maior é a dependência do nadador na *FG* para alcançar uma maior v (105).

Já em nadadores *masters* a *FG* dos nadadores entre os 75-78 anos é inferior em relação aos nadadores que se encontram entre os 25 e os 44 anos (16). Adicionalmente, constatou-se que os nadadores entre 25 e 34 anos apresentavam uma *DC* superior em relação aos nadadores entre os 75 e 78 anos (16). Tanto a *FG* como a *DC* neste estudo diminuíram em função da idade. Assim, parece que ambos os indicadores cinemáticos da braçada sofrem influência com o envelhecimento (16). Uma *FG* mais reduzida poderá estar relacionada com uma menor potência mecânica, a qual depende da potência muscular. Ora sendo a potência muscular uma das capacidades motoras que se degrada ao longo do ciclo vital, esta poderá ser a explicação para a diminuição da *FG*.

2.3.3 Eficiência de nado

A eficiência de nado pode ser estimada a partir da *IN* e da ηp . Com efeito, ambas as variáveis são adoptadas de forma regular com tal propósito.

O *IN* é um indicador de eficiência técnica, que se obtém pela multiplicação da *DC* pela v . Este é considerado como um indicador de adaptação mecânica da técnica de nado (95). Assume-se que quanto mais elevado for o *IN*, mais adequada mecanicamente será a técnica utilizada, e menor será o tempo para percorrer uma determinada distância.

A literatura parece ser consensual afirmando que nadadores de nível elevado possuem maior *IN* quando comparados com os de menor nível (118). Tem-se verificado que existe uma forte correlação entre o *IN* e a *performance* dos jovens nadadores e nadadoras nos 400-m livre (75, 76). Resultados semelhantes foram relatados por Costa et al. (14) para provas de 200-m livres em nadadores adultos/elite. Foram também observados por Costa et al. (25) melhorias na *performance* dos nadadores adultos/elite desde a fase intermédia até ao final da época, as quais foram explicadas por um incremento do *IN*.

Em relação aos nadadores *masters* Favaro et al. (16) constataram que os nadadores *masters* com idades entre os 75 e os 79 anos apresentavam uma diminuição do *IN* em comparação com os nadadores *masters* entre os 25 e os 29 anos. Sendo os estudos relacionados com *IN* em nadadores *masters* e de recreação escassos, recorreu-se a dados disponibilizados por Zamparo (11) para estimar o *IN* em nadadores deste tipo. Com recurso aos dados da *v* e da *DC* dos 63 sujeitos de ambos os sexos que foram descritos, verificou-se que o *IN* nos nadadores *masters*/recreação sofreu uma diminuição progressiva para ambos os sexos entre os 23 e os 54 anos de idade. Este declínio poderá estar relacionado principalmente pela diminuição da *v* que se verifica nestes nadadores. A discussão dos motivos para diminuição da *v*, foi discutida previamente nesta dissertação (cf.2.3.1). Sinteticamente esta deve-se à perda da força muscular que leva à diminuição da potência muscular sendo uma das capacidades motoras que se degrada ao longo do ciclo vital.

A ηp também pode ser interpretada como um outro indicador da qualidade técnica do executante. Contudo, ao contrário do *IN* que pode ser utilizado em qualquer uma das quatro técnicas de nado, o ηp apenas é aplicável à técnica de Crol. Sabe-se que quanto melhor for um nadador tecnicamente, maior será a sua ηp . A ηp é taxa de potência mecânica externa que é utilizada para vencer a força de arrasto. Ou seja, a capacidade de transformar trabalho mecânico em deslocamento (119-122).

O modelo teórico proposto por Martin et al. (123), e mais tarde desenvolvido por Zamparo et al. (124) é um dos mais utilizados para estimar a ηp devido à sua simplicidade de operacionalização. Este modelo teórico assume que o braço é um segmento rígido (*l*), que roda em volta do ombro com uma velocidade angular constante ($\omega = 2\pi \cdot FG$) ocorrendo metade dessa revolução dentro da água (i.e., o trajecto motor) e a

outra metade com o segmento fora da água (i.e., fase da recuperação). Assim, este modelo é apresentado por Zamparo et al. (124) da seguinte forma:

$$\eta_p = \left(\frac{v \cdot 0,9}{2\pi \cdot FG \cdot l} \right) \cdot \frac{2}{\pi} \quad (4)$$

Onde η_p representa a eficiência propulsiva, v representa a velocidade média de nado do nadador (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) (multiplicada por 0,9 tendo em conta que na técnica de Crol sensivelmente 10% da propulsão é produzida pela propulsão gerada pela acção dos membros inferiores), FG representa a frequência gestual (em Hz), e l representa a distância mais curta entre o ombro e a mão no instante da acção lateral interior, considerando-se um ângulo relativo de sensivelmente 90° entre braço e antebraço. Ou seja a η_p mais não é do que um rácio entre a velocidade do corpo e a velocidade tangencial do segmento. A equação 4 consiste na estimação da eficiência de Froude. A diferença entre a eficiência de Froude e a eficiência propulsiva decorre da primeira não tomar em consideração o efeito do trabalho mecânico interno para o trabalho mecânico total produzido. Contudo, dadas as amplitudes de velocidades que serão obtidas por este tipo de nadadores, o trabalho mecânico interno pode ser considerado como negligenciável (125). É necessário salientar que a equação 4 apenas pode ser aplicada na técnica de Crol para estimar a η_p .

Estima-se que a η_p na técnica de Crol seja aproximadamente 50% (94, 121). Deste modo, apenas 50% da potência metabólica gerada serve para a produção de trabalho mecânico externo com repercussão na translação do centro de massa do nadador. O resto da potência metabólica perde-se em diversas formas, como por exemplo: (i) termo-regulação; (ii) trabalho postural; (iii) co-activação e/ou absorção muscular (126); (iv) transferência de energia cinética para a massa de água (120). Um nadador será tão mais eficiente (e possivelmente mais eficaz, i.e. com melhor *performance*) quanto maior for a quantidade de potência que é capaz de usar para se apoiar e deslocar na água. Toussaint, (127) ao avaliar a η_p em nadadores de competição *versus* triatletas verificou que os primeiros tinham uma η_p de aproximadamente 60% e os triatletas de 40%.

Sabe-se que os nadadores de melhor nível competitivo apresentam valores superiores de η_p (127) sendo esta superior na prova na qual o nadador é especialista (128). Os estudos da η_p são frequentes em nadadores adultos/elite (104, 127, 128).

Zamparo et al. (129) ao analisarem 72 jovens nadadores de ambos os sexos verificaram que a ηp aumentava com a idade entre os 10 e os 17 anos de idade. Resultados semelhantes já tinham sido reportados por Zamparo, (11) demonstrando que a ηp aumentava entre os 10 e os 20 anos de idade.

Em relação a nadadores mais velhos Zamparo, (11) reportou que a ηp diminuía progressivamente desde os 22 anos ($21,7 \pm 2,8$) até aos 54 anos ($54,3 \pm 4,9$). Assim, constata-se que a ηp diminui com a idade. Especulando, esta diminuição estará relacionada com a diminuição da v e a FG . A ηp está directamente relacionada com a v e inversamente à FG . Logo se a velocidade de nado diminui a ηp tenderá também a diminuir. A diminuição da FG com a idade até pode levar a um aumento da ηp . Contudo, possivelmente a capacidade de determinar a ηp pela FG não será superior à verificada pela v .

Em suma, as variáveis biomecânicas são fundamentais para uma profunda e cabal compreensão da resposta cardiorrespiratória e/ou bioenergética. Existe uma tendência para estas variáveis apresentarem valores mais reduzidos com o avançar da idade devido em grande parte à perda da força muscular e potência muscular. A perda de massa muscular com a idade parece ser o maior factor relacionado com a diminuição da força muscular (19).

3. PROBLEMA

Será que existem diferenças na resposta cardiorrespiratória, metabólica e biomecânica em diferentes grupos de praticantes de natação (recreação versus competição)?

4. Objectivos

4.1 Objectivo geral

Tendo em conta o problema formalizado, definiu-se como objectivo:

Caracterizar e comparar a respostas cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânica em diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição).

4.2 Objectivos Específicos

Foram definidos como objectivos específicos:

- a) Comparar a capacidade aeróbia de diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)
- b) Comparar a capacidade anaeróbia de diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)
- c) Comparar a potência aeróbia de diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)
- d) Comparar a velocidade mínima do VO_{2max} de diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)
- e) Comparar o dispêndio energético total de diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)
- f) Comparar o custo energético de diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)
- g) Comparar a cinemática da braçada de diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)
- h) Comparar a velocidade de nado de diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)
- i) Comparar a eficiência de nado de diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)

5. Hipóteses

5.1 Hipótese Principal

Partindo do objectivo geral para este estudo formula-se a hipótese que existem diferenças significativas nas respostas cardiorrespiratórias, metabólicas e biomecânicas em diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição)

5.2 Hipóteses secundárias

Partindo dos objectivos secundários para este estudo formulou-se as seguintes hipóteses secundárias:

H1: A capacidade aeróbia será diferente entre os dois grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição), sendo superior nos praticantes de competição.

H2: A capacidade anaeróbia será diferente entre os dois grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição), sendo superior nos nadadores de recreação

H3: A potência aeróbia será diferente entre os dois grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição), sendo superior nos praticantes de competição.

H4: A velocidade mínima do VO_{2max} será diferente entre os dois grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição), sendo superior nos praticantes de competição.

H5: O dispêndio energético total será diferente entre os dois grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição), sendo superior nos praticantes de competição.

H6: O custo energético será diferente entre os dois grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição), sendo superior nos praticantes de competição.

H7: A cinemática da braçada será diferente entre os dois grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição), sendo superior nos praticantes de competição.

H8: A velocidade de nado será diferente entre os dois grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição), sendo superior nos praticantes de competição.

H9: A eficiência de nado será diferente entre os dois grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição), sendo superior nos praticantes de competição.

6. METODOLOGIA

6.1 Amostra

Fizeram parte do presente estudo 20 nadadores portugueses do sexo masculino divididos em dois grupos: (i) recreação (n=8) e competição (n=12). Foram considerados nadadores de competição os sujeitos com: (i) estatuto federativo na modalidade de natação pura (Federação portuguesa de Natação) e; (ii) presença assídua em provas do calendário internacional e/ou nacional. Foram considerados nadadores de recreação os sujeitos com: (i) idade igual ou superior a 25 anos; (ii) prática regular de natação (no mínimo três sessões por semana); (iii) sem estatuto federativo em natação pura há pelo menos quatro anos. Estes nadadores de recreação realizam em médias sessões de 60 min com um volume de treino aproximado de três km a uma intensidade moderada. A tabela 1 apresenta a idade e as características antropométricas dos sujeitos para cada grupo de coorte (nadadores de recreação e nadadores de competição).

Foi solicitado aos nadadores o seu consentimento escrito para a participação de forma voluntária no estudo. Todos os procedimentos foram efectuados de acordo com os princípios da declaração de Helsínquia no que diz respeito a procedimentos científicos envolvendo seres humanos.

Tabela 1. Caracterização antropométrica da amostra

	Idade (anos)	Estatura (m)	Massa corporal (kg)	Envergadura (m)
Recreação	29,75 ± 3,81	1,78 ± 0,04	79,64 ± 8,61	1,82 ± 0,04
Competição	20,42 ± 3,20	1,80 ± 0,06	72,83 ± 6,45	1,86 ± 0,06
P	0,001*	0,37	0,03*	0,46

*P <0,05

6.2 Procedimentos

As recolhas decorreram num único momento da época desportiva em piscina curta (i.e. piscina com comprimento de 25-m) com temperatura ambiente entre os 25 e os 28°C e humidade entre os 50 e os 60%. Durante os dois dias antecedentes à avaliação, os nadadores de competição não realizaram nenhuma sessão de treino intenso, limitando-se a realizar um treino de baixa intensidade por dia.

Foi aplicado um teste incremental de 7 x 200 metros na técnica de Crol com um aumento na velocidade de $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ entre patamares. O intervalo de recuperação entre patamares foi de 30 segundos. Este protocolo é largamente descrito na literatura e mais detalhes podem ser obtidos noutros trabalhos (42, 104).

