

Caracterização biomecânica e coordenativa das técnicas simultâneas em natação pura desportiva

Dissertação apresentada com vista à obtenção do 2º ciclo em Treino Desportivo, especialização em Treino de Alto Rendimento, da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, ao abrigo do Decreto-Lei nº 74/2006, de 24 de março, na redação dada pelo Decreto-Lei nº 65/2018 de 16 de agosto.

Orientador: Professor Doutor Ricardo Jorge Pinto Fernandes

Coorientadores: Professor Doutor Mário Jorge de Oliveira Costa

Professor Doutor Bruno Mezêncio Leal Resende

Violante Pascoal e Sá Fontoura

Porto, 2023



Fontoura, V. (2023). Caracterização biomecânica e coordenativa das técnicas simultâneas em natação pura desportiva. Dissertação de 2º ciclo em Treino Desportivo, especialização em Alto Rendimento. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Palavras-Chave: NATAÇÃO, TÉCNICA SIMULTÂNEAS, CINEMÁTICA, TREINO

Agradecimentos

Com o findar de um longo percurso académico, onde certamente foram vividos os melhores anos do resto da nossa vida, gostava de manifestar a minha emoção, gratidão e admiração àquelas que, de longe ou perto, tornaram possível este caminho. Assim, desde já agradeço a todos eles o indeterminável apoio.

Sendo assim, gostaria de deixar umas palavras de apreço a quem me presenteou com a sua colaboração, ajuda e incentivo.

- Ao Prof. Dr. Ricardo Fernandes, que me vem orientando ao longo do meu percurso académico, que aceitou ser o meu orientador neste trabalho, que apesar dos meus constrangimentos, sempre me deu confiança para concluir os estudos;
- Ao Prof. Dr. Mário Costa por ter aceitado ser o meu coorientador, agradeço toda a ajuda que me deu, principalmente, na parte final do desenvolvimento da dissertação e pela disponibilidade com que me recebeu;
- À Prof. Dra. Susana Soares, por apesar de não ser minha orientadora, nem coorientadora, por sempre me dar uma palavra de apoio e ajuda;
- Ao Prof. Dr. Bruno Mezêncio por ter aceitado ser o meu coorientador, por me ter ajudado a realizar um trabalho que seria impossível sem a sua ajuda e todo o conhecimento transmitido;
- À estudante de 3º ciclo em Ciências do Desporto, Aléxia Fernandes, por toda a ajuda, disponibilidade e conhecimento transmitido;
- A todos os nadadores que constituíram a amostra desta dissertação (e seus treinadores e clubes), bem como todos os colaboradores que participaram nas avaliações pela disponibilidade e compromisso;
- Aos meus pais, pela paciência e resiliência que tiveram comigo ao longo destes 3 anos, por nunca me deixarem desistir e me encorajarem a seguir os meus sonhos e ambições;

- Aos meus amigos, Martinho, Ricardo, Mariana, Nuno, Diogo Chorão, Beatriz, Catarina, Zé, Catarina e Patrícia, que ao longo destes três anos em que estive a desenvolver este estudo, me ouviram a dizer sempre a mesma coisa e que à maneira deles, me impulsionaram para terminar o processo;
- À minha comissão de praxe por tanto que me ensinou sobre as pessoas e sobre a vida e pelo carinho e amor que deu ao meu percurso académico: “UBUNTU”. Sei que os levo para a vida;
- À AEFADUEP, que fez parte do meu curso académico, que me acolheu durante cinco anos, um obrigada não chega. A todas as pessoas que por lá passaram e me ajudaram a tornar na pessoa que sou hoje;
- Aos comanditas e comandantes por todas as histórias que vivemos durante estes belos anos e que continuamos a viver.
- Aos meus padrinhos e afilhadas, que sem eles, a faculdade não teria sido a mesma coisa, sei que os tenho para a vida e que serão sempre o melhor que levo destes anos.

Índice

Agradecimentos	IV
Índice de Tabelas	VIII
Índice de Figuras	X
Índice de Equações	XI
Resumo	XIII
Abstract	XV
Lista de abreviaturas	XVII
1. Introdução	1
2. Material e Métodos	6
3. Resultados	17
4. Discussão	23
5. Conclusão	28
6. Sugestões para estudos futuros	30
7. Referências bibliográficas	32

Índice de Tabelas

Tabela 1	Valores médios $\pm$ desvio padrão da idade e principais características antropométricas dos nadadores.	5
Tabela 2	Valores médios $\pm$ desvio padrão da caracterização global do ciclo dos nadadores na técnica de bruços.	15
Tabela 3	Valores médios $\pm$ desvio padrão da duração das fases propulsivas e não propulsivas do ciclo dos MS dos nadadores na técnica de bruços.	16
Tabela 4	Valores médios $\pm$ desvio padrão da duração das fases propulsivas e não propulsivas do ciclo dos MI dos nadadores na técnica de bruços.	16
Tabela 5	Valores médios $\pm$ desvio padrão do TG dos nadadores na técnica de bruços.	17
Tabela 6	Valores médios $\pm$ desvio padrão da caracterização global do ciclo dos nadadores na técnica de mariposa.	18
Tabela 7	Valores médios $\pm$ desvio padrão da duração das fases propulsivas e não propulsivas do ciclo de braçada dos nadadores na técnica de mariposa.	18

Tabela 8	Valores médios $\pm$ desvio padrão das variáveis de tempo durante um percurso de nado dos nadadores na técnica de mariposa.	19
Tabela 9	Valores médios $\pm$ desvio padrão do TTG dos nadadores na técnica de mariposa.	19

Índice de figuras

Figura 1	Protocolo utilizado para registar o desempenho dos nadadores (os marcadores foram colocados no chão da piscina).	6
Figura 2	Fases de cada ciclo dos MS da técnica de bruços. Início do deslize dos MS (A), início da propulsão dos MS (ALE+AD; B), início da impulsão dos cotovelos (ALI; C), início da primeira fase da recuperação (D), início da segunda fase da recuperação (E).	9
Figura 3	Fases de cada ciclo dos MI da técnica de bruços. Início da propulsão dos MI (A), início da junção dos MI (B), início do deslize dos MI (C), início da primeira fase da recuperação (D), início da segunda fase da recuperação (E).	10
Figura 4	Fases de cada ciclo dos MS da técnica de mariposa. Entrada e início da ação lateral exterior (A), início da ação lateral interior (B), início da ação ascendente (C), início da recuperação (D), recuperação (E).	12
Figura 5	Fases de cada ciclo dos MI da técnica de mariposa. Início da primeira ação descendente (A), início da primeira ação ascendente (B), início da segunda ação descendente (C), início da segunda ação ascendente (D).	13

Índice de equações

Equação 1	$FG = \frac{1}{d}$	12
Equação 2	$DC = \frac{v}{FG}$	13
Equação 3	$iv = \frac{Max_{Leg} - Min_{Leg} + Max_{Arm} - Min_{Transitional}}{v}$	13

Resumo

Os parâmetros biomecânicos e coordenativos englobam diversas variáveis que servem como indicadores da performance do nadador e que assentam nas acelerações e desacelerações resultantes da alternância entre forças propulsivas e de arrasto. O objetivo desta dissertação centrou-se na comparação dos parâmetros biomecânicos e coordenativos nas técnicas simultâneas entre nadadores de diferente nível competitivo. Quarenta e cinco nadadores foram agrupados consoante a sua especialidade de nado (bruços, N = 21; mariposa, N = 24) e posteriormente categorizados, dentro de cada técnica, como nadadores de elite ou nadadores de bom nível, usando a pontuação FINA como critério. Os nadadores realizaram 25m à intensidade máxima permitindo obter posteriormente, através das imagens recolhidas, as coordenadas reais no tempo obtidas através da sua posição relativa e da posição real da câmara para o cálculo das variáveis biomecânicas e coordenativas. Foram realizadas análises de ciclos por inspeção visual e interindividual. Os resultados demonstraram que os nadadores de elite apresentam menores valores de variações intracíclicas de velocidade em comparação com os nadadores de bom nível. Isto é um indicativo da sua maior habilidade em controlar e otimizar as variáveis biomecânicas ao longo dos ciclos de nado, ara um desempenho superior. As variações observadas podem ser explicadas pelo nível dos grupos e pelos constrangimentos a que o movimento humano está sujeito.

PALAVRAS-CHAVE: NATAÇÃO, TÉCNICA SIMULTÂNEAS, CINEMÁTICA, TREINO

Abstract

Biomechanical and coordinative parameters encompass several variables that serve as indicators of the swimmer's performance, showing the accelerations and decelerations resulting from the alternation between propulsive and drag forces. The aim of this dissertation was to compare biomechanical and coordination parameters in simultaneous techniques between elite and top-level swimmers. Forty-five swimmers performed 25m at maximum intensity, with twenty-one swimmers performing 25m in the breaststroke technique and twenty-four swimmers performing 25m in the butterfly technique. The real time coordinates of the swimmers were derived from their relative position and the real position of the camera to calculate the biomechanical and coordination variables. The swimmers were divided into groups, one of elite swimmers and the other of good-level swimmers, in each technique, using the FINA score as a criterion. Cycle analysis was carried out by visual inspection and inter-individual analysis of the variables. The results showed that elite swimmers have lower values for intracyclic variations (viv) in speed compared to top-level swimmers. This is indicative of their greater ability to control and optimize biomechanical variables throughout the swimming cycles, for superior performance. The variations observed are due to the level of the groups and the constraints of human movement.

