

Caracterização e comparação cinemática entre duas variantes da ação subaquática na técnica de bruços

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 Mário Jorge de Oliveira Costa

Coorientador: Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas Soares Campos

Francisco André da Cruz Ferreira

Porto, 2023



Ferreira, F. (2023). Caracterização e comparação cinemática entre duas variantes da ação subaquática na técnica de bruços. Porto: Ferreira, F. Dissertação de 2º ciclo em Treino Desportivo – Treino de Alto Rendimento. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

PALAVRAS-CHAVE: NATAÇÃO, TREINO, BIOMECÂNICA, TÉCNICA DE BRUÇOS, AÇÃO SUBAQUÁTICA

“Great things never come from comfort zones”

– Penny Oleksiak

Agradecimentos

A realização de todo este trabalho nas suas diversas etapas apresentou-se com grande impacto na minha vida e só foi possível com suporte, contributos, confiança e incentivo de várias pessoas. Posto isso, endereço profundos e sinceros agradecimentos:

Ao Professor Doutor Mário Costa pela sua excelência na orientação em todos os aspetos através dos diversos momentos de aprendizagem, do acompanhamento constante, da pronta disponibilidade, da simplificação de grandes problemas, da confiança e do investimento depositado em mim.

Ao Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas pela aceitação na integração da equipa de orientação, pela sabedoria que presenteia, pelas histórias da natação portuguesa e pelas discussões e reflexões.

Ao Professor Doutor Ricardo Fernandes pelo profissionalismo que assume sempre, pela exigência e rigor que incute nos projetos, pela partilha de conhecimentos e por manter grandes ideias com os pés assentes em solo.

À Professora Doutora Susana Soares pela paixão que presenteia a natação, pela apresentação de diversos livros e histórias, pela companhia e conversas no gabinete.

Aos nadadores da amostra e intervenientes na recolha de dados pela disponibilidade, ajuda e compromisso.

Aos meus colegas de gabinete que muito me ensinam e pelo incentivo em novas etapas, por demonstrarem o que e como se alcança a excelência, por remarmos por um futuro semelhante e por manterem um bom ambiente de trabalho.

Aos meus amigos de Miranda do Corvo por sempre voltarem a receber-me de braços abertos após períodos afastado e pelos momentos de reunião caseiros com jogos de tabuleiro que sempre deixam histórias para contar.

À minha mãe e ao meu pai pela educação que me deram e que faz de mim procurar mais sem falhar aos compromissos, por não deixarem que me falte nada e por serem o exemplo de trabalho e dedicação que procuro igualar. Ao meu irmão pela ajuda em diversas questões tecnológicas e por se querer superar. À Sabina que, apesar da distância, preocupa-se sempre e por ser um grande exemplo. Dedico-vos este trabalho e espero possa retribuir tudo o que fizeram por mim.

À Maria Lenita pelo constante apoio nas minhas lutas, pela paciência que precisa para os meus momentos menos bons, pelo amor e carinho que tem um efeito renovador e me faz reerguer e pelo orgulho que me enche com as suas conquistas.

Índice

Agradecimentos	V
Índice de tabelas	IX
Índice de figuras.....	XI
Resumo	XIII
Abstract	XV
Lista de abreviaturas.....	XVII
1. Introdução	1
2. Materiais e métodos	7
3. Resultados	17
4. Discussão	25
5. Conclusões	33
6. Sugestões para estudos futuros	35
7. Referências bibliográficas	37

Índice de tabelas

Tabela 1	Valores médios $\pm$ DP da idade, principais características antropométricas e nível competitivo dos nadadores na técnica de bruços.	7
Tabela 2	Comparação entre variáveis da realização da ação subaquática na técnica de bruços com as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).	21
Tabela 3	Comparação entre variáveis da realização da fase de impulsão da ação subaquática na técnica de bruços com as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).	22
Tabela 4	Comparação entre variáveis da realização da fase de propulsão da ação subaquática na técnica de bruços com as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).	23
Tabela 5	Comparação entre variáveis da realização da fase de recuperação da ação subaquática na técnica de bruços com as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).	24
Tabela 6	Comparação entre o coeficiente de variação nos três ciclos subsequentes entre as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).	24

Índice de figuras

Figura 1	Tendências das variantes usadas na ação subaquática na ação subaquática na técnica de bruços para nadadores de elite durante o período 2015-2019 (McCabe et al., 2022).	4
Figura 2	Divisão da ação subaquática nas três fases sequenciais impulsão, propulsão e recuperação (painéis superior, intermédio e inferior, respetivamente).	9
Figura 3	Velocímetro aplicado na parte frontal do bloco de partida, com transmissão de dados para computador.	10
Figura 4	Colocação da cinta com fio de recolha de dados do velocímetro no nadador.	11
Figura 5	Sincronização do vídeo de velocímetro com a captura de vídeo aquática do nadador no software Kinovea na fase de impulsão (painel superior) e propulsão (painel inferior) da variante sobreposta	12
Figura 6	Esquema representativo do posicionamento das câmaras, com captura de vídeo de superfície e aquática no plano sagital.	13
Figura 7	Marcações para obtenção dos ângulos do joelho.	14
Figura 8	Curva velocidade-tempo representativa da variante sequencial da ação subaquática na técnica de bruços.	17
Figura 9	Curva velocidade-tempo representativa da variante sobreposta da ação subaquática na técnica de bruços.	18
Figura 10	Curvas de velocidade-tempo (media $\pm$ DP) e comparação entre as variantes sequencial e sobreposta durante a fase de impulsão ($p \leq 5\%$).	18
Figura 11	Curvas de velocidade-tempo (media $\pm$ DP) e comparação entre as variantes sequencial e sobreposta durante a fase de propulsão ($p \leq 5\%$).	19

- Figura 12 Curvas de velocidade-tempo (media $\pm$ DP) e 19
comparação entre as variantes sequencial e sobreposta
durante a fase de recuperação ($p \leq 5\%$).
- Figura 13 Durações (painéis superiores) e distâncias (painéis 20
inferiores) relativas para cada fase entre as variantes
sequencial (esquerda) e sobreposta (direita) da ação
subaquática na técnica de bruços.

Resumo

A ação subaquática na técnica de bruços é uma ação importante nas competições onde podem ser adotadas as variantes sequencial e sobreposta, mas que carecem de ser estudadas. Constituíram-se como objetivos desta dissertação a análise e comparação qualitativa e quantitativa dos perfis de curvas de velocidade-tempo e o comportamento cinemático entre as duas variantes, verificando qual a que apresenta mais impacto no rendimento da ação subaquática através da distância. Dezas seis nadadores (nove masculinos e sete femininos) de nível regional realizaram seis repetições de 25 m na técnica de bruços (três repetições para cada variante) à intensidade máxima. Os dados recolhidos com recurso a um velocímetro e a câmaras de vídeo permitiram a construção dos gráficos de velocidade-tempo e determinação de dados cinemáticos de duração, distância, velocidade máxima, velocidade média, amplitude do joelho e velocidade angular nas fases sequencias definidas como impulsão (desde a impulsão na parede “testa” até ao início do desalinhamento corporal pelas ações dos membros inferiores e/ou membros superiores), propulsão (até ao início da ação de recuperação dos membros inferiores na técnica de bruços) e recuperação (até ao rompimento da superfície da água). A análise comparativa das curvas de velocidade-tempo com recurso ao Mapeamento Estatístico Paramétrico demonstrou diferenças na fase da Propulsão em dois momentos à semelhança do verificado por inspeção visual. A variante sequencial foi a que apresentou melhores valores na globalidade da ação sendo a fase de propulsão a que apresentou valores superiores de duração ($2,33 \pm 0,34$ vs $1,52 \pm 0,30$ s), distância ($3,61 \pm 0,71$ vs $2,57 \pm 0,63$ m), ângulo mínimo do joelho ($98,06 \pm 8,58$ vs $105,24 \pm 8,94$ °), amplitude ($86,96 \pm 7,86$ vs $78,31 \pm 9,32$ rad/s) e duração da fase descendente da ação adicional dos membros inferiores ($0,22 \pm 0,02$ vs $0,20 \pm 0,03$ s). O perfil das curvas e o comportamento cinemático diferem entre as duas variantes analisadas em que a variante sequencial parece ser aquela que melhor determina o rendimento dados os valores superiores de distância.

PALAVRAS-CHAVE: NATAÇÃO, TREINO, BIOMECÂNICA, TÉCNICA DE BRUÇOS, AÇÃO SUBAQUÁTICA

Abstract

The breaststroke technique pull-out is an important action in competitions where the fly-kick first and combined techniques can be adopted, but they need to be studied. The aims of this work were to make a qualitative and quantitative comparison of the velocity-time curve profiles and the kinematic behaviour between the two pull-out techniques and to verify which one has more impact on the underwater performance of the underwater path through distance. Sixteen regional level swimmers (nine male and seven females) performed six times 25 m breaststroke (three repetitions for each technique) at maximum intensity. The data was collected using a speedometer and through video recording allowing then the construction of velocity-time graphs and the determination of kinematic data. Three sequential phases of the underwater path were defined as impulsion (from the wall push until the beginning of the body misalignment by the actions of the lower limbs and/or upper limbs), propulsion (until the beginning of the breaststroke technique lower limbs recovery action) and recovery (until the breaking of the water surface). The duration, distance, maximal velocity, mean velocity, knee range of motion and angular velocity in the sequential phases were considered as variables. The comparative analysis of the velocity-time curves using the Statistical Parametric Mapping demonstrated differences in two moments in the Propulsion phase similar to what was verified by visual inspection. The fly-kick first technique was the one that presented the best values in the global action, being the propulsion phase of the underwater path the one that presented higher values in duration (2.33 ± 0.34 vs 1.52 ± 0.30 s), distance (3.61 ± 0.71 vs 2.57 ± 0.63 m), minimum knee angle (98.06 ± 8.58 vs 105.24 ± 8.94 °), range of motion (86.96 ± 7.86 vs 78.31 ± 9.32 rad/s) and duration of the descending phase of the additional action of the lower limbs (0.22 ± 0.02 vs 0.20 ± 0.03 s). The curve profile and the kinematic behaviour differ between the two breaststroke pull-out techniques and the fly-kick first technique seems to be the one that allows to reach a better underwater performance given the higher distance values.