A velocidade inicial de nado foi determinada para um nível equivalente a um ritmo de nado baixo, aproximadamente $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, inferior à melhor *performance* espectável para o nadador no momento/dia da avaliação. A velocidade correspondente a cada patamar foi mantida constante pela colocação de um sistema de bio-feedback visual (i.e., luzes) no fundo da piscina (GBK-Pacer, GBK Electronics, Aveiro, Portugal). O último patamar correspondeu à melhor *performance* do nadador, a qual se esperou que fosse: (i) muito semelhante à observada em situação de competição para os nadadores de competição e; (ii) a melhor possível para os nadadores de recreação com base nos ritmos de nado usados durante as sessões de prática/treino.

Os nadadores iniciaram cada patamar dentro da água, com uma impulsão na parede (i.e., sem mergulho). Durante cada percurso os nadadores efectuaram as viragens habituais (i.e., viragem de rolamento) com impulsão e deslize na posição hidrodinâmica à profundidade e distância que habitualmente efectuam em situação de treino e de competição.

Os 30 segundos referentes ao período de repouso passivo entre patamares foram aproveitados para recolher amostras de sangue capilar e análise do consumo de oxigénio, bem como de outras variáveis respiratórias, para posterior análise cardiorrespiratória e bioenergética. Cada nadador executou a tarefa sozinho na pista e sem outros sujeitos nas pistas vizinhas de modo a evitar o efeito de drafting ou a alteração do ritmo de nado desejado.

6.3 Recolha dos Dados

6.3.1 Cardiorrespiratórios e bioenergéticos

Para avaliação cardiorrespiratória e bioenergética foram estudadas a $V4$, o $\dot{L}\bar{a}_{\text{pico}}$, o $VO_{2\text{max}}$, a $vVO_{2\text{max}}$, o \dot{E}_{tot} e o C .

Amostras de sangue capilar foram efectuadas no lóbulo da orelha do nadador para determinar a concentração de lactato sanguíneo. Estas amostras de sangue foram analisadas através de um auto-analisador (YSI 1500 L, *Yellow Springs, Ohio, USA*),

calibrado sobre as concentrações de $5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. A recolha ocorreu entre cada intervalo de 30 segundos correspondente ao repouso entre patamares e ainda aos três minutos após o final do protocolo.

A capacidade aeróbia foi avaliada a partir da $V4$ (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), a qual foi obtida pela interpolação linear da curva lactato-velocidade de nado tendo em conta os valores dos patamares imediatamente antes e após acontecer a referência das $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (117).

Para avaliação da capacidade anaeróbia do nadador, considerou-se o La_{pico}^{-} (em $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Este define-se como sendo o valor mais alto de lactato concentrado no sangue após a condição de esforço (117). Nenhum nadador obteve uma concentração de lactato mais elevada do que a recolha dos três minutos.

O consumo de oxigénio foi medido imediatamente após a finalização de cada patamar com um analisador de gases (Cortex, Model MetaLyzer 3B, Leipzig, Germany) através do método *breath-by-breath*. Os nadadores foram instruídos para bloquear a respiração no último ciclo antes de tocarem na parede testa. Em seguida foi-lhes colocado uma máscara no rosto durante todo o período de a recuperação entre patamares. O tempo entre a colocação da máscara e a recolha dos gases não foi superior a três segundos. Não foi considerada a primeira medida de VO_2 após a detecção do pico, o que correspondeu à adaptação do aparelho a uma mudança súbita de ciclos respiratórios para análise de oxigénio. Esta adaptação nunca foi excedida em mais de dois segundos. O VO_2 (em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) alcançado em cada patamar foi estimado pelo método de retro-extrapolação. A técnica de retro-extrapolação foi validada para a técnica de Crol e tem sido demonstrado como um método confiável para avaliar o VO_2 em adultos (130-132). Os dados em bruto foram exportados para o *Excel* (Microsoft office 2010, USA). Ao que à posterior se calculou o valor médio considerado nos seis segundos após a detecção do pico de VO_2 (130).

A potência aeróbia foi determinada a partir do $VO_{2\text{máx}}$ e da $vVO_{2\text{max}}$. O $VO_{2\text{máx}}$ é definido como o valor mais alto de VO_2 obtido durante todo o teste incremental (71).

A $vVO_{2\text{max}}$ (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) foi considerada a velocidade média de nado correspondente ao patamar onde se verificou o valor de $VO_{2\text{max}}$ (72). Contudo, quando o incremento no VO_2 entre patamares não se verificou superior a dois $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, a $vVO_{2\text{máx}}$ foi considerada a velocidade média do patamar anterior.

O \dot{E}_{tot} corrigido para a massa corporal foi calculado usando o VO_{2net} (diferença entre o valor medido no final do patamar e o valor de repouso), e o $[La^-]_{net}$ (diferença entre o valor medido no final do patamar e o valor de repouso) com posterior transformação em equivalentes de O_2 através da constante $2,7 \text{ mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mmol}^{-1}$ (133, 134):

$$\dot{E}_{tot@V4} = VO_{2net} + 2,7 \cdot [La^-]_{net} \quad (5)$$

O C foi determinado adaptando a equação (104, 114):

$$C@V4 = \frac{\dot{E}_{tot@V4}}{V4} \quad (6)$$

Onde $\dot{E}_{tot@V4}$ representa a máxima potência metabólica a $V4$ (i.e., $V4$ representa a velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimada às $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$). Posteriormente o C foi convertido em unidades SI de acordo com a sugestão de Minetti (135) onde 1 ml O_2 equivale a $20,1 \text{ J}$.

6.3.2 Biomecânicos

As variáveis da cinemática da braçada (v , FG e DC) foram avaliadas em cada percurso em cada patamar. Posteriormente calculado o valor médio de cada variável em cada patamar. Todos os parâmetros biomecânicos foram relativizados à velocidade das $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ de lactato sanguíneo para possibilitar a comparação de todos os sujeitos à mesma intensidade de esforço por meio de interpolação.

A v (em $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) foi obtida pela análise da distância em função do tempo dispendido em cada percurso com o recurso a um cronómetro manual:

$$v = \frac{d}{t} \quad (7)$$

Onde d refere-se a distância (em m) e o t ao tempo (em s).

A FG (em ciclos/min) foi medida com um cronofrequencímetro de base três, pela avaliação de três ciclos consecutivos dos membros superiores efectuados a meio do percurso para anular o efeito da partida e das viragens. A $FG@V4$ foi obtida por interpolação do valor da FG na $V4$ através da curva $FG-v$. Este método é largamente descrito na literatura e mais detalhes podem ser obtidos noutros trabalhos (13, 14). Posteriormente a FG foi convertida em Unidades SI (i.e., em Hz):

$$FG@V4 = \frac{FG@V4 \cdot \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \right]}{60} \quad (8)$$

Posteriormente foi calculada a $DC@V4$ (em m) (105, 107):

$$DC@V4 = \frac{V4}{FG@V4} \quad (9)$$

Onde $DC@V4$ (em m) representa distância percorrida por um ciclo gestual ao ritmo da $V4$ (i.e., $V4$ representa a velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimada às 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), e $FG@V4$ representa a frequência gestual a ritmo da $V4$ durante o nado às 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (em Hz).

Para a estimativa da eficiência foram adoptadas as variáveis IN e ηp .

O IN é um indicador de eficiência técnica, que se obtém pela relação entre a DC e a v . Expressa a capacidade do nadador atingir uma distância de ciclo superior (durante um ciclo gestual) a determinada velocidade. O $IN@V4$ foi determinado posteriormente segundo a equação (136):

$$IN @ V4 = v4 \cdot DC @ V4 \quad (10)$$

Onde $IN@V4$ representa o índice de nado às 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (em $\text{m}^2 \cdot \text{c}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), $V4$ representa a velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimada às 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e $DC@V4$ é a distância de ciclo às 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (em m).

A ηp é taxa de potência mecânica externa que é utilizada para vencer a força de arrasto (119-121). Ou seja, representa a capacidade de transformar trabalho mecânico em translação do corpo. A ηp pode ser interpretada como sendo mais um indicador de eficiência do sistema biológico. Determinou-se ηp (em %) segundo a equação (124):

$$\eta p @ V4 = \left[\left(\frac{v4 \cdot 0,9}{2\pi \cdot FG@V4 \cdot 1} \right) \cdot \frac{2}{\pi} \right] \cdot 100 \quad (11)$$

Onde $\eta p@V4$ representa a eficiência propulsiva às 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, $V4$ representa a velocidade do equilíbrio máximo de lactato estimada às 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

(multiplicada por 0,9 tendo em conta que na técnica de Crol sensivelmente 10% da propulsão é produzida pela propulsão gerada pela acção dos membros inferiores), $FG@V4$ representa a frequência gestual às 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (em Hz), e l representa a distância mais curta entre o ombro e a mão no instante da acção lateral interior, considerando-se um ângulo relativo de sensivelmente 90° entre braço e antebraço. A equação adoptada consiste na estimação da eficiência de Froude. A diferença entre a eficiência de Froude e a eficiência propulsiva decorre da primeira, não tomar em consideração o efeito do trabalho mecânico interno para o trabalho mecânico total produzido. Contudo, dadas as amplitudes de velocidades que serão obtidas por este tipo de nadadores, o trabalho mecânico interno pode ser considerado como negligenciável (125).

6.4 Tratamento estatístico

6.4.1 Análise exploratória

A análise exploratória dos dados incluiu a determinação dos pressupostos de normalidade. Foram realizados gráficos (histograma, box-and-whisker plots) de forma a maximizar a percepção ou a visualização do conjunto de dados, descortinando estruturas subjacentes e detectando valores atípicos (i.e., outliers).

Foi realizada a análise de simetria (skewness) e de achatamento (kurtosis) das curvas. De igual forma foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk testando a hipótese nula de que os dados seleccionados têm uma distribuição normal.

6.4.2 Análise descritiva

Na análise descritiva como forma de caracterizar amostra foram calculados os seguintes parâmetros: (i) de tendência central (média) e; (ii) de dispersão (um desvio padrão).

6.4.3 Análise inferencial

Para a realização do teste Anova teve-se em conta os pressupostos de que: (i) A variável a testar teria que ser quantitativa; (ii) devido aos grupos ter dimensões diferentes deveria existir homogeneidade nas variâncias; (iii) Pelo menos um dos grupos deveria ter uma distribuição normal. Todos os pressupostos foram cumpridos.

Assim recorreu-se ao teste de Anova a um factor (nadador: recreação vs competição) para verificar se existiam diferenças significativas entre os dois grupos.

Também foi tido em conta o efeito do tamanho da amostra. Para isso foi calculado o *effect size* para cada variável em estudo através do eta (η^2). A interpretação qualitativa

do valor de η foi feito de acordo com as sugestões de Ferguson (1971), onde: (i) $\eta^2 > 0,64$, corresponde a um efeito elevado; (ii) $0,25 < \eta^2 \leq 0,64$ corresponde a um efeito moderado; (iii) $0,04 < \eta^2 \leq 0,25$ corresponde a um efeito reduzido e; (iv) $0 < \eta^2 \leq 0,04$ não há efeito.

Todos os procedimentos foram efectuados através do programa estatístico (IBM SPSS Statistics version 19 Apache Software Foundation, Chicago, IL, USA).

O nível de significância foi determinado para $P \leq 0,05$.

7. Apresentação dos resultados

7.1 Bioenergéticos

7.1.2 Capacidade aeróbia

A figura 4 apresenta a comparação da capacidade aeróbia, medida através da $V4$, entre os dois grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição). Verificou-se que os nadadores de competição apresentavam uma $V4$ significativamente superior aos de recreação, sendo o efeito do resultado elevado ($F_{(1,18)}= 73,541$, $p= 0,001$, $\eta^2= 0,81$).