KEYWORDS: SWIMMING, SIMULTANEOUS TECHNIQUE, KINEMATICS, TRAINING

Lista de Abreviaturas

AA	Ação ascendente
AD	Ação descendente
ALE	Ação lateral exterior
ALI	Ação lateral interior
C	Custo energético
CM	Centro de massa
DC	Distância de ciclo
De	Deslize
DP	Desvio padrão
E	Entrada
FG	Frequência gestual
WAPS	World aquatics point scoring
IdC	Índice de coordenação
MI	Membros inferiores
MS	Membros superiores
R	Recuperação
v	Velocidade
viv	Variação intracíclica da velocidade
TG	Intervalo de tempo na técnica de bruços
TTG	Intervalo de tempo na técnica de mariposa

1. Introdução

A Natação Pura Desportiva é uma modalidade individual, cíclica e contínua, tendo como principal objetivo que os nadadores completem uma determinada distância no menor tempo possível. O rendimento desportivo nesta modalidade está dependente de diversos fatores, nomeadamente os biomecânicos e bioenergéticos (Barbosa et al., 2010; Marinho et al., 2007), genéticos, contextuais, psicológicos (Fernandes et al., 2008), hidrodinâmicos (Moraes et al., 2012) e antropométricos (Jürimäe et al., 2007). Sendo assim, a performance de um nadador relaciona-se com a minimização do arrasto hidrodinâmico que se opõe ao seu deslocamento e da capacidade de gerar força propulsiva (Martinez et al., 2011; Vilas-Boas et al., 2001), sendo otimizado através da melhoria do padrão biomecânico (Vantorre et al., 2014) e da técnica de nado (Scortenschi, 2019).

A prevalência das forças propulsivas e de arrasto está dependente das características do meio aquático, que estabelece tanto um suporte para a propulsão como uma resistência ao movimento do nadador (Guignard & Seifert, 2019). As propriedades estruturais e funcionais do nadador (e.g. antropometria) e o objetivo da tarefa também condicionam a forma como o deslocamento na água é realizado. Como o movimento humano em geral é extremamente complexo (Amadio, 1996) e depende de limitações ambientais, do organismo e da tarefa (Newell, 1986), bem como de experiências individuais, o seu comportamento envolve grande variabilidade (Seifert et al., 2007b; Stergiou, 2004). Assim, a dinâmica do movimento é caracterizada pela interação contínua destas limitações.

Considerando a importância dos fatores biomecânicos influenciadores do rendimento do nadador, assim como a sua relação com a velocidade de nado (v), torna-se essencial estudá-la cada vez mais detalhadamente. Isso permitirá que o treino em natação pura desportiva possa ser melhor objetivado (Fernandes, 2015) e pautado pelo conhecimento técnico dos seus pontos fortes e fracos para melhorar a eficiência dos movimentos do nadador (Barbosa et al., 2013; Vilas-Boas et al., 2011). Sendo a análise biomecânica um método de descrever e moldar matematicamente o desempenho de um desportista

(Amadio, 1996), as metodologias existentes estão a tornar-se cada vez mais exatas e consistentes (Fernandes et al., 2010). Uma das áreas de maior aplicação biomecânica no treino desportivo em geral e à natação pura desportiva em particular é a cinemática, a qual permite descrever as características da ação dos membros superiores, nomeadamente a distância de ciclo, a frequência gestual e o índice de nado (Chollet, Chabies e Chatard, 2000).

Existem diversas metodologias de determinação da v de nado, entre as quais a avaliação de um ponto de referência como o centro de massa (CM) e a anca, utilizando um velocímetro (Costil et al., 1987; Krapovich & Karpovich, 1970; Morouço et al., 2006) e a digitalização de imagens (Barbosa et al., 2006), através da reconstrução 2D e 3D do movimento do CM (Fernandes et al., 2012; Leblanc et al., 2007). Embora este último procedimento seja o mais válido para caracterizar o movimento completo do nadador, o seu cálculo é bastante complexo e demorado (Fernandes et al., 2012; Gourgoulis et al., 2018; Vilas-Boas et al., 2011). De facto, a v da anca não representar com fidelidade a velocidade do CM (Mason et al., 1992; C. Maglisho, E. Maglisho & Santos, 1987), ambas as metodologias seguem o mesmo padrão de acelerações positivas e negativas (Gourgoulis et al., 2018; Vilas-Boas et al., 2011), o que faz da sua utilização da anca um ponto anatómico útil para se interpretar a v do nadador.

As variações intracíclicas de velocidade (v_{iv}) nas diferentes técnicas de nado são fundamentais a um nível biomecânico (Alves, Santos, Veloso, Correia & Pereira, 1994; Ungerechts, 1988) produzindo efeitos a nível energético (Barbosa et al., 2005). Nas técnicas simultâneas valores de v_{iv} superiores relativamente às técnicas alternadas (Hólmer, 1983; Nigg, 1983), o que parece ser explicado pelo facto das principais ações segmentares propulsivas serem aplicadas em simultâneo, o que faz com que, após a aplicação das forças propulsivas, haja um momento de frenagem devido à recuperação dos membros e consequente aumento do arrasto hidrodinâmico.

Neste sentido, o corpo do nadador não se move a uma velocidade constante uma vez que os segmentos propulsivos alteram constantemente o seu movimento, sendo responsáveis pela variação da velocidade do CM em cada ciclo gestual (Barbosa et al., 2005). Durante um ciclo completo, o corpo do

nadador é desacelerado devido ao arrasto hidrodinâmico, sendo preciso reacelerar a sua massa num novo ciclo gestual (Vilas-Boas, 1997), o que promove um maior consumo energético (C) como consequência do aumento das viv (Vilas-Boas, 1996). Nesse sentido, parece existir uma relação direta entre o C e as viv, onde um aumento das viv promove um aumento significativo do C, exceto a bruços (Barbosa et al., 2006).

Foi a partir de estudos pioneiros de Chatard et al. (1990) e Chollet et al. (2000) que se começou a utilizar o tempo existente entre ações dos membros superiores nas técnicas alternadas para quantificar de forma objetiva o índice de coordenação (IdC). Este, nas técnicas alternadas, é calculado pela diferença entre o início da fase propulsiva do primeiro membro superior direito e o final da fase propulsiva do segundo membro superior contralateral (Chollet et al, 2000). Inicialmente direcionado para a técnica de crol, o IdC foi posteriormente adaptado às restantes técnicas de nado. No que se refere às técnicas simultâneas a coordenação é medida pela sincronização temporal das ações propulsivas dos membros inferiores com os membros superiores (Chollet et al., 2004). O IdC tende a ser nulo ou negativo quando há aumento da v, pois existe uma tendência para adotar uma sincronização de oposição ou sobreposição (Seifert et al., 2007b). No entanto, a v de nado mais elevada, ao estar associada a uma menor viv (Figueiredo et al., 2012; Vilas-Boas et al., 2010), parece relacionar diretamente o IdC com as viv, em que as adaptações da duração das fases propulsivas sustentam a estabilidade das viv (Figueiredo et al., 2008; Schnitzler et al., 2008).

A qualidade técnica de cada nadador está dependente do seu nível competitivo e, por isso, é expectável que se observem comportamentos distintos quando estes são analisados ao longo da época (Costa et al., 2012). Desta forma, o treino dos nadadores deve ser regularmente monitorizado, de modo a adequar a prescrição do treino ao desempenho destes com base nas características particulares de cada um (Marinho et al., 2011). O que a literatura demonstra é que os melhores nadadores possuem menores viv, sugerindo que estas se relacionam inversamente com o elevado nível desportivo (Matsuda et al., 2014 e Morouço et al., 2015).

Para uma evolução do desempenho dos nadadores é preciso identificar os erros e corrigir aspetos técnicos que levam, por exemplo, à diminuição do arrasto hidrodinâmico (Sanders, 2008). Isto leva que o estudo das viv e das restantes variáveis biomecânicas e coordenativas tenha vindo a ser realizadas nas quatro técnicas de nado com o objetivo de entender as características dos ciclos gestuais, as suas acelerações e desacelerações e o seu comportamento (Mouroço et al., 2015; Vilas-Boas et al., 2011). Além disso, estudar a consistência dessas variáveis no decurso de ciclos de nado consecutivos possibilitará a constituição de um padrão de v repetível, caracterizando-se um ciclo típico particular de uma determinada técnica de nado e permitindo a deteção de erros sistemáticos.

Dado que existe uma carência de estudos do comportamento das viv entre ciclos de nado consecutivos, e de forma aprofundar a investigação neste âmbito, o objetivo desta dissertação centrou-se na comparação dos parâmetros biomecânicos e coordenativos nas técnicas simultâneas entre nadadores de elite e de bom nível desportivo. Neste enquadramento definiu-se como hipótese que os nadadores de elite apresentam menores valores de variação intracíclica da velocidade em comparação com os nadadores de bom nível. No entanto, uma menor variação intracíclica de velocidade deve produzir um nado mais eficiente para a mesma condição de arrasto hidrodinâmico (Fernandes et al., 2022; Gonjo et al., 2021).

Este trabalho é constituído por sete capítulos, iniciando-se com o da contextualização sobre o tema de estudo e formulação do respetivo objetivo e hipóteses. O segundo caracteriza-se pela caracterização da amostra, a metodologia e o material utilizado na avaliação e tratamento de dados. O capítulo seguinte aborda os resultados obtidos e subdivide-se nas análises dos ciclos por inspeção visual e por variáveis biomecânicas e coordenativas inter-individuais dos grupos formados. O quarto e quinto capítulos representam a secção da discussão, onde se justifica a metodologia utilizada e se confrontam os resultados obtidos com os existentes na literatura, seguida da secção das conclusões. As sugestões para o futuro são referentes ao capítulo seis e no último encontram-se as referências bibliográficas que serviram de suporte à realização desta dissertação.

2. Material e Métodos

No presente estudo participaram 44 nadadores que foram posteriormente divididos consoante a sua especialidade de nado. No grupo de mariposa (n = 23) participaram 11 nadadores de elite e 12 nadadores de bom nível. No grupo de bruços (n = 21) participaram 9 nadadores de elite e 12 nadadores de bom nível. Determinou-se que os nadadores incluídos no grupo de elite seriam nadadores participantes em Campeonatos Mundiais e Europeus com uma frequência superior a nove unidades de treino por semana, com aproximadamente 6000 m de volume. Já os nadadores incluídos no grupo de bom nível seriam participantes em Campeonatos Nacionais com uma frequência semanal superior a seis unidades de treino, com aproximadamente 4500 m de volume. O nível dos nadadores foi determinado de acordo com a *world aquatics point scoring* (WAPS) obtidos na sua melhor distância prova tomando como base a sugestão de estudos anteriores (Ruiz-Navarro, 2022). Na Tabela 1 encontram-se descritos os valores médios e respetivos desvio padrão (DP) das características da amostra.

Tabela 1. Valores médios $\pm$ DP da idade, altura e massa corporal dos nadadores.

		Elite (n= 11)	Bom Nível (n=12)
Mariposa (n=24)	Idade (anos)*	16,18 $\pm$ 1,19	15,92 $\pm$ 1,24
	Altura (cm)*	172,46 $\pm$ 7,30	168,58 $\pm$ 10,59
	Massa corporal (kg)*	64,83 $\pm$ 8,01	59,68 $\pm$ 10,00
	Índice de massa corporal (kg/m ²)	21,35 $\pm$ 1,14	17,63 $\pm$ 2,13
	WAPS	670,50 $\pm$ 72,39	405,58 $\pm$ 65,43
		Elite (n=9)	Bom Nível (n=12)
Bruços	Idade (anos)*	17,11 $\pm$ 1,70	15,58 $\pm$ 1,56
(n=21)	Altura (cm)*	175,33 $\pm$ 9,06	170,00 $\pm$ 9,15

Massa corporal (kg)*	67,28 ± 10,76	60,93 ± 9,33
Índice de massa corporal (kg/m ²)	21,03 ± 1,70	17,87 ± 2,13
WAPS	642,22 ± 93.66	410,42 ± 88,17

*diferenças entre grupos ($p < 0.05$)

O protocolo para a recolha de dados foi realizado numa piscina coberta de 25 m de comprimento por 12 metros de largura e 2 metros de profundidade. Após um período de aquecimento de 1000 metros incluindo 500m de nado normal/aquecimento e 500m de trabalho técnico/velocidade, os nadadores realizaram, de forma aleatória, 25 metros à intensidade máxima nas técnicas simultâneas sem partida do bloco e sem indicação de um padrão respiratório específico. No solo da piscina foram colocadas duas filas de 10 marcações cada uma com uma distância de 2,5 metros entre si, com o propósito de possibilitar a posterior calibração e transformação das coordenadas. Foram colocadas duas câmaras GoPro 6 (com 120 Hz de frequência de aquisição), com uma resolução de 1920 x 1080 pixels em modo wide no plano sagital, fixadas a um *charriot* tendo sido empurrado por um investigador ao longo dos 25 metros. As câmaras foram posicionadas dentro e fora de água (26 e 50 centímetros, respetivamente), registando simultaneamente o percurso do nadador (a uma distância de 2 metros) e tendo sido acionadas manualmente.

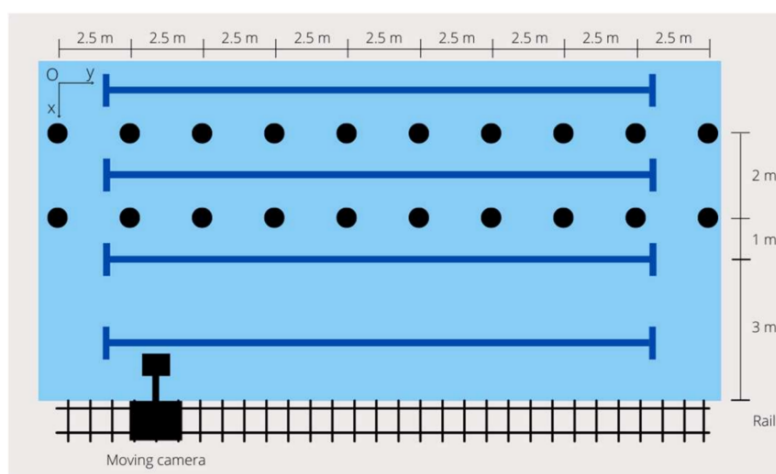


Figura 1. Protocolo utilizado para registar o desempenho dos nadadores (os marcadores foram colocados no chão da piscina; Fernandes et al., 2022).

Os vídeos foram salvos na memória interna das câmaras em formato mp4 por ser a opção padrão e não configurável. Sucessivamente, foram transferidos para um computador e convertidos em formato avi (raw rgb – uncompressed motion JPEG), sem áudio, utilizando-se o software open source Blender (versão 2.91), diminuindo assim a taxa de reprodução para posterior análise cinemática (Fernandes et al., 2022). Estas alterações foram necessárias para garantir a compatibilidade dos vídeos com os softwares em questão (visualização e análise), permitindo o seu corte nas zonas de interesse, isto é, desde o início da primeira ação até ao final da última ação completa dos MS (Fernandes et al., 2022).

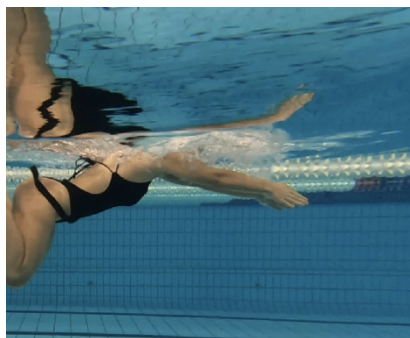
No MATLAB (versão 9.6) criou-se uma rotina em que as posições das marcações do solo da piscina foram digitalizadas para um posterior cálculo dos parâmetros extrínsecos da câmara, imagem a imagem, utilizando as coordenadas reais dos pontos (Fernandes et al., 2022). Posteriormente, a coordenada da anca foi digitalizada e vista como referência para uma melhor compreensão da posição do nadador (Fernandes et al., 2012) tendo-se calculado o seu vetor normalizado e a sua localização em relação à posição do sensor da câmara (que se localizava a 2 metros de distância). Para calcular a velocidade foram obtidas as derivadas no tempo das coordenadas reais do nadador e das câmaras, conseguidas através da sua posição relativa e real, respetivamente, tendo sido atenuadas com uma média móvel de cinco pontos de modo a eliminar erros (Mezêncio et al., 2020).

O processamento de imagens foi feito com o software open source Blender (versão 2.92), onde foram feitas as divisões dos ciclos de nado e identificação das suas fases através do plano sagital (Figura 2 e 4). Sendo esta metodologia um grau de dificuldade acrescido, a análise cinemática dos vídeos foi feita com uma visualização minuciosa da orientação da mão e cotovelo, imagem a imagem e em câmara lenta (Chatard et al., 1990). Para uma posterior avaliação da coordenação entre os membros superiores (MS) e membros inferiores (MI), a ação dos MI também foi marcada com os mesmos pressupostos (Figura 3 e 5).

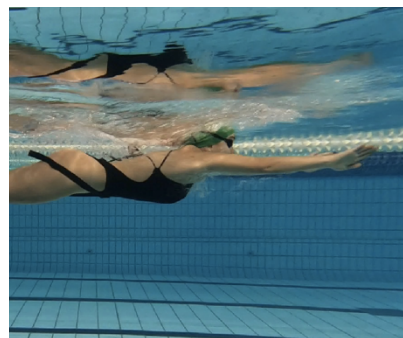
Um ciclo da ação dos MS, na técnica de bruços, inicia-se quando estes estão em deslize e após o mesmo, as mãos se afastam até ao momento imediatamente posterior à fase de recuperação das mesmas. A subdivisão do ciclo integrou

cinco fases (Chollet et al., 2004): (i) deslize dos MS, começando com o deslize dos MS até ao início do movimento das mãos para trás; (ii) propulsão dos MS (ação lateral exterior; ALE + ação descendente; AD), caracterizada pelo tempo inicial e final do movimento da mão para trás; (iii) impulsão do cotovelo (ação lateral interior; ALI), desde o final da fase anterior até ao momento em que os cotovelos se juntam num movimento para dentro e para trás. De acordo com Maglischo (2003), os cotovelos devem estar juntos e não os deixar cair contra as costelas, para que este seja uma ação propulsiva; (iv) primeira parte da recuperação (1ª R), onde inicia-se no final da fase anterior até que o braço e o antebraço formem um ângulo de 90°; (v) segunda parte da recuperação (2ª R), desde a posição final da 1ª R até a extensão dos MS (Chollet et al., 2004).

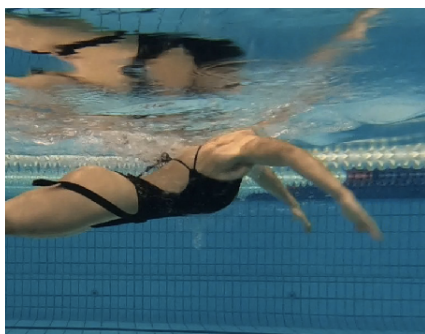
Complementarmente, um ciclo da ação dos MI foi subdividido, também, em cinco fases (Chollet et al., 2004), começando o ciclo com a ação propulsiva: (i) propulsão dos MI, começando a sua ação com os MI na sua máxima flexão; (ii) junção dos MI, inicia-se com os MI na sua máxima extensão até que estas se juntem; (iii) deslize dos MI, caracterizada pelo final da fase anterior até ao início da recuperação; (iv) primeira parte da recuperação (1ªR), do fim do deslize e até à flexão dos MI no ângulo de 90°; (v) segunda parte da recuperação (2ª R), desde a posição final da 1ª R até à máxima flexão dos MI (Chollet et al., 2004).



A



B



C



D



E

Figura 2. Fases de cada ciclo dos MS da técnica de bruços. Início do deslize dos MS (A), início da propulsão dos MS (ALE+AD; B), início da impulsão dos cotovelos (ALI; C), início da primeira fase da recuperação (D), início da segunda fase da recuperação (E).



A



B



C



D



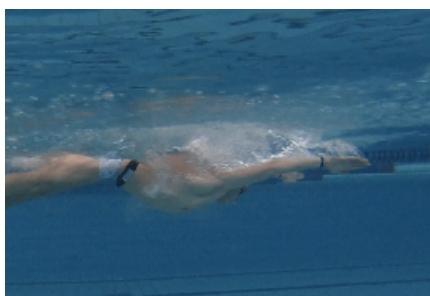
E

Figura 3. Fases de cada ciclo dos MI da técnica de bruços. Início da propulsão dos MI (A), início da junção dos MI (B), início do deslize dos MI (C), início da primeira fase da recuperação (D), início da segunda fase da recuperação (E).

Determinou-se para a técnica de mariposa que um ciclo da ação dos MS tem início no instante em que as mãos entram e se afastam até ao momento imediatamente à fase de recuperação das mesmas. De acordo com Chollet et al. (2006), o ciclo subdivide-se em quatro fases: (i) entrada (E) e ação lateral exterior (ALE), momento em que as mãos entram na água e iniciam o seu movimento para trás; (ii) ação lateral interior (ALI), caracterizado pelo final da fase anterior até à entrada dos MS no plano vertical dos ombros; (iii) ação ascendente (AA), correspondente ao momento do posicionamento das mãos junto dos MI até à fase de saída da água; (iv) recuperação (R), sendo esta a fase correspondente ao voo dos MS até à sua posterior entrada na água.

Adicionalmente o ciclo dos MI, na técnica de mariposa, foi também, subdividido em quatro fases (Chollet et al., 2006): (i) primeira ação descendente (AD), correspondendo à primeira ondulação, sendo esta a fase propulsiva da ação dos

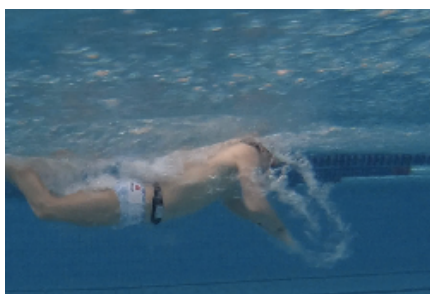
MI; (ii) primeira ação ascendente (AA), sendo esta o momento em que os MI se movem para cima, numa primeira ondulação; (iii) segunda ação descendente (AD), corresponde à segunda ondulação, caracterizado pelo movimento dos MI de cima para baixo; (iv) segunda ação ascendente (AA), caracterizado pela ação dos MI de baixo para cima, numa segunda ondulação. Para este estudo, só consideramos nadadores que fizessem as duas ações dos MI por cada ciclo de MS, sendo este o padrão ideal (Chollet et al., 2006).



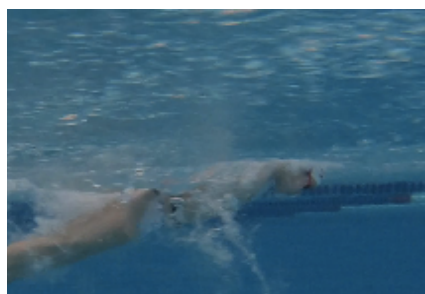
A



B



C



D



E

Figura 4. Fases de cada ciclo dos MS da técnica de mariposa. Entrada e início da ação lateral exterior (A), início da ação lateral interior (B), início da ação ascendente (C), início da recuperação (D), recuperação (E).

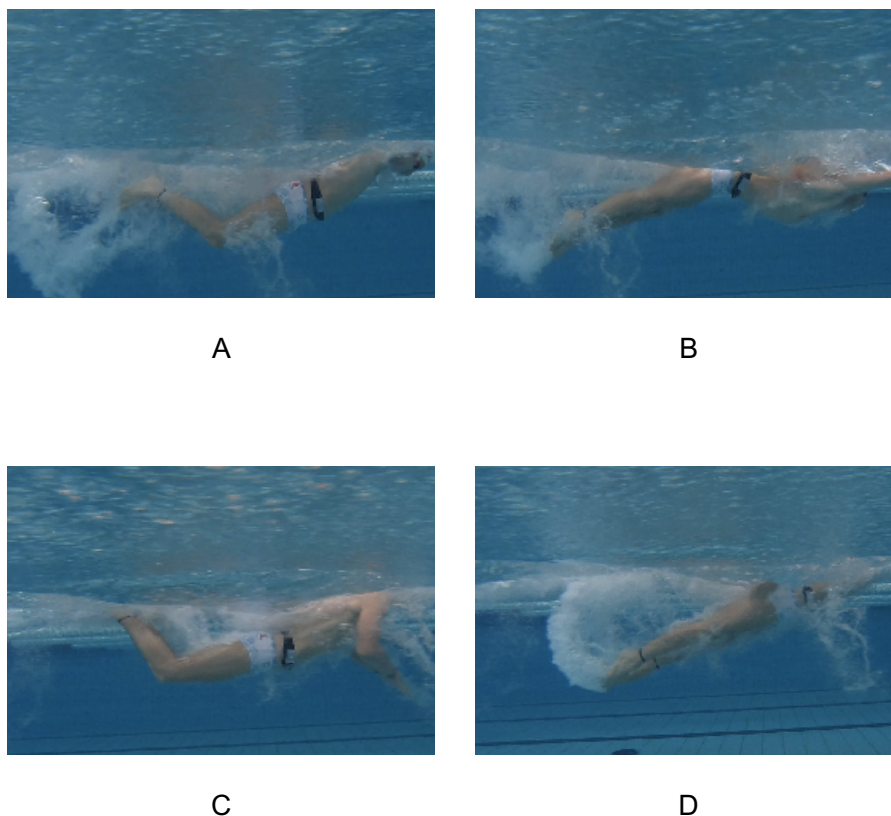


Figura 5. Fases de cada ciclo dos MI da técnica de mariposa. Início da primeira ação descendente (A), início da primeira ação ascendente (B), início da segunda ação descendente (C), início da segunda ação ascendente (D).

Tal como previamente descrito, para obtenção dos dados de todas as variáveis em estudo foi desenvolvida uma rotina MATLAB (versão 9.6) calculando a v média ($v_{\text{méd}}$), v mínima (v_{min}) e máxima ($v_{\text{máx}}$), obtendo-se os valores absolutos e relativos para v_{min} e $v_{\text{máx}}$. Assim, como variáveis determinaram-se a frequência gestual (FG), a distância de ciclo (DC), a flutuação intracíclica da velocidade (viv) e o índice de coordenação (IdC) para todos os nadadores. A FG foi calculada pelo inverso da duração dos ciclos de nado, em que d é a duração (Maglischo, 2003):

(Equação 1)

$$FG = \frac{1}{d}$$

A DC é um preditor da performance (Chollet et al., 1997; Seifert et al., 2007a), tendo sido obtida através da razão entre velocidade (v) e FG (Craig & Pendergast, 1979):

$$DC = \frac{v}{FG} \quad (\text{Equação 2})$$

A viv é um indicador de eficiência (Vilas-Boas, 1996; Barbosa et al., 2006; Leblanc et al., 2007; Vilas-Boas et al., 2011), sendo calculada com base na aceleração-desaceleração ao longo do ciclo de nado (Seifert et al., 2014):

$$viv = \frac{Max_{Leg} - Min_{Leg} + Max_{Arm} - Min_{Transitional}}{v} \quad (\text{Equação 3})$$

O intervalo de tempo (TG) entre MS e MI foi determinado pela medição dos intervalos de tempo entre as diferentes ações realizadas pelos membros motores, que por sua vez, nos permite avaliar as acelerações e desacelerações do movimento, isto é, os momentos propulsivos e não propulsivos da técnica, tanto na técnica de bruços como na técnica de mariposa (Chollet et al., 2004; Seifert et al., 2005). De acordo com os valores de TG foram caracterizados os padrões de coordenação, na técnica de bruços, tal como proposto Seifert e Chollet (2005): (i) T1, representa o tempo de deslize e subdivide-se em T1a (tempo entre o final da ação descendente dos MI e o início do movimento propulsivo dos MS) e T1b (tempo entre o final da ação lateral interior dos MI e o início da fase propulsiva dos MS); (ii) T2, corresponde ao tempo entre o início da 1ª parte da recuperação dos MS e o início da 1ª parte da recuperação dos MI); (iii) T3, tempo entre o final da 1ª parte da recuperação dos MS e o final da 1ª parte da recuperação dos MI; (iv) T4, sendo este o tempo entre o início da 2ª parte da recuperação dos MS e o início da 2ª parte da recuperação dos MI. Com base no somatório dos intervalos de tempo não propulsivos aplicam-se as seguintes fórmulas para o cálculo do índice de coordenação (IdC; Chollet et al., 2004): (i) se $T1a > 0$ e $T2$ e $T3 < 0$, aplica-se “IdC = fase propulsiva dos MI + fase propulsiva MS + ação lateral interior + $(T2+T3) - T1a$ ”; (ii) se $T1a < 0$ e $T2$ e $T3 > 0$, aplica-se “IdC = fase propulsiva dos MI + fase propulsiva do MS + ação lateral interior”.

Na técnica de mariposa, tal como proposto por Chollet (2006), quatro intervalos de tempo foram identificados: (i) T1 corresponde ao intervalo de tempo entre a entrada das mãos na água e a primeira ação descendente dos MI; (ii) T2, intervalo de tempo entre o início da ação ascendente dos MS e a primeira ação ascendente dos MI; (iii) T3, intervalo de tempo entre a ação lateral interior dos MS e a segunda ação descendente dos MI; (iv) T4, intervalo de tempo entre o início da recuperação dos MS e a segunda ação ascendente dos MI. Em cada ensaio, cada intervalo de tempo foi expresso como a percentagem de um ciclo completo de MI, tendo sido calculado como a média de 4 ações dos MI impostos pelo ritmo de nado. O intervalo de tempo, é expresso como a percentagem de um ciclo completo, definido como o somatório dos valores absolutos de T1, T2, T3 e T4 e foi utilizado para avaliação da eficiência da coordenação entre MS e MI (Seifert et al., 2005).

A análise estatística dos dados foi realizada no Statistical Package for the Social Sciences (SPSS; versão 28.0). Através da análise exploratória foram calculadas medidas de tendência central (média) e dispersão (desvio-padrão; DP) para todas as variáveis e verificados os pressupostos de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. Os resultados do teste de normalidade, em ambas as técnicas, revelaram não seguir uma distribuição normal na maioria das variáveis em estudo. Para estas, recorreu-se ao teste não paramétrico de Mann Whitney para comparação das variáveis biomecânicas e coordenativas entre os grupos determinando-se como nível de significância $p \leq 0,05$. Para as restantes variáveis que seguiram uma distribuição normal recorreu-se ao teste t de medidas independentes. O tamanho de efeito foi calculado com recurso ao d de Cohen, e classificado como baixo se $d < 0,2$, médio se $0,2 > d < 0,5$, e elevado se $d \geq 0,5$ (Cohen, 1988).

3. Resultados

Do processo de recolha de imagens foram obtidos 198 ciclos na técnica de bruços, sendo 77 ciclos do grupo de elite e 121 ciclos no grupo de bom nível. Na tabela 2, verifica-se que as variáveis são distintas entre os grupos sendo que os nadadores de elite apresentam maiores valores de $v_{\text{méd}}$, $v_{\text{máx}}$ e FG com um efeito forte. Já os valores de v_{min} , DC, viv e viv2 foram semelhantes.

Tabela 2. Valores médios $\pm$ desvio padrão da caracterização global do ciclo dos nadadores na técnica de bruços.

Variáveis	Elite	Bom nível	Mediana	Intervalo	p	d
$v_{\text{méd}}$ (m/s)	1.28 ± 0.12	1.18 ± 0.13	1.28	(1.17, 1.52)	< 0.001	0.80
$v_{\text{máx}}$ (m/s)	1.97 ± 0.21	1.95 ± 0.30	2.23	(1.86, 2.90)	0.260	---
v_{min} (m/s)	0.16 ± 0.27	-0.08 ± 0.23	-0.05	(-0.19, 0.28)	< 0.001	0.96
FG (hertz)	1.20 ± 0.42	0.79 ± 0.10	0.83	(0.75, 0.96)	< 0.001	1.34
DC (m)	1.21 ± 0.42	1.51 ± 0.17	1.52	(1.42, 1.71)	< 0.001	0.94
viv	0.39 ± 0.08	0.50 ± 0.08	0.47	(0.38, 0.54)	< 0.001	1.38
viv2	2.03 ± 0.52	2.55 ± 0.45	2.53	(1.98, 2.82)	< 0.001	1.07

$V_{\text{méd}}$, velocidade média; $v_{\text{máx}}$, velocidade máxima; v_{min} , velocidade mínima; FG, frequência gestual; DC, distância de ciclo; viv, variações intracíclicas de velocidade.

Relativamente às ações propulsivas e não propulsivas dos MS na técnica de bruços (tabela 3), observa-se que os nadadores de elite apresentam durações mais curtas na primeira, segunda e na quarta fase (deslize, ALE + AD e 1ª recuperação) e mais prolongadas na terceira e quinta fase (ALI e 2ª recuperação) com um efeito moderado a forte. As fases de deslize, ALE+AD, ALI e 1ª recuperação demonstraram serem também diferentes entre grupos.

Tabela 3. Valores médios $\pm$ desvio padrão da duração das fases propulsivas e não propulsivas do ciclo dos MS dos nadadores na técnica de bruços.

Variáveis	Elite	Bom nível	Mediana	Intervalo	p	d
Deslize	31.39 $\pm$ 10.23	34.10 $\pm$ 8.71	30.77	(25.93, 42.20)	0.023	0.29
ALE + AD	21.01 $\pm$ 4.13	22.89 $\pm$ 5.23	-	-	0.008	0.40
ALI	27.14 $\pm$ 6.05	22.29 $\pm$ 3.54	24.03	(20.24, 27.20)	< 0.001	0.98
1 ^a Recuperação	7.99 $\pm$ 2.32	8.74 $\pm$ 2.19	8.10	(6.94, 9.55)	0.008	0.33
2 ^a Recuperação	12.47 $\pm$ 3.43	11.98 $\pm$ 3.27	11.60	(9.52, 14.62)	0.282	---

ALE + AD, ação lateral exterior + ação descendente; ALI, ação lateral interior.

Relativamente às ações propulsivas e não propulsivas dos MI na técnica de bruços (tabela 4), verifica-se que os nadadores de elite apresentam maiores durações na primeira e segunda fase da ação dos MI (propulsão dos MI e junção dos MI) e duração mais curta na terceira, quarta e quinta fase da ação dos MI (deslize dos MI, 1^a e 2^a recuperação, respetivamente) com um efeito moderado a forte. Na 1^a recuperação e na 2^a recuperação dos MI não foram encontradas diferenças entre os grupos.

Tabela 4. Valores médios $\pm$ desvio padrão da duração das fases propulsivas e não propulsivas do ciclo dos MI dos nadadores na técnica de bruços.

Variáveis	Elite	Bom nível	Mediana	Intervalo	p	d
Propulsão	19.80 $\pm$ 2.90	17.90 $\pm$ 2.38	-	-	< 0.001	0.72
Junção	19.62 $\pm$ 4.96	17.69 $\pm$ 4.60	-	-	0.016	0.40
Deslize	39.37 $\pm$ 7.97	42.21 $\pm$ 7.75	-	-	0.012	0.36
1 ^a Recuperação	8.23 $\pm$ 1.59	8.56 $\pm$ 1.83	-	-	0.219	---

2 ^a			-	-	0.141	---
Recuperação	13.41 ± 2.73	14.15 ± 3.48				

Relativamente ao padrão coordenativo na técnica de bruços, (tabela 5), verificamos que ambos os grupos apresentaram diferenças em todas as variáveis, exceto na T1a, com valores superiores para os nadadores de elite com um efeito moderado a forte.

Tabela 5. Valores médios ± desvio padrão do TG dos nadadores na técnica de bruços.

Variáveis	Elite	Bom nível	Mediana	Intervalo	p	d
T1a	-9.92 ± 11.06	-11.34 ± 8.05	-9.76	(-17.74, -4.28)	0.363	---
T1b	9.70 ± 12.87	6.35 ± 9.20	9.23	(-0.63, 15.38)	0.013	0.30
T2	-0.68 ± 3.49	-3.21 ± 3.73	-	-	< 0.001	0.70
T3	11.73 ± 4.84	8.98 ± 5.51	-	-	0.002	0.53
T4	-0.95 ± 2.38	-3.08 ± 3.94	-	-	< 0.001	0.65

Do processo de recolha de imagens foram obtidos 228 ciclos na técnica de mariposa, sendo 97 ciclos dos nadadores de elite e 131 ciclos dos nadadores de bom nível. Na tabela 6, verifica-se que as variáveis entre os grupos são distintas, sendo que os nadadores de elite apresentam maiores valores de $v_{méd}$, $v_{máx}$, $v_{mín}$, FG e menores valores de DC e viv com um efeito moderado a forte.

Tabela 6. Valores médios ± desvio padrão da caracterização global do ciclo dos nadadores na técnica de mariposa.

Variáveis	Elite	Bom nível	Mediana	Intervalo	p	d
$v_{méd}$ (m/s)	1.59 ± 0.28	1.50 ± 0.16	1.64	(1.43, 1.84)	0.007	0.39
$v_{máx}$ (m/s)	2.16 ± 0.42	2.08 ± 0.31	2.25	(1.90, 2.79)	0.117	---

$v_{\min}$ (m/s)	1.06 ± 0.33	0.82 ± 0.20	1.01	(0.85, 1.32)	< 0.001	0.88
FG (hertz)	1.49 ± 0.48	0.92 ± 0.08	0.97	(0.90, 1.71)	< 0.001	1.66
DC (m)	1.21 ± 0.48	1.63 ± 0.17	1.65	(1.55, 1.79)	< 0.001	1.17
viv	0.20 ± 0.09	0.23 ± 0.05	---	---	0.006	0.41

$V_{\text{méd}}$, velocidade média; $V_{\text{máx}}$, velocidade máxima; V_{min} , velocidade mínima; FG, frequência gestual; DC, distância de ciclo; viv, variações intracíclicas de velocidade.

Relativamente às ações propulsivas dos MS na técnica de mariposa (tabela 7), observa-se que os nadadores de elite apresentam durações mais curtas na primeira, terceira e quarta fase dos MS (E + ALE, AA e recuperação) e mais prolongadas na segunda fase dos MS (ALI) com um efeito moderado a forte. As fases de ALI e recuperação demonstraram serem diferentes entre grupos.

Tabela 7. Valores médios $\pm$ desvio padrão da duração das fases propulsivas e não propulsivas do ciclo de braçada dos nadadores na técnica de mariposa.

Variáveis	Elite	Bom nível	Mediana	Intervalo	p	d
E + ALE	10.70 ± 43.46	15.74 ± 2.83	15.06	(13.57, 17.19)	0.187	---
ALI	37.21 ± 44.42	24.10 ± 2.43	26.10	(23.80, 30.73)	0.005	0.42
AA	34.54 ± 2.93	35.17 ± 4.13	34.22	(32.35, 37.08)	0.184	---
Recuperação	17.55 ± 5.90	25.00 ± 5.50	---	---	< 0.001	1.31

E + ALE, entrada + ação lateral exterior; ALI, ação lateral interior; AA, ação ascendente.

Em relação às ações propulsivas e não propulsivas dos MI na técnica de mariposa (tabela 8), verifica-se que as variáveis entre os grupos são distintas, sendo que os nadadores de elite apresentam durações mais curtas na segunda e terceira dos MI (1ª AA e 2ª AD) e maiores durações na primeira e quarta fase dos MI (1ª AD e 2ª AA) com um efeito moderado a forte. Na 2ª AA não foram encontradas diferenças entre os grupos.

Tabela 8. Valores médios $\pm$ desvio padrão das variáveis de tempo durante um percurso de nado dos nadadores na técnica de mariposa.

Variáveis	Elite	Bom nível	Mediana	Intervalo	p	d
1ª AD	34.32 $\pm$ 4.87	30.63 $\pm$ 5.14	32.12	(28.98, 35,29)	< 0.001	0.74
1ª AA	20.21 $\pm$ 2.32	22.78 $\pm$ 3.00	---	---	< 0.001	0.95
2ª AD	23.22 $\pm$ 4.47	24.61 $\pm$ 4.58	---	---	0.037	0.31
2ª AA	22.02 $\pm$ 3.49	21.94 $\pm$ 3.45	21.83	(20.00, 23.82)	0.867	---

AD, ação descendente; AA, ação ascendente.

Quanto ao padrão coordenativo na técnica de mariposa, (tabela 9), observa-se que os nadadores de elite apresentam valores superiores de T1, T2, T3 e T4 com um efeito forte. Foram ainda obtidas diferenças entre os grupos na T1, T3 e T4.

Tabela 9. Valores médios $\pm$ desvio padrão do TTG dos nadadores na técnica de mariposa.

Variáveis	Elite	Bom nível	Mediana	Intervalo	p	d
T1	5.50 $\pm$ 6.81	-11.49 $\pm$ 33.13	6.38	(-2.38, 11.69)	< 0.001	0.71
T2	-18.12 $\pm$ 45.05	-26.39 $\pm$ 31.93	-11.19	(-25.00, -5.73)	0.124	---
T3	-1.12 $\pm$ 6.06	-25.08 $\pm$ 31.93	-4.13	(-8.66, -1.28)	< 0.001	1.04
T4	10.20 $\pm$ 5.30	-14.53 $\pm$ 33.51	7.49	(0.00, 12,39)	< 0.001	1.03

4. Discussão

A performance dos nadadores depende de diversos fatores, sendo eles, biomecânicos e bioenergéticos (Barbosa et al., 2010; Marinho et al., 2007), genéticos, contextuais, psicológicos (Fernandes et al., 2008), hidrodinâmicos (Morais et al., 2012) e antropométricos (Jürimäe et al., 2007). Ou seja, o rendimento desportivo de um nadador relaciona-se com a minimização do arrasto hidrodinâmico que se opõe ao seu deslocamento e da capacidade de gerar força propulsiva (Martinez et al., 2011; Vilas-Boas et al., 2001), sendo otimizado através da melhoria do padrão biomecânico (Vantorre et al., 2014) e da técnica de nado (Scortenschi, 2019).

Foi objetivo do presente estudo comparar os parâmetros biomecânicos e coordenativos de nadadores de elite e de bom nível nas técnicas de nado simultâneas. A hipótese central deste estudo é de que os nadadores de elite apresentariam diferenças em relação aos nadadores de bom nível nas várias variáveis biomecânicas, refletindo um desempenho superior e um padrão coordenativo mais eficiente. Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que a hipótese do estudo não é rejeitada. Em ambas as técnicas, os nadadores de elite demonstraram valores superiores em termos de $V_{média}$, $V_{máx}$, V_{min} , FG e TG/TTG.

Numa análise mais detalhada dos resultados, verificamos que estes estão em conformidade com estudos anteriores que destacam a influência das variáveis biomecânicas no rendimento da natação (Ruiz-Navarro, 2022). Do ponto de vista do comportamento cinemático, as diferenças nas $V_{méd}$, $V_{máx}$ e V_{min} entre os grupos corrobora com estudos que apontam a importância destas na obtenção de melhores desempenhos desportivos (Maglischo, 2003). Este facto pode ser explicado devido produção de maior arrasto ativo, o que poderia resultar num maior gasto energético e aumento do IdC e FG nos nadadores de elite, consequentemente de uma elevada v (Morais et al., 2008; Seifert et al. 2009; Ribeiro et al., 2013). Adicionalmente, a FG mais elevada observada nos nadadores de elite ressalta a importância da frequência das ações dos MS para otimizar a v de nado, estando em sintonia com as conclusões de Seifert et al. (2014). Os autores sugerem que uma FG mais elevada pode desempenhar um

papel significativo na maximização da v de nado, o que se revela determinante nas provas mais curtas.

De facto, as relações diretas entre a v , a FG, a DC e o TG, mostram que os nadadores mais rápidos geralmente exibem uma maior frequência e amplitude de ciclo de MS e MI, assim como melhor coordenação entre as ações de MS e MI (Chollet et al., 2000; Seifert et al., 2004, 2007b). Por outro lado, a relação inversa entre a FG e a DC está de acordo com estudos anteriores (Leblanc et al., 2005), isto é, para se alcançar uma determinada v , existem várias combinações entre estes parâmetros, nomeadamente que quando a FG aumenta a DC diminui, e vice-versa, não podendo aumentar em simultâneo.

Do ponto de vista coordenativo verificaram-se padrões diferentes entre os grupos de elite e de bom nível, especialmente na técnica de braços. Estes resultados estão em concordância com as investigações de Chollet et al. (2004) e Seifert e Chollet (2005), que indicam que a duração das fases propulsivas e não propulsivas dos MS e MI desempenham um papel fundamental na eficiência do nado e que estas podem ser determinadas pelo nível competitivo dos nadadores. Os nadadores de elite na técnica de braços apresentaram durações mais curtas nas fases de deslize, ALE + AD e 1ª recuperação, uma vez que quando o arrasto hidrodinâmico e a v aumentam, a coordenação entre os MS e MI é afetada, nomeadamente por uma diminuição do intervalo de tempo entre duas fases propulsivas, isto é, que a duração relativa das fases de deslize e de propulsão diminui (Seifert, 2008), o que indica uma maior habilidade na produção de propulsão e na transição entre estas fases do ciclo dos MS (Keskinen et al., 2003).

Os resultados referentes ao TG demonstram que os nadadores de elite exibiram um TG significativamente menor em comparação com os nadadores de bom nível. Isto indica que os nadadores de elite conseguem realizar as fases dos MS e MI de forma mais coordenada e eficiente, minimizando o tempo necessário para conclusão de um ciclo de nado (Keskinen et al., 2003). Isto é, um elevado TG não garante um v elevada, uma vez que o nadador pode passar demasiado tempo nas fases propulsivas devido à diminuição da v da mão, o que significa uma baixa eficiência propulsiva (Seifert, 2008). Notavelmente, Seifert et al.

(2010b) demonstraram que o TG aumenta com o arrasto ativo em nadadores de elite, mas que na sua intensidade máxima (nadar 25m *all out*), o TG está correlacionado com a eficiência propulsiva para esta amostra de nadadores. O mesmo acontece na técnica de mariposa. Keskinen et al. (2003) identificaram no seu estudo que nadadores elite demonstram níveis excepcionais de coordenação, o que lhe permite minimizar o tempo gasto em cada ciclo de MS e MI.

Na técnica de mariposa, os nadadores de elite demonstraram $V_{méd}$, $V_{máx}$ e $V_{mín}$ superiores, juntamente com uma FG mais alta e uma DC menor em comparação com os nadadores de bom nível. Estes resultados estão de acordo com estudos anteriores onde destacam a relação inversa entre a FG e a DC (Leblanc et al., 2005). Além disso, os nadadores de elite demonstraram durações mais curtas nas fases de E + ALE, AA e recuperação, o que indica uma maior eficiência na produção de propulsão e na transição entre as fases do ciclo de MS (Seifert et al., 2005).

Os resultados referentes ao TTG mostram uma visão significativa das diferenças de desempenho entre os dois grupos. Foi evidenciado que os nadadores de elite demonstraram um TTG significativamente maior comparado com os nadadores de bom nível, indicando uma notável capacidade de completar um ciclo de mariposa de forma mais ágil. Isto é, os nadadores de elite conseguiram sincronizar e executar todas as fases do movimento com maior eficiência, resultando numa redução substancial do tempo necessário para completar um ciclo de nado (Keskinen et al., 2003).

Nos primeiros estudos sobre as viv, a técnica de bruços, foi a técnica de nado mais estudada, devido à simultaneidade entre os movimentos dos MS e MI (Manley et al., 1992; Craig et al., 1988). Atualmente, é aceite que as técnicas simultâneas apresentem um maior valor de viv do que as técnicas alternadas, devido aos impulsos mecânicos aplicados ao nadador (Barbosa et al., 2013; Barbosa et al., 2017; Bartolomeu et al., 2018). As viv, na técnica de crol, diminui ou mantem-se estável devido a uma melhor execução técnica de nado (Manley et al., 1992; Seifert et al., 2014; Arellano et al., 2010; Ungerechts et al., 1992; Barbosa et al., 2008). Isto, também, pode acontecer nas outras técnicas de nado, tal como na técnica de mariposa, com a diminuição das viv quando a v das mãos

no final da AA e a v vertical durante as ações dos MI aumentaram, e a v durante a E das mãos diminuiu (Ungerechts et al., 1992; Barbosa et al., 2008).

Normalmente os nadadores de elite apresentam valores de viv mais elevados, devido à sua capacidade de gerar e manter v mais elevadas (em vez de serem mais económicos), apresentando maiores amplitudes de v (Leblanc et al., 2007; Barbosa et al., 2021). Os resultados deste estudo não corroboram com estudos anteriores. Um exemplo notável disso é o estudo de Tagaki et al. (2004), no qual os nadadores de bruços eliminados na fase de eliminatórias da nona edição do campeonato do mundo de piscina longa, em Fukuoka 2001, apresentaram valores de viv superiores aos dos que se qualificaram para as meias-finais, provavelmente resultante de uma v instantânea mínima muito baixa (e não necessariamente relacionada com o valor da v máxima atingida num ciclo). Nas distâncias curtas, dependendo da técnica de nado, os melhores nadadores encontram soluções para melhorar a proficiência técnica, produzindo elevada potência mecânica para gerar forças propulsivas superiores, reduzindo o arrasto hidrodinâmico e adotando uma maior continuidade propulsiva (Schnitzler et al., 2008; Barbosa et al., 2005; Alves et al., 1996; Fernandes et al., 2022), o que provocará diferentes viv.

Deste modo, é possível supor que as viv seriam menores em nadadores mais eficientes se as características de arrasto fossem semelhantes. Logo, os valores semelhantes de viv podem indicar uma maior capacidade de controlo destas variações por parte dos nadadores de elite, implicando várias adaptações para ultrapassar o elevado arrasto e a inércia. Isto é sustentado pelos resultados de viv noutras técnicas de nado e pela forma como a complexidade do movimento pode determinar a eficiência técnica (Fernandes et al. 2022).

Estes resultados reforçam a importância do treino coordenativo e biomecânico para obter o mais alto nível de desempenho. Uma solução para a melhoria do rendimento dos nadadores será o trabalho técnico/coordenativo, que para além das abordagens convencionais e comuns no quotidiano, como a coordenação dos MS e MI, é também, importante focar na variação dos tempos de execução das várias fases da técnica. Isto é, devemos de explorar várias maneiras de estimular padrões coordenativos.

5. Conclusão

No presente estudo, os resultados obtidos e a sua discussão valorizaram o papel da cinemática e dos parâmetros biomecânicos e coordenativos no comportamento motor do nadador ao longo do nado, permitindo concluir o seguinte:

- i. A biomecânica/cinemática: os nadadores de elite apresentam um melhor comportamento biomecânico com maiores v e características do ciclo gestual em ambas as técnicas.
- ii. A nível coordenativo, os nadadores de elite exibem TTG mais curtos o que permite evitar intervalos demasiadamente prolongados entre as diferentes ações propulsivas de MS e MI.
- iii. Apesar das diferenças entre os grupos, as variáveis biomecânicas e coordenativas mantiveram-se consistentes dentro de cada grupo ao longo dos ciclos estudados.
- iv. Os nadadores de elite exibem uma variabilidade de ciclos menor que os nadadores de bom nível. Isto é um indicativo da sua maior habilidade em controlar e otimizar as variáveis biomecânicas ao longo dos ciclos de nado, para um desempenho superior.

6. Sugestões para estudos futuros

A análise das variações intracíclicas ao longo do nado revela a importância do aperfeiçoamento técnico para a evolução da performance do nadador e estudos com este sentido possuem uma grande aplicabilidade. Tendo em conta as falhas e lacunas encontradas no processo de realização desta dissertação, e com intenção de expandir esta abordagem em estudos futuros, sugere-se:

- i. Recrutar nadadores mais jovens para melhor entender o comportamento do IdC na aquisição, desenvolvimento e consolidação das diferentes técnicas de nado, tanto em treino, como em ambiente competitivo;
- ii. Replicar esta metodologia de análise usando diferentes distâncias de nado (50, 100 e 200m) para uma melhor caracterização dos padrões biomecânicos e coordenativos adotados ainda que nadada a mesma técnica;
- iii. Completar este tipo de abordagem com parâmetros fisiológicos de modo a verificar o impacto dos diferentes comportamentos coordenativos na exigência energética durante o nado;

7. Referências bibliográficas

- Alves, F., Santos, P., Veloso, A., Correia, I., & Gomes-Pereira, J. (1994). Measurement of intercycle power variation in Swimming Portuguese. *Journal of Human Performance Studies*, 10, 69-75.
- Alves, F.; Gomes Pereira, J.; Pereira, F. Determinants of energy cost of front crawl and backstroke swimming and competitive performance. In *Proceedings of the Biomechanics and Medicine in Swimming VII*; Routledge: Liverpool, UK, 1996; pp. 185–191.
- Amadio, A. (1996). Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano. São Paulo: Edição da Universidade de São Paulo.
- Arellano, R.; Dominguez-Castells, R.; Perez-Infantes, E.; Sanchez, E. Effect of stroke drills on intra-cycle hip velocity in front crawl. In *Proceedings of the Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, Oslo, Norway, 16–19 June 2010; pp. 45–47.
- Barbosa, A.C.; Barroso, R.; Gonjo, T.; Rossi, M.M.; Paolucci, L.A.; Olstad, B.H.; Andrade, A.G.P (2021). 50 m freestyle in 21, 22 and 23 s: What differentiates the speed curve of world-class and elite male swimmers? *Int. J. Perform. Anal. Sport*, 21, 1055–1065.
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *J Sci Med Sport*, 13(2), 262-269.
- Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaco, P., Lima, A. B., & Vilas-Boas, J. P. (2005). Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol*, 93(5-6), 519-523.
- Barbosa, T. M., Morouco, P. G., Jesus, S., Feitosa, W. G., Costa, M. J., Marinho, D. A., Silva, A. J., & Garrido, N. D. (2013). The interaction between intra-

cyclic variation of the velocity and mean swimming velocity in young competitive swimmers. *Int J Sports Med*, 34(2), 123-130.

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

Barbosa, T.M.; Goh, W.X.; Morais, J.E.; Costa, M.J. (2017). Variation of linear and nonlinear parameters in the swim strokes according to the level of expertise. *Mot. Control*, 21, 312-326.

Barbosa, T.M.; Fernandes, R.J.; Morouco, P.; Vilas-Boas, J.P. (2008). Predicting the intra-cyclic variation of the velocity of the centre of mass from segmental velocities in butterfly stroke: A pilot study. *J. Sport. Sci. Med.*, 7, 201–209.

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

Barbosa, T.M.; Morouço, P.G.F.; Jesus, S.; Feitosa, W.G.; Costa, M.J.; Marinho, D.A.; Silva, A.J.; Garrido, N.D. (2013). The interaction between intra-cyclic variation of the velocity and mean swimming velocity in young competitive swimmers. *Int. J. Sport. Med.*, 34, 123–130.

Barbosa, T.M., Bragada, J.Á, Reis, V.M, Marinho D.A, Carvalho, C, Silva A.J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of Swimming performance: updating the state of the art. *J Sci Med Sport*, 13, pp- 262-269.

Bartolomeu, R.F.; Costa, M.J.; Barbosa, T.M. (2018). Contribution of limbs' actions to the four competitive swimming strokes: A nonlinear approach. *J. Sport. Sci.* 36, 1836–1845.

- Bideault, G.; Herault, R.; Seifert, L. (2013). Data modelling reveals inter-individual variability of front crawl swimming. *J. Sci. Med. Sport*, 16, 281–285.
- Chatard, J. C., Collomp, C., Maglischo, E., & Maglischo, C. (1990). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *Int J Sports Med*, 11(2), 156-161.
- Chollet, D., Chalies, S., & Chatard, J. (2000). A new index of coordination for crawl: description and usefulness. *International Journal Sports Medicine*, 21(1), 54-59.
- Chollet, D., Pelayo, P., Delaplace, C., Tourny, C., & Sidney, M. (1997). Stroking characteristic variations in the 100-M freestyle for male swimmers of differing skill. *Percept Mot Skills*, 85(1), 167-177.
- Chollet, D., Seifert, L., Boulesteix, L., Carter, M. (2006). Arm to leg coordination in elite Butterfly swimmers. *International Journal of Sport Medicine* 27, 322-329.
- Chollet, D., Seifert, L., Leblanc, H., Boulesteix, L., & Carter, M. (2004). Evaluation of the arm – leg coordination in flat breaststroke. *International Journal Sports Medicine*, 25, 486-495.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Routledge Academic: New York, NY, USA. p. 40.
- Costa, M.J., Bragada, J.A., Mejias, J.E., Louro, H., Marinho, D.A., Silva, A.J., & Barbosa, T.M. (2012). Tracking the performance, energetics and biomechanics of International versus National level swimmers during a competitive season. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3): 811-820. DOI: 10.1007/s00421-011-2037-6
- Costill, D. L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med*, 6(5), 266-270.

- Costill, D., Lee, G., & D'Acquisto, L. J. (1987). Video-computer assisted analysis of swimming technique. *Journal of Swimming Research*, 3(2), 5-9.
- Craig, A. B., Jr., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sports*, 11(3), 278-283.
- Davids, K.; Glazier, P.; Araujo, D.; Bartlett, R.(2003). Movement systems as dynamical systems: The functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports Med.*, 33, 245–260.
- Fernandes, A.; Goethel, M.; Marinho, D.; Mezêncio, B.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R. (2022). Velocity variability and performance in backstroke in elite and good-level swimmers. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 6744.
- Fernandes, A.; Mezencio, B.; Soares, S.; Carvalho, D.; Silva, A.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R.J. (2022). Intra- and inter-cycle velocity variations in sprint front crawl swimming. *Sports Biomech.*, *Accepted for publication*.
- Fernandes, R. J. (2015). Breve descrição sobre os fatores determinantes do rendimento desportivo em natação. In *Documento de apoio à unidade curricular Metodologia do Desporto I – Treino Desportivo – Natação do 1º ciclo em Ciências do Desporto*. FADEUP, Porto.
- Fernandes, R. J., Aleixo, I., Soares, S., & Vilas-Boas, J. P. (2008). Anaerobic critical velocity: a new tool for young swimmers training advice. In Nova Science Publishers (eds), *Physical Activity and Children: New Research* (pp. 211-223).
- Fernandes, R. J., Aleixo, I., Soares, S., & Vilas-Boas, J. P. (2008). Anaerobic critical velocity: a new tool for young swimmers training advice. In Nova Science Publishers (eds), *Physical Activity and Children: New Research* (pp. 211-223).

- Fernandes, R. J., Ribeiro, J., Figueiredo, P., Seifert, L., & Vilas-Boas, J. P. (2012). Kinematics of the hip and body center of mass in front crawl. *J Hum Kinet*, 33, 15-23.
- Fernandes, R., Figueiredo, P., Vilar, S., Sousa, A., Gonçalves, P., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Avaliação da atividade elétrica muscular em natação. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 10(3), 121-141.
- Figueiredo, P., Kjendlie, P. L., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2012). Intracycle velocity variation of the body centre of mass in front crawl. *Int J Sports Med*, 33(4), 285-290.
- Figueiredo, P., Morales, E. G., Pereira, S. M., Goncalves, P., Arellano, R., Seifert, L., Chollet, D., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2008). *Intracyclic speed fluctuations of the center of mass and its relationship with the index of coordination – a pilot study*. Comunicação apresentada em 26th International Conference on Biomechanics in Sports, Seoul, Korea.
- Gonjo, T.; Fernandes, R.J.; Vilas-Boas, J.P.; Feitosa, R. Body rol amplitude and timing in backstroke swimming and their differences from front crawl at the same swimming intensities. *Sci. Rep.* 2021, 11, 824.
- Gourgoulis, V., Koulexidis, S., Gketzenis, P., & Tzouras, G. (2018). Intracyclic Velocity Variation of the Center of Mass and Hip in Breaststroke Swimming With Maximal Intensity. *J Strength Cond Res*, 32(3), 830-840.
- Gourgoulis, V., Koulexidis, S., Gketzenis, P., Tzouras, G. (2017). Intracyclic Velocity Variation Of The Center Of Mass And Hip In Breaststroke Swimming With Maximal Intensity. *Journal of Strength and Conditional Research*. Komotini, Greece.
- Guignard, B., & Seifert, L. (2019). Inter-cyclic movement variability of complex systems: an investigation in human swimming. Conference: XterM2019: systèmes complexes, *intelligence Territoriale et Mobilité*. At: Le Havre, France

- Heikkilä, J., & Silven, O. (1997, 17-19 June 1997). *A four-step camera calibration procedure with implicit image correction*. Comunicação apresentada em Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Hólmer, I. (1983). Energetics and mechanical work in swimming. In A. Hollander, P. Huijing & G. de Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 155-164). Illinois: Human Kinetics Publishers.
- Jesús J. Ruiz-Navarro, Óscar López-Belmonte, Ana Gay, Francisco Cuenca-Fernandez & Raúl Arellano (2022): A new swimming performance classification to standardize the research results in swimming, *European Journal of Sport Science*, DOI: 10.1080/17461391.2022.2046174
- Jüriimäe, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Lätt, E., Purge, P., Leppik, A., & Jüriimäe, T. (2007). Analysis of Swimming Performance from Physical, Physiological, and Biomechanical Parameters in Young Swimmers. *Pediatric Exercise Science*. 19(1), 70-81.
- Karpovich, P. V., & Karpovich, G. P. (1970). Magnetic tape natograph. *Res Q*, 41(1), 119-122.
- Keskinen, K., L., Komi, P. V., & Karpinnen, H. (2003). Biomechanical factors affecting swimming economy. *Sports Medicine*, 33(6), 519-538.
- Leblanc H, Seifert L, Braudy L, Chollet D. (2005). Arm-leg coordination in flat Breaststroke: A comparative study between elite and non-elite swimmers. *International Journal of Sport Medicine*; 26: 787-797.
- Leblanc, H., Seifert, L., Tourny-Chollet, C., & Chollet, D. (2007). Intra-cyclic distance per stroke phase, velocity fluctuations and acceleration time ratio of a breastroker's hip: a comparison between elite and nonelite swimmers at different race paces. *Int J Sports Med*, 28(2), 140-147.
- Maglischo, E. (2003). *Swimming Fastest*. Champaign, IL: Human Kinetics.

- Maglischo, E. W. (1993). *Swimming even faster. Mayfield Publishing Company.* Mountain View. California.
- Maglisho, C., Maglisho, E., & Santos, T. (1987). The relationship between the forward velocity of the center of gravity and the forward velocity of the hip in the four competitive strokes. *Journal Swimming Research*, 3 (2), 11-17.
- Manley, P.; Atha, J. (1992). Intra-stroke velocity fluctuations in paced breaststroke swimming. In *Biomechanics and Medicine in Swimming. Swimming Science VI*; Taylor & Francis Group: Abingdon, UK, pp. 151–160.
- Marinho, D. A., Silva, J., Rouboa, A., Soons, B., Persyn, U., Vilas-Boas, J., P., Barbosa, T. M., reis, V. M., & Moreira, A. (2007). Modelos Propulsivos: novas teorias velhas polémicas. In *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*, p. 205. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Martínez, S., Pasquarelli, B. N., Romaguera, D., Arasa, C., Tauler, P., & Aguiló, A. (2011). Anthropometric characteristics and nutritional profile of young amateur swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 1126-1133.
- Mason, B., Tong, Z., & Rochards, R. (1992). Propulsion in butterfly stroke. In D. Maclaren, T. Reilly & A. Lees (eds.). *Biomechanics and Medicine in Swimming VI* (pp. 81-86). London: E & FN SPON.
- Matsuda, Y., Yamada, Y., Ikuta, Y., Nomura, T., & Oda, S. (2014). Intracyclic velocity variation and arm coordination for different skilled swimmers in the front crawl. *Journal of human kinetics*, 44, 67-74.
- Mezêncio, B; Pinho, J.P.; Hueber, R.; Vilas-Boas, J.P.; Amadio, A.C.; Serrão, J.C. (2020). Overall indexes of coordination in front crawl. *J. Hum. Kinet.* 33, 15-23.
- Morais, JE, Jesus, S, Lopes, V, Gabrrido, N, Silva, A, Marinho D, Barbosa, TM. (2012). Linking selected kinematic, anthropometric and hydrodynamic

- variables to young swimmer performance. *Pediatr Exerc Scie*, 24(4), 649-664.
- Morais, P.; Vilas-Boas, J.P.; Seifert, L.; Chollet, D.; Keskinen, K.L.; & Fernandes, R. (2008). Relationship between energy cost and the index of coordination in front crawl – a pilot study, 16th FINA World Sports Medicine Congress, *Journal of Sports Sciences*, 26, (Suppl. 1), 11.
- Morouço, P., Lima, A. B., Semblano, P., Fernandes, D., Goncalves, P., Sousa, F., Fernandes, R., Barbosa, T., Correia, M. V., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Validation of cable speedometer for butterfly evaluation. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6 (Suppl2), 236-239.
- Morouço, P., Ribeiro, J., Zacca, R., Chainok, P., Ramos, V., Fernandes, R., & Abraldes, J. A. (2015). Interação entre a variação intracíclica da velocidade de nado em nadadores masters. In M. V. R. B. Ruben, C. Campos, H. A. Almeida, J. Siopa, P. Bártolo, J. Folgado (Ed.), *Proceedings of the 6th Portuguese Congress on Biomechanics* (pp. 125-126). Monte Real, Leiria, Portugal.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the Development of Coordination. In M. G. Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (pp. 341-360): The Netherlands: Martinus Nijhoff, Dordrecht.
- Ribeiro, J.; Jesus, K.; Figueiredo, P.; Toussaint, H.; Guidetti, L.; Alves, F.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R.J. (2013). Biomechanical determinants of force production in front crawl swimming. *J. Sports Med. Phys. Fit.*, 53, 30–37.
- Rui-Navarro, J. J., Gay, A., Zacca, R., Cuenca-Fernández, F., López-Belmonte, Ó., López-Contreras, G., Morales-Ortiz, E., & Arellano, R. (2022). Biophysical Impact of 5-Week training Cessation on Sprint Swimming Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.
- Sanders, R. (2008). Total immersion strategies – A closer look.

- Schnitzler, C., Seifert, L., Ernwein, V., & Chollet, D. (2008). Arm coordination adaptations assessment in swimming. *Int J Sports Med*, 29(6), 480-486.
- Scortenschi, D. (2019). Development of speed qualities by improving Swimming technique elements using technical means. *Stiinta Culturii Fizice*, 1(33), 79-82.
- Seifert L., Boulesteix L., Chollet D. (2004) Effect of gender on the adaption of arm coordination in front crawl. *International Journal of Sports Medicine* 2004; 25:217-223
- Seifert L., Chollet D. (2005). A new index of flat breaststroke propulsion: comparison between elite men and elite women. *J Sports Sci* 2005; 23: 309 – 320
- Seifert, L. (2010). Inter-limb coordination in swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 35-39). Oslo Norwegian School of Sports Sciences.
- Seifert, L., Chollet, D., & Chatard, J. C. (2007a). Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. *Med Sci Sports Exerc*, 39(10), 1784-1793.
- Seifert, L., Chollet, D., & Rouard, A. (2007b). Swimming constraints and arm coordination. *Hum Mov Sci*, 26(1), 68-86.
- Seifert, L., Didier, C., Tourny, C., Leblanc, H. (2007). Intra-cyclic Distance per Stroke Phase, Velocity Fluctuations and Acceleration Time Ratio of a Breaststroker's Hip: A Comparison between Elite and Nonelite Swimmer at Different Race Paces. *International Journal of Sports Medicine*.
- Seifert, L.; & Chollet, D. (2009). Modelling spatial-temporal and coordinative parameters in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 495-499.

- Seifert, L.; Komar, J.; Crettenand, F.; Millet, G. (2014). Coordination pattern adaptability: energy cost of degenerate behaviors. *PLoS ONE* 9(9): e107839.
- Seifert, L.; Leblanc, H.; Herault, R.; Komar, J.; Button, C.; Chollet, D. (2011). Inter-individual variability in the upper-lower limb breaststroke coordination. *Hum. Mov. Sci.* 2011, 30, 550–565.
- Seifert, L.; Schnitzler, C.; Alberty, M.; Chollet, D.; & Toussaint, H.M. (2010b). Arm coordination, active drag and propelling efficiency in front crawl. In Kjendlie, P.L., Stallman, R., & Cabri, J. (Eds) *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, School of Physical Education, Oslo, Norway, in press.
- Stergiou, N. (2004). Innovative analyses of human movement. Champaign, IL: *Human Kinetics*.
- Takagi, H.; Sugimoto, S.; Nishijima, N.; Wilson, B. Differences in stroke phases, arm-leg coordination and velocity fluctuation due to event, gender and performance level in breaststroke. *Sport. Biomech.* 2004, 3, 15–27.
- Ungerechts, B. (1988). The relation of peak body acceleration and phases of movements in swimming. In B. Ungerechts, K. Wilkie, & K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (pp. 61-66). Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.
- Ungerechts, B.E. (1992). The interrelation of hydrodynamic forces and swimming speed in breaststroke. In *Biomechanics and Medicine in Swimming. Swimming Science VI*; Taylor & Francis Group: London, UK, pp. 69–74.
- Vantorre, J., Chollet, D., & Seifert, L. (2014). Biomechanical analysis of the swim-star: A review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(2), 223-231.
- Vilas-Boas, J. (1997). Estado actual da investigação científica sobre técnica desportiva em natação. *17º Congresso da Asociacion Española de Técnicos de Natación e 4º Congresso Ibérico*, Camargo, 1997.

- Vilas-Boas, J. P. (1991). A técnica em natação pura desportiva. *Documento de apoio à unidade curricular de Metodologia I – Natação*. Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade do Porto. Porto.
- Vilas-Boas, J. P. (1996). Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*, 167-171.
- Vilas-Boas, J. P. (1997^a). Estado actual da investigação científica sobre técnica desportiva em natação. *17º Congresso da Association Española de Técnicos de Natación e 4º Congresso Ibérico*. Camargo-Cantabria.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R., & Kolmogorov, S. (2001). Arrasto hidrodinâmico activo e potência mecânica máxima em nadadores pré-juniores de Portugal. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 1(3), 14-21.
- Vilas-Boas, J. P., Barbosa, T. M., & Fernandes, R. (2010). Speed fluctuation, swimming economy, performance and training in swimming. *World Book of Swimming: From Science to Performance*, 119-134.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R. J., & Barbosa, T. M. (2011). Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. *The world book of swimming: from science to performance*. New York, NY: Nova Science Publishers, Hauppauge, pp. 119- 134.
- Nigg, B. (1983). Selected methodology in biomechanics with respect to swimming. In: A. P. Hollander, P. A. Huijing, G. de Groot (eds.), Biomechanics and Medicine in Swimming, pp. 72-80. Human Kinetics Publishers. Illinois.**