KEYWORDS: SWIMMING, TRAINING, BIOMECHANICS, BREASTSTROKE TECHNIQUE, UNDERWATER PATH

Lista de abreviaturas

°	Graus
~	Aproximadamente
d	Distância
DP	Desvio-padrão
IMC	Índice de massa corporal
MI	Membros inferiores
MS	Membros superiores
NPD	Natação pura desportiva
SPM	Mapeamento Estatístico Paramétrico
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
t	Tempo
v	Velocidade
V _{máx}	Velocidade máxima
V _{méd}	Velocidade média

1. Introdução

A natação pura desportiva (NPD) é uma modalidade que abrange quatro técnicas de nado (mariposa, costas, bruços e crol; Seifert et al., 2011) das quais se destacam várias fases (Maglischo, E., 2003) e que podem ser estudadas através de um processo rigoroso de análise. Regularmente, os treinadores e os analistas desportivos dividem a análise de uma prova de NPD em quatro fases distintas: (i) partida; (ii) nado propriamente dito; (iii) viragem; (iv) chegada (Arellano et al., 1994). Este tipo de análise é normalmente efetuado através dos resultados oficiais da prova, revelando-se útil para ajustar o ritmo dos nadadores dentro de uma competição ou entre competições, mas também como um mecanismo essencial no ajuste do processo de treino. Apesar de existir alguma discordância entre os diversos autores relativamente à metodologia para a segmentação em distâncias das diferentes provas, parece ser consensual que esta abordagem deverá ser uma tarefa regular e dominada por quem trabalha no alto rendimento (Gonjo & Olstad, 2020).

A investigação inicial sobre natação nos anos 1980 e 1990 foi principalmente orientada para a caracterização fisiológica e biomecânica durante a ação de nado propriamente dito (Borne t al., 2021). Porém, a utilização do percurso subaquático de uma forma mais eficaz pelos nadadores de melhor nível após partida e viragens (Gonjo et al., 2020), tanto para a distância percorrida (Veiga & Roig, 2015), como para o tempo despendido em fase de percurso subaquático (Pla et al., 2021), levou recentemente à alteração do foco da investigação direcionando-se assim para as fases acíclicas da prova tais como a partida e a viragem.

A técnica de bruços é uma das técnicas de nado caracterizada pela descontinuidade propulsiva e, conseqüentemente, é fundamental que os nadadores coordenem de forma ótima os movimentos dos membros de modo a manterem uma velocidade média elevada (Nicol et al., 2021). É a única técnica que não apresenta limite de distância do percurso subaquático (FINA, 2017) e neste caso é permitida a realização de uma ação subaquática particular que pode ser realizada desde a imersão do dedo do pé após a partida, ou o desvio

na parede de viragem, até o nadador romper a superfície da água para iniciar o nado propriamente dito (McCabe et al., 2022).

A mudança das regras da ação subaquática na técnica de bruços (FINA, 2017) permite atualmente a execução da ação adicional de membros inferiores de mariposa num qualquer momento do percurso subaquático elevou ao aparecimento de diferentes variantes caracterizadas de acordo com o momento em que as ação dos membros superiores e dos membros superiores são realizadas (McCabe et al. 2012; McCabe, et al. 2022). Após as alterações da regra SW 7.1, foram detetadas três variantes: (1) *fly-kick first* onde se verifica a realização inicial de uma ação adicional dos membros inferiores semelhante à ação de membros inferiores na técnica de mariposa, e só depois é realizada a ação dos membros superiores completa até se posicionarem ao longo dos membros inferiores; (2) *combined* onde se observa uma ação simultânea dos membros superiores e membros inferiores; (3) *pull-down first* caracterizada pelo início da ação dos membros superiores até se posicionarem ao longo dos membros inferiores, seguindo-se a ação adicional de membros inferiores de mariposa (Gonjo et al., 2023; McCabe et al., 2022).

As análises de prova na natação são geralmente realizadas utilizando os resultados oficiais da prova, incluindo o tempo de reação com permanência no bloco de partida, tempo de viragem e tempo de chegada, muitas vezes combinados com imagens em vídeo. No período entre 1984 e 2021, a distância de rompimento da superfície da água após a partida aumentou ~14% na prova masculina de 100 m na técnica de bruços, 12,00% na prova masculina de 200 m na técnica de bruços, 7,95% na prova feminina de 100 m na técnica de bruços e 13,55% na prova feminina de 200 m na técnica de bruços (Gonjo & Olstad, 2020). O valor correspondente nas viragens aumentou 17,88% na prova masculina de 100 m na técnica de bruços, 11,27% na prova de 100 m na técnica de bruços feminino e 15,97% na prova feminina de 200 m na técnica de bruços. A fase da prova que mais contribuiu para o tempo total das provas de natação na técnica de bruços foi a viragem totalizando uma percentagem de $44,30 \pm 0,58\%$ (Olstad et al., 2020).

Neste raciocínio, a extensão do percurso subaquático pode representar uma melhoria de tempo de 0,1 a 0,2 s, dependendo da prova e, por isso, deve ser cuidadosamente avaliada (Veiga et al., 2014). A ação subaquática apresentou grande influência no rendimento (tempo total) nos eventos na técnica de bruços por parte de nadadores Olímpicos com contributos de 27,43% para a fase de partida e de 56,37% na fase de viragem (Born et al., 2021). Na prova dos 200m na técnica de bruços, os nadadores de nível mais elevado percorrem distâncias mais longas após partida e viragens, e apresentam velocidades subaquáticas mais elevadas do que as suas velocidades durante o nado propriamente dito (Born et al., 2021).

As nadadoras do sexo feminino finalistas do Campeonato Europeu de Piscina Curta de 2019 (Born et al., 2021) despenderam na fase da partida 7,30 s, 7,44 s e 7,76 s na prova de 50 m, 100 m e 200 m, respetivamente. A partida na simulação da prova de 100 m na técnica de bruços de nadadores de alto nível do sexo masculino foi contabilizada em $7,39 \pm 0,47$ s (Olstad et al., 2020). Já as viragens (5 m antes da chegada à parede somando 10 m após a parede, totalizando 15 m) têm uma representação de 9,13 s nos 50 m, 9,65 s nos 100 m e 10,27 s nos 200 m (Olstad et al., 2020). Um nadador internacional do sexo masculino apresentou 7,46 s no tempo de partida (correspondente aos 15 m iniciais) quando realizado em ritmo da prova de 100 m bruços (Seifert et al., 2007).

Nas provas na técnica de bruços, a distância de partida medida até ao rompimento da superfície da água apresentou $12,80 \pm 0,88$ m nos 50 m, $13,27 \pm 0,82$ m nos 100 m e $13,57 \pm 1,16$ m nos 200 m (Olstad et al., 2021). Para a mesmo percurso subaquático, a prova de 100 m na técnica de bruços apresentou $13,06 \pm 1,02$ m para a distância percorrida e $6,02 \pm 0,51$ s despendidos para nadadores masculinos de alto nível (Olstad et al., 2020). Não foram encontradas diferenças na duração e distância relativas para os intervalos de tempo relacionados com a coordenação dos membros superiores com os membros inferiores e na sequência da colocação da ação dos membros inferiores de mariposa durante a ação subaquática (Olstad et al., 2021). Contudo, esta análise

foi concretizada após a partida e tentou comparar a sua expressão entre diferentes provas, i.e., nas distâncias de 50 m, 100 m e 200 m.

Os nadadores do sexo masculino tendem a manter a variante adotada na ação subaquática na técnica de braços durante a prova de 200 m, porém poderão existir diferentes estratégias onde surjam variações de um mesmo indivíduo numa mesma prova neste padrão (Gonjo et al., 2023). Apesar da emergente importância que estas fases acíclicas da prova assumem no resultado final, pouca literatura se tem debruçado sobre este tema. O comportamento de diferentes nadadores de elite em contexto de prova visando discriminar o tipo de variante de ação subaquática foi quantificado no período de 2015 a 2019 (McCabe et al., 2022). Foi possível verificar (Figura 1) que a execução da ação adicional dos membros inferiores de mariposa que antecede a ação dos membros superiores (sequencial) é a variante mais visível nos dias de hoje, contrariamente à variante com as ações simultâneas (sobreposta) que foi perdendo expressão ao longos dos anos.

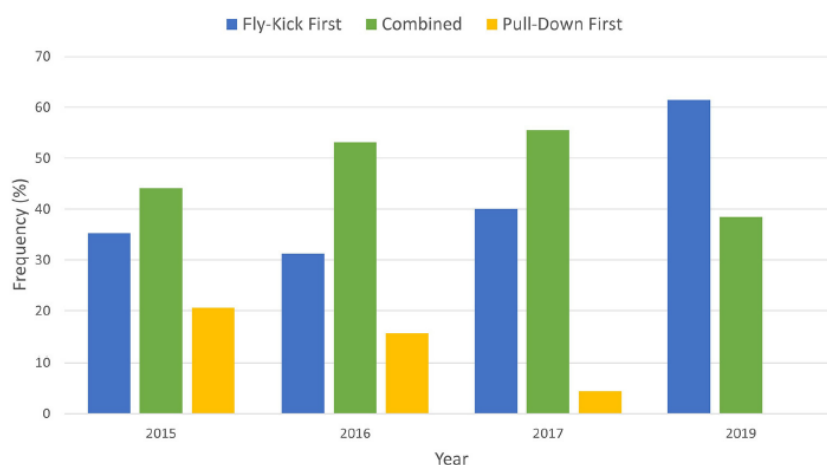


Figura 1: Tendências das variantes usadas na ação subaquática na técnica de braços para nadadores de elite durante o período 2015-2019 (McCabe et al., 2022).

Apesar da utilidade da análise que quantifica as observações na ação subaquática da técnica de braços, permanece por realizar uma análise quantitativa que procure comparar detalhadamente as variantes mais comuns. Dado que a NPD tem como objetivo percorrer a distância da prova à velocidade máxima sendo o desempenho avaliado pelo tempo gasto para percorrer essa

mesma distância (Barbosa et al., 2013; Chollet et al., 1997), a análise cinemática parece ser uma abordagem que permitirá apresentar soluções que visam alcançar o melhor impacto no rendimento do percurso subaquático, tendo em conta a distância percorrida, e assim ajustar o processo de treino.

Deste modo, definiram-se como objetivos para a presente dissertação: (i) comparar qualitativamente e quantitativamente os perfis de curvas de velocidade-tempo entre as variantes sequencial e sobreposta da ação subaquática na técnica de bruços; (ii) analisar e comparar quantitativamente o comportamento cinemático entre as variantes sequencial e sobreposta da ação subaquática na técnica de bruços e verificar que tipo de variante apresenta mais impacto no rendimento. Adicionalmente, colocaram-se as hipóteses de (i) existirem diferenças qualitativas e quantitativas entre os perfis das curvas de velocidade-tempo das duas variantes e (ii) existirem diferenças nas variáveis cinemáticas entre as duas variantes, com maior rendimento apresentado para a variante sequencial dada a sua observação crescente em competição.

Os seis capítulos que dão corpo a este trabalho iniciam-se pela presente contextualização do tema abordado, incluindo a relevância do estudo e descrição dos objetivos e hipóteses delineadas. O capítulo dois apresenta os materiais e métodos utilizados na recolha e tratamento dos dados, constituído pela caracterização da amostra, pelos materiais, pelos procedimentos e pela análise estatística. Em terceiro, o capítulo apresenta os resultados obtidos, subdividindo-se em análises qualitativa e quantitativas das curvas e dados cinemáticos, nas diferentes fases delineadas. O capítulo quatro apresenta a discussão dos resultados obtidos, seguindo-se as conclusões retiradas. De seguida, são sugeridas abordagens para estudos futuros, com propostas que visam a expansão da literatura. Finalmente, o sexto e último capítulo apresenta as referências bibliográficas.

2. Materiais e métodos

Amostra

Dezasseis nadadores dos quais nove masculinos e sete femininos participaram no presente estudo. Foram definidos como critérios de inclusão: (i) possuir experiência mínima competitiva de três anos; (ii) classificação mínima de nível dois de acordo com as sugestões de McKay et al. (2022); (iii) especialização na técnica de bruços; (iv) não possuir qualquer lesão nos seis meses anteriores ao momento da recolha. A Tabela 1 apresenta os dados relativos à caracterização geral da amostra. Os participantes foram informados dos procedimentos a realizar e dos riscos potenciais através de um termo de consentimento informado (assinado pelo encarregado de educação, em caso de menores). Durante o estudo foram respeitadas as recomendações constantes da Declaração de Helsínquia e da Organização Mundial da Saúde, no que se refere à experimentação que envolve seres humanos.

Tabela 1: Valores médios $\pm$ DP da idade, principais características antropométricas e nível competitivo dos nadadores na técnica de bruços.

Idade	19,6 $\pm$ 2,6
Massa corporal	62,3 $\pm$ 10,8
Estatura	1,69 $\pm$ 0,10
IMC	21,6 $\pm$ 2,3
Experiência competitiva	9,1 $\pm$ 2,1
Frequência semanal de treino	6,4 $\pm$ 2,6
Volume por sessão	4,1 $\pm$ 1,3
<i>World Aquatics Point Scoring</i>	386 $\pm$ 86

Recolha e tratamento de dados

Cada nadador deslocou-se à piscina para realização do protocolo em duas sessões distintas à mesma hora do dia garantindo vinte e quatro horas de recuperação. Nos dias das recolhas, a piscina de 2 m de profundidade apresentava 25 °C de temperatura da água, 23 °C de temperatura ambiente e 60% de humidade.

Na primeira sessão foram registados os dados antropométricos seguidos da execução da primeira parte do protocolo dentro de água. Os nadadores usaram

vestuário habitual de natação, como touca, óculos de natação e fato ou calções de banho (para nadadoras ou nadadores, respetivamente). Inicialmente procedeu-se à recolha de dados antropométricos dos participantes incluindo: (i) massa corporal, em kg, com recurso uma balança (TANITA, BC-730, Amesterdão, Países Baixos); (ii) altura, em m, medida com estadiómetro digital (SECA, 242, Hamburgo, Alemanha); (iii) IMC, em kg/m². Foram também recolhidas informações para caracterização tais como a idade, a vertente competitiva da participação desportiva, usando a frequência semanal de prática, o volume de sessão, tempo oficial na prova de 100 m na técnica de bruços para posteriormente efetuar a conversão em *World Aquatics Point Scoring*.

De seguida cada nadador realizou um aquecimento padronizado incluindo 100 m livres e 100 m na técnica de bruços em intensidade ligeira, quatro repetições de 50 m na técnica de bruços com incremento da intensidade. A este seguiu-se a execução de três repetições de 25 m na técnica de bruços à intensidade máxima usando a variante sequencial (realização temporalmente desfasada dos MI seguida dos MS) durante o percurso subaquático. Na segunda sessão, os nadadores voltaram a realizar três repetições de 25 m na técnica de bruços à intensidade máxima, porém com a variante sobreposta (realização simultânea da ação dos MS e MI) da ação subaquática. O protocolo foi iniciado com partida dentro de água, apresentando-se um único nadador na pista. Foi assegurado um intervalo mínimo de dois minutos entre cada repetição para cumprir com o processo de recuperação (Balsom et al., 2009).

Foi pedido aos nadadores para não excederem os 0,60 m de profundidade durante a execução da ação subaquática para maximizar a velocidade contrariando o efeito do arrasto observado em profundidades superiores (Naemi et al., 2009). Como forma de diminuição do risco de viés, os nadadores passaram por um processo de familiarização entre quatro a seis semanas com as duas variantes da execução da ação subaquática, sendo-lhes pedido que despendessem 15 min finais da sua sessão seu treino para esse efeito. Para cada repetição das diferentes variantes, o percurso subaquático foi dividido em três fases: impulsão, propulsão e recuperação (Figura 2).

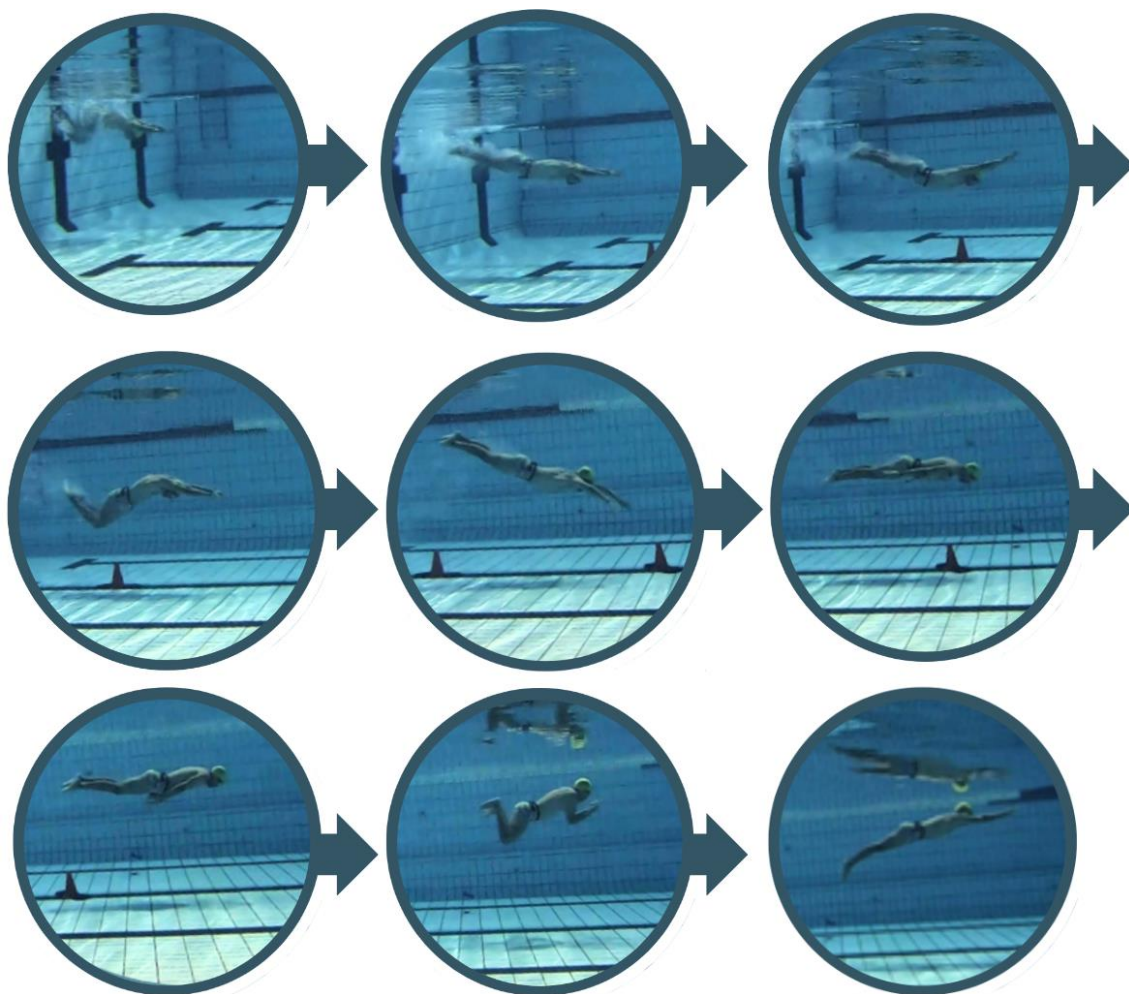


Figura 2: Divisão da ação subaquática nas três fases sequenciais impulsão, propulsão e recuperação (painéis superior, intermédio e inferior, respetivamente).

A impulsão decorre desde o momento que os membros inferiores impulsionam a parede, seguida da posição hidrodinâmica até ao momento que antecede o desalinhamento corporal. A segunda é a fase de propulsão onde ocorrem as diferenças visuais entre variantes e é iniciada pela flexão dos membros inferiores ou pelo afastamento das mãos (nas variantes sequencial e sobreposta, respetivamente), terminando no momento que antecede a recuperação dos membros superiores. A fase de recuperação e última é apresentada pela recuperação dos membros superiores junto ao tronco até à frente. Termina com o rompimento da superfície da água, coincidente com a conclusão da ação subaquática.

No domínio da cinemática, os dados foram recolhidos com um velocímetro (Lima et al., 2006; Morouço et al., 2006) com 50 Hz de frequência de aquisição. O velocímetro foi posicionado no bloco de partida e amarrado à parte frontal (Figura 3), permitindo acoplar o fio de nylon através de uma cinta na região lombar do nadador, localização essa que se destaca pela aproximação que tem com o centro de massa. (Figura 4). A transmissão de dados foi executada por cabo conectado ao computador portátil com permissão de recolha a cada repetição de 25 m.

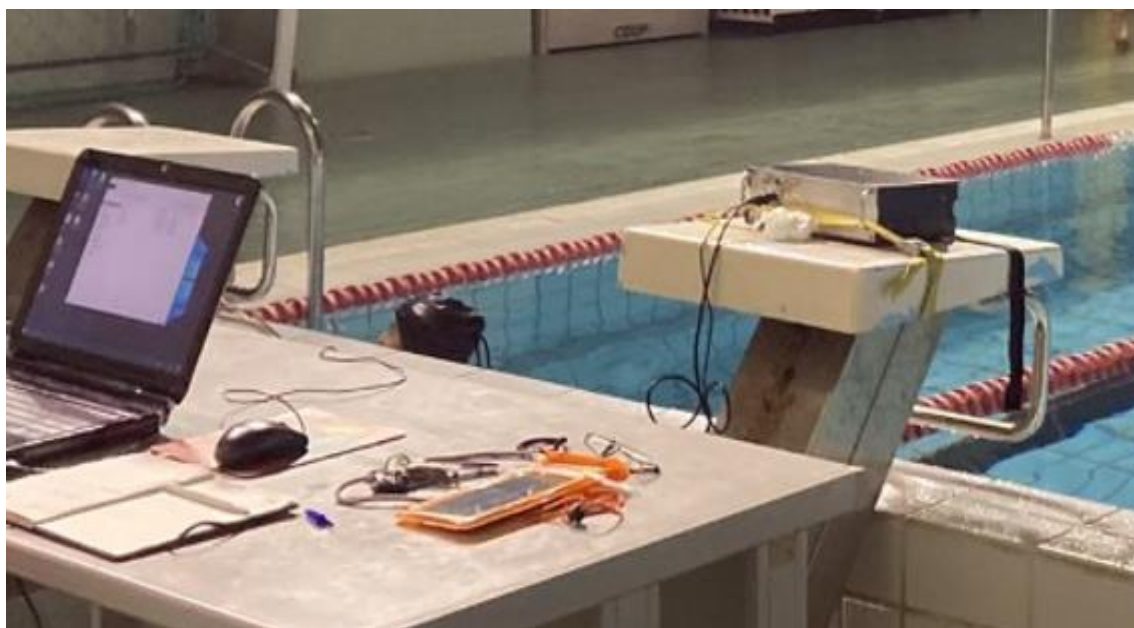


Figura 3: Velocímetro aplicado na parte frontal do bloco de partida, com transmissão de dados para computador.



Figura 4: Colocação da cinta com fio de recolha de dados do velocímetro no nadador.

Os dados de *output* do velocímetro obtidos em formato *Comma-Separated Values* (CSV) foram exportado para *Microsoft Excel*, apresentando uma coluna de tempo e outra de velocidade. Foi requisitada a função construção do gráfico de linhas de velocidade-tempo para cada repetição. Cada gráfico foi recortado no início e no fim de cada repetição por inspeção visual. Estes gráficos foram convertidos em vídeo, através de uma rotina R (RStudio, v. 3.3.0, Massachusetts). Posteriormente, a reprodução em vídeo do gráfico foi sincronizada com a gravação aquática do nadador no *software* Kinovea (v. 0.9.5) e possibilitou definir com rigor as diferentes fases da ação subaquática (Figura 5).

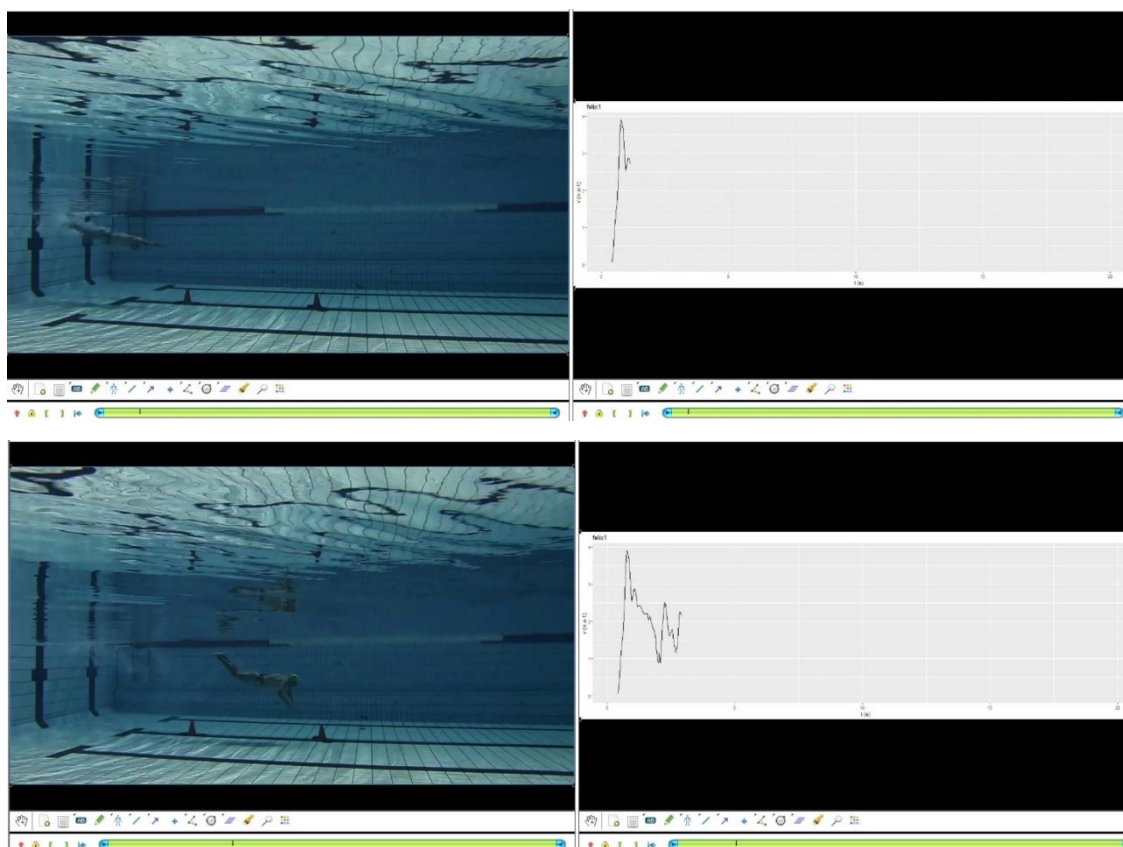


Figura 5: Sincronização do vídeo de velocímetro com a captura de vídeo aquática do nadador no *software* Kinovea na fase de impulsão (painel superior) e propulsão (painel inferior) da variante sobreposta.

O tratamento e análise individualizada permitiu avaliar, de forma qualitativa, as curvas de velocidade-tempo, destacando-se diferenças visíveis em momentos distintos, predominantemente propulsivos ou resistivos. Todas as variáveis analisadas foram tratadas com os valores médios das três repetições de cada nadador. A velocidade máxima e a velocidade média (m/s) foram obtidas pelos ficheiros de velocímetro para a ação subaquática geral, bem como para as diferentes fases. No caso da fase da propulsão, a velocidade máxima na variante sequencial foi separada nos dois valores máximos correspondentes às ações isolada dos MI e dos MS, consecutivamente.

Foram analisados os três ciclos subsequentes, correspondentes aos ciclos seguintes ao rompimento da superfície da água de maneira a entender se as diferentes variantes da ação subaquática poderiam interferir na biomecânica do nado propriamente dito. Para cada um dos três ciclos seguintes (ciclos n.º 1, 2 e

3), foram calculados os coeficientes de variação (%) para análise da variação intracíclica da velocidade pela divisão do desvio-padrão à respectiva velocidade média (m/s) multiplicado por 100 (Vilas-Boas et al., 2011; Fernandes et al., 2023). Foram recolhidas imagens através de capturas de vídeo à superfície e em meio aquático no plano sagital utilizando-se duas câmaras (GoPro 6, USA; 120 Hz) com 1920 x 1080 de resolução em modo *wide*. As câmaras acionadas manualmente localizadas a 0,50 m acima da superfície e 0,26 m de profundidade (aérea e aquática, respetivamente) distavam 7 m do nadador, como representado na Figura 6, com captura do lado direito dos nadadores. O formato padrão de armazenamento automático em *.mp4* foi exportado para tratamento em JPEG.

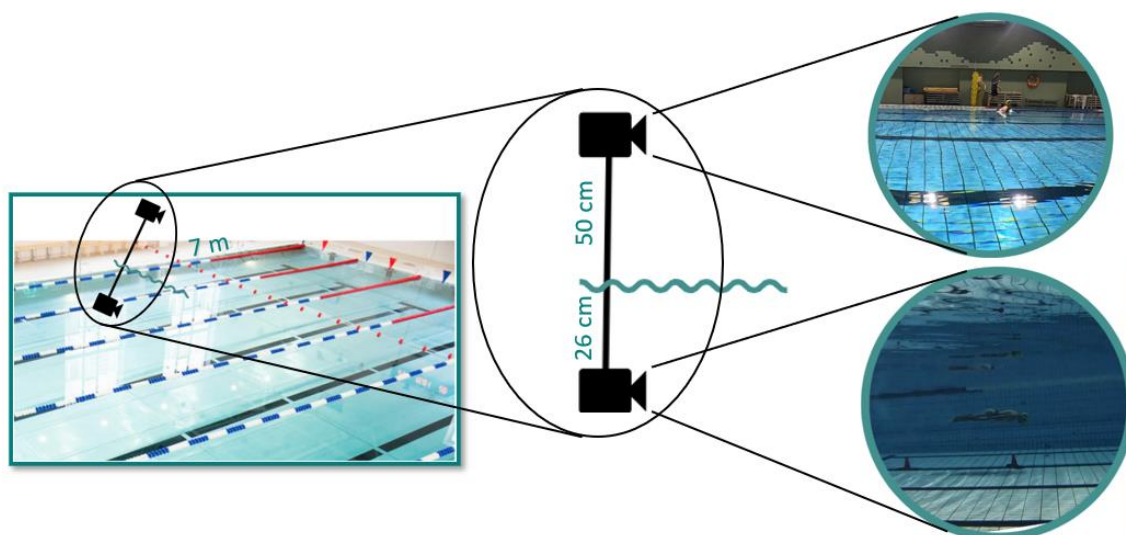


Figura 6: Esquema representativo do posicionamento das câmaras, com captura de vídeo de superfície e aquática no plano sagital.

As restantes variáveis cinemáticas foram determinadas com recurso à análise de vídeo no *software* Kinovea (v. 0.9.5). Neste *software*, a função “cronómetro” possibilitou a determinação das durações com um erro de 0,02 s. Para cálculo da distância da ação subaquática total (distância de rompimento da superfície da água) usou-se a marca de partida de 5 m no separador de pista, enquanto as distâncias das diferentes fases sequenciais foram calibradas e medidas com uma referência subaquática de 2,5 m através do ponto anatómico da cabeça. Tanto nos valores obtidos para as três fases como para o percurso total, a distância foi a variável definida como fator de rendimento e a duração também

se apresentou como uma segunda variável a ter em conta, de acordo com os dados apresentados na literatura (Veiga & Roig, 2015; Pla et al., 2021).

Previamente à entrada no meio aquático, foi usada tinta à prova de água para marcação dos nadadores com pontos e números (Figura 7). Os pontos assinalados no trocanter maior, côndilo lateral do fêmur e tornozelo maléolo lateral auxiliaram na determinação do ângulo do joelho durante a ação adicional dos membros inferiores para as duas variantes. As imagens obtidas possibilitaram a análise biomecânica da articulação do joelho, com a obtenção direta dos ângulos máximo e mínimo ($^{\circ}$), bem como da duração da fase descendente da ação adicional dos membros inferiores de mariposa (s). Posteriormente, foi determinada a amplitude angular($^{\circ}$), através da subtração do ângulo máximo ao ângulo mínimo da articulação do joelho e consequentemente a velocidade angular (rad/s).



Figura 7: Marcações para obtenção dos ângulos do joelho.

Tratamento estatístico

O cálculo da potência amostral foi conduzido no *software* G*Power (v.3.1.9.4, Alemanha), apresentando 80% para a amostra de dezasseis elementos com tamanho de efeito de 0,65 d e $p \leq 5\%$. O tratamento estatístico foi conduzido no *software* SPSS (v.27, IBM, SPSS Inc., Chicago, IL, EUA), através da análise exploratória para cálculo das medidas de tendência central (médias) e dispersão

(desvios-padrão) das variáveis selecionadas para análise. Para condução dos testes de normalidade e inferência estatística, foram utilizados os valores médios de cada variável no conjunto da amostra. A normalidade foi comprovada individualmente para cada uma das variáveis selecionadas, recorrendo ao teste *Kolmogorov–Smirnov*.

A comparação do perfil das curvas de velocidade-tempo de cada fase foi possível com a aplicação do teste t de medidas repetidas do Mapeamento Estatístico Paramétrico (SPM) apresentando possíveis diferenças entre as duas variantes de execução da ação subaquática na técnica de bruços. A duração de cada fase foi padronizada a 101 pontos através de *rotina R*, a qual expressa a uniformização temporal em percentagem (Ruiz-Navarro et al., 2021). Este método tem como objetivo comparar e/ou fazer a média dos dados entre os participantes (código de fonte aberta *spm1d* do *software* Matlab, v.M0.1, www.spm1d.org). Paralelamente, as variáveis cinemáticas das duas variantes foram comparadas com recurso ao teste de inferência estatística t de medidas repetidas, com aplicação aos valores médios. O nível de significância adotado foi de $p \leq 5\%$ para todos os testes. O tamanho do efeito foi obtido pelo d de Cohen (d) e interpretado como pequeno se $|d| < 0,2$, moderado se $0,2 > |d| < 0,5$ e grande se $|d| \geq 0,5$ (Cohen, 1988).

3. Resultados

Foram obtidas quarenta e oito curvas de velocidade-tempo para cada uma das variantes (noventa e seis no total) que possibilitam uma primeira análise qualitativa ao seu perfil. As Figuras 8 e 9 são representativas das curvas de velocidade-tempo das variantes sequencial e sobreposta, respetivamente. As duas curvas apresentam um perfil semelhante na parte inicial, sem diferenças visíveis por inspeção visual, que parece ser coincidente com a fase de impulsão. Nos momentos imediatos parecem ser visíveis comportamentos distintos no que toca à fase de propulsão. Enquanto a variante sequencial apresenta um perfil com dois picos de velocidade correspondentes a dois momentos predominantemente propulsivos distintos (ação dos MI separada da ação dos MS), na variante sobreposta apenas é visível um pico coincidente com um único momento predominantemente propulsivo (ação dos MI e MS sobrepostos) mas com valores superiores de velocidade máxima e média. Não se parecem observar diferenças associadas à fase de recuperação. O padrão dos ciclos subsequentes à ação subaquática também parece não apresentar um perfil de curva velocidade-tempo diferente.

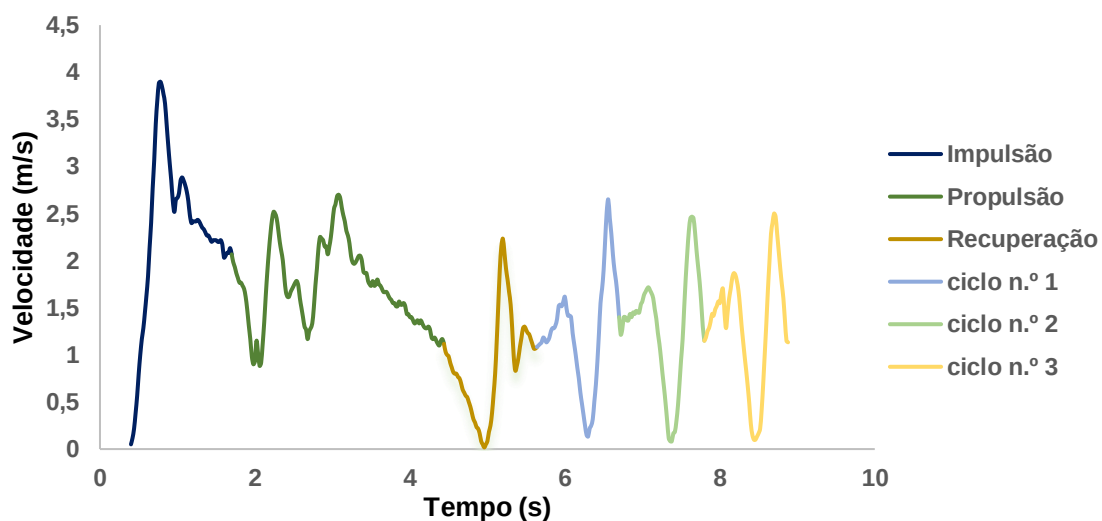


Figura 8: Curva velocidade-tempo representativa da variante sequencial da ação subaquática e respetivos três ciclos subsequentes na técnica de bruços.

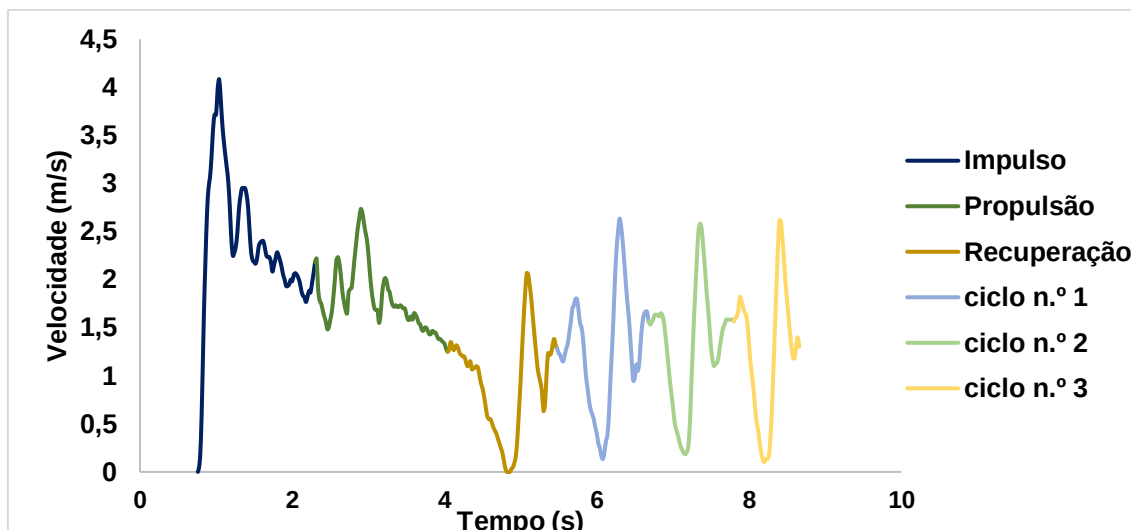


Figura 9: Curva velocidade-tempo representativa da variante sobreposta da ação subaquática e respectivos três ciclos subsequentes na técnica de bruços.

As curvas de velocidade-tempo analisadas apresentaram diferenças unicamente na fase de propulsão (Figura 11). As diferenças, apresentadas em dois pontos temporais, ocorreram entre os 13,37-17,78% ($p < 0,01$) e os 39,02-55,84% ($p < 0,01$) da fase propulsiva. As fases de impulsão (Figura 10) e propulsão (Figura 12) não apresentaram diferenças entre as variantes, de acordo com este procedimento.

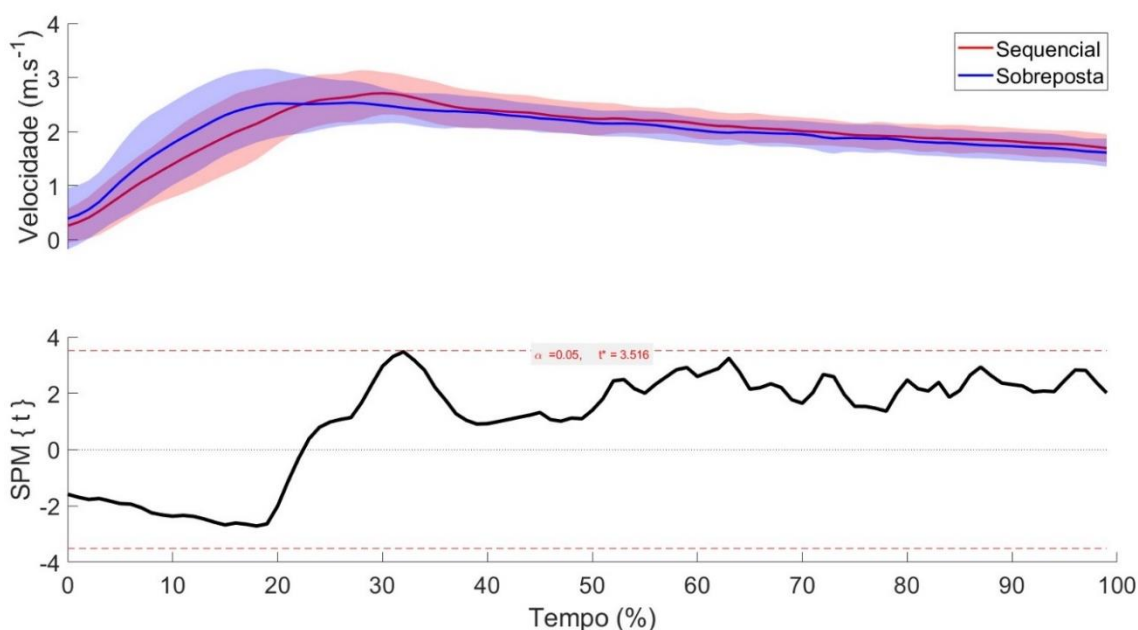


Figura 10: Curvas de velocidade-tempo (media $\pm$ DP) e comparação entre as variantes sequencial e sobreposta durante a fase de impulsão ($p \leq 5\%$).

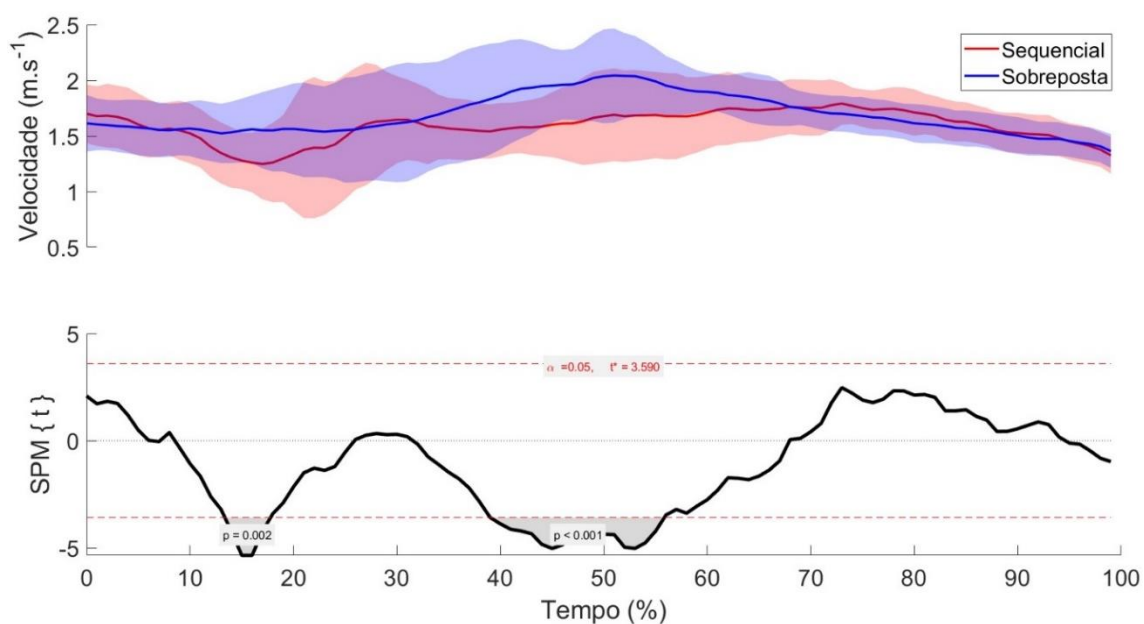


Figura 11: Curvas de velocidade-tempo (media $\pm$ DP) e comparação entre as variantes sequencial e sobreposta durante a fase de propulsão ($p \leq 5\%$).

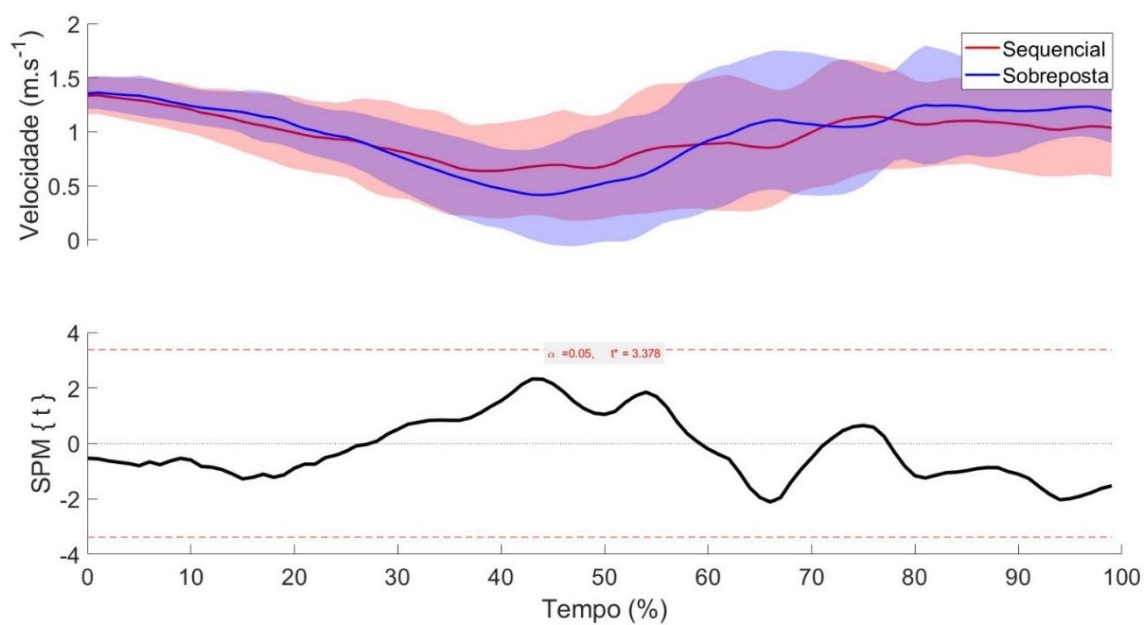


Figura 12: Curvas de velocidade-tempo (média $\pm$ DP) e comparação entre as variantes sequencial e sobreposta durante a fase de recuperação ($p \leq 5\%$).

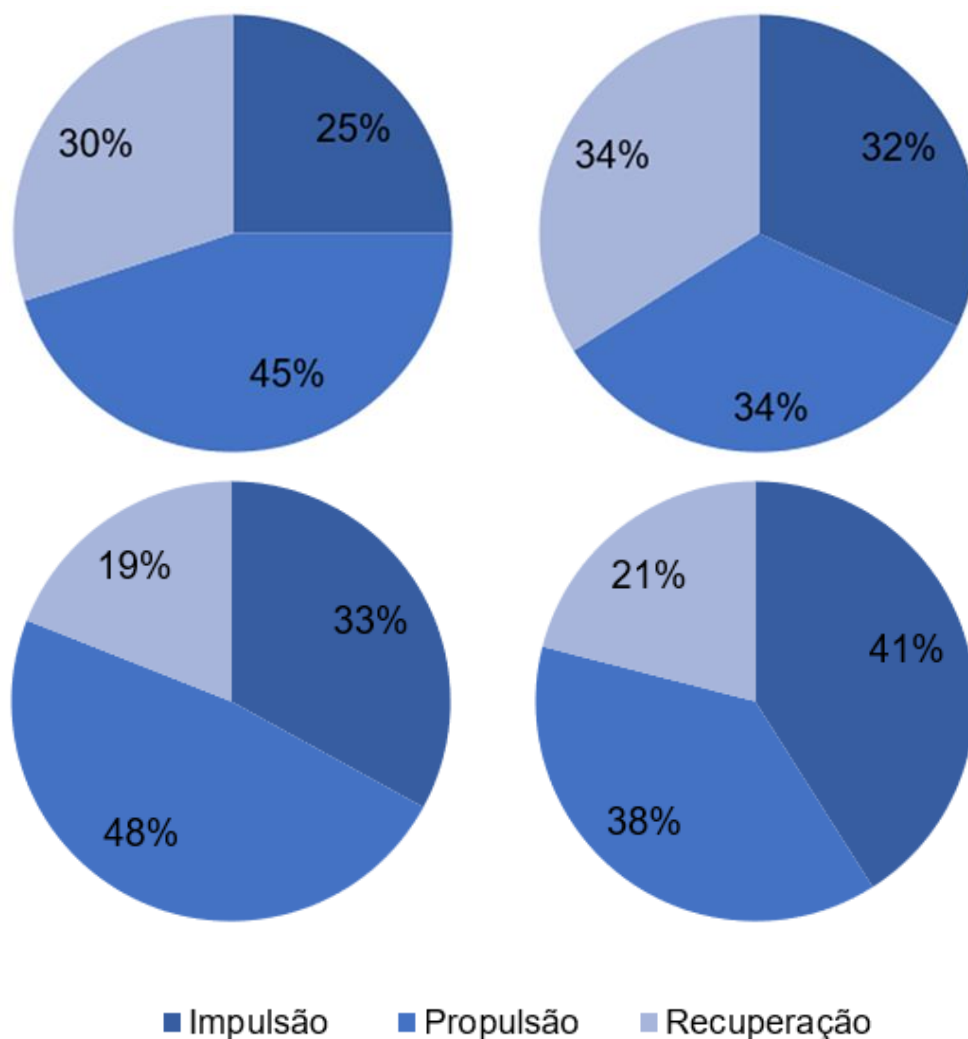


Figura 13: Durações (painéis superiores) e distâncias (painéis inferiores) relativas para cada fase entre as variantes sequencial (esquerda) e sobreposta (direita) da ação subaquática na técnica de bruços.

Relativamente às durações relativas de cada uma das fases, são apresentados valores que diferem entre as duas variantes. Enquanto na variante sequencial a fase que apresenta valores superiores é a propulsão (45%), a variante sobreposta apresenta valores superiores semelhantes nas fases de propulsão e recuperação (34%) (Figura 13). As distâncias relativas também apresentam considerações semelhantes, com maior representação para a propulsão na variante sequencial (48%) e maior representatividade nas fases de propulsão (41%) e recuperação (38%) para a sobreposta (Figura 14).

A distância de rompimento da ação subaquática (correspondente à globalidade) foi de $7,62 \pm 1,16$ m na variante sequencial, apresentando valor superior relativamente aos $6,81 \pm 1,14$ m medidos na variante sobreposta ($p < 0,01$; $d = 0,70$). A Tabela 2 apresenta a comparação entre as variantes nos indicadores cinemáticos quando retirados da totalidade da ação subaquática. Verificaram-se diferenças na velocidade média, duração total e distância percorrida em percurso subaquático com tamanhos de efeito grande, com exceção da velocidade máxima que não apresentou diferenças.

Tabela 2: Comparação entre variáveis da realização da ação subaquática na técnica de braços com as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).

Variável		Variante sequencial	Variante sobreposta	p	d
Velocidade	máxima	$3,07 \pm 0,37$ [2,87-3,26]	$3,06 \pm 0,40$ [2,84-3,27]	0,68	--
Velocidade	média	$1,49 \pm 0,14$ [1,41-1,56]	$1,56 \pm 0,17$ [1,47-1,66]	0,03	0,45
Duração (s)		$5,22 \pm 0,69$ [4,85-5,59]	$4,50 \pm 0,57$ [4,19-4,80]	$<0,01$	1,14
Distância (m)		$7,62 \pm 1,16$ [7,00-8,24]	$6,81 \pm 1,14$ [6,21-7,42]	$<0,01$	0,70

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam a comparação nos indicadores cinemáticos entre as duas variantes detalhadamente por cada uma das fases. Na fase de impulsão (Tabela 3) não são verificadas diferenças na velocidade máxima, velocidade média e duração entre as duas variantes. Apenas a distância que decorreu desta fase apresenta diferenças com um tamanho de efeito grande. Já na fase de propulsão (Tabela 4), todas as variáveis que apresentaram diferenças entre as duas variantes, i.e. duração, distância, ângulo mínimo, amplitude e duração que decorre na fase descendente da ação adicional dos membros inferiores de mariposa, apresentaram tamanho de efeito grande. Já a fase de recuperação (Tabela 5) não apresentou nenhuma diferença.

Tabela 3: Comparação entre variáveis da realização da fase de impulsão da ação subaquática na técnica de bruços com as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).

Variável	Variante sequencial	Variante sobreposta	p	d
Velocidade máxima (m/s)	3,05 $\pm$ 0,36 [2,86-3,24]	3,04 $\pm$ 0,40 [2,83-3,25]	0,69	--
Velocidade média (m/s)	1,98 $\pm$ 0,19 [1,88-2,08]	1,98 $\pm$ 0,23 [1,86-2,09]	0,84	--
Duração (s)	1,29 $\pm$ 0,30 [1,13-1,45]	1,43 $\pm$ 0,23 [1,31-1,55]	0,06	--
Distância (m)	2,54 $\pm$ 0,57 [2,24-2,84]	2,81 $\pm$ 0,47 [2,56-3,05]	0,03	0,52

Tabela 4: Comparação entre variáveis da realização da fase de propulsão da ação subaquática na técnica de bruços com as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).

Variável	Variante sequencial	Variante sobreposta	p	d
Velocidade máxima MI (m/s)	2,21 $\pm$ 0,38 [2,00-2,41]	2,49 $\pm$ 0,44 [2,26-2,73]	0,07	--
Velocidade máxima MS (m/s)	2,15 $\pm$ 0,27 [2,00-2,29]			
Velocidade média (m/s)	1,59 $\pm$ 0,14 [1,52-1,66]	1,69 $\pm$ 0,14 [1,61-1,76]	0,05	--
Duração (s)	2,33 $\pm$ 0,34 [2,15-2,51]	1,52 $\pm$ 0,30 [1,36-1,68]	0,02	2,53
Distância (m)	3,61 $\pm$ 0,71 [3,23-3,99]	2,57 $\pm$ 0,63 [2,23-2,91]	<0,01	1,55
Ângulo máximo do joelho (°)	185,0 $\pm$ 6,3 [181,7-188,4]	183,5 $\pm$ 7,2 [179,7-187,4]	0,23	--
Ângulo mínimo do joelho (°)	98,06 $\pm$ 8,58 [93,49-102,63]	105,24 $\pm$ 8,94 [100,47-110,00]	0,01	0,82
Amplitude do joelho (°)	86,96 $\pm$ 7,86 [82,77-91,15]	78,31 $\pm$ 9,32 [73,35-83,26]	0,01	1,00
Tempo fase descende ação adicional MI (s)	0,22 $\pm$ 0,02 [0,21-0,24]	0,20 $\pm$ 0,03 [0,20-0,21]	<0,01	0,78
Velocidade angular do joelho (rad/s)	6,80 $\pm$ 0,63 [6,47-7,14]	6,74 $\pm$ 0,78 [6,33-7,15]	0,64	--

Tabela 5: Comparação entre variáveis da realização da fase de recuperação da ação subaquática na técnica de bruços com as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).

Variável	Variante sequencial	Variante sobreposta	p	d
Velocidade máxima (m/s)	1,82 $\pm$ 0,32 [1,65-1,99]	1,94 $\pm$ 0,26 [1,80-2,09]	0,10	--
Velocidade média (m/s)	0,96 $\pm$ 0,10 [0,90-1,01]	0,98 $\pm$ 0,09 [0,93-1,02]	0,37	--
Duração (s)	1,57 $\pm$ 0,41 [1,35-1,79]	1,50 $\pm$ 0,38 [1,30-1,70]	0,67	--
Distância (m)	1,47 $\pm$ 0,45 [1,22-1,71]	1,43 $\pm$ 0,44 [1,20-1,67]	0,41	--

A análise realizada aos três ciclos subsequentes para determinação da variação intracíclica de velocidade através dos valores do coeficiente de variação (Tabela 6) também não apresenta nenhuma diferença no nado propriamente dito após a realização das variantes sobreposta e sequencial.

Tabela 6: Comparação entre o coeficiente de variação nos 3 ciclos subsequentes entre as variantes sequencial e sobreposta (Média $\pm$ DP e Intervalos de Confiança de 95%).

Variável	Variante sequencial	Variante sobreposta	p	d
Ciclo n.º 1 (%)	49,3 $\pm$ 5,4 [46,6-52,0]	53,8 $\pm$ 21,8 [43,1-64,4]	0,44	--
Ciclo n.º 2 (%)	46,3 $\pm$ 5,0 [43,9-48,8]	48,0 $\pm$ 7,4 [44,4-51,6]	0,08	--
Ciclo n.º 3 (%)	46,1 $\pm$ 5,8 [43,3-48,9]	48,1 $\pm$ 5,43 [45,4-50,8]	0,14	--

4. Discussão

Discussão da metodologia

Um elemento de estudo fundamental para os investigadores e analistas da natação pura desportiva é a análise de prova. Os seus dados possibilitam informações cruciais para os treinadores maximizarem o rendimento dos atletas. Um dos tópicos de grande interesse são as fases acíclicas das competições (partidas e viragens) onde se inclui a ação subaquática na técnica de bruços, a qual tem vindo a apresentar uma elevada relação com o rendimento (Pla et al., 2021). A ação subaquática na técnica de bruços é composta por diferentes ações dos membros inferiores e membros superiores com descontinuidades propulsivas (Seifert et al., 2021). A mudança das regras na ação subaquática da técnica de bruços que permite a colocação da ação adicional dos membros inferiores de mariposa em diferentes momentos levou ao aparecimento de diferentes variantes.

As variantes que ocorreram em maior quantidade apresentavam a colocação da ação adicional dos membros inferiores nos momentos que antecedem a ação propulsiva dos membros superiores ou com ambas as ações em simultâneo (McCabe et al., 2022). A terceira variante *pull-down first* caracterizada pela colocação da ação adicional de membros inferiores posteriormente à realização da ação propulsiva dos membros superiores (*pull-down first*) não foi considerada para análise na presente dissertação devido ao número reduzido de observações e à existência de sobreposição temporal das ações ainda que com um ligeiro desfasamento. Deste modo, apenas as duas primeiras variantes descritas como as mais observadas foram selecionadas para posterior inclusão no desenho de estudo e análise.

Visto que a literatura apenas expõe a descrição visuais das variantes, a análise biomecânica (cinemática) apresentou-se como uma opção de estudo necessária e com papel decisivo para preenchimento desta lacuna. De entre diversas abordagens, o estudo da velocidade (velocimetria) tem sido uma tendência constante e apresenta-se com elevada importância na natação (Costa et al., 2012; Barbosa et al., 2013). Esta abordagem demonstrou ser um método simples, válido e relevante para comparação das duas variantes que

constituíram objeto de análise do presente estudo. Também os fatores que advêm da velocidade, i.e. as durações e distâncias, foram apresentados com importância para a presente análise.

A divisão da ação subaquática foi diferente de estratégias anteriormente adotadas (Seifert et al., 2021) permitindo a interpretação por fases comuns às duas variantes. A primeira fase correspondeu à ação dos membros inferiores quando realizada a impulsão na parede, após o sinal de partida, seguida do alinhamento em posição hidrodinâmica e que se pensou ser comum às duas variantes. Esta fase também foi reportada e selecionada como primeiro momento da ação subaquática (McCabe et al., 2022). A segunda fase, que se denominou propulsão, procurou descrever as ações propulsivas decorrentes dos membros inferiores (à semelhança de mariposa) e superiores, que se iniciou com o desalinhamento das mãos ou membros inferiores nas variantes sequencial e sobreposta, respetivamente. A última fase, que se denominou de recuperação, sendo comum às duas variantes terminou com o rompimento da superfície da água com a cabeça.

O aquecimento padronizado possibilitou uma preparação global dos nadadores para realização do protocolo. O protocolo utilizado procurou aproximar-se da realidade dos eventos na técnica de braços da natação pura desportiva que constituem as distâncias de 50, 100 e 200 m. Estas distâncias constituem durações compreendidas entre os 30 s e 3 m, associados a esforços de intensidades submáximas e máximas, com reprodução dos padrões de movimento específicos. O protocolo descrito com as repetições de 25 m a intensidade máxima sugeriram uma interligação com os processos biofísicos que ocorrem durante as competições. À exceção da fase de voo após sinal de partida, o movimento realizado replicou o que ocorre nos percursos subaquáticos, podendo ser aplicado para análise após partida e/ou viragem em competição.

Os dezasseis nadadores que constituíram a amostra apresentaram-se com uma potência inferencial da amostra elevada apesar das suas características heterogéneas apresentadas pelos valores acentuados de desvio-padrão. Mesmo assim, a especialização destes nadadores na técnica avaliada em conjunto com

o processo de intervenção de quatro a seis semanas foram fatores cruciais na aproximação do padrão gestual ideal (p.e. no entendimento da execução de ambas as variantes), e na redução risco de viés.

Apesar de existirem métodos de análise da velocidade e de outras variáveis biomecânicas como é o exemplo de acelerómetros (Hamidi Rad et al., 2021) que complementam o material usado, o velocímetro apresentou-se com maior eficácia pela autonomia do uso e da avaliação, bem como pelos custos do equipamento. A obtenção das restantes variáveis cinemáticas também se apresentou simples devido aos outputs dos materiais usados. Sendo assim, os materiais usados para as análises cinemáticas foram selecionados por se encontrarem cientificamente validados (Lima et al., 2006; Morouço et al., 2006), terem uma aplicabilidade simples, reprodutibilidade prática e fornecerem dados com elevada relevância. Para evitar erros sistemáticos, todos os materiais e métodos descritos foram promovidos com elevada reflexão, inclusive com a testagem por meio de um teste piloto, onde muitos erros foram apontados e corrigidos para os momentos que compuseram as recolhas de dados.

Discussão dos resultados

Numa perspetiva de análise qualitativa foi possível afirmar que existem padrões diferentes entre os dois tipos de curvas de velocidade-tempo, correspondentes às duas variantes da execução da ação subaquática na técnica de bruços. Estas diferenças parecem apenas ser visíveis na fase de propulsão, com variação no número de picos e valores máximos de velocidade. Esta análise foi suportada pela abordagem quantitativa ao perfil das curvas através do Mapeamento Estatístico Paramétrico, sugerindo que as diferenças existentes se enquadram na fase de propulsão do percurso subaquático. Enquanto a variante sequencial apresentou dois máximos de velocidade, a variante sobreposta apenas apresentou um pico mas com valores superiores. As diferenças ocorreram nos dois momentos correspondentes às ações propulsivas dos membros inferiores e membros superiores. Por outro lado, os perfis das curvas associadas às fases de impulsão e recuperação não apresentaram diferenças, que era expectável devido à replicação dos movimentos que ocorreram nas variantes sem

diferenciação dos padrões. Contudo, poder-se-ia, até certo ponto, verificar alteração no padrão da recuperação pelas ações antecedentes distintas na fase da propulsão, o que não veio a acontecer.

A ação subaquática decorrente desde o momento em que os membros inferiores impulsionam a parede até ao rompimento da superfície da água apresentou valores superiores para as variáveis cinemáticas de duração e distância quando as ações propulsivas dos membros inferiores são desfasadas temporalmente dos membros superiores relativamente à variante realizada com as ações realizadas em simultâneo, sendo que as velocidades máxima e média não parecem diferir.

A amostra em estudo apresentou valores de velocidade durante a ação subaquática inferiores tanto na variante sequencial como na variante sobreposta ($1,49 \pm 0,14$ e $1,56 \pm 0,17$ m/s, respetivamente) comparativamente ao indicado na literatura. A velocidade média obtida após viragem na prova de 200 m na técnica de bruços foi de $1,70 \pm 0,04$ m/s e $1,55 \pm 0,05$ m/s em nadadores internacionais do sexo masculino e feminino, respetivamente (Veiga & Roig, 2015). Também a distância percorrida (definida como fator de rendimento) apresentou valores superiores de $10,25 \pm 0,59$ para masculinos e $8,55 \pm 0,48$ m para femininos (Veiga & Roig, 2015) relativamente aos obtidos para as variantes sequencial e sobreposta no presente estudo ($7,62 \pm 1,16$ m e $6,81 \pm 1,14$ m, respetivamente), explicados pelo nível inferior dos nossos nadadores relativamente aos do estudo (Veiga & Roig, 2015). Apesar dos nadadores incluídos no presente estudo terem especialização prévia na técnica de bruços, o seu nível competitivo (386 ± 86 pontos) ficou muito aquém dos nível dos atletas estudados entre 700 e 900 pontos (Veiga & Roig, 2015).

Assumindo uma perspetiva macro na análise da ação subaquática, foi na variante sequencial que se obtiveram os valores superiores de distância de rompimento, parecendo assim existir uma primeira vantagem relativamente à variante sobreposta dados os fatores de rendimento. No entanto, é também necessário perceber as razões que levaram ao aparecimento destas diferenças e onde ocorrem, visto que apenas foram apresentadas numa das três fases durante a análise ao perfil das curvas de velocidade-tempo.

Pela decomposição nas diferentes fases, a fase de impulsão apenas apresentou valores superiores de distância, sendo a duração, a velocidade máxima e velocidade média iguais entre as duas variantes. A técnica de bruços é a que apresenta valores de área de secção transversal do corpo superiores relativamente às restantes técnicas (Gatta et al., 2015) e, durante a ação subaquática, a fase de impulsão foi a que atingiu valores superiores de velocidade e, consequentemente, também a que apresenta forças de arrasto mais elevadas (Naemi et al., 2009). Para contrariar a diminuição da velocidade pelo arrasto, é necessária a otimização da posição hidrodinâmica que se apresenta com maior eficácia com os membros superiores em extensão (Vilas-Boas et al., 2010). Já a recuperação não diferiu em nenhuma destas variáveis, pelo que não parece ter peso na resposta às diferenças observadas entre as duas variantes na generalidade da ação subaquática.

A propulsão foi a fase que apresentou maior quantidade de variáveis em análise, devido às diferenças apontadas visualmente à priori, porém também foi a que apresentou maior número de diferenças e que parece determinante na ação subaquática.

Apesar do número díspar de momentos propulsivos entre as variantes, não foram apresentadas diferenças entre a velocidade máxima e a velocidade média, sugerindo que o número de dois máximos na variante sequencial contra um da variante sobreposta foi compensado com as variações de velocidades entre ambas. Sendo as forças de arrasto superiores à superfície relativamente às observadas em profundidades de 0,5 a 1 m (Tor et al. 2015), pretende-se que os valores de duração e distância sejam superiores, como foram exibidos para a variante sequencial. Também à semelhança do que ocorre na fase de impulsão, a propulsão quando realizada com o desfasamento temporal das ações permitiu que a posição hidrodinâmica com o MS em extensão fosse prolongada. Esta fase parece justificar as diferenças observadas na totalidade das ações subaquáticas nestas mesmas variáveis e assim traduzir-se no aumento do rendimento dos nadadores através do aumento de distância percorrida em ação subaquática (Pla et al., 2021). A ação adicional dos membros inferiores de mariposa parece ser um fator-chave do rendimento associado a esta fase.

A análise cinemática ao ângulo do joelho sugeriu também diferenças, onde o valor mínimo lido no final da fase ascendente da ação dos membros inferiores (e antes do início da fase descendente) apresentou valores inferiores na variante sequencial. Foram observadas diferenças na amplitude do movimento do joelho, derivada dos ângulos mínimo e máximo do joelho. Estas diferenças já eram espectáveis visto que este segundo ângulo não apresentou diferenças que pudessem equilibrar com as existentes do ângulo mínimo. A amplitude do movimento da variante sobreposta ($78,31 \pm 9,32^\circ$) encontra-se mais próxima dos valores reportados para o movimento ondulatório na técnica de mariposa em percurso subaquático ($75,5 \pm 7,1^\circ$; Yamakawa et al., 2018) do que os valores obtidos para a sequencial ($86,96 \pm 7,86^\circ$). A realização isolada temporalmente das ações dos membros inferiores e dos membros superiores durante a fase de propulsão parece diminuir a restrição do movimento e consequentemente aumentar a amplitude do movimento.

O tempo de realização da ação descendente dos membros inferiores de mariposa apresentou também diferenças, onde se apresentaram valores superiores para a variante sequencial. Os valores de velocidade angular da nossa amostra na variante sequencial ($6,80 \pm 0,63$ rad/s) são coincidentes com os valores descritos ($6,82 \pm 1,04$ rad/s; Yamakawa et al., 2018). Contudo, a velocidade angular (rad/s) não sugeriu diferenças entre variantes, apesar de derivar de dois fatores que diferiram (a duração da ação e a amplitude do movimento).

Apesar de não serem apresentadas diferenças em distintas colocações da ação adicional dos membros inferiores (McCabe et al., 2012), os nossos dados demonstraram resultados contrários. Os valores disponibilizados por McCabe et al. (2012) e obtidos para esta dissertação não são passíveis de comparação, visto que os primeiros incluíam a partida realizada em bloco de partida, alterando substancialmente os valores quando comparados com uma partida dentro de água. Apesar de estar descrito que a utilização das diferentes variantes deve ter em conta a individualidade (McCabe et al., 2022), o presente estudo permite afirmar que a variante sequencial parece melhor determinar o rendimento devido

aos valores superiores obtidos na distância percorrida e tempo despendido com elevada importância na ação subaquática (Veiga & Roig, 2015; Pla et al., 2021). Esta dissertação deve assentar o seu tema a partir da quarta fase “Fazer para competir” da Preparação Desportiva a Longo Prazo, em etapas de especialização dos nadadores (Costa, M.J., Marinho, D.A., Barbosa, T.M. , 2016). Disponibiliza ainda valores de referência para diferentes componentes da ação subaquática que possibilitam avaliar e maximizar o rendimento dos nadadores através das fases acíclicas na técnica de bruços, neste caso para os escalões associados às fases quarta e quinta.

A cinemática parece apresentar análises de interesse para responder às questões do presente estudo. Deste modo, parece plausível afirmar que a fase de propulsão, pelas suas características propulsivas, determina o impacto no rendimento da ação subaquática na técnica de bruços. Outro fator determinante é a cinemática do joelho, com a amplitude e velocidade de execