Monitorização biofísica de um dueto de natação artística ao longo de um macrociclo

Dissertação apresentada com vista à obtenção do 2º ciclo em Treino Desportivo, especialização em Treino de Jovens, 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 Mário Jorge de Oliveira Costa

Coorientadora: Professora Doutora Catarina Maria Simões da Costa Santos

Sílvia Raquel Teles Pinto

Porto, 2024

Pinto, S. (2024). Monitorização biofísica de um dueto de natação artística ao longo de um macrociclo. Porto: Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Treino de Jovens, apresentado à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

PALAVRAS-CHAVE: Biomecânica, Fisiologia, Treino Individualizado, Sincronização, Coreografia.

KEY WORDS: Biomechanics, Physiology, Individualized Training, Synchronization, Choreography.

Hélder, Maria e Manuel.

Agradecimentos

A realização desta dissertação foi uma jornada desafiadora e enriquecedora, e não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de várias pessoas às quais gostaria de expressar minha profunda gratidão.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Mário Costa pela sua orientação incansável, paciência e conhecimento valioso. Gostaria de agradecer também à minha coorientadora Professora Doutora Catarina Santos pela sua dedicação e sugestões que se revelaram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

À minha equipa, que é a minha fonte constante de força e determinação.

À Anna e Inês, minhas atletas de sonho.

Ao Hélder, à Maria e ao Manuel que são a minha maior fonte de inspiração e motivação.

Índice

Agradecimentos vii

Índice de tabelas xi

Índice de figuras xiii

Índice de equações xv

Lista de abreviaturas xvii

Resumo xix

Abstract xxi

1. Introdução 1

2. Metodologia 5

Participantes 5

Desenho do estudo e procedimentos 5

Domínio antropométrico 6

Domínio biomecânico 6

Domínio fisiológico 9

Domínio de força e condição física 11

Planeamento do macrociclo 13

Análise dos dados 15

3. Resultados 17

4. Discussão 25

Domínio antropométrico 26

Domínio biomecânico 26

Domínio fisiológico 28

Domínio de força e condição física 28

5. Conclusões 31

6. Sugestões para estudos futuros 33

7. Referências bibliográficas..... 35

Índice de tabelas

Tabela 1	Variações intra-individuais nos diferentes domínios em análise entre momentos de avaliação.	21
Tabela 2	Variações inter-individuais por domínio em análise em cada um dos momentos de avaliação.	22

Índice de figuras

Figura 1	Sistema integrado de avaliação de força (Swim-Spektro)	7
Figura 2	Posição das câmaras para o teste das espargatas.	8
Figura 3	Avaliação do consumo de oxigénio com recurso ao método de retroextrapolação.	10
Figura 4	Avaliação da força isométrica da ação da remada.	12
Figura 5	Avaliação do salto vertical em contramovimento (CMJ).	13
Figura 6	Curvas força-tempo na execução da remada americana (painel A) e *kick pull* (painel B) da nadadora 1.	17
Figura 7	Curvas força-tempo na execução da remada americana (painel A) e *kick pull* (painel B) da nadadora 2.	19
Figura 8	Curvas de cinética *off* do consumo de O2 após o esforço de 200 m crol. Pontos cinzentos representam a nadadora 1; Pontos pretos representam a nadadora 2.	20

Índice de equações

Equação 1	$\omega = \frac{\theta}{\Delta t}$	8
Equação 2	$AnAl = PCr \times (1- e^{-t/\tau}) \times M$	10
Equação 3	$AnL = [La^-]_{net} \times \beta \times M$	10
Equação 4	$Aer = VO2_{net} \times t$	11

Lista de abreviaturas

Aer	Aeróbio
AnAl	Anaeróbia Alática
AnL	Anaeróbia Láctica
CMJ	Salto Vertical em Contramovimento
Fmáx	Força Máxima
Fmed	Força Média
$[La^-]$	Concentração de Lactato Sanguíneo
MC	Massa corporal
M1	Momento 1
M2	Momento 2
N1	Nadadora 1
N2	Nadadora 2
PCr	Quantidade de concentração de fosfocreatina em repouso
PSE	Perceção subjetiva de esforço
RE	Rotação Externa
RI	Rotação Interna
v	Velocidade
t	Duração da tarefa

Resumo

Na competição de dueto em natação artística suspeita-se que a igualdade biofísica poderá criar uma maior uniformidade dos movimentos, resultando numa pontuação mais elevada em competição. Foi objetivo deste estudo monitorizar a evolução nas características biofísicas de um dueto ao longo de um macrociclo por meio da aplicação de um treino individualizado. Duas atletas (17,5 ± 0,5 anos de idade) foram avaliadas em dezembro de 2023 (M1) e em abril de 2024 (M2). Avaliou-se a força máxima (Fmáx) e média (Fméd) nas ações técnicas de remada americana e *kick pull* num teste amarrado (20”), a velocidade de execução da ação de espargata (ω) em formato livre, a contribuição energética aeróbia (Aer), anaeróbia lática (AnL) e alática (AnAl), após um esforço de 200 m crol, a condição física em seco por meio das ações de rotação interna (RI) e externa (RE) dos membros superiores dominante ($_D$) e não dominante ($_{ND}$), e a potência de salto (CMJ). A coreografia padrão do dueto foi repetida em contexto competitivo nos dois momentos de avaliação. As nadadoras foram sujeitas a um período de treino individualizado ao longo do macrociclo e a percentagem de variação (Δ, %) entre nadadoras foi determinada nos dois momentos (M1 *vs* M2). Verificou-se uma evolução e aproximação entre nadadoras na Fméd da remada (21,6% *vs* 9,9%) e Fméd do *kick pull* (45,1% *vs* 29,1%). Essa evolução foi acompanhada por uma aproximação na ω (15,9% *vs* 15,5%) e nos contributos AnL (26,7% *vs* 19,6%) e AnAl (40,9% *vs* 11,8%). À semelhança, a RI_{ND} (33,7% *vs* 13,9%) a RE_D (11,6% *vs* 4,4%) e o CMJ (7,4% *vs* 3,6%) demonstraram uma maior aproximação do dueto. O score da coreografia em competição aumentou de 168,9943 para 190,7183 pontos. Assim, um treino individualizado revelou-se benéfico para a evolução das características do dueto, verificando-se uma tendência de aproximação dos aspetos de produção de força, técnicos e fisiológicos, traduzindo-se numa melhor prestação competitiva.

PALAVRAS-CHAVE: Biomecânica, Fisiologia, Treino Individualizado, Sincronização, Coreografia.

Abstract

In artistic swimming duet competitions, it is suspected that biophysical equality may create greater uniformity of movements, resulting in a higher competition score. This study aimed to verify the evolution of the biophysical characteristics of a duet over a training macrocycle including an individualized training approach. Two athletes (17.5 ± 0.5 years old) were evaluated in December 2023 (M1) and in April 2024 (M2). The maximum (Fmax) and mean (Fméd) in-water force were evaluated in the technical actions of the prone american sculling and kick pull in a tethered test (20''), the execution speed of the split action (ω) in free format, aerobic (Aer), lactic anaerobic (AnL), and alactic anaerobic (AnAl) energy contributions after a 200 m front crawl effort, the physical condition on land through the internal (RI) and external (RE) rotation actions of the dominant ($_D$) and non-dominant ($_{ND}$) upper limbs, and the jump power (CMJ). The duet's standard choreography was repeated in a competitive context at both evaluation moments. The swimmers underwent a period of individualized training throughout the macrocycle, and the percentage of variation (Δ, %) between swimmers was determined at both time points (M1 vs M2). There was a trend towards evolution and approximation between swimmers in the Fméd of the prone american sculling (21.6% vs 9.9%) and Fméd of the kick pull (45.1% vs 29.1%). This evolution was accompanied by an approximation in ω (15.9% vs 15.5%) and in the AnL (26.7% vs 19.6%) and AnAl (40.9% vs 11.8%) contributions. Similarly, the RI_{ND} (33.7% vs 13.9%), the RE_D (11.6% vs 4.4%), and the CMJ (7.4% vs 3.6%) also demonstrated a greater approximation of the duet. The choreography score in the competition increased from 168.9943 to 190.7183 points. Thus, individualized training proved beneficial for the evolution of the duet's characteristics, showing a trend towards the approximation of force production, technical ability, and physiological aspects, resulting in better competitive performance.

KEYWORDS: Biomechanics, Physiology, Individualized Training, Synchronization, Choreography.

1. Introdução

A Natação Artística, anteriormente conhecida como natação sincronizada, é uma modalidade aquática olímpica que combina a natação, dança e acrobacias realizadas na água. Foi em 2017, por indicação do Comité Olímpico Internacional, que a natação sincronizada passou a designar-se por Natação Artística (Pazikas et al., 2005). Este é um desporto onde os atletas executam coreografias ao som de uma música, demonstrando graciosidade, sincronização e força. Segundo a Federação Portuguesa de Natação (Federação Portuguesa de Natação, 2023), a Natação Artística é uma disciplina da Natação onde são executadas diversas formas de movimentos, estilos, deslocamentos, figuras e/ou combinações entre estes, executados por um ou mais nadadores. Estes executam movimentos sincronizados entre si e com acompanhamento musical, de forma a obter um conjunto harmonioso e estético.

A fase de expansão da disciplina caracterizou-se pela entrada nas grandes competições através de exibições. Assim aconteceu nos Jogos Olímpicos de Londres, em 1948, nos I Jogos Pan-americanos, em 1951, nos Jogos Olímpicos de Helsínquia, em 1952 e nos Jogos da Comunidade Britânica, em 1954. A presença olímpica tem sido um pouco atribulada e, até hoje, nunca as três provas (solo, dueto e equipa) tiveram lugar na mesma edição dos Jogos Olímpicos. Assim, desde 1984, apenas os duetos têm permanecido continuadamente no programa. Em 1988 e 1992 tiveram a companhia da prova de solo que, desde Atlanta (1996), foram substituídos pela prova de equipas. Em Paris (2024) poderemos assistir à competição de duetos, equipa e equipas acrobáticas com a possibilidade de inclusão de dois elementos masculinos pela primeira vez na história. Este facto acontece depois de em 2015 a Federação Internacional de Natação Amadora oficializar a prova de duetos mistos, incluindo assim os homens na competição internacional da modalidade.

Este é um desporto cujo rendimento resulta da aplicação máxima das capacidades motoras e volitivas. Valoriza-se a coordenação e a habilidade motora, frequentemente complexa e apresentada artisticamente, constituída por habilidades motoras acíclicas (Viana et al., 2019). É um desporto de técnicas

combinadas, avaliado por um júri e constituído pela apresentação de elementos automatizados, que se encadeiam em diferentes combinações, com uma apresentação estética. Tem como característica a conjugação e interação da beleza estética dos nadadores e dos seus movimentos com o desenvolvimento de força e preparação física dos mesmos. Combina as habilidades de um nadador, de um jogador de polo aquático e de um bailarino, sendo por isso considerada uma das modalidades desportivas mais completas e com maior grau de dificuldade. É considerada uma modalidade individual e coletiva. No contexto individual existe uma competição denominada de figuras onde os atletas realizam um somatório de habilidades motoras pré-definidas e executadas como um todo sem acompanhamento musical. As figuras têm um nome, um número e um coeficiente de dificuldade e são realizadas individualmente por todos os atletas dos escalões infantil e juvenil (World Aquatics).

Uma rotina é uma sequência coreografada de movimentos realizados pelos atletas na água com acompanhamento musical (Viana et al., 2019). Estas rotinas podem ser rotinas técnicas onde existem elementos obrigatórios que devem ser realizados sem nenhuma ordem específica. Podem ser também rotinas livres onde apesar de se exigir um número de elementos, estes podem ser criados de forma livre. Estas rotinas podem ser realizadas individualmente (solos), duplas (duetos femininos e duetos mistos) ou equipas (quatro a oito atletas). As rotinas incorporam uma variedade de elementos técnicos como rotações, elevações, *splits*, entre outros, além de movimentos de expressão artística, como movimentos de braços e pernas sincronizados com a música e expressão corporal. Cada rotina é cuidadosamente planeada e executada para impressionar os juízes, demonstrando as habilidades técnicas, graça e sincronização dos nadadores (FINA, 2017-2021).

O número de estudos em Natação Artística revela-se muito reduzido em comparação com as restantes disciplinas aquáticas. Apesar de ter existido um aumento considerável de produção científica nos últimos anos, o foco tem-se direcionado exclusivamente para os domínios da fisiologia, performance e lesão (Rincón et al., 2023). Ainda assim, existem algumas tentativas de entender os

potenciais efeitos que o treino de Natação Artística poderá promover nos(as) nadadores(as). Este é um processo que deverá ser cuidadosamente planeado para promover o desenvolvimento harmonioso de todas as características do nadador. Este tipo de treino parece ser suficiente para promover alterações ao nível da antropometria e da força, tantos dos membros inferiores (Dzimbova e Markov, 2023) como dos membros superiores (Laski et al., 2024). As alterações no somatótipo, por efeito do treino, indicam uma tendência em direção a uma morfologia mais mesomórfica, o que pode ser vantajosa para o desempenho na Natação Artística (Peric et al., 2017). O treino parece ainda ser favorável para mudanças na difusão pulmonar, ainda que esta adaptação possa ser exclusivamente individual (García et al., 2021).

De facto, a resposta fisiológica (Bentley et al., 2022) e biomecânica (Chatard et al., 1999) são aspetos fundamentais para maximizar o potencial dos atletas de Natação Artística. Acrescenta-se ainda que a semelhança corporal entre nadadores de um dueto pode melhorar muito a estética visual da apresentação com implicações no resultado final. Suspeita-se que os atletas sendo semelhantes em tamanho e forma, poderão usufruir de uma melhor uniformidade dos movimentos, resultando numa apresentação mais agradável esteticamente. Nadadores com características biofísicas semelhantes podem ter níveis idênticos de equilíbrio e coordenação em contexto aquático. Contudo, a falta de literatura sobre a caracterização de duetos na Natação Artística é notória e parece representar uma lacuna no estado da arte. Adicionalmente, parece-nos não existir qualquer estudo que se tenha focado no acompanhamento de um dueto de Natação Artística e que tenha objetivado monitorizar as adaptações ao longo de um macrociclo de treino. Surge assim a oportunidade para explorar novas abordagens e estratégias, como a implementação de um treino individualizado de modo a melhorar a homogeneidade e, consequentemente, o desempenho desportivo do dueto.

Assim, foi objetivo deste estudo monitorizar um dueto de Natação Artística, do ponto de vista biofísico, e verificar a sua evolução ao longo de um macrociclo, procurando a implementação de um treino individualizado. Projetou-se que a implementação de um treino individualizado seria a estratégia indicada para

aproximação do dueto em termos das características analisadas em diferentes domínios.

2. Metodologia

Participantes

Participaram neste estudo duas atletas integrantes (17,5 ± 0,5 anos de idade) do Projeto Olímpico Los Angeles 2028 para a Natação Artística da Federação Portuguesa de Natação. As duas participantes nadam juntas desde 2021 e, apesar de integrarem a seleção júnior desde a época 2021/2022, só em 2023 competiram juntas pela primeira vez em representação da seleção nacional no Campeonato da Europa Júnior, obtendo uma das melhores classificações de sempre para a Natação Artística portuguesa neste escalão. A rotina semanal de treino a que estavam sujeitas (total de 25 h semanais) incluía duas a três sessões de Natação Pura com a equipa de natação absoluta do clube, duas a quatro sessões de trabalho de força e condição física no ginásio com a preparadora física do clube (2 a 4 = 1), uma sessão de *ballet* online com a professora de *ballet* da seleção portuguesa de Natação Artística, e cinco sessões de treino de técnica de coreografia, flexibilidade e resistência de coreografia com a treinadora de Natação Artística do clube. As nadadoras e os seus representantes legais (se necessário) foram informadas sobre todos os procedimentos de recolha (termo de consentimento informado), respeitando-se as recomendações constantes na Declaração de Helsínquia no que se refere à experimentação envolvendo seres humanos.

Desenho do estudo e procedimentos

O presente estudo apresentou um desenho de caráter longitudinal com dois momentos de avaliação. As duas nadadoras foram avaliadas durante a periodização tradicional de um macrociclo: momento 1 (M1, dezembro), correspondendo à finalização do primeiro macrociclo e primeira competição nacional; e momento 2 (M2, abril), correspondendo à finalização do segundo macrociclo e segunda competição nacional. Cada momento de avaliação foi composto por duas sessões realizadas à mesma hora do dia, mas separadas por 48 horas, no sentido de garantir a devida recuperação e evitar alterações circadianas. Existiu a distribuição de testes nos domínios antropométrico,

biomecânico, fisiológico e de força/condição física por ambas as sessões. As avaliações foram realizadas numa piscina de 25 m com 26° C de temperatura da água e locais adjacentes ao cais. As nadadoras foram instruídas a evitar exercícios intensos antes das sessões de avaliações, bem como a evitar a ingestão de cafeina.

Domínio antropométrico

A massa corporal, a altura e a envergadura foram medidas pelo mesmo avaliador e de acordo com os protocolos recomendados (Lohman et al., 1988). Com recurso a uma balança portátil (TANITA, BC-730), um estadiómetro portátil (SECA, 242) e a uma fita métrica (Rosscraft), procedeu-se à medição da massa corporal, da altura, e da estatura das nadadoras, respetivamente. Todas as medidas foram realizadas com as nadadoras descalças a utilizar um fato de banho e touca.

Domínio biomecânico

A avaliação de parâmetros biomecânicos incluiu os seguintes testes: (i) execução das ações de remada americana e *kick pull* em condição de nado amarrado; e (ii) execução da ação de espargatas em formato livre.

Nos testes de remada americana e do *kick pull*, as nadadoras permaneceram a uma distância de 5 m da parede, permanecendo conectadas a um sistema integrado de avaliação de força (Swim-Spektro, Talamonti, Italy) por meio de um cabo e um cinto colocado na sua cintura (Figura 1). O sistema foi calibrado como previamente referido por Cortesi et al. (2019). A célula de carga do sistema foi alinhada com a direção do plano de nado formando um ângulo de 25º com a superfície da água. Para evitar o efeito inercial, as nadadoras iniciaram o teste nadando 5 s em intensidade baixa e, logo de seguida, 20 s em intensidade máxima. Um dos avaliadores recorreu a um sinal sonoro para determinar o início e o fim do teste. A remada americana é caracterizada pela execução de movimentos de *sculling* na posição horizontal sem ação dos membros inferiores, e pela manutenção de uma posição oposta ao sentido do movimento. O *kick pull*

caracteriza-se por uma ação simultânea dos membros inferiores e uma ação alternada dos membros superiores, ambas decorrentes da técnica de bruços.

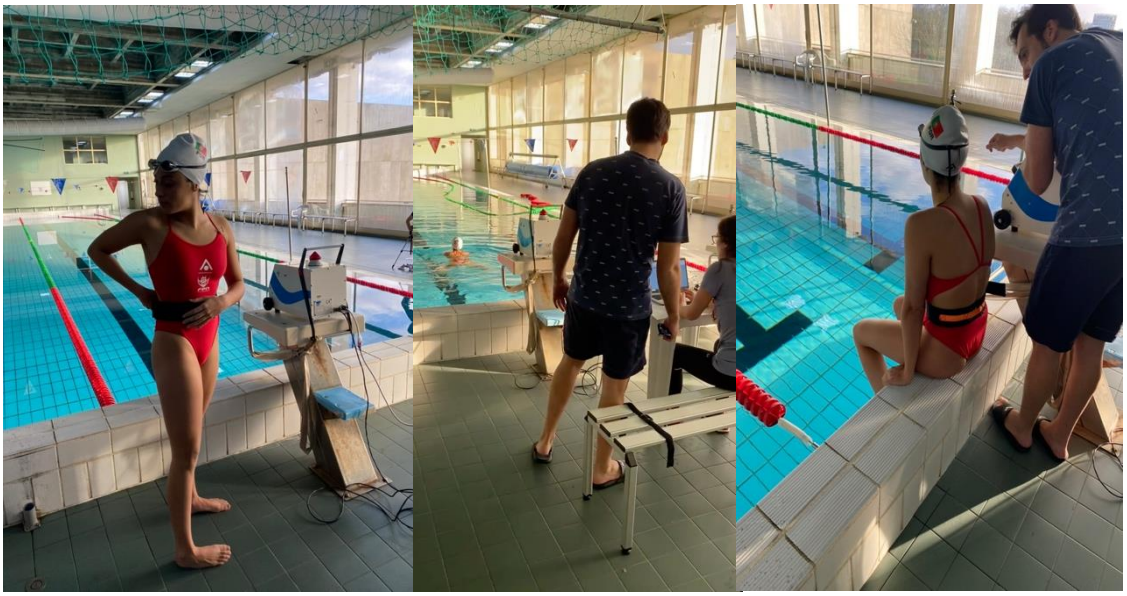


Figura 1. Sistema integrado de avaliação de força (Swim-Spektro).

Os dados dos dois testes foram obtidos por meio do *software* específico do sistema (DB:4, Talamonti Spa, Ascoli Piceno, Italy). Posteriormente, recorreu-se a uma rotina (v. 0,5) de MATLAB (R2023b, MathWorks, Inc.) para processamento de sinal, aplicando-se um filtro de suavização (10 Hz), e para correção de ângulo, este formado entre o sistema e a superfície de água (25°), de modo a determinar corretamente a componente horizontal da força máxima (Fmáx, N) e a força média (Fméd, N). Os valores instantâneos de força dos 2 s iniciais foram descartados devido à tensão inicial do cabo.

No teste de espargatas, as nadadoras permaneceram a uma distância de 4 m da parede lateral e realizaram cinco execuções à intensidade máxima e com a melhor qualidade técnica possível (Figura 2). A ação de espargata consiste em iniciar o movimento na posição de carpa (invertida) com o membro inferior fletido, realizar o movimento rápido e explosivo até à posição de espargata e voltar à posição de carpa. Este movimento é repetido cinco vezes. Todas as execuções foram gravadas no plano sagital por um par de câmaras (GoPro 6, USA; 120 Hz) com 1920 x 1080 de resolução em modo *wide* e localizadas a 0,50 m acima da

superfície e 0,26 m de profundidade (vista aérea e aquática, respetivamente). Os *clips* de vídeo obtidos foram posteriormente cortados para determinação de variáveis cinemáticas com recurso ao software Kinovea (v. 0.9.5). A função "cronómetro" possibilitou a determinação da duração (s) de cada execução. Sabendo que cada execução correta da espargata requer um deslocamento angular de 360°, a velocidade angular (ω,°/s) foi obtida através da equação:

$$\omega = \frac{\theta}{\Delta t}$$

onde θ representa o deslocamento angular, e Δt representa a duração de cada execução. A ω foi posteriormente convertida em rad/s sabendo que 1 rad corresponde a 57,3°.

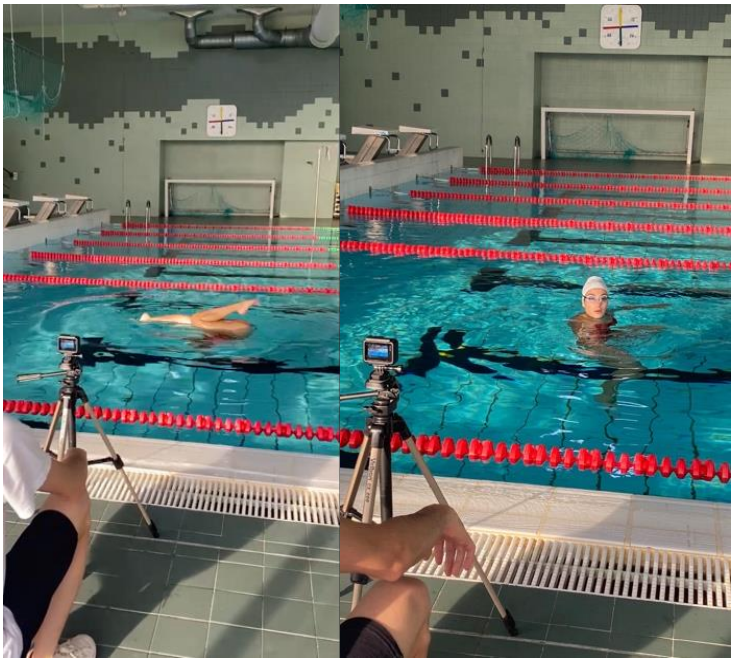


Figura 2. Posição das câmaras para o teste das espargatas.

Domínio fisiológico

A avaliação no domínio fisiológico incluiu os seguintes testes: (i) 200 m de nado contínuo na técnica de crol; e (ii) 20 execuções da ação de bailarina.

No teste de 200 m as nadadoras iniciaram o nado dentro de água após o sinal sonoro sem qualquer perturbação nas pistas adjacentes. O teste implicou nadarem crol (25 m em apneia e 25 m com padrão de respiração normal) na maior intensidade possível. Este teste foi escolhido por ser um dos mais frequentemente aplicados em âmbito de controlo de treino das seleções nacionais e por ter uma duração muito próxima com a duração da coreografia usada em contexto competitivo. Assim, objetivou-se caracterizar o estado das nadadoras em termos de contribuição energética analisando a cinética da curva de recuperação de consumo de oxigénio com recurso ao método de retroextrapolação (Costa et al., 2013). Após o esforço, as nadadoras colocaram-se na parede lateral, em emersão, e com a superfície da água ao nível do esterno de modo a serem medidas as trocas gasosas (Figura 3) com um analisador de gases portátil (K5, Cosmed, Rome, Italy) ao longo de 5 min de recuperação (Sousa et al., 2011). O analisador de gases e a turbina do transdutor foram previamente calibrados com concentrações de gases padrão (16% O_2 e 5% CO_2) e uma seringa de 3 L, respetivamente. Procedeu-se, posteriormente, à modelação dos valores instantâneos de cada nadadora com recurso ao *software* VO2FITTING (Zacca et al 2019) usando o método de regressão linear e exponencial dos primeiros 20 s de recuperação para determinação do consumo de oxigénio pico (Monteiro et al., 2020). Durante o tempo de recuperação foram ainda recolhidas amostras de sangue do dedo das nadadoras para posterior análise da concentração de lactato sanguíneo [La^-] com recurso a um analisador portátil (LactatePro2, Arkay, Inc. Kyoto, Japan). A perceção subjetiva de esforço (PSE), através da aplicação da escala de Borg (6-20), foi auto reportada pelas nadadoras.

Figura 3. Avaliação do consumo de oxigénio com recurso ao método de retroextrapolação.

Os contributos das diferentes vias energéticas para a energia total despendida foram obtidos de acordo com o proposto previamente (di Prampero, 1986; Zamparo et al., 2011). A contribuição anaeróbia alática (AnAl) foi estimada considerando os processos de separação das reservas de fosfocreatina no musculo contráctil de acordo com a equação:

$$AnAl = PCr \times (1- e^{-t/\tau}) \times M$$

onde PCr é a quantidade de concentração de fosfocreatina em repouso, t é a duração da tarefa, τ é a constante de tempo da divisão da PCr no início do exercício (23,4 s), e M é a massa corporal do sujeito (em kg). A contribuição anaeróbia lática (AnL) foi obtida de acordo com a equação:

$$AnL = [La^-]_{net} \times \beta \times M$$

onde $[La^-]_{net}$ representa a diferença da concentração de lactato medida após esforço e em repouso, β é a constante de equivalente de oxigénio (3 ml/kg/min)

e M é a massa corporal do sujeito (em kg). A contribuição aeróbia (Aer) foi pela seguinte equação:

$$Aer = VO2_{net} \times t$$

onde $VO2_{net}$ representa a diferença entre o consumo de O_2 em repouso e em exercício e t diz respeito à duração do esforço.

No teste de bailarinas as nadadoras tiveram de cumprir 20 execuções no menor tempo possível. A execução de bailarina implica que as nadadoras realizem um movimento em retropedalagem com rotação elevando os membros superiores. No final deste teste foi determinada a [La^-] e questionada a PSE aplicando os procedimentos previamente descritos no teste anterior.

Domínio de força e condição física

No domínio da força e condição física objetivou-se dissociar a força dos membros superiores e dos membros inferiores, aplicando para isso dois testes: (i) força isométrica em seco de ação de remada (rotação interna e externa do ombro); e (ii) salto vertical em formato de contramovimento.

No teste de força isométrica da ação da remada as nadadoras foram instruídas, de forma aleatória, a posicionar-se sentadas com a parte posterior contra uma superfície rígida e os membros inferiores em extensão completa (Figura 4). O membro superior (porção do braço e ombro) a ser avaliado foi fixado manualmente pelo investigador. O membro superior oposto permaneceu no prolongamento do tronco sem qualquer intervenção na ação do membro superior a ser avaliado. A dominância dos membros superiores (dominante e não dominante) foi auto reportada pelas nadadoras. Os valores de força isométrica foram obtidos com recurso a um dinamómetro digital portátil (microFET®2, Hoggan Scientific, EUA) de elevada fiabilidade (Conceição et al., 2018). A almofada curva do dinamómetro foi coloca junto aos processos estiloides da ulna e do rádio (superfície interna e externa) e a fita não elástica fixada na maca. Posteriormente, as nadadoras realizaram um aquecimento composto por duas repetições isométricas submáximas e uma máxima (30 s de descanso) durante

a ação de rotação interna (RI) e rotação externa (RE) (Riemann et al., 2010). O pico de força isométrica (em N) foi avaliado através de duas repetições de cinco segundos para o membro superior dominante (D) e não dominante (ND), e de acordo com a RI e RE. A média das repetições foi considerada para posterior análise.

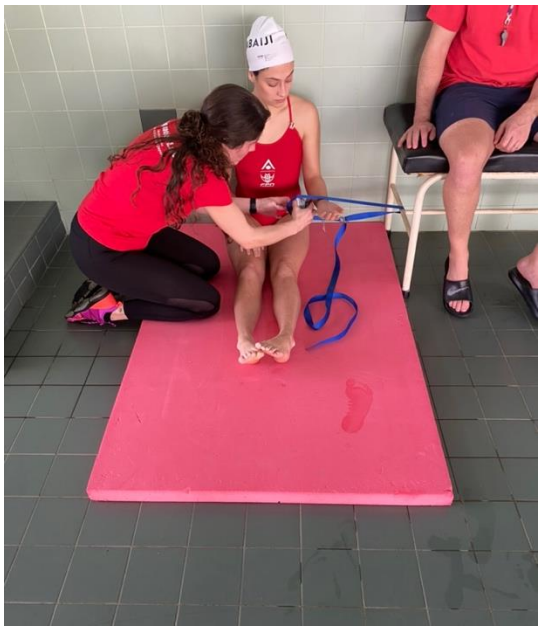


Figura 4. Avaliação da força isométrica da ação da remada

No teste de salto vertical em contramovimento (CMJ), as nadadoras efetuaram um aquecimento de cinco ações (20 s de descanso entre cada uma) previamente à realização de três saltos máximos com um descanso de dois minutos entre repetições (Santos et al., 2022). Procurou-se garantir que as nadadoras não realizassem nenhum movimento dos membros superiores durante todo a salto, exigindo-se assim que as mãos permanecessem junto às ancas. A altura máxima (em m) durante CMJ (Figura 5) foi obtida com recurso a um tapete de contacto (Ergojump Digitime 1000, Digest, Finlândia) e a média dos três saltos foi considerada para posterior análise.

Figura 5. Avaliação do salto vertical em contramovimento (CMJ).

Planeamento do macrociclo (abordagem individualizada)

Entre momentos de avaliação, as nadadoras foram sujeitas a um período de intervenção de 18 semanas que requereu uma abordagem individualizada de acordo com os resultados do M1. A primeira fase deste treino individualizado consistiu em introduzir uma sessão adicional de treino de força com menos repetições, mas com mais intensidade, objetivando que a nadadora 2 se conseguisse aproximar da nadadora 1. O programa de treino de ambas ao longo do macro incluiu cinco sessões de água por semana correspondentes a três horas, com natação de velocidade, habilidades específicas de Natação Artística e treino coreográfico. O treino de ginásio incluiu duas a quatro sessões por semana de 30 a 40 minutos. Estas sessões compreendiam o método *Every two minutes on the minute* (ETMOM'S), ou seja, no minuto par executavam um número fixo de repetições de um exercício, e no minuto ímpar outro número de repetições de outro exercício onde têm somente 10 segundos de descanso entre cada, de forma a potenciar a força explosiva nas atletas, algo muito valorizado para a coreografia. Nestas sessões de treino de força as atletas realizavam dois ETMOM's de 10' perfazendo um total 20', ao qual se adicionou um Tabata de quatro minutos (20" *ON* 10" *OFF*). Nos ETMOM's valorizou-se o trabalho dos

membros superiores e core, enquanto no Tabata valorizou-se o trabalho dos membros inferiores. Esta abordagem esteve suportada pela importância da força dos membros superiores para a modalidade, e ao controlo do core devido ao centro de gravidade para o trabalho de flutuação. Não existe necessidade de ter muita massa muscular nos membros inferiores, pois isso pode afetar a flutuação e adicionar mais carga a suportar pelos membros superiores. Os exercícios de Tabata são úteis para definir os membros inferiores e evitar a exagerada hipertrofia. O excesso de massa muscular nos membros inferiores pode prejudicar a flutuação e aumentar a resistência à água, o que pode ser contraproducente na Natação Artística. Portanto, os exercícios Tabata, com sua alta intensidade e curta duração, são mais adequados para fortalecer e manter os membros inferiores em forma e esteticamente mais bonitos, sem adicionar esse excesso de massa muscular.

O programa de treino incluiu também duas sessões semanais de treino de Natação Pura correspondente a duas horas cada com a equipa do escalão absoluto. As restantes horas foram destinadas ao trabalho coreográfico, quer em seco, quer na água. Neste trabalho de coreografia foram também realizadas algumas adaptações individuais, uma vez que a nadadora 2 apresentava mais dificuldades em aplicar força explosiva nas ações em contexto aquático. Assim, foram realizadas menos repetições para cada exercício, incidindo-se, posteriormente, num maior número de *feedbacks* no intervalo entre cada repetição. Para esta nadadora é crucial que, entre cada repetição de um exercício, lhe seja indicado onde deve aplicar a força para garantir que não está simplesmente a repetir o movimento mecanicamente, mas sim realizando-o com consciência do grupo muscular que está a trabalhar. Esta abordagem visou ajudá-la a memorizar e interiorizar cada correção feita durante o exercício, promovendo um melhor desenvolvimento e eficácia do treino. Ao fornecer orientações específicas sobre onde concentrar a força e a atenção durante cada repetição, objetivou-se que a nadadora 2 melhorasse a sua técnica, fortalecendo os músculos de forma mais eficaz e maximizar os benefícios do seu treino. Este tipo de abordagem consciente e focada não só melhora a execução dos

exercícios, mas também ajuda a prevenir lesões e a promover um progresso mais significativo a longo prazo (Maglischo, 2003).

Com o objetivo de verificar a evolução em contexto competitivo, a pontuação da coreografia padrão do dueto foi usada como indicador de prestação no M1 e M2. A coreografia foi composta por duas híbridas com diferentes elementos das várias famílias da tabela de dificuldade, cinco elementos técnicos requeridos, uma acrobacia e diferentes transições entre estes elementos.

Análise dos dados

Tratando-se de um estudo de caso não foi necessário recorrer à estatística inferencial. Os valores em todas as variáveis enquadradas nos diferentes domínios foram descritos individualmente. A percentagem de variação (Δ, %) entre M1 e M2, e entre as duas nadadoras, foi calculada para todas as variáveis de forma a expressar as diferenças inter- e intra-individuais do dueto.

3. Resultados

A Figura 6 demonstra um exemplo de aquisição de sinal representativo das curvas força-tempo da ação remada americana (painel A) e *kick pull* (painel B) da nadadora 1 durante o teste amarrado no M1.

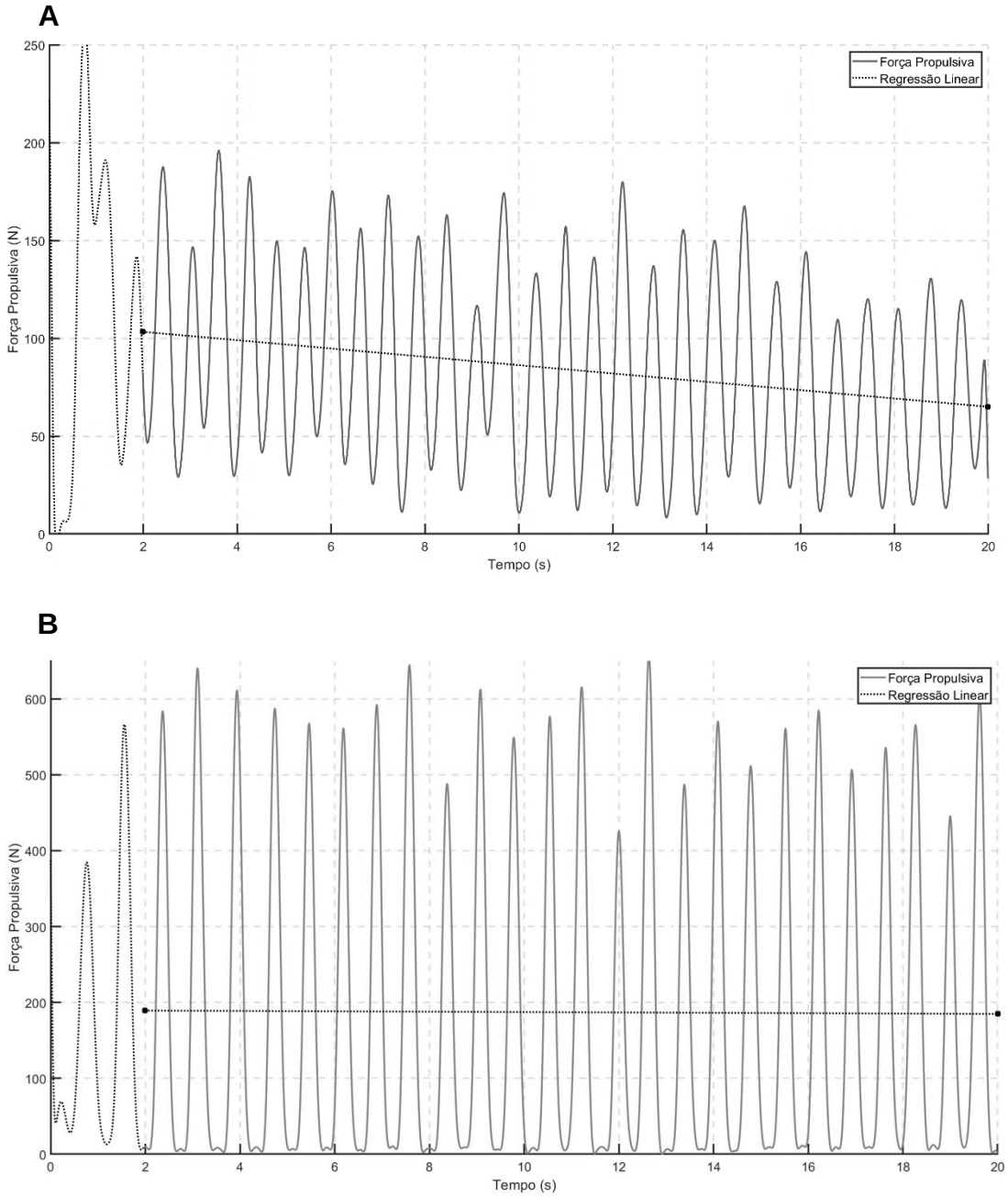
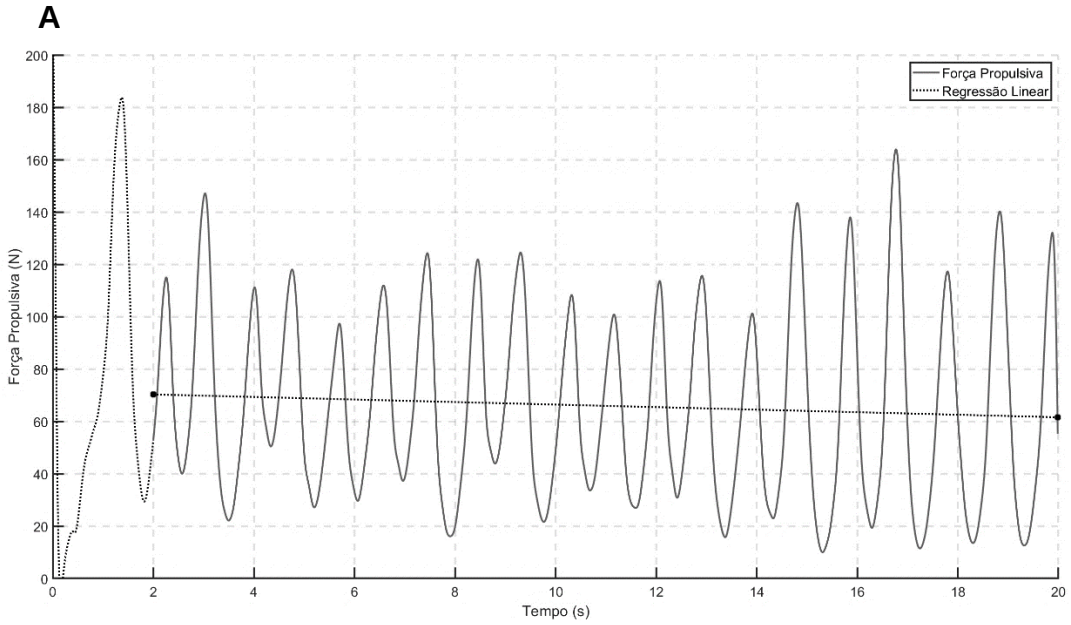


Figura 6. Curvas força-tempo na execução da remada americana (painel A) e *kick pull* (painel B) da nadadora 1.

Verifica-se uma maior capacidade de aplicação de força na ação do *kick pull* comparativamente à remada pelo contributo substancial dos membros inferiores, o que naturalmente se traduz numa maior amplitude das curvas. No entanto, é na ação da remada que se verifica uma maior frequência, o que pode denotar uma maior continuidade do movimento entre ciclos, ainda que o decréscimo de força (ao longo do teste) seja maior nesta ação.

A Figura 7 demonstra um exemplo de aquisição de sinal representativo das curvas força-tempo da ação remada americana (painel A) e *kick pull* (painel B) da nadadora 2 durante o teste amarrado no M1. À semelhança da nadadora 1, verifica-se uma maior capacidade de produção de força na ação do *kick pull* comparativamente à remada. Neste caso específico, a ação *do kick pull* aparenta uma tendência para assimetrias entre os picos subsequentes, podendo ser indicativo de um desequilíbrio muscular num dos membros superiores.



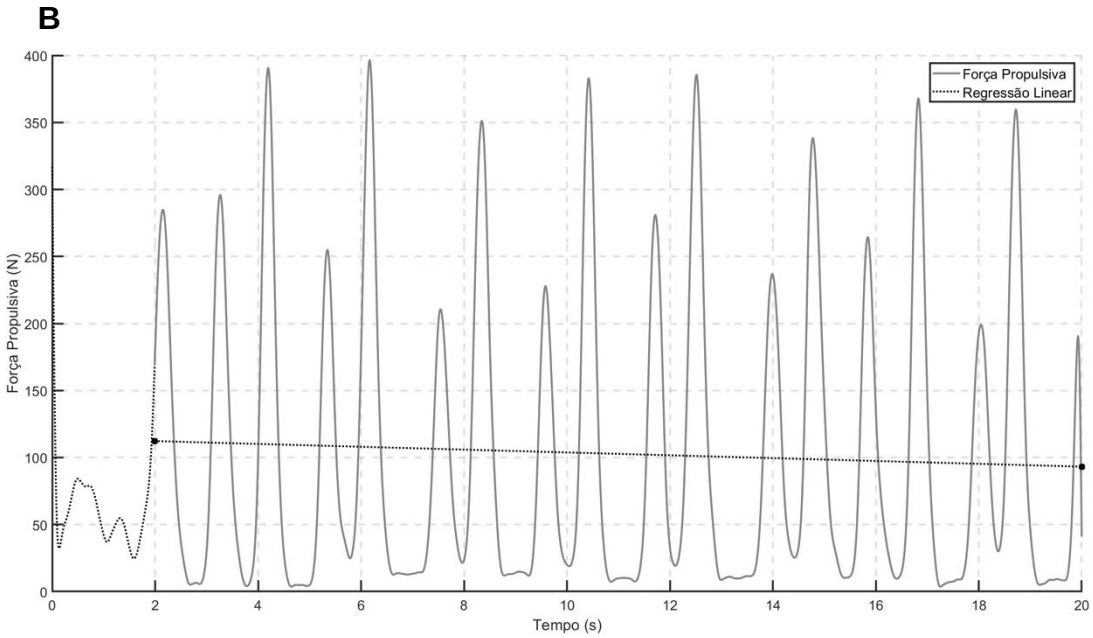


Figura 7. Curvas força-tempo na execução da remada americana (painel A) e *kick pull* (painel B) da nadadora 2.

A Figura 8 demonstra as curvas de cinética *off* do consumo de O_2 após o esforço de 200 m crol no M1. Verificou-se que ambas as nadadoras apresentam uma diminuição rápida do consumo de O_2 nos primeiros segundos de recuperação, podendo indicar um rápido ajuste fisiológico após o exercício. Os perfis individuais de curva (a começar num ponto mais alto ou baixo) sugerem uma diferente captação de oxigénio possivelmente devido a uma intensidade maior ou a uma adaptação diferente ao exercício. Mesmo assim, verificou-se a estabilização do consumo de O_2 aproximadamente 90 s após o exercício em ambas as nadadoras.

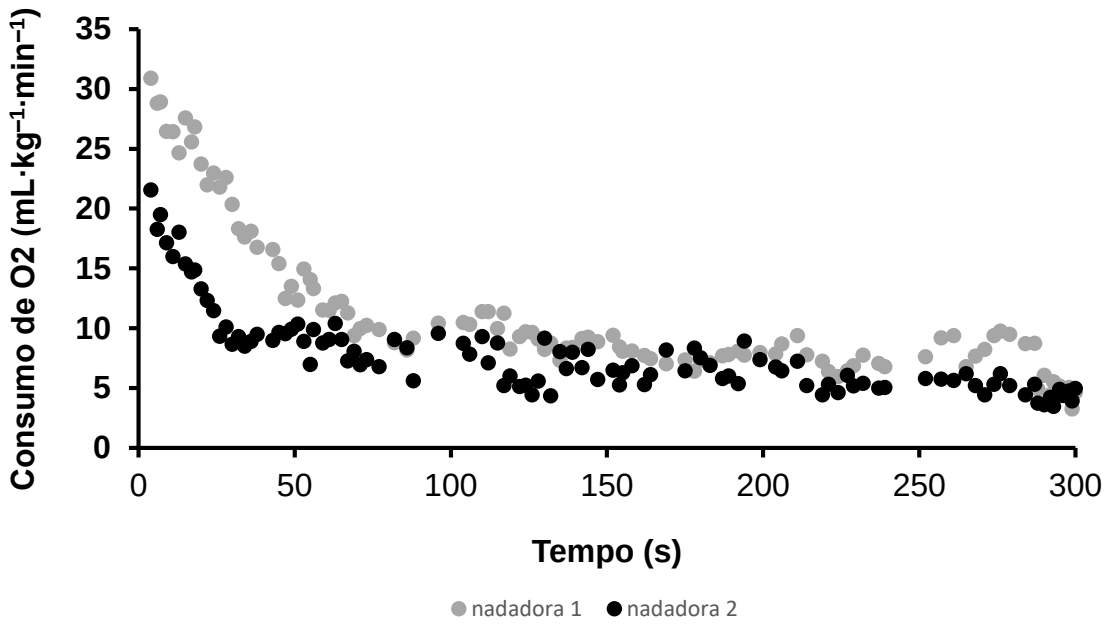


Figura 8. Curvas de cinética *off* do consumo de O2 após o esforço de 200 m crol. Pontos cinzentos representam a nadadora 1; Pontos pretos representam a nadadora 2.

A Tabela 1 apresenta os valores individuais por domínios e respetivas variações intra-individuais entre momentos de avaliação. No domínio antropométrico verificou-se que ambas as nadadoras apresentaram um aumento de MC, sendo mais expressivo para a nadadora 2. O resto das características antropométricas mantiveram-se relativamente estáveis para ambas. No domínio biomecânico verificou-se uma franca evolução na Fmáx e Fméd da remada e do *kick pull*. Ao mesmo tempo foi também notório um aumento na v durante a execução das espargatas. No domínio fisiológico, as nadadoras revelaram uma melhor competência nos testes de 200 m e de bailarinas, a qual foi acompanhada por uma evolução do contributo energético pelas vias AnL e AnAl. No domínio de força e condição física também se observou uma evolução ao nível da contração isométrica e da potência de salto, sendo esta melhoria mais acentuada na nadadora 2.

Tabela 1. Variações intra-individuais nos diferentes domínios em análise entre momentos de avaliação.

Variáveis (unidades)	Nadadora 1			Nadadora 2		
	M1	M2	Δ (%)	M1	M2	Δ (%)
Antropometria						
MC (kg)	57,8	59,4	2,77	54,8	56,8	3,65
Est (m)	1,66	1,66	0,00	1,66	1,66	0,00
Env (m)	1,66	1,68	1,20	1,77	1,77	0,00
MI (m)	0,92	0,92	0,00	0,99	0,99	0,00
Biomecânica						
Fmáx kick pull (N)	656,54	704,67	7,34	396,51	533,64	34,58
Fméd kick pull (N)	187,04	193,88	3,66	102,72	137,54	33,90
Fmáx remada (N)	196,07	205,6	4,86	163,94	153,35	-6,46
Fméd remada (N)	84,18	83,71	-0,56	65,95	75,39	14,31
TEspargatas (s)	1,49	1,22	-18,12	1,77	1,45	-18,08
vEspargatas (rad/s)	4,22	5,15	22,14	3,55	4,35	22,69
Fisiologia						
T200 (s)	167,25	161,49	-3,44	178,24	168,02	-5,73
[La]200 (mmol/L)	10,3	9,8	-4,85	7,1	8,9	25,35
PSE200	17	19	11,76	15	18	20,00
Aer200 (%)	34	20	-41,18	36	33	-8,33
AnL200 (%)	45	46	2,22	33	37	12,12
AnAl200 (%)	22	34	54,55	31	30	-3,23
Tbailarinas (s)	19,18	14,58	-23,98	24,07	17,89	-25,68
[La]bailarinas (mmol/L)	7,5	6,7	-10,67	3,7	3,8	2,70
Força e Condição Física						
RI_D (N)	97,85	118,7	21,31	74,70	90,70	21,42
RI_{ND} (N)	109,4	98,95	-9,55	72,50	85,15	17,45
RE_D (N)	85,5	81,85	-4,27	75,60	78,25	3,51
RE_{ND} (N)	61,6	62,45	1,38	62,90	72,00	14,47
CMJ (m)	0,27	0,28	3,70	0,25	0,27	8,00

M1, momento 1; M2, momento 2; MC, massa corporal; Est, estatura; Env, envergaruda; MI, comprimento membro inferior; Fmáx, força máxima; Fméd, força média, T, tempo; v, velocidade; [La^-], concentração de lactato; PSE, percepção subjetiva de esforço; Aer, contributo aeróbio; AnL, contributo aneróbio lático; AnAl, contributo anaeróbio alático; RI, rotação interna; RE, rotação externa; $_D$, dominante; $_{ND}$, não dominante; CMJ, contramovimento.

A Tabela 2 apresenta os valores individuais por domínios e respetivas variações inter-individuais em cada momento de avaliação. No domínio antropométrico verificou-se uma maior proximidade entre nadadores ao nível da MC decorrente do aumento da nadadora 2 (N2). O resto das características antropométricas mantiveram-se relativamente estáveis ao longo do macrociclo. Os dados no domínio biomecânico revelaram que as nadadoras se aproximaram nos indicadores de Fmáx e Fméd do movimento de *kick pull* e da Fméd da remada. A Fmáx da remada foi o único indicador que não evidenciou indicadores de

melhoria e aproximação entre ambas. No domínio da fisiologia foi também notória uma aproximação das nadadoras em termos de indicadores de resposta ao esforço bem como nos contributos decorrentes da via anaeróbia. No que diz respeito à força e condição física, os resultados mostraram uma aproximação entre as duas nadadoras ao nível da força isométrica (à exceção da RE_{ND}) e explosiva decorrentes das variáveis estudadas.

Tabela 2. Variações inter-individuais por domínio em análise em cada um dos momentos de avaliação.

Variáveis (unidades)	Momento 1			Momento 2		
	N1	N2	Δ (%)	N1	N2	Δ (%)
Antropometria						
MC (kg)	57,8	54,8	5,19	59,4	56,8	4,38
Est (m)	1,66	1,66	0,00	1,66	1,66	0,00
Env (m)	1,66	1,77	-6,63	1,68	1,77	-5,36
MI (m)	0,92	0,99	-6,83	0,92	0,99	-6,83
Biomecânica						
Fmáx kick pull (N)	656,54	396,51	39,60	704,67	533,64	24,27
Fméd kick pull (N)	187,04	102,72	45,08	193,88	137,54	29,06
Fmáx remada (N)	196,07	163,94	16,39	205,6	153,35	25,41
Fméd remada (N)	84,18	65,95	21,66	83,71	75,39	9,94
TEspargatas (s)	1,49	1,77	-18,79	1,22	1,45	-18,85
vEspargatas (rad/s)	4,22	3,55	15,91	5,15	4,35	15,53
Fisiologia						
T200 (s)	167,25	178,24	-6,57	161,49	168,02	-4,04
[La]200 (mmol/L)	10,3	7,1	31,07	9,8	8,9	9,18
PSE200	17	15	11,76	19	18	5,26
Aer200 (%)	34	36	-5,88	20	33	-65,00
AnL200 (%)	45	33	26,67	46	37	19,57
AnAl200 (%)	22	31	-40,91	34	30	11,76
Tbailarinas (s)	19,18	24,07	-25,50	14,58	17,89	-22,70
[La]bailarinas (mmol/L)	7,5	3,7	50,67	6,7	3,8	43,28
Força e Condição Física						
RI_D (N)	97,85	74,70	23,66	118,7	90,70	23,59
RI_{ND} (N)	109,4	72,50	33,73	98,95	85,15	13,95
RE_D (N)	85,5	75,60	11,58	81,85	78,25	4,40
RE_{ND} (N)	61,6	62,90	-2,11	62,45	72,00	-15,29
CMJ (m)	0,27	0,25	7,41	0,28	0,27	3,57

N1, nadadora 1; N2, nadadora 2; MC, massa corporal; Est, estatura; Env, envergaruda; MI, comprimento membro inferior; Fmáx, força máxima; Fméd, força média, T, tempo; v, velocidade; [La^-], concentração de lactato; PSE, percepção subjetiva de esforço; Aer, contributo aeróbio; AnL, contributo aneróbio lático; AnAl, contributo anaeróbio alático; RI, rotação interna; RE, rotação externa; $_D$, dominante; $_{ND}$, não dominante; CMJ, contramovimento.

O score da coreografia no M1 e no M2 foi de 168,9943 e 190,7183 pontos, respetivamente.

4. Discussão

Foi objetivo deste estudo caracterizar e monitorizar um dueto de Natação Artística, do ponto de vista biofísico, e verificar a sua evolução ao longo de um macrociclo. Nesse sentido procurou-se a implementação de um estudo de carácter longitudinal com dois momentos de avaliação no tempo. Este tipo de estudos abrange a noção de medidas repetidas e permite estabelecer sequências entre eventos, isto é, observar o efeito que as variáveis têm entre elas e como, isolada ou combinadamente, influenciam a performance ao longo da época desportiva (Costa et al., 2012). Só com este tipo de abordagem se conseguiu ajustar as unidades de treino consoante as necessidades de cada nadadora após a identificação dos seus domínios mais frágeis.

No sentido de avaliar os diferentes domínios com um papel determinante na prestação de um dueto de natação artística tentou-se, tanto quanto possível, escolher um conjunto de testes e equipamento com validação, fiabilidade e sustentação científica. Portanto, recorreu-se a uma metodologia de nado amarrado para determinação das forças aplicadas na água que, na ausência de um método *gold standard*, tem sido uma das metodologias frequentemente utilizadas para esse efeito em atletas de Natação Pura (Santos et al., 2021) e Natação Artística (Diogo et al., 2010). Por outro lado, utilizou-se o método de retroextrapolação para determinação de consumos de O_2 e posterior cálculo da contribuição das diferentes vias energéticas, método esse que revela elevada associação com os valores obtidos pela via *bareath by breath* (Montpetit et al., 1981). Na força e condição física, recorreu-se a um dinamómetro manual para medidas dos valores de contração isométrica e a uma metodologia de salto vertical para a avaliação da potência dos membros inferiores, ambas apresentando fiabilidade e/ou validade previamente reportadas (Conceição et al., 2018; Rago et al., 2018). Assim, recorrendo a métodos de avaliação fiáveis e precisos, e com recurso a um treino com abordagem individualizada, procurou-se verificar a possibilidade de aproximar as duas nadadoras no sentido de colmatar as diferenças inter-individuais do dueto (i.e., apresentar um dueto mais homogéneo).

Domínio antropométrico

No domínio antropométrico verificou-se que ambas as nadadoras apresentaram um aumento de MC, sendo mais expressivo para a nadadora 2. O resto das características antropométricas mantiveram-se relativamente estáveis para ambas. Este aumento de MC pode ser explicado pelas sessões de treino de força adicionais aplicadas à nadadora 2. De facto, já era expectável que o aumento do trabalho de força levasse a uma alteração da constituição da composição corporal, potenciando o aumento da massa magra à semelhança do reportado na literatura (e.g. Kapsis et al., 2022). Constatou-se, assim, que as nadadoras se tornaram mais semelhantes em estatura, envergadura e massa corporal o que de certa forma facilitou a sincronização dos movimentos e, consequentemente, promoveu uma melhoria do desempenho desportivo a nível artístico do dueto. Esta similitude corporal é desejável e garante uma simetria visual, uma vez que é um aspeto altamente valorizado pelos juízes nas competições. A harmonia nas medidas antropométricas não contribui apenas para a estética, mas também para a eficiência e a eficácia das rotinas na Natação Artística (Podrihalo et al., 2021).

Domínio biomecânico

No domínio biomecânico verificou-se uma evolução na Fmáx e Fméd da remada e do *kick pull*. Pela análise das curvas força-tempo, verificou-se que as duas nadadoras se aproximaram no M2, indicando que as duas terminaram o macrociclo a remar de forma mais precisa e aplicando níveis de força mais elevados comparativamente ao M1. Este aspeto traduziu-se numa ação mais coordenada e eficiente com um potencial impacto na forma como as ações propulsivas foram realizadas.

Na remada americana podemos considerar a existência de uma ação de propulsão onde a nadadora aplica a força máxima para gerar movimento para a frente e uma ação de recuperação onde a nadadora reposiciona os membros superiores e se prepara para o próximo movimento aplicando menos força (Homma et al., 2023). Aliás, a coerência entre propulsão e simetria na remada deverá ser de extrema relevância pelos efeitos que tem na estabilização da

posição corporal (Fantosi et al., 2023). No M2 verificou-se que a amplitude das forças aplicadas se tornou mais consistente, podendo indicar um aprimoramento da técnica e melhor utilização da força no momento de propulsão. Esta evolução na uniformidade da força aplicada sugere uma eficácia do treino aplicado, permitindo às nadadoras alcançar um nível de sincronia entre membros e uma eficiência maior.

No caso do *kick pull* a tendência observada foi semelhante. Verificou-se uma maior força aplicada no final do macrociclo conseguindo, dentro do possível, atenuar os desequilíbrios e assimetrias, inicialmente, observados na nadadora 2. Sabendo que a ação do *kick pull* é muito centrada na explosão dos membros inferiores, foi necessária uma atenção na sua forma de execução ao longo das diferentes semanas de treino. De facto, a forma como a ação dos membros inferiores é feita, pode ter repercussões nos indicadores de desempenho desportivo (Martinez et al., 2022). Numa perspetiva de dueto, ambas as nadadoras aumentaram a potência dos membros inferiores, o que se traduziu em ganhos de altura e velocidade na execução das coreografias com repercussão na pontuação obtida em contexto competitivo.

Foi também notório um aumento da velocidade angular durante a execução das espargatas, embora a aproximação das nadadoras não tenha sido tão expressiva nesta variável como noutras previamente mencionadas. No contexto da natação artística, a relação entre força aplicada e velocidade dos movimentos é fundamental para uma execução eficiente num desporto que se quer cada vez mais explosivo. De facto, a velocidade de execução é particularmente importante em movimentos que exijam rápidas mudanças de direção e coordenação fina (Dzimbova et al., 2023). Uma maior força permitiu que as nadadoras aplicassem maior tensão muscular, o que foi crucial para realizar o movimento de espargata de forma mais poderosa e explosiva. Apesar do aumento da velocidade de execução conseguido, o movimento não ficou aquém em termos de precisão, essencialmente, devido ao trabalho que visou a manutenção da qualidade técnica durante a execução.

Domínio fisiológico

No domínio fisiológico as nadadoras revelaram uma melhor competência nos testes de 200 m e de bailarinas pelo menor tempo requerido para a sua execução. No M2 a curva de recuperação, com base nos valores de consumo de O_2 de ambas as nadadoras, demonstrou ser muito semelhante. A par disso, a recuperação mais rápida no M2, comparativamente ao M1, sugere uma melhoria na eficiência do uso do oxigénio, indicando uma adaptação positiva ao treino e consequente melhor gestão do esforço. Mesmo assim, a resposta ao treino em Natação Artística é estritamente individual e pode determinar algumas adaptações ao nível da capacidade pulmonar com implicações nas variáveis metabólicas (Garcia et al., 2020).

Estudos indicam que, tanto a capacidade aeróbia, como a capacidade anaeróbia, são cruciais para o desempenho em Natação Artística, dada a necessidade de realizar movimentos técnicos intensos e manter períodos prolongados de apneia (Viana et al., 2019). Se via aeróbia está relacionada com a resistência durante as rotinas, a via anaeróbia sustenta os esforços intensos durante a sua execução (Rodriguez-Zamora et al., 2012). Olhando ao fenómeno da prestação do dueto, foi através do contributo anaeróbio que se produziu grande parte da energia no seu tipo de rotinas. Esta sustentação foi corroborada pelo aumento do percetual das vias AnL e AnAl ao longo do macrociclo que evolui em cada uma das nadadoras e atenuou diferenças entre ambas. Ao mesmo tempo os valores de [La^-] não foram tão expressivos para o mesmo esforço (nos testes de 200 m crol e 20 bailarinas) o que denota uma adaptação na capacidade de remoção do lactato proveniente do treino a esforços intensos. O facto de as nadadoras se terem aproximado neste domínio é crucial para o desempenho do dueto, pois o facto de apresentarem ritmos de respiração e resistência física semelhantes, à custa do metabolismo anaeróbio, facilita na criação de rotinas com maior grau de dificuldade (Perini et al., 2018).

Domínio de força e condição física

No domínio de força e condição física também se notou uma evolução ao nível da contração isométrica e da potência de salto, sendo esta melhoria mais

acentua na nadadora 2. A força desempenha um papel crucial na capacidade que os nadadores possuem para executar as figuras ou rotinas (Perini et al., 2018). De facto, a Natação Artística caracteriza-se pela adoção, maioritariamente, de uma posição vertical durante o desempenho de figuras ou rotinas (Iglesias et al., 2014), sendo esta mantida através de movimentos de sustentação (e.g., *sculling*) e explosivos, tornando-se, assim, primordial para a sustentação, suporte, propulsão e impulsão dos corpos na água (Laski et al., 2024). Sabe-se que uma elevada proporção da rotina de um dueto técnico ou livre é realizada na posição vertical invertida (41,6% e 45,4%, respetivamente), seguida da posição vertical (29,2% e 28,4%, respetivamente) e da posição horizontal (29,2% e 26,2%) (Iglesias et al., 2014), corroborando assim a necessidade de monitorização de movimentos de sustentação e explosivos. Para além da sustentação por longos períodos, a Natação Artística requer também transições (i.e., mudar de direção na água) e movimentos giratórios (Nesbitt,1991).

Estudos prévios na Natação Pura indicam que um planeamento tradicional anual com três picos de forma, e em jovens nadadores, promove desequilíbrios musculares (Batalha et al., 2013) nos rotadores do ombro (rácio RI/RE). Embora, no presente estudo, não se tenha considerado este tipo de análise, o treino individualizado no dueto parece também levar a desequilíbrios musculares entre a RI e RE. Não obstante, o desempenho no domínio biomecânico foi superior a par com o resultado obtido na coreografia realizada em contexto de competição no M2. Este facto parece denotar, à semelhança da Natação Pura, a inexistência de interdependência entre desequilíbrios e desempenho desportivo. Contudo, do nosso melhor conhecimento, a literatura no domínio de força e condição física permanece escassa na Natação Artística. Não obstante, um estudo recente (Laski et al., 2024) tentou compreender a relação existente entre dois elementos (posição vertical e Barracuda) e a força de preensão manual de 17 jovens atletas de Natação Artística. Os autores verificaram a existência de uma correlação positiva entre a força (direito e esquerdo) e o elemento Barracuda, enquanto no elemento posição vertical apenas foi encontrada uma correlação positiva na força do lado direito.

A habilidade para saltar tem sido reportada como um fator determinante do rendimento desportivo em diversas modalidades, como por exemplo na ginástica (Baker, 1996). Embora a literatura seja escassa na Natação Artística, pode-se argumentar que, a par do papel crucial dos membros superiores, quer na sustentação, quer na propulsão, os membros inferiores são indispensáveis na realização dos elementos, como, por exemplo, *kick pull* ou *boost*. Estudos prévios apenas se focaram no movimento de retropedalagem (comumente designado de *eggbeater kick*), sendo este analisado do ponto de vista cinemático (p.e., Homma & Homma, 2005). Embora a evolução na potência dos membros inferiores da nadadora 1 e 2 tenha rondado os 4 e 8% (respetivamente), no M2, o dueto aproximou o seu desempenho (de 7% para ~4%). Este facto parece demonstrar a importância de um treino individualizado focado em fortalecer os pontos fracos e maximizar os pontos fortes de cada nadadora (Beunen, 1992).

5. Conclusões

A presente dissertação permite concluir que:

- As características antropométricas, biomecânicas, fisiológicas e de força e condição física das nadadoras que compõem um dueto de Natação Artística melhoraram ao longo de um macrociclo de treino.

- A aplicação de um treino individualizado, considerando os diferentes domínios de distribuição da carga, permitiu uma aproximação das características antropométricas, biomecânicas, fisiológicas e de força e condição física das nadadoras que compõem um dueto de Natação Artística.

- A aproximação das características antropométricas, biomecânicas, fisiológicas e de força e condição física das nadadoras que compõem um dueto de Natação Artística foi acompanhada por uma melhoria na pontuação coreográfica em contexto competitivo.

6. Sugestões para estudos futuros

A abordagem deste trabalho parece ser a primeira a tentar esclarecer, do ponto de vista científico, as implicações que a aproximação biofísica de um dueto de Natação Artística poderá ter na prestação em contexto competitivo. Contudo, ainda existem abordagens que poderão requerer um estudo aprofundado, tais como:

- Aplicar novos desenhos de carácter longitudinal, aumentando o número de medições ao longo do tempo (p.e. analisar uma época competitiva na totalidade);

- Verificar o efeito que o destreino possa ter nos diferentes domínios em análise;

- Expandir a análise para outros domínios que possam ser determinantes para prestação competitiva de um dueto de natação artística (p.e. neuromusculares, motivacionais, nutricionais);

- Expandir a análise para outro tipo de grupos ou escalões (p.e. analisar a preparação de um dueto num ciclo olímpico).

- Delinear um possível esboço de um modelo determinístico de natação artística incorporando um conjunto de domínios determinantes da prestação.

7. Referências bibliográficas

Baker D. 1996. Improving vertical jump performance through general, special, and specific strength training: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research, 10*: 131–136.

Batalha, N. M., Raimundo, A. M., Tomas-Carus, P., Barbosa, T. M., & Silva, A. J. (2013). Shoulder rotator cuff balance, strength, and endurance in young swimmers during a competitive season. *Journal of Strength and Conditioning Research, 27*(9), 2562–2568.

Bentley, D.J., Viana, E., Logan-Sprenger, H.M. (2022). Metabolic and Performance Responses to a Simulated Routine in Elite Artistic Swimmers. *Sports, 10*, 190.

Chatard, J. C., Mujika, I., Chantegraille, M. C., & Kostucha, J. (1999). Performance and physiological responses to a 5-week synchronized swimming technical training programme in humans. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 79(6), 479–483.

Conceição, A., Parraca, J., Marinho, D., Costa, M., Louro, H., Silva, A., & Batalha, N. (2018). Assessment of isometric strength of the shoulder rotators in swimmers using a handheld dynamometer: a reliability study. *Acta of Bioengineering and Biomechanics, 20*(4), 113–119.

Cortesi, M., Di Michele, R., & Gatta, G. (2019). Effects of Intracyclic Velocity Variations on the Drag Exerted by Different Swimming Parachutes. *Journal of Strength and Conditioning Research, 33*(2), 531–537.

Costa, M. J., Bragada, J. A., Marinho, D. A., Silva, A. J., & Barbosa, T. M. (2012). Longitudinal interventions in elite swimming: a systematic review based on energetics, biomechanics, and performance. Journal of Strength and Conditioning Research, 26(7), 2006–2016.

Costa, M. J., Bragada, J. A., Mejias, J. E., Louro, H., Marinho, D. A., Silva, A. J., & Barbosa, T. M. (2013). Effects of swim training on energetics and performance. *International Journal of Sports Medicine, 34*(6), 507–513.

Diogo, V., Soares, S., C. Tourino, C., Carmo, C., Aleixo, I., Morouço, P., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J.P., & Fernandes, R.J. (2010). Quantification of

Maximal Force Produced in Standard and Contra-Standard Sculling in Synchronized Swimming. A Pilot Study. *The Open Sports Sciences Journal, 3*, 81-83

di Prampero P. E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*, 7(2), 55–72.

Dzimbova, T., & Markov, A. (2023). Anthropometric and anaerobic parameters in young female artistic swimmers. *Journal of Physical Education and Sport, 23*(10), 2660-2665.

Fantozzi, S., Coloretti V., Chimieri S., G. Russo G., & Cortesi M. (2023). Relationship between propulsion, symmetry, stability, and height in three different static figures of artistic swimming. *Gait & Posture, 105*, S1–S54.

FINA Artistic Swimming Rules 2017-2021, World Aquatics.

Federação Portuguesa de Natação (2023).

García, I., Drobnic, F., Pons, V., & Viscor, G. (2021). Changes in Lung Diffusing Capacity of Elite Artistic Swimmers During Training. *International Journal of Sports Medicine*, 42(3), 227–233.

Homma, M., & Homma, M. (2005). Coaching points for the technique of the eggbeater kick in synchronized swimming based on three-dimensional motion analysis. *Sports Biomechanics, 4*(1), 73–87.

Iglesias, X., Rodríguez-Zamora, L., Clapés, P., Barrero, A., Chaverri, D., & Rodríguez, F. A. (2014). Análisis multidimensional de la estructura de las rutinas competitivas en natación sincronizada. *Revista de Psicología del Deporte, 23*(1), 173-180.

Kapsis, D. P., Tsoukos, A., Psarraki, M. P., Douda, H. T., Smilios, I., & Bogdanis, G. C. (2022). Changes in Body Composition and Strength after 12 Weeks of High-Intensity Functional Training with Two Different Loads in Physically Active Men and Women: A Randomized Controlled Study. *Sports, 10*(1), 7.

Laski, V., Ureczky, D., & Wilhelm, M. (2024). Investigation of Factors Related to Sport-Specific Compulsory Element Execution in Artistic Swimming. *Sports, 12*(4), 96.

Lohman TG, Roche AF, & Martorell R. Anthropometric Standardization Reference Manual. Human Kinetics; 1988.

Maglischo, E.W. Swimming Fastest. The essential reference on technique, training, and program design. Human Kinetics; 2003.

Martinez, R., Assila, N., Monga-Dubreuil, É., Desmyttere, G. & Begon, M. (2022). Predicting eggbeater kick performances from hip joint function testing in artistic swimming. SportRχiv, 1-22.

Monteiro, A. S., Carvalho, D. D., Azevedo, R., Vilas-Boas, J. P., Zacca, R., & Fernandes, R. J. (2020). Post-swim oxygen consumption: assessment methodologies and kinetics analysis. *Physiological Measurement, 41*(10), 105005.

Montpetit, R. R., Léger, L. A., Lavoie, J. M., & Cazorla, G. (1981). VO2 peak during free swimming using the backward extrapolation of the O2 recovery curve. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 47*(4), 385–391.

Nesbitt, S. Basic Sculling, Transitions and Drills; Synchro: Evanston, IL, USA, 1991; pp. 23–25.

Pazikas, M. G. A., Curi, A., Aoki, M. S. (2005). Behavior of physiological variables in synchronized swimming athletes during a training session preparing for the Athens 2004 Olympic Games. Revista Brasileira de Medicina do Esporte. 11(6), 357-362.

Peric, M., Zenic, N., Mandic, G. F., Sekulic, D., & Sajber, D. (2012). The reliability, validity and applicability of two sport-specific power tests in synchronized swimming. *Journal of Human Kinetics, 32*, 135–145.

Perini, R., Bortolotti, H., Capelli, C., & Orizio, C. (2018). Respiratory and metabolic adaptations in synchronized swimmers during different training phases. *Journal of Applied Physiology*, 125(3), 731-738.

Podrihalo, O., Podrigalo, L., Jagiełło, W., Iermakov, S., & Yermakova, T. (2021). Substantiation of Methods for Predicting Success in Artistic Swimming. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(16), 8739.

Rago, V., Brito, J., Figueiredo, P., Carvalho, T., Fernandes, T., Fonseca, P., & Rebelo, A. (2018). Countermovement Jump Analysis Using Different Portable Devices: Implications for Field Testing. *Sports, 6*(3), 91.

Riemann, B. L., Davies, G. J., Ludwig, L., & Gardenhour, H. (2010). Hand-held dynamometer testing of the internal and external rotator musculature based on selected positions to establish normative data and unilateral ratios. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 19*(8), 1175–1183.

Rincón, A. B., Trinidad, A., & López-Valenciano, A. (2023). Bibliometric study on artistic swimming. *Frontiers in Sports and Active Living, 5*, 1196144.

Rodríguez-Zamora, L., Iglesias, X., Barrero, A., Chaverri, D., Erola, P., & Rodríguez, F. A. (2012). Physiological responses in relation to performance during competition in elite synchronized swimmers. *PloS one, 7*(11), e49098.

Santos, C. C., Marinho, D. A., Neiva, H. P., & Costa, M. J. (2021). Propulsive forces in human competitive swimming: a systematic review on direct assessment methods. *Sports Biomechanics*, 1–21. Advance online publication.

Santos, C. C., Barbosa, T. M., Marinho, D. A., & Costa, M. J. (2022). Association between the dry-land strength & power and the kick start kinetics in elite male and female swimmers. *Sports Biomechanics*, 1–11. Advance online publication.

Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Anaerobic alactic energy assessment in middle distance swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 113(8), 2153–2158.

Viana, E., Bentley, D. J., & Logan-Sprenger, H. M. (2019). A Physiological Overview of the Demands, Characteristics, and Adaptations of Highly Trained Artistic Swimmers: a Literature Review. *Sports Medicine - Open*, *5*(1), 16.

Zacca, R., Azevedo, R., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., Castro, F. A. S., Pyne, D. B., & Fernandes, R. J. (2019). VO_2FITTING: A Free and Open-Source Software for Modelling Oxygen Uptake Kinetics in Swimming and other Exercise Modalities. *Sports, 7*(2), 31.

Zamparo, P., Capelli, C., & Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: a historical perspective. *European Journal of Applied Physiology, 111*(3), 367–378.