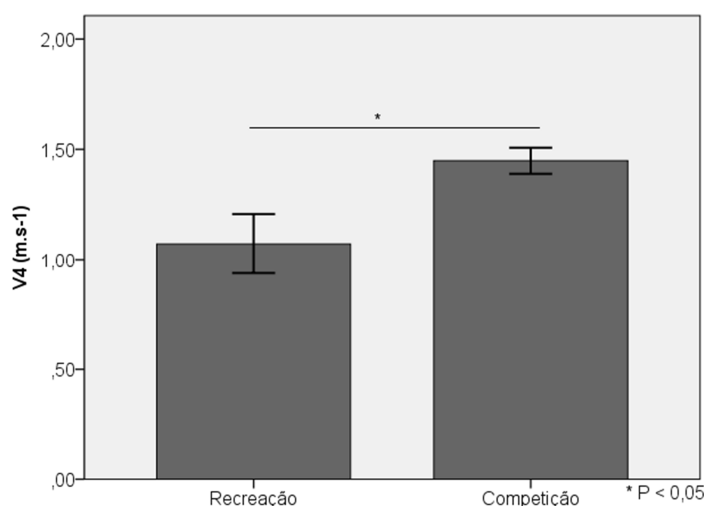


Figura 4. Comparação da capacidade aeróbia, expressa pela $V4$, entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição).

7.1.3 Capacidade anaeróbia

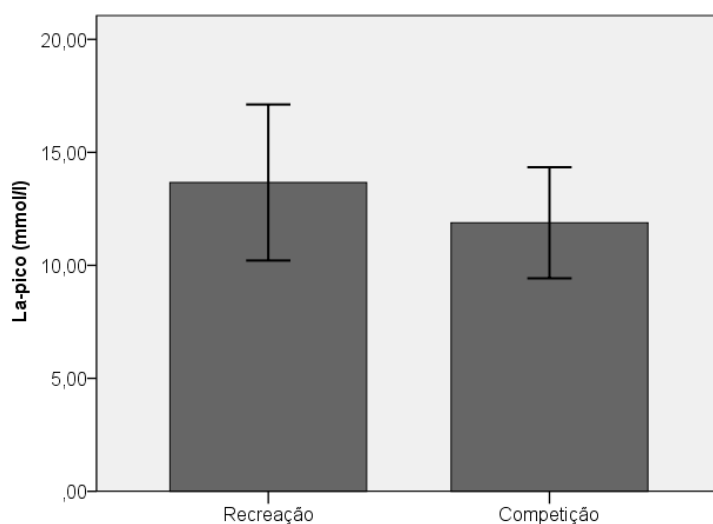


Figura 5. Comparação da capacidade anaeróbia, expressa pelo La_{pico} , entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição).

A figura 5 apresenta a comparação da capacidade anaeróbia entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição). Verificou-se que os nadadores de recreação

apresentam um La_{pico} três minutos após a prova superior aos de competição. No entanto, não se verificaram diferenças significativas, sendo o efeito do resultado de igual forma reduzido ($F_{(1,18)} = 1,832$, $p = 0,193$, $\eta^2 = 0,10$)

7.1.4 Potência aeróbia

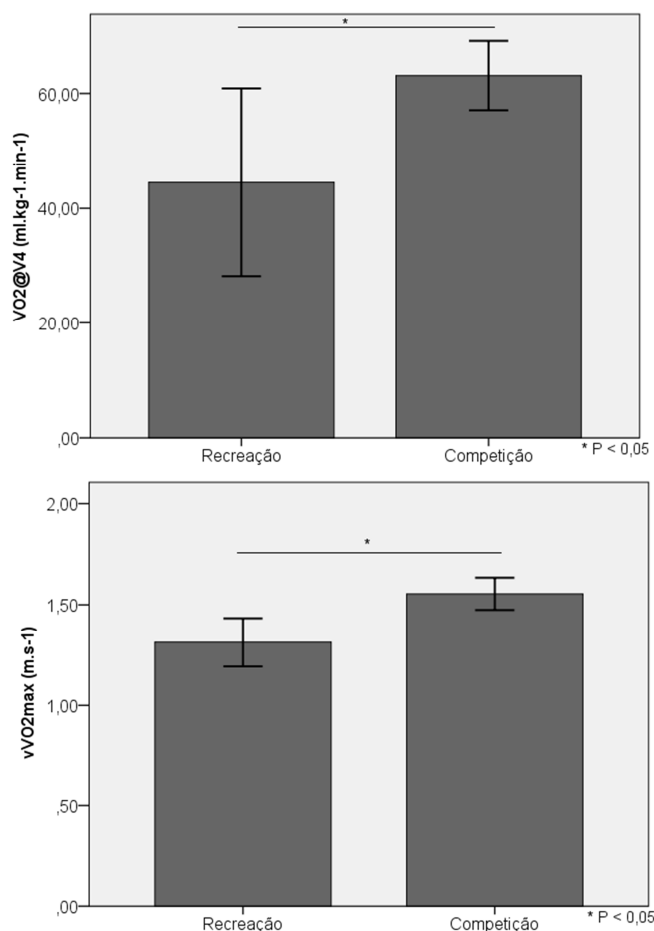


Figura 6. Comparação da potência aeróbia, expressa pelo $VO_2@V4$ e pela vVO_{2max} , entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição).

A figura 6 apresenta a comparação da potência aeróbia, medida a partir do $VO_2@V4$ e da vVO_{2max} entre os dois grupos de nadadores (recreação vs competição). Constatou-se que os nadadores de competição apresentavam um $VO_2@V4$ ($F_{(1,18)} = 13,152$, $p = 0,002$, $\eta^2 = 0,43$) significativamente superior aos nadadores de recreação. O mesmo é observável para a vVO_{2max} , ($F_{(1,18)} = 29,364$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,63$). Em ambos os casos, o efeito dos resultados foi moderado.

7.1.5 Dispendio energético total

A figura 7 apresenta a comparação do gasto energético total entre os dois grupos de nadadores (recreação vs competição). Nesta, constatou-se que os nadadores de

competição apresentavam um E_{tot} significativamente superior aos de recreação, sendo o efeito do resultado reduzido ($F_{(1,18)}= 11,717$, $p= 0,003$, $\eta^2= 0,26$).

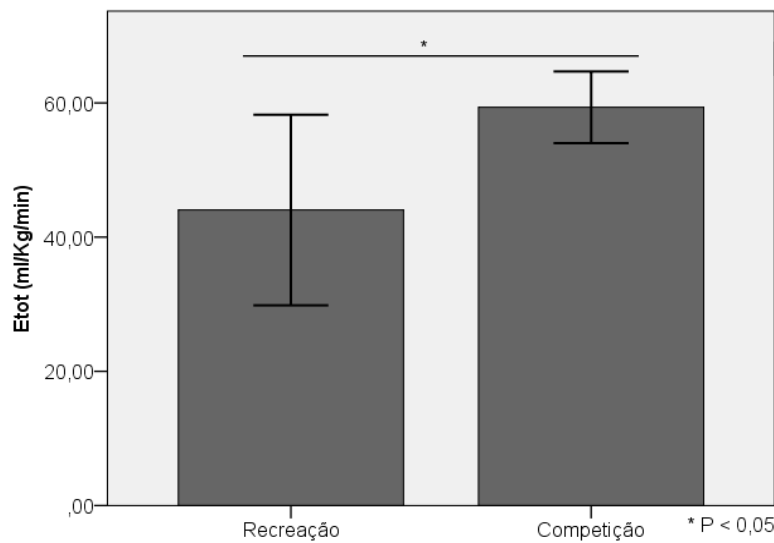


Figura 7. Comparação do gasto energético total, expresso pela \dot{E}_{tot} , entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição).

7.1.6 Custo energético

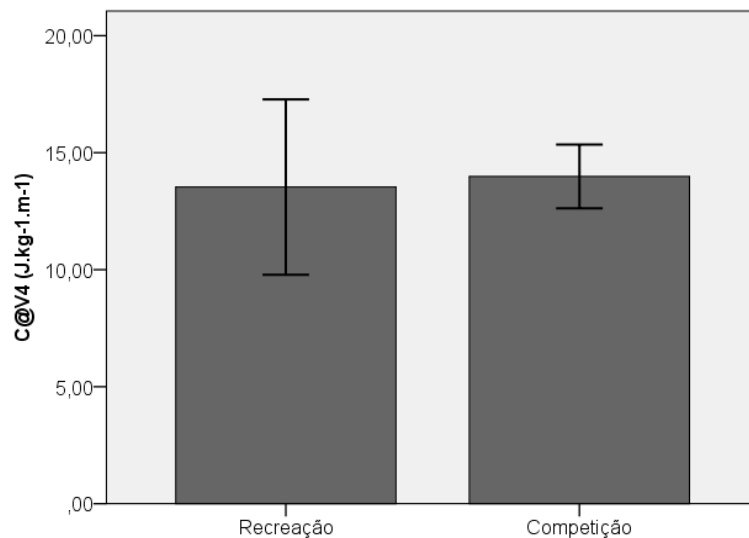


Figura 8. Comparação do custo energético, expresso pelo $C@V4$, entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição).

A figura 8 apresenta a comparação do custo energético entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição). Da análise da figura, constatou-se que os nadadores de competição apresentavam um $C@V4$ superior aos de recreação. No entanto, não se verificaram diferenças significativas, sendo o efeito do resultado reduzido ($F_{(1,18)}= 1,50$, $p= 0,703$, $\eta^2= 0,10$).

8. Apresentação dos dados Biomecânicos

8.1 Cinemática da Braçada

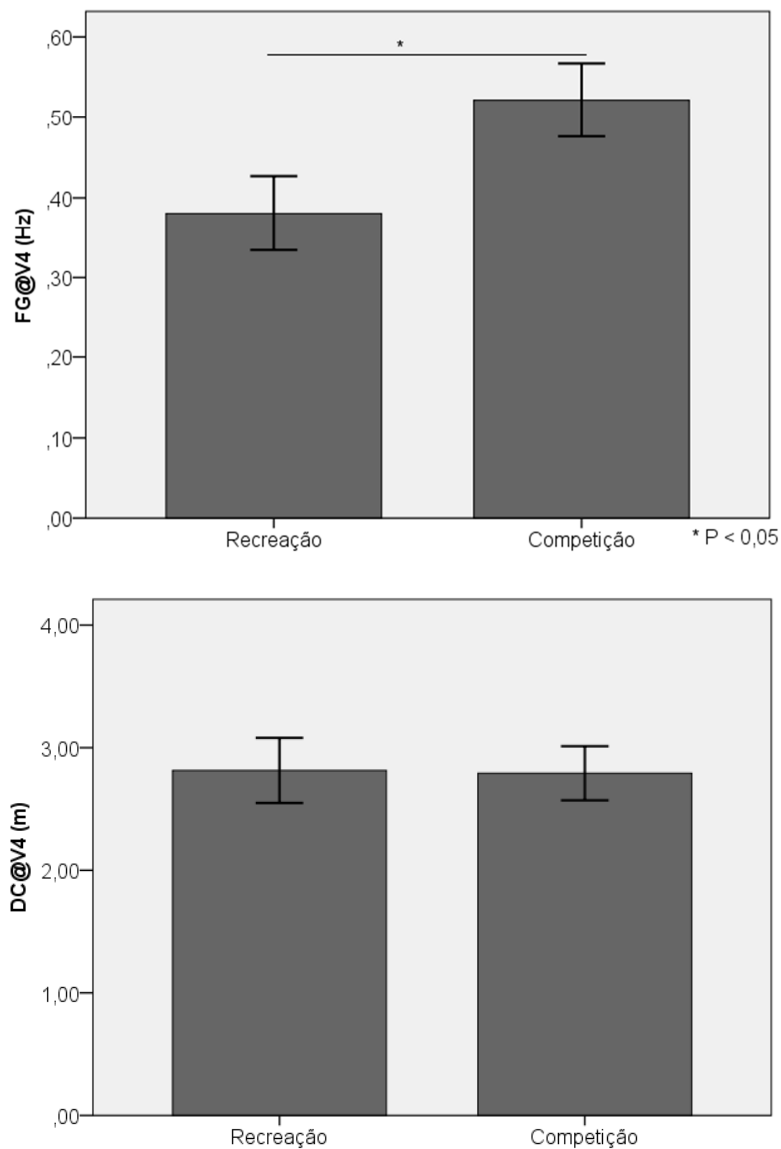


Figura 9. Comparação da cinemática da braçada, expressa pela *FG@V4* e pela *DC@V4*, entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição).

A figura 9 apresenta as comparações na cinemática da braçada, entre os dois grupos de nadadores (recreação vs competição). Verificou-se que os nadadores de competição apresentavam uma *FG@V4* significativamente superior à dos de recreação, sendo o efeito do resultado elevado ($F_{(1,18)} = 45,584$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,72$). Também se verificou que os nadadores de recreação apresentavam uma *DC@V4* superior aos de competição. Contudo, nessa variável, não se verificaram diferenças significativas, sendo o efeito do resultado reduzido ($F_{(1,18)} = 0,044$, $p = 0,836$, $\eta^2 = 0,002$).

8.2 Velocidade de nado

A figura 10 apresenta a comparação da velocidade de nado entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição). Desta análise, verificou-se que os nadadores de competição apresentavam uma v significativamente superior à dos de recreação, sendo o efeito do resultado nulo ($F_{(1,18)} = 52,690$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,75$).

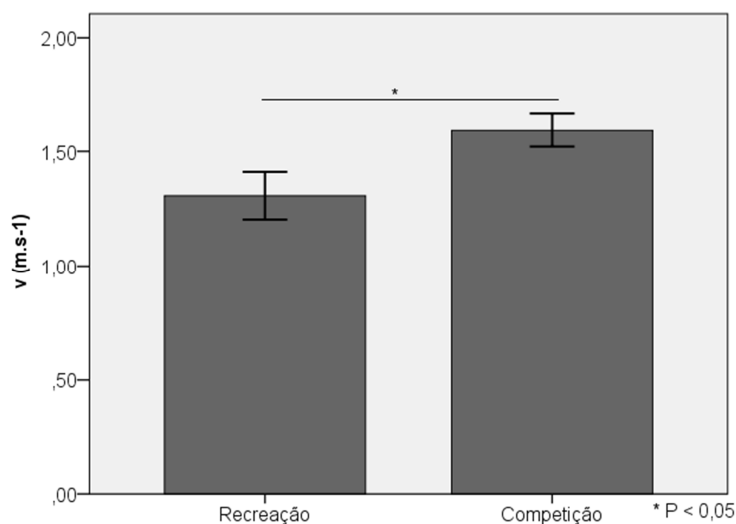
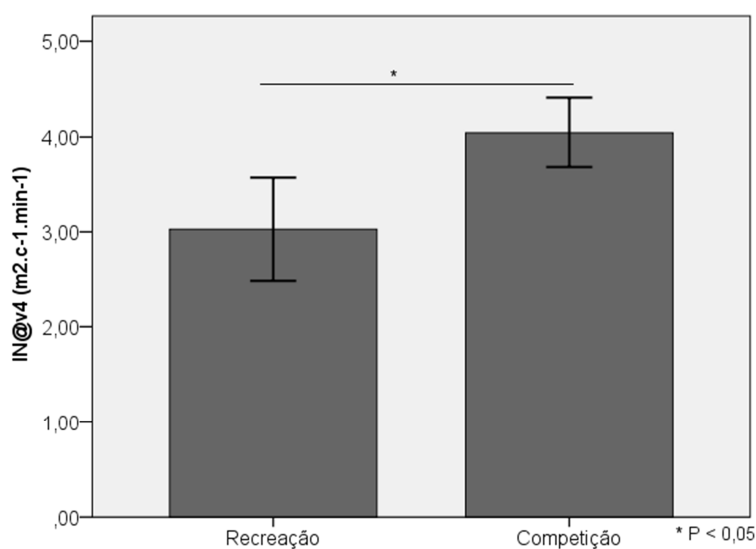


Figura 10. Comparação da velocidade de nado entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição).

8.3 Eficiência de nado



A figura 11 apresenta a comparação da eficiência de nado entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição). A análise desta, demonstrou que os nadadores de competição apresentavam um $IN@V4$ significativamente superior aos de recreação, sendo o efeito do resultado moderado ($F_{(1,18)} = 25,424$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,60$). Também se

verificou que os nadadores de recreação apresentavam uma $\eta p@V4$ superior aos de competição. Contudo, não se verificaram diferenças significativas, sendo o efeito do resultado reduzido ($F_{(1,18)} = 0,315$, $p = 0,582$, $\eta^2 = 0,02$).

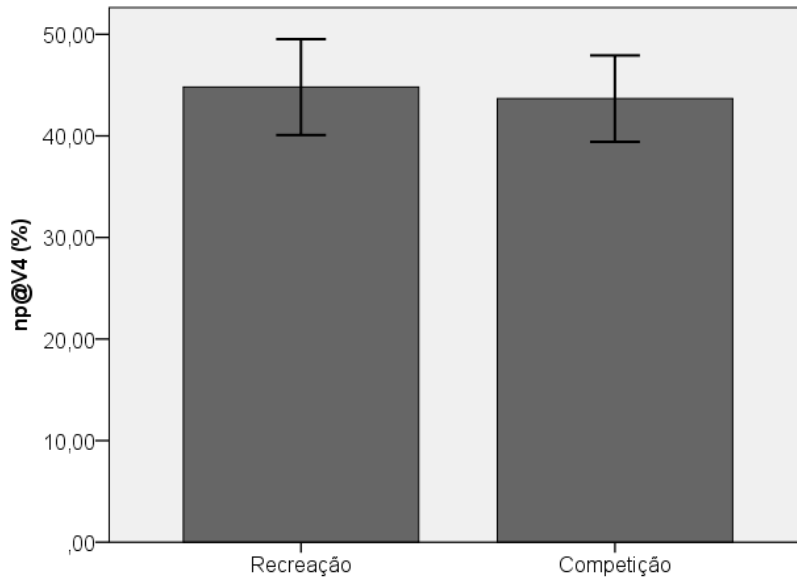


Figura 11. Comparação da eficiência de nado, expressa pelo $IN@V4$ e pela $\eta p@V4$, entre os grupos de coorte (nadadores de recreação vs competição).

9. Discussão

9.1 Discussão da metodologia

A discussão da metodologia será realizada sobre os seguintes aspectos: (i) amostra; (ii) protocolo usado; (iii) selecção das variáveis em estudo; (iv) escolha dos procedimentos estatísticos.

9.1.1 Amostra

Para a selecção da amostra foi tido em conta os tipos de amostragem existentes: (1) amostragem probabilística ou aleatória e (2) amostragem não-probabilística ou não aleatória (138). A amostragem probabilística ou aleatória é composta em tipos mais específicos: (i) aleatória simples; (ii) aleatória estratificada; (iii) aleatória sistemática. A categoria não probabilística ou não aleatória é composta por: (i) accidental, casual ou de conveniência; (ii) propositada; (iii) especialistas; (iv) por quotas; (iv) e “bola de neve”. A amostragem utilizada foi propositada, visto que o estudo realizado tem uma intenção específica e com uma população muito particular. Pretendeu-se caracterizar e comparar a resposta cardiorrespiratória, metabólica e biomecânica em diferentes grupos de praticantes de natação (recreação *versus* competição). Desta forma, foram seleccionados para fazerem parte da amostra nadadores de competição (i.e., nadadores estatuto federativo na modalidade de natação pura e presença assídua em provas do calendário internacional e/ou nacional) e nadadores *masters*/recreação – (i.e., nadadores com idade igual ou superior a 25 anos, com prática regular de natação de no mínimo três sessões por semana e sem estatuto federativo em NPD há pelo menos quatro anos).

Fizeram parte do presente estudo 20 nadadores portugueses do sexo masculino divididos em dois grupos: (i) recreação (n=8) e competição (n=12). A escolha dos nadadores de nível *master* deveu-se ao facto de estes representarem um grupo de coorte mais próximo com os sujeitos nadadores de “recreação”, isto porque a sujeição e nadadores de recreação típicos das classes de natação não seria operacional. O tamanho reduzido da amostra deveu-se a um conjunto de factores como: (i) o número reduzido de nadadores de recreação e de competição existentes limitou o tamanho da amostra; (ii) as amostras devem ser de conveniência, ou seja, nem sempre se pode ter a amostra que desejamos para o nosso estudo, mas sim trabalhar com amostra que é possível adquirir; (iii) por último devido aos nadadores de recreação serem pessoas com vida laboral e não se dedicando de forma exclusiva à modalidade não apresentavam um horário flexível e

com disponibilidade total para realizarem os testes. Importa ainda salientar a dificuldade de monitorizar as avaliações e recolhas dos dados dos nadadores pertencendo a diferentes zonas geográficas do país.

Relativamente à escolha de apenas nadadores do sexo masculino está relacionada com a informação existente na literatura, onde se verifica que os estudos no sexo masculino são mais frequentes do que no sexo feminino tanto em jovens/adultos como em *masters* (14, 139, 140).

A idade dos nadadores *masters*/recreação apresenta uma média de 30 anos. Esta média de idade representa o primeiro e segundo escalão de *master*, onde se encontra o maior número de atletas/praticantes deste grupo de coorte. Por outro lado, é a partir dos 22 anos que a literatura refere que a *performance* começa a mostrar sinais de decadência (cf.2.1).

9.1.2 Protocolo

Relativamente aos procedimentos utilizados para a recolha dos dados de cada domínio, foram utilizados os protocolos descritos pela literatura e os que melhor se adequavam as variáveis em estudo. Desta forma, estes foram seleccionados porque actualmente são os mais aceites pela literatura e que permitem obter os parâmetros fisiológicos desejados (28, 42, 60) e de igual forma os biomecânicos (14, 104, 114).

Sendo um dos principais objectivos desta dissertação avaliar a resposta cardiorrespiratória, houve a necessidade de implementar um teste de esforço máximo. Uma das melhores formas para avaliar o esforço máximo de um sujeito é através de um teste incremental até a exaustão (4, 71). Por outro lado, para se obter valores do limiar anaeróbio e da capacidade anaeróbia é necessário implementar de igual modo o teste incremental (60). Assim, foi implementado o teste incremental de $n \times 200$ metros ($n < 8$) na técnica de Crol com um aumento na velocidade de $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ entre patamares, com um intervalo de recuperação entre patamares de 30 segundos. Este teste foi utilizado por Pyne et al. (60) para detectar mudanças no perfil de lactato em nadadores, onde utilizava o teste incremental de 7×200 -m com 2 min de intervalo. Este teste foi modificado por Fernandes et al. (42) mantendo o mesmo número de patamares a nadar reduzindo o intervalo de repouso de 2 min para 30 s. Os 2 min utilizados por Pyne et al. (60) permitiam uma recuperação “quase” completa dos valores de lactato, no entanto como era expectável que o lactato dos nadadores aumenta-se estes não poderiam ter uma

recuperação que lhes permitisse reduzir os valores de lactato, daí Fernandes et al. (42) terem adaptado o teste para 30 s de repouso. No mesmo ano o teste intervalado com base no teste contínuo foi validado por Cardoso et al. (141). Este teste foi mais tarde popularizado por Fernandes et al. (42) e Barbosa et al. (104, 114).

Dado que, neste tipo de teste, são exigidos esforços máximos, e a sensação de esforço máximo é subjectiva, dependendo de vários factores tanto fisiológicos como psicológicos, são definidos, normalmente, alguns critérios a cumprir para aceitação do VO_{2max} . Shephard (142) define os seguintes: (i) a observação de um “plateau” na evolução do VO_2 , após o incremento da intensidade do esforço. Por “plateau” entende-se um aumento do VO_2 inferior a $2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (isto é, a passagem de um patamar para o seguinte não provoca um aumento do VO_2 superior ou igual a $2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$); No caso de não se observar o referido “plateau” deveremos apreciar os critérios seguintes. (ii) a frequência cardíaca deve atingir valores próximos da frequência cardíaca máxima (FCM) ($220 - \text{idade}$); (iii) coeficiente respiratório (R) superior a 1,1; (iv) concentração de lactato sanguíneo superior a $8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

9.1.3 Variáveis

O mesmo teste serviu para determinar a capacidade aeróbia; a capacidade anaeróbia; a potência aeróbia; o dispêndio energético total e o C . Também foram utilizados para determinar as variáveis biomecânicas da cinemática da braçada; da velocidade de nado e da eficiência de nado (14, 42, 104, 114).

Todas as variáveis biomecânicas assim como as variáveis bioenergéticas (E_{tot} e o C) foram relativizadas à velocidade das $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ de lactato sanguíneo para possibilitar a comparação de todos os sujeitos à mesma intensidade de esforço por meio de interpolação. Este método possibilitou comparar os grupos à mesma intensidade de esforço existindo uma menor discrepância dos dados entre eles.

No que diz respeito à selecção das variáveis em estudo atendeu-se aos domínios bioenergéticos e biomecânicos. O domínio bioenergético porque representa a função cardiorrespiratória - a capacidade que o organismo tem em adaptar-se a esforços físicos moderados, envolvendo a participação de grandes grupos musculares, por períodos de tempo relativamente longos - e o biomecânico porque este é fundamental para uma profunda e cabal compreensão da resposta cardiorrespiratória e/ou bioenergética. Desta forma, seleccionaram-se as variáveis que melhor expressam o domínio bioenergético,

sendo estas as mais citadas na literatura e que melhor se relacionam com a *performance* do nadador (28, 43, 72, 143). O domínio bioenergético teve como variáveis independentes: (i) a capacidade aeróbia representada pela $V4$; (ii) a capacidade anaeróbia representada pelo La_{pico} ; (iii) a potência aeróbia representada pelo VO_{2max} e a vVO_{2max} ; (iv) o dispêndio energético total representado pelo $Etot$ e; (v) o custo energético representado pelo C (14, 28, 104, 106, 114). A Frequência cardíaca (FC), não foi incluída neste estudo por ser uma variável em desuso no controlo e avaliação de treino e porque é muito lábil e depende de muitos factores que não só a intensidade da tarefa executada.

Também para o domínio biomecânico foram seleccionadas as variáveis que permitiam uma melhor compreensão da resposta cardiorrespiratória e/ou bioenergética referidas pela literatura e relacionadas com a *performance* do nadador. Assim, as variáveis independentes para o domínio biomecânico foram: (i) para a cinemática da braçada a FG e a DC ; (ii) para a velocidade de nado a v ; (iii) e para a eficiência de nado o IN e a ηp (21, 25, 28).

9.1.4 Procedimentos estatísticos

Relativamente ao procedimento estatístico foi realizada a análise exploratória e descritiva para descrever as variáveis em estudo. A análise exploratória permitiu caracterizar amostra e maximizar a percepção ou a visualização do conjunto de dados, descortinando estruturas subjacentes e detectando valores atípicos (i.e., outliers). Para testar a normalidade da amostra foi realizado o teste *Shapiro-Wilk*, uma vez que este se baseia nos valores amostrais ordenados ao quadrado e tem sido o teste de normalidade preferido por mostrar ser mais poderoso que os testes alternativos (i.e., Kolmogorov-Smirnov), especialmente para amostras inferiores a 30 sujeitos. A análise descritiva efectuada a cada variável permitiu descrever a amostra e caracteriza-la através do cálculo de tendência central (media) e de dispersão (um desvio padrão). Estes cálculos foram realizados tendo em conta que todas as variáveis eram quantitativas (144).

Para a análise inferencial utilizou-se o teste Anova a um factor, uma vez que quando aplicado apenas a duas subamostras corresponde ao teste *t de Student*. Nestes casos o teste Anova exige alguns pressupostos tais como (144): (i) a variável a testar terá que ser quantitativa; (ii) deverá existir homogeneidade nas variâncias se os grupos tiverem dimensões diferentes e; (iii) pelo menos um dos grupos deverá ter uma

distribuição normal. Quando se cumprem os pressupostos, este teste é mais potente que o *Kruskal-wallis* (teste não paramétrico equivalente ao teste Anova) (144).

9.2 Discussão dos resultados

A discussão dos resultados será fundamentada em duas partes. Primeiro serão discutidos os resultados bioenergéticos que serão compostos por: (i) capacidade aeróbia; (ii) capacidade anaeróbia; (iii) Potência aeróbia; (iv) Dispêndio energético total e; (vi) custo energético. A seguir serão discutidos os resultados biomecânicos que serão compostos por: (i) cinemática da braçada; (ii) velocidade de nado; (iii) eficiência de nado.

9.2.1 Capacidade aeróbia

O limiar anaeróbio é uma variável fundamental na avaliação da capacidade de resistência dos praticantes, nomeadamente na capacidade aeróbia, que nos dá indicações sobre a prática física destes. São vários os estudos que apresentam melhorias com o processo de treino na *V4* (58, 59) como na tolerância ao lactato (60, 61). Neste estudo verificaram-se diferenças significativas na *V4* entre os grupos de coorte. Os nadadores de competição apresentaram uma *V4* superior aos de recreação. Esta superior capacidade aeróbia apresentada pelos nadadores de competição é explicada pelo maior volume de treino que realizam. Sendo a *V4* uma variável que depende do volume de treino, poder-se-á dizer que quanto maior o volume de treino maior a capacidade aeróbia. Logo os praticantes de competição tendo um maior volume de treino apresentaram uma *V4* superior. Isto significa que os nadadores de competição revelam uma capacidade de produzir e remover o lactato sanguíneo mais apurada, permitindo-lhes manter mais tempo a nadar sem atingir a fadiga pela acumulação deste composto. Num estudo semelhante que visou a comparação de níveis competitivos distintos, os nadadores de melhor nível competitivo apresentaram valores superiores de *V4* (14). A comparação destes resultados com outros em nadadores masters não é possível devido a falta de estudos neste grupo de coorte. Contudo, em nadadores jovens há estudos que demonstraram que as maiores mudanças registadas na capacidade aeróbia em nadadores de competição foram alcançados nos meses em que estes se encontravam a realizar treino com maior volume (61, 145).

9.2.2 Capacidade anaeróbia

A capacidade de tolerar altas concentrações de lactato no sangue é um dos factores mais importantes na *performance* dos nadadores em esforços físicos de duração relativamente curtas (i.e., 2 a 5 min). O La_{pico} é usado frequentemente para avaliar a capacidade máxima anaeróbia em provas de 100 e 200-m (117). As variações que são observadas em alguns estudos durante uma época desportiva devem-se em grande parte à prática de exercício e do volume/intensidade de treino (117, 146). A literatura ainda não é muito clara sobre a tendência tomada pela capacidade anaeróbia com o avançar da idade. Alguns estudos demonstram que a capacidade anaeróbia, traduzida pelo La_{pico} diminui com a idade, associando este declínio a perda da massa músculo-esquelética (66). Outros estudos afirmam que esta se mantém relativamente estável (67). No presente estudo não se verificaram diferenças significativas entre os dois grupos de nadadores. Contudo, verificou-se que os nadadores de recreação apresentaram um La_{pico} três minutos após a prova superior aos de competição. Este resultado é explicado pela baixa $V4$ que estes nadadores apresentam. Como foi referido anteriormente, os nadadores que exibem uma $V4$ mais baixa também apresentam um maior desequilíbrio no processo de remoção-produção de lactato. Logo, o que se verificou com o teste de esforço realizado foi que os nadadores de recreação começaram a acumular o lactato no sangue primeiro que os nadadores de competição levando a que no final da prova estes apresentassem um maior La_{pico} . Estes nadaram os últimos patamares com uma maior acumulação de lactato acabando a prova com o lactato mais elevado. Por outro lado, o treino realizado pelos nadadores de recreação é um treino essencialmente de baixo regime, ou seja de capacidade aeróbia, mais conhecido na natação pura desportiva como regime A1 e/ou A2. Para mais, neste tipo de treino os sujeitos treinam essencialmente a resistência do que propriamente força (dentro destas manifestações, predominantemente força resistente). Quer isto dizer que, se a este facto unirmos o destreino e ou/ menor volume e intensidade de treino, este grupo de praticantes apresentou uma redução da força muscular. Desta forma, a diminuição da capacidade anaeróbia atribuída ao declínio da massa músculo-esquelética verificada por Benelli et al. (66) poderá ajudar a explicar o processo desta capacidade com o avançar da idade.

9.2.3 Potência aeróbia

No presente estudo verificaram-se diferenças significativas entre os grupos de coorte, sendo o VO_{2max} e a vVO_{2max} superior nos nadadores de competição. Também estas

variáveis estão dependentes do processo de treino. Desta forma, seria expectável que os nadadores de competição tivessem uma potência aeróbia superior pelas razões explicadas anteriormente (c.f., 9.2.1, 9.2.2). Não é raro pensar que o volume de treino nos nadadores de recreação é consideravelmente menor do que nos mais jovens (147). A literatura mostra-se consistente na descrição do declínio do VO_{2max} pela diminuição do volume e intensidade de treino com o avançar da idade (36, 82). Esta redução do VO_{2max} tem sido bem documentada tanto em estudos transversais como em estudos longitudinais no atletismo. Estes estudos têm demonstrado que esse declínio pode ser explicado pela diminuição do volume, frequência e intensidade de treino (148-152). Um artigo clássico com corredores é o de Trappe et al. (153) avaliando 53 sujeitos bem treinados e passado 20 anos os voltou a avaliar agrupando-os em 4 grupos distintos: (i) bem treinados (n= 10), (ii) treinados (n=18), (iii) não treinados (n=15), (iv) e seniores *fit* (10). Foi demonstrado que após 20 anos ocorreu uma diminuição de 6, 10, 15 e 15 % por década para cada grupo pela ordem que está descrita. Desta forma é evidente que a intensidade e o volume de treino são importantes para manter ou atenuar o declínio do VO_{2max} relacionado com a idade. Por outro lado, estudos transversais têm demonstrado que o VO_{2max} diminui cerca de 10% por década em homens e mulheres independentemente do nível de actividade (150).

Em relação a vVO_{2max} salvo melhor opinião não existem estudos realizados sobre esta variável em nadadores *masters/recreação*. Contudo pode-se especular que esta tenha uma resposta muito próxima do VO_{2max} . Por isso, especula-se que esta também possa diminuir com a idade e sofrer uma perda substancial com o destreino.

9.2.4 Dispendio energético total

Esta variável descreve as fontes energéticas determinadas pelo sistema aeróbio e anaeróbio (143). Grande parte do objectivo do treino em nadadores de competição é melhorar estes sistemas energéticos conseguindo melhorar a capacidade de gerar potência muscular. Sabe-se que as provas de 200-m requerem uma larga contribuição do sistema aeróbio durante toda a realização da prova (48, 49). Em provas de 200-m o organismo requer a contribuição tanto do sistema aeróbio como do sistema anaeróbio (48) sendo que a contribuição do sistema aeróbio é de sensivelmente 66% e do sistema anaeróbio de 34% (49). Desta forma, sabendo que os nadadores de recreação realizam um treino essencialmente de baixo regime (i.e., capacidade aeróbia), pode-se dizer que este treino não será suficiente para melhorar ambos os sistemas energéticos. Assim o

$E_{tot}@V4$ significativamente superior nos nadadores de competição em relação aos de recreação poderá ser explicado pelo tipo de treino que estes realizam. Dados reportados anteriormente na modalidade de Atletismo afirmam que a diminuição tanto da potência metabólica derivada do sistema aeróbio como anaeróbio (i.e., $E_{tot,max}$) é responsável pela diminuição da *performance* em atletas *masters* (154). A E_{tot} aumenta nos adolescentes e atinge o seu pico máximo por volta dos 20-30 anos e começa a diminuir a partir dos 40 anos (155).

9.2.5 Custo energético

Poucos são os estudos realizados neste para nadadores *masters*/recreação. Os estudos existentes focam-se essencialmente em jovens nadadores e/ou de elite (114, 117). Na natação o C depende da velocidade, da técnica de nado (51, 104, 156), do sexo e da sua habilidade técnica (52, 98, 157-159). O $C@V4$ superior nos nadadores de competição em relação aos de recreação é explicado pelos valores superiores de E_{tot} e $V4$ que estes apresentam (cf. 9.2.4; 9.2.1). Segundo Barbosa et al. (104) o C pode ser descrito pela razão da potência metabólica máxima pela $V4$. Neste sentido como os nadadores de competição apresentaram uma $V4$ e um E_{tot} superior é expectável que estes apresentem um C também superior. Além disso, a literatura é consensual que para uma dada v os aumentos da FG levam a uma aumento do C . Também se sabe que o C varia em função da idade na infância (20, 100, 129, 160) e na idade adulta (161). Por outro lado, os nadadores de recreação realizam maior deslize uma vez que apresentam uma $V4$ mais baixa recorrendo a um padrão técnico temporal deslizando mais sem haver propulsão, ou seja, assim realizam menos trabalho mecânico levando a uma redução do custo energético (162). Como se sabe o C também depende do trabalho mecânico que é produzido e da sua eficiência. Segundo Zamparo et al. (124) este pode ser descrito pelo produto da eficiência total pelo trabalho mecânico total e dividido pela eficiência propulsiva.

$$C = \frac{\eta_o \cdot W_{tot}}{\eta_p} \quad (12)$$

Desta forma, isto poderá explicar o C inferior nos nadadores de recreação e a razão de não existirem diferenças significativas.

9.2.6 Velocidade de nado

A v aumenta desde a infância até a idade adulta onde o nadador atinge o seu pico da *performance*, ou seja aproximadamente os 22 anos de idade (c.f 2.3.1). Depois desta

idade, a v começa a diminuir progressivamente até aproximadamente os 50 a 60 anos sendo mais evidente e acentuada a partir dos 70 anos (5, 35). Desta forma os dados obtidos no presente estudo corroboram com os da literatura (5, 15, 35, 36). Verificou-se que os nadadores de recreação apresentaram uma v inferiora aos nadadores de competição. Sabendo que a \bar{v} segundo Craig (107) depende essencialmente da capacidade propulsiva que o sujeito consegue gerar, da sua eficiência e da força do arrasto como é demonstra a equação 2. Podemos dizer que quanto maior for a potência metabólica gerada maior será a v , logo se os nadadores apresentam uma redução da massa muscular devido em grande parte ao destreino e/ou menor volume e intensidade de treino menor será a capacidade destes gerar potência muscular capaz de permitir aumentos significativos na v de nado. Dados semelhantes foram obtidos por Favaro (16) onde verificou um decréscimo da v dos nadadores *masters* mais velhos em relação aos *masters* mais novos. Tanaka e Seals, (8, 36), bem como Donato et al. (5) já tinham anteriormente reportado que a v dos nadadores *masters* mais novos era superior a dos nadadores *masters* mais velhos. Recentemente Fairbrother (34, 35) e Zamparo et al. (155) obtiveram resultados idênticos. Desta forma, confirma-se que a v diminuí com o avançar da idade.

9.2.7 Cinemática da Braçada

Nos parâmetros do ciclo gestual foram verificadas diferenças significativas na $FG@V4$, e não se verificaram diferenças na $DC@V4$. A v resulta da combinação da FG com a DC (105). Assim, pode se dizer que quanto maior for a FG maior será a velocidade de nado. Desta forma, como os nadadores de competição apresentam uma velocidade de nado superior é consensual que apresentem uma FG superior (116). Esta menor $FG@V4$ apresentada pelos nadadores de recreação é explicada pela menor força muscular e potência mecânica que estes tenderam a apresentar devido em grande parte ao destreino e ao volume de treino discutido anteriormente. Ou seja, uma menor prática de exercício leva a uma redução de massa muscular que por sua vez leva a uma diminuição da força. A redução da força nos nadadores de recreação leva a que estes atinjam uma v inferior aos de competição. Dados semelhantes foram reportados por Favaro et al. (16) que constataram uma redução da FG e da DC com a idade atribuindo a causa da diminuição da FG e da DC a uma menor potência muscular. Por outro lado, verificou-se que os nadadores de recreação apresentaram uma DC superior, mas não significativa. Esta maior DC verificada é explicada pelo maior deslize que os nadadores

de recreação realizam uma vez que a sua $V4$ é mais baixa. Assim recorrem ao padrão técnico temporal realizando uma sincronização sobreposta deslizando mais sem haver propulsão. Por outro lado, os nadadores de recreação são ex-atletas e tem consciência da importância de manter uma elevada DC . É consensual na literatura pelo menos do ponto de vista transversal que nadadores de nível mais elevado apresentam uma FG e DC superior quando comparados com os de menor nível (107, 163). Mais ainda, existe uma tendência para nadadores de bom nível manterem uma DC muito elevada e estável, independentemente da velocidade atingida (104).

9.2.8 Eficiência de nado

O IN e a ηp são tidos como indicadores de eficiência de nado sendo que estes são interpretados como indicadores de qualidade e de eficiência técnica. Neste estudo verificou-se que os nadadores de competição apresentavam um $IN@V4$ significativamente superior aos de recreação. E não se verificaram diferenças significativas na $\eta p@V4$. No entanto, os nadadores de recreação apresentaram uma $\eta p@V4$ superior aos de competição. O $IN@V4$ indicar-nos-á em primeira instância que os nadadores de competição apresentam uma melhor mecânica de nado em relação aos de recreação e uma melhor eficiência técnica. Assume-se que quanto mais elevado é o IN , mais adequada mecanicamente é a técnica e menor será o tempo para percorrer uma dada distância. A literatura é consensual ao referir que nadadores de nível elevado possuem IN superiores quando comparados com os de menor nível (14, 127). Contudo, parece verificar-se uma diminuição do IN com a idade devido em grande parte a diminuição da v que se verifica em nadadores de recreação/*masters*. Favaro et al. (16) constataram que os nadadores *masters* entre os 75 e os 79 anos apresentavam uma diminuição do IN quando comparados aos nadadores *masters* entre os 25 e os 29 anos. No presente estudo também a diferença verificada no IN entre os grupos é explicada pela menor v que os nadadores de recreação apresentam. A discussão dos motivos para diminuição da v , foi discorrida previamente nesta dissertação (cf.9.2.7). Em relação ao resultado da $\eta p@V4$ verificado poder-se-á dizer que os nadadores de recreação apresentam uma $\eta p@V4$ superior devido a estes realizarem um menor trabalho mecânico uma vez que apresentam uma v inferior e usam uma sincronização sobreposta deslizando mais sem haver propulsão. A discussão destes dados com outros estudos sobre *masters*/recreação não é possível devido a escassez de estudos realizados neste grupo de coorte.

10. Conclusão

Considerando o objectivo geral, os objectivos específicos e tendo em conta os resultados obtidos, podem-se retirar as seguintes conclusões:

- (a) A capacidade aeróbia é inferior nos nadadores de recreação do que nos de competição;
- (b) Não existem diferenças na capacidade anaeróbia entre nadadores de recreação e de competição;
- (c) A potência aeróbia é inferior nos nadadores de recreação do que nos de competição;
- (d) Os nadadores de recreação têm um dispêndio energético inferior aos de competição;
- (e) Não existem diferenças significativas no custo energético entre nadadores de recreação e de competição;
- (f) A frequência gestual é inferior nos nadadores de recreação do que nos de competição;
- (g) A velocidade de nado é inferior nos nadadores de recreação do que nos de competição;
- (h) Não existem diferenças na eficiência entre nadadores de recreação e de competição.

Em síntese, verifica-se uma menor capacidade fisiológica funcional dos nadadores de recreação quando comparados com os de competição de menor idade. Esta diferença deve-se essencialmente pelos nadadores de recreação apresentarem um perfil fisiológico diminuto. Esta menor capacidade fisiológica é explicável pela alteração do comportamento biomecânico.

11. Bibliografia

1. Champion MR. Adult Hydrotherapy: A Practical Approach. In: Champion MR, editor. Oxford, England: Heinemann Medical Books; 1990. p. 199-239.
2. Lowman C. Therapeutic Use of Pools and Tanks. Philadelphia, Pa: WB Saunders; 1952.
3. Batterham SI, Heywood S, Keating JL. Systematic review and meta-analysis comparing land and aquatic exercise for people with hip or knee arthritis on function, mobility and other health outcomes. *BMC Musculoskelet Disord*. 2011;12:123.
4. Wilmore JH, Costill, D. L. Physiology of sports and exercise. Champaign, IL: Human Kinetics.; 1994.
5. Donato AJ, Tench K, Glueck DH, Seals DR, Eskurza I, Tanaka H. Declines in physiological functional capacity with age: a longitudinal study in peak swimming performance. *Journal of Applied Physiology*. 2003;94(2):764-769.
6. Dempsey JA, & Seals D. R. Aging, exercise, and cardiopulmonary function. In: Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine: Volume 8 Exercise in Older Adults. Lamb DR GC, and Nadel E. Carmel,, editor: Cooper Publishing,; 1995.
7. Joyner MJ. Physiological limiting factors and distance running: influence of gender and age on record performances. *Exerc Sport Sci Rev*. 1993;21:103-33.
8. Tanaka H, Seals DR. Age and gender interactions in physiological functional capacity: Insight from swimming performance. *Journal of Applied Physiology*. 1997;82(3):846-51.
9. Tanaka H. Higuchi M. Age, exercise performance, and physiological functional capacities. *Adv Exerc Sports Physiol*. 1998;4:51 - 6.
10. Barbosa TM, Costa M, Marinho DA, Coelho J, Moreira M, Silva AJ. Modeling the Links Between Young Swimmers' Performance: Energetic and Biomechanic Profiles. *Pediatric Exercise Science*. 2010;22(3):379-91.
11. Zamparo P. Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. *European Journal of Applied Physiology*. 2006;97(1):52-8.
12. Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes R, Colaço P, Lima AB, et al. Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol*. 2005;93(5-6):519-23.
13. Costa M, Bragada J, Mejias E, Marinho D, Louro H, Silva AJ, et al. Modificações no perfil bioenergético e biomecânico de nadadores entre dois períodos “pré-taper”. *Acqua – Revista Portuguesa de Natação*. 2010 Dezembro.

14. Costa MJ, Bragada JA, Mejias JE, Louro H, Marinho DA, Silva AJ, et al. Tracking the performance, energetics and biomechanics of international versus national level swimmers during a competitive season. *Eur J Appl Physiol*. 2012.
15. Baker AB, Tang YQ. Aging Performance for Masters Records in Athletics, Swimming, Rowing, Cycling, Triathlon, and Weightlifting. *Experimental Aging Research*. 2010; 36(4):453-77.
16. Favaro OR. Influência da idade na performance, frequência de braçada e comprimento de braçada em nadadores masters de 50 metros nado livre. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*. 2005: 67-72.
17. Buskirk ER, Hodgson JL. Age and aerobic power: the rate of change in men and women. *Fed Proc*. 1987;46(5):1824-9.
18. Martin JC, Farrar RP, Wagner BM, Spirduso WW. Maximal power across the lifespan. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000;55(6):M311-6.
19. Rogers MA, Evans WJ. Changes in skeletal muscle with aging: effects of exercise training. *Exerc Sport Sci Rev*. 1993;21:65-102.
20. Kjendlie PL, Ingjer F, Madsen Ø, Stallman RK, Stray-Gundersen J. Differences in the energy cost between children and adults during front crawl swimming. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91(4):473-80.
21. Laett E, Juerimae J, Maeestu J, Purge P, Raemson R, Haljaste K, et al. Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2010;9(3):398-404.
22. Saavedra JM, Escalante Y, Rodriguez FA. A Multivariate Analysis of Performance in Young Swimmers. *Pediatric Exercise Science*. 2010;22(1):135-51.
23. Alcock R, Cottingham MG, Rollier CS, Furze J, De Costa SD, Hanlon M, et al. Long-term thermostabilization of live poxviral and adenoviral vaccine vectors at supraphysiological temperatures in carbohydrate glass. *Sci Transl Med*. 2010;2(19):19ra2. Epub 2010/04/08.
24. Costa MJ, Marinho DA, Reis VM, Silva AJ, Marques MC, Bragada JA, et al. Tracking the performance of world-ranked swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2010;9(3):411-7.
25. Costa M, Bragada J, Mejias E, Marinho D, Louro H, Silva AJ, et al. Análise longitudinal das modificações no perfil biomecânico de nadadores de elite e o seu

impacto na performance ao longo da época desportiva. In: L. Roseiro M, al. Ae, editors. 4º Congresso Nacional de Biomecânica; Coimbra 2011.

26. Costa MJ, Bragada, JA., Mejias, JE., Morais, JE., Marinho, DA., Louro, H., Barbosa, TM. Preditores antropométricos, bioenergéticos e biomecânicos dos 200 m crol no pico de forma da época de inverno. In: H. Louro DC, P. Silva & A. Costa, editor. 34º Congresso Técnico-científico da Associação Portuguesa de Técnicos de Natação. APTN; Ílhavo 2011.

27. Barbosa TM. Swimming. In: Mooren FC, editor. Encyclopedia of Exercise Medicine in Health and Disease: Springer; 2012. p. 500.

28. Barbosa TM, Bragada JA, Reis VM, Marinho DA, Carvalho C, Silva AJ. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: Updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010;13(2):262-9.

29. Vitor FM, Silveira Boehme MT. Performance of Young Male Swimmers in the 100-Meters Front Crawl. *Pediatric Exercise Science*. 2010; 22(2):278-87.

30. Ribeiro JP, Cadavid E, Baena J, Monsalvete E, Barna A, De Rose EH. Metabolic predictors of middle-distance swimming performance. *British journal of sports medicine*. 1990;24(3):196-200.

31. Obert P, Falgairette G, Bedu M, Coudert J. Bionergetic characteristics of swimmers determined during an arm -ergometer test and during swimming. *International Journal of Sports Medicine*. 1992;13(4):298-303.

32. Poujade B, Hautier CA, Rouard A. Influence of morphology, VO₂max and energy cost on young swimmers' performance. *Science & Sports*. 2003;18(4):182-7.

33. Natação FP. Regulamento Geral. 2010.

34. Fairbrother JT. Age-related changes in top-ten men's US masters 50-m freestyle swim times as a function of finishing place. *Perceptual and Motor Skills*. 2007;105(3):1289-93.

35. Fairbrother JT. Prediction of 1500-M freestyle swimming times for older masters all-American swimmers. *Experimental Aging Research*. 2007;33(4):461-71.

36. Tanaka H, Seals DR. Invited review: Dynamic exercise performance in Masters athletes: insight into the effects of primary human aging on physiological functional capacity. *Journal of Applied Physiology*. 2003;95(5):2152-62.

37. Rubin RT and Rahe, RH.,. Effects of aging in Masters Swimmers:40-year review and suggestions for optimal health. *Open Access Journal of Sports Medicine*. 2010;1:39-44. Epub 8 April.
38. Fair RC. Estimated age effects in athletic events and chess. *Exp Aging Res*. 2007;33(1):37-57.
39. Weir PL, Kerr T, Hodges NJ, McKay SM, Starkes JL. Master swimmers: How are they different from younger elite swimmers? An examination of practice and performance patterns. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2002;10(1):41-63.
40. Reaburn P, Dascombe B. Endurance performance in masters athletes. *European Review of Aging and Physical Activity*. 2008;5(1):31-42.
41. Zoeller R, Nagle E, Robertson R, Moyna N, MLehart S, Goss F. Peak blood lactate and accumulated oxygen deficit as indices of freestyle swimming performance in trained adult female swimmers. *Journal Swimming Research*. 2000:18-25.
42. Fernandes RJ, Cardoso CS, Soares SM, Ascensao A, Colaco PJ, Vilas-Boas JP. Time limit and VO₂ slow component at intensities corresponding to VO₂max in swimmers. *International Journal of Sports Medicine*. 2003;24(8):576-81.
43. Fernandes RJ, Billat VL, Cruz AC, Colaco PJ, Cardoso CS, Vilas-Boas JP. Does net energy cost of swimming affect time to exhaustion at the individual's maximal oxygen consumption velocity? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2006;46(3):373-80.
44. Costa M, Bragada, José A., Meijas, E., Louro, H., Barbosa, TM. Contributo dos factores antropométricos, bioenergéticos e biomecânicos para a performance de nadadores de elite no pico de forma na época de verão. *Revista Motricidade*.p. 27-34.
45. Barata T. *Actividade Física e Medicina Moderna*. Odivelas: Europress; 1997. p. 480
46. Ribeiro LF, Lima MC, Gobatto CA. Changes in physiological and stroking parameters during interval swims at the slope of the d-t relationship. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010;13(1):141-5.
47. Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*. 2001;31(10):725-41.
48. Troup JP. Aerobic: anaerobic characteristics of the four competitive strokes. In: Troup JP, editor. *International center for aquatic research annual Studies by the international center for aquatic research (1990–1991)*. Colorado Springs: US Swimming Press; 1991. pp 3- 7.

49. Figueiredo P, Zamparo P, Sousa A, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. An energy balance of the 200 m front crawl race. *European Journal of Applied Physiology*. 2011;111(5):767-77.
50. Ogita F. Energetics in competitive swimming and its application for training . In: In J. P. Vilas-Boas FA, and A. Marques, eds., editor. *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. Porto: Portugese Journal of Sport Sciences; 2006. p. 117- 21.
51. Capelli C, Prendergast DR, Termin B. Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1998;78(5):385-93.
52. Zamparo P, Capelli C, Cautero M, Di Nino A. Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *European Journal of Applied Physiology*. 2000;83(6):487-91.
53. Proctor DN, Joyner MJ. Skeletal muscle mass and the reduction of VO₂max in trained older subjects. *J Appl Physiol*. 1997;82(5):1411-5.
54. Fleg JL, Lakatta EG. Role of muscle loss in the age-associated reduction in VO₂ max. *J Appl Physiol*. 1988;65(3):1147-51.
55. Hunt BE, Davy KP, Jones PP, DeSouza CA, Van Pelt RE, Tanaka H, et al. Role of central circulatory factors in the fat-free mass-maximal aerobic capacity relation across age. *Am J Physiol*. 1998;275(4 Pt 2):H1178-82.
56. Avlonitou E. Maximal lactate values following competitive performance varying according to age, sex and swimming style. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 1996;36(1):24-30.
57. Lafontaine TP, Londeree BR, Spath WK. The Maximal Steady-State Versus Selected Running Events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1981;13(3):190-3.
58. Robertson EY, Aughey RJ, Anson JM, Hopkins WG, Pyne DB. Effets of simulated and real altitude exposure in elite swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24(2):487-93.
59. Reis J, Alves, F. Training induced changes in critical velocity and V₄ in age group swimmers. In: Vilas-Boas J, Alves, F., Marques, A. (eds), editor. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. Porto: Port J Sport Sci, Porto; 2006. p. pp 55 - 6.

60. Pyne DB, Lee H, Swanwick KM. Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2001;33(2):291-7.
61. Sharp R, Vitelli, C., Costill, D., Thomas, R. Comparison between blood lactate and heart rate profiles during a season of competitive swim training. *J Swim Res*. 1984;1:17 - 20.
62. Wakayoshi K, Yoshida T, Ikuta Y, Mutoh Y, Miyashita M. Adaptations to six months of aerobic swim training. Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. *Int J Sports Med*. 1993;14(7):368-72.
63. Larsson L, Karlsson J. Isometric and dynamic endurance as a function of age and skeletal muscle characteristics. *Acta Physiol Scand*. 1978;104(2):129-36.
64. Lexell J, Downham D. What determines the muscle cross-sectional area? *J Neurol Sci*. 1992;111(1):113-4.
65. Lexell J, Downham D. What is the effect of ageing on type 2 muscle fibres? *J Neurol Sci*. 1992;107(2):250-1.
66. Benelli P, Ditroilo M, Forte R, De Vito G, Stocchi V. Assessment of post-competition peak blood lactate in male and female master swimmers aged 40-79 years and its relationship with swimming performance. *Eur J Appl Physiol*. 2007;99(6):685-93. Epub 2007/02/06.
67. Reaburn PR, Mackinnon LT. Blood lactate responses in older swimmers during active and passive recovery following maximal sprint swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990;61(3-4):246-50. Epub 1990/01/01.
68. Robison S. EHT, and Dill DB. New records in human power. 1938;85:p. 409-10.
69. Hill AV, Lupton, H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *QJM: An International Journal of Medicine*. 1923;16(62):135-71.
70. Astrand PO. Experimental studies of physical work capacity in relation sex and age. Copenhagen: Ejnar Munksgaard; 1952.
71. Wilmore JH, and Costill, DL. *Physiology of Sport and Exercise: 3rd Edition*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2005.
72. Fernandes RJ, Marinho DA, Barbosa TM, Vilas-Boas JP. Is time limit at the minimum swimming velocity of VO₂ max influenced by stroking parameters? *Perceptual and Motor Skills*. 2006;103(1):67-75.
73. Kobayashi, K., Kitamura, K., Miura, M., Sodeyama, H., Murase, Y., Miyashita M. Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. *Journal of Applied Physiology*. 1978;44(5):666-672.

74. Sprynarova S, Parizkova J, Bunc V. Relationships between body dimensions and resting and working oxygen-consumption in boys aged 11 to 18 years. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1987;56(6):725-736.
75. Lätt, E., Jürimäe, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P., Jürimäe, T. Longitudinal development of physical and performance parameters during biological maturation of young male swimmers. *Percept Mot Skills*. 2009;108(1):297-307.
76. Lätt, E., Jürimäe, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P., Jürimäe, T. Physical development and swimming performance during biological maturation in young female swimmers. *Coll Antropol*. 2009;33(1):117-22.
77. Mirwald, R. L. & Bailey, D. A. Maximal aerobic power. London: Sports Dynamics.; 1986.
78. Costill, D. L, Thomas, R., Robergs, R. A., Pascoe, D., Lambert, C., Barr, S. Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23(3):371-7.
79. Costa, MJ., Bragada, JA., Mejias, J., Marinho, DA., Louro, H., Silva, AJ., Barbosa, TM. Monitoring the elite swimmer's performance and energetical profile throughout a training season. In: UKSEM; Londres, 2011.
80. Costa, M, Bragada, J., Mejias, E., Louro H., Marinho D., Silva A. J., Barbosa T. Stability of 200 elite freestyle's performance and energetical profile throughout a competitive season. *European Journal of Applied Physiology*. in press.
81. Costa, M. J., Bragada, J. A., Mejias, J.E., Louro, H., Barbosa, T. M. Contributo dos factores antropométricos, bioenergéticos e biomecânicos para a performance de nadadores de elite no pico de forma na época de verão. *Motricidade*. 2012: p. 27- 34.
82. Hawkins, S. A, Wiswell, R. A. Rate and mechanism of maximal oxygen consumption decline with aging - Implications for exercise training. *Sports Medicine*. 2003;33(12):877-88.
83. Hagberg, J. M. Effect of training on the decline of VO₂max with aging. *Fed Proc*. 1987;46(5):1830-3.
84. Brown, S. J., Ryan, H. J, Brown, J. A. Age-associated changes in VO₂ and power output - A cross-sectional study of endurance trained New Zealand cyclists. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2007;6(4): 477-83.
85. Fitzgerald, MD., Tanaka H, Tran ZV, Seals DR. Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary women: a meta-analysis. *J Appl Physiol*. 1997;83(1):160-165.

86. Hagberg, J. M, Allen, W. K., Seals, D. R., Hurley, B. F., Ehsani, A. A., Holloszy, J. O. A hemodynamic comparison of young and older endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol.* 1985;58(6):2041-6.
87. Heath GW, Hagberg JM, Ehsani AA, Holloszy JO. A physiological comparison of young and older endurance athletes. *Journal of Applied Physiology.* 1981;51(3):634-40.
88. Hawkins SA, Marcell TJ, Jaque SV, Wiswell RA. A longitudinal assessment of change in VO₂max and maximal heart rate in master athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 2001;33(10):1744-50.
89. Kasch FW, Boyer JL, Schmidt PK, Wells RH, Wallace JP, Verity LS, et al. Ageing of the cardiovascular system during 33 years of aerobic exercise. *Age and Ageing.* 1999;28(6):531-6.
90. Rogers MA, Hagberg JM, Martin WH, Ehsani AA, Holloszy JO. Decline in VO₂max with aging in master athletes and sedentary men. *J Appl Physiol.* 1990;68(5):2195-9.
91. Sultana F, Abbiss CR, Louis J, Bernard T, Hausswirth C, Brisswalter J. Age-related changes in cardio-respiratory responses and muscular performance following an Olympic triathlon in well-trained triathletes. *Eur J Appl Physiol.* 2011.
92. Schmidt-Nielsen K. Locomotion: energy cost of swimming, flying, and running. *Science.* 1972;177(4045):222-8.
93. di Prampero PE, Pendergast DR, Wilson DW, Rennie DW. Energetics of swimming in man. *J Appl Physiol.* 1974;37(1):1-5.
94. Pendergast D, Zamparo P, di Prampero PE, Capelli C, Cerretelli P, Termin A. Energy balance of human locomotion in water. *Eur J Appl Physiol.* 2003;90(3-4):377-86.
95. Costill DL, Kovalski J, Porter D, Kirwan J, Fielding R, King D. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med.* 1985;6(5):266-70.
96. di Prampero PE. The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med.* 1986;7(2):55-72.
97. Chatard JC, Lavoie JM, Lacour JR. Energy cost of front-crawl swimming in women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991;63(1):12-6.
98. Montpetit R, Cazorla G., Lavoie J. M. Energy expenditure during front crawl swimming: a comparison between males and females. In: Ungherechts BE, Wilke, K.,

Reischle, K. (eds), editor. In: *Swimming Science V*. Champaign, Illinois: Human Kinetics; 1988. p. p. 229-36.

99. Caputo F. Fatores intrínsecos do custo energético da locomoção durante a natação. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2006 Setembro:399-404.

100. Poujade B, Hautier CA, Rouard A. Determinants of the energy cost of front-crawl swimming in children. *European Journal of Applied Physiology*. 2002;87(1):1-6.

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

102. Chatard JC, Lavoie JM, Bourgoin B, Lacour JR. The contribution of passive drag as a determinant of swimming performance. *Int J Sports Med*. 1990;11(5):367-72.

103. Nigg M. Biomechanics of the the musculo-skeletal system 2rd edition. In: Nigg BM, & Herzog, W., editor. *Biomechanics of the the musculo-skeletal system 2rd edition*: John Wiley & Sons; 1999. p. p 2.

104. Barbosa TM, Fernandes RJ, Keskinen KL, Vilas-Boas JP. The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*. 2008;103(2):139-49.

105. Craig AB, Pendergast DR. Relationships of stroke, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1979;11(3):278-83.

106. Zamparo P, Pendergast DR, Mollendorf J, Termin A, Minetti AE. An energy balance of front crawl. *European Journal of Applied Physiology*. 2005;94(1-2):134-44.

107. Craig AB, Skehan PL, Pawelczyk JA, Boomer WL. Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1985;17(6):625-34.

108. Jurimae J, Haljaste K, Cicchella A, Latt E, Purge P, Leppik A, et al. Analysis of swimming performance from physical, physiological, and biomechanical parameters in young swimmers. *Pediatric Exercise Science*. 2007;19(1):70-81.

109. Kjendlie PL, Stallman RK, Stray-Gundersen J. Adults have lower stroke rate during submaximal front crawl swimming than children. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91(5-6):649-55.

110. Silva AJ, editor. Estudo de indicadores cinemáticos gerais em provas de estilo livre. XVII Congresso Técnico da APTN; 1994; Figueira da Foz: APTN.

111. Klentrou PP, Montpetit RR. Energetics of backstroke swimming in males and females. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(3):371-5.

112. Wakayoshi K, D'Acquisto LJ, Cappaert JM, Troup JP. Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *Int J Sports Med.* 1995;16(1):19-23.
113. Smith HK, Montpetit RR, Perrault H. The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1988;58(1-2):182-8.
114. Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes R, Colaco P, Carmo C, Vilas-Boas JP. Relationships between energetic, stroke determinants, and velocity in butterfly. *International Journal of Sports Medicine.* 2005;26(10):841-6.
115. Wakayoshi K, D'Acquisito J., Cappert J. M., Troup J. P. Relationship between metabolic parameters and stroking technique characteristics in front crawl. In: Troup JP, Hollander, A. P., Strasse, D., Trappe, S.W., Cappaert, J. M., Trappe, T. A. (eds), editor. In: *Biomechanics and medicine in swimming VII.* London: E & FN Spon; 1996. p. pp 152 -8.
116. Toussaint HM, Carol A, Kranenborg H, Truijens MJ. Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(9):1635-42.
117. Termin B., and Pendergast D. Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and meabolic paradigms. *Journal Swimming Research.* 2000;14:9-17.
118. Sánchez JA, Arellano, R. "Stroke index values according to level, gender, swimming style and event race distance". In: Gianikellis K, editor. In: *XXth International Symposium on Biomechanics in Sports.* Cáceres2002. p. 56- 9.
119. Huijing P, Hollander, A., de Groot, G. Efficiency and specificity of training in swimming: an editorial. In: Hollander AH, P. de Groot G, editor. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming.* Champaign, Illinois:: Human Kinetics; 1983. p. 1-6.
120. de Groot G, van Ingen Schenau, G. Fundamental mechanics applied to swimming: technique and propelling efficiency. In: Ungerechts B, Wilke, K., Reischle, K., editor. In: *Swimming Science V.* Champaign, Illinois: Human Kinetics Books; 1988. p. 17-29.
121. Toussaint H, Hollander, A., de Groot, G., van Ingen Schenau G., Vervon, K., de Best H., Meulemans., T., Schreurs, W. Measurement of efficiency in swimming man. In: Ungerechts B, Wilke, K., Reischle, K. (eds.), editor. In: *Swimming Science V.* Champaign, Illinois: Human Kinetics Books; 1988. p. p.45- 52.

122. Webb PW. The swimming energetics of trout. I. Thrust and power output at cruising speeds. *J Exp Biol.* 1971;55(2):489-520.
123. Martin RB, Yeater RA, White MK. A simple analytical model for the crawl stroke. *J Biomech.* 1981;14(8):539-48.
124. Zamparo P, Pendergast DR, Termin A, Minetti AE. Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness. *European Journal of Applied Physiology.* 2006;96(4):459-70.
125. Zamparo P, Bonifazi M, Faina M, Milan A, Sardella F, Schena F, et al. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *European Journal of Applied Physiology.* 2005;94(5-6):697-704.
126. Winter D. *Biomechanic and motor control of human movement.* Chichester: John Wiley and sons.; 1990.
127. Toussaint HM. Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(3):409-15.
128. Cappaert J, Franciosi, P., Langhand, G., & Troup, J. Indirect calculation of mechanical and propelling efficiency during freestyle swimming. In: Maclaren D, Reilly, T. & Lees, A. (Eds.), editor. London: In: *Biomechanics and Medicine in Swimming VI.* E & FN Spon.; 1992. p. pp 53 - 6.
129. Zamparo P, Lazzar S, Antoniazzi C, Cedolin S, Avon R, Lesa C. The interplay between propelling efficiency, hydrodynamic position and energy cost of front crawl in 8 to 19-year-old swimmers. *European Journal of Applied Physiology.* 2008;104(4):689-99.
130. Laffite LP, Vilas-Boas JP, Demarle A, Silva J, Fernandes R, Billat VL. Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. *Canadian Journal of Applied Physiology-Revue Canadienne De Physiologie Appliquee.* 2004;29:S17-S31.
131. Leger LA, Seliger V, Brassard L. Backward extrapolation of VO_2 max values from the O_2 recovery curve. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 1980;12(1):24-7.
132. Montpetit RR, Leger LA, Lavoie JM, Cazorla G. VO_2 peak during free swimming using the backward extrapolation of the O_2 recovery curve. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology.* 1981;47(4):385-91.

133. di Prampero P, Pendergast, D., Wilson, D., Rennie, D. Blood lactatic acid concentrations in high velocity swimming. In: Eriksson B, Furberg, B. (eds), editor. In: Swimming medicine IV. Baltimore: University Park Press; 1978. p. pp 249 - 61.
134. Hartley AA, Hartley JT. Asolute and relative declines with age in champion swimming performances - response. *Experimental Aging Research*. 1984;10(3):151-3.
135. Minetti AE. The biomechanics of skipping gaits: a third locomotion paradigm? *Proc Biol Sci*. 1998;265(1402):1227-35.
136. Costill DL, Kovaleski J, Porter D, Kirwan J, Fielding R, King D. Energy-expenditure during front crawl swimming - predicting sucess in middle-distance events. *International Journal of Sports Medicine*. 1985;6(5):266-70.
137. Ferguson CJ. An effect size primer: A guide for clinicians and researchers. *Professional Psychology*. 2009;40:532 - 538.
138. Trochim w. *Research Methods Knoweldge Base*, 2nd.: Publishing, Cincinnati; 2000.
139. di Prampero PE, Dekerle J, Capelli C, Zamparo P. The critical velocity in swimming. *European Journal of Applied Physiology*. 2008;102(2):165-71.
140. Vilas-Boas JP, Costa L, Fernandes RJ, Ribeiro J, Figueiredo P, Marinho D, et al. Determination of the Drag Coefficient During the First and Second Gliding Positions of the Breaststroke Underwater Stroke. *Journal of Applied Biomechanics*. 2010;26(3):324-331.
141. Cardoso C, Fernandes, R., Magalhães, J., Santos, P., Colao, P., Soares, S., Carmo, C., Barbosa, T., Vilas-Boas, J. P. Comparison of continuous and intermittent incremental protocols for direct VO₂max assessment. In: Chatard JC, editor. In *Biomechanics and Medicine In Swimming IX: l'Universite' de Saint-tienne.*; 2003. p. 313-318.
142. Shephard RJ. Tests of maximum oxygen intake. A critical review. *Sports Med*. 1984;1(2):99-124.
143. Zamparo P, Capelli C, Pendergast D. Energetics of swimming: a historical perspective. *European Journal of Applied Physiology*. 2011;111(3):367-78.
144. Maroco J. *Análise Estatística – Com Utilização do SPSS*. Lisboa: Europress; 2010.
145. Ryan R, Coyle, E., Quick, R. Blood lactate profile throughout a training season in elite female swimmers. *J Swim Res*. 1990;6(3):5 - 10.

146. Anderson ME, Hopkins WG, Roberts AD, Pyne DB. Monitoring seasonal and long-term changes in test performance in elite swimmers. *European Journal of Sport Science*. 2006;6(3):145-54.
147. Stocker D, Pink, M., and Jobe, F. W. Comparison of shoulder injury in collegiate and master level swimmers. In: Troup JP, Hollander, A. P., Strasse, D., Trappe, S. W., Cappaert, J. M., and Trappe, T. A., editor. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*. London: E&FN Spon; 1996. p. p. 90-5.
148. Baker AB, Tang YQ, Turner MJ. Percentage decline in masters superathlete track and field performance with aging. *Exp Aging Res*. 2003;29(1):47-65.
149. Pollock ML, Mengelkoch LJ, Graves JE, Lowenthal DT, Limacher MC, Foster C. Twenty-year follow-up of aerobic power and body composition of older track athletes. *Journal of Applied Physiology*. 1997;82(5):1508-16.
150. Wiswell RA, Hawkins SA, Jaque SV, Hyslop D, Constantino N, Tarpinning K, et al. Relationship between physiological loss, performance decrement, and age in master athletes. *Journals of Gerontology Series a-Biological Sciences and Medical Sciences*. 2001;56(10):M618-M26.
151. Hagerman FC, Fielding RA, Fiatarone MA, Gault JA, Kirkendall DT, Ragg KE, et al. A 20-yr longitudinal study of Olympic oarsmen. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(9):1150-6.
152. Marcell TJ, Hawkins SA, Tarpinning KM, Hyslop DM, Wiswell RA. Longitudinal analysis of lactate threshold in male and female master athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(5):810-7.
153. Trappe SW, Costill DL, Vukovich MD, Jones J, Melham T. Aging among elite distance runners: a 22-yr longitudinal study. *J Appl Physiol*. 1996;80(1):285-90.
154. Rittweger J, di Prampero PE, Maffulli N, Narici MV. Sprint and endurance power and ageing: an analysis of master athletic world records. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*. 2009;276(1657):683-9.
155. Zamparo P, Gatta G, di Prampero PE. The determinants of performance in master swimmers: an analysis of master world records. *Eur J Appl Physiol*. 2012.
156. Barbosa TM, Fernandes R, Keskinen KL, Colaço P, Cardoso C, Silva J, et al. Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *Int J Sports Med*. 2006;27(11):894-9.

157. Pendergast DR, di Prampero PE, Craig AB, Wilson DR, Rennie DW. Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J Appl Physiol.* 1977;43(3):475-9.
158. Holmér I. Swimming physiology. *Ann Physiol Anthropol.* 1992;11:269 - 76.
159. Termin B, Pendergast, D. R.,. Training using the stroke frequency– velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *J Swim Res.* 2001;14:9-17.
160. Ratel S, Poujade B. Comparative analysis of the energy cost during front crawl swimming in children and adults. *European Journal of Applied Physiology.* 2009;105(4):543-9.
161. Zamparo P, Dall'ora A, Toneatto A, Cortesi M, Gatta G. The determinants of performance in master swimmers: a cross-sectional study on the age-related changes in propelling efficiency, hydrodynamic position and energy cost of front crawl. *Eur J Appl Physiol.* 2012.
162. Seifert L, Toussaint HM, Alberty M, Schnitzler C, Chollet D. Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. *Human Movement Science.* 2010;29(3):426-39.
163. Seifert L, Chollet D, Chatard JC. Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(10):1784-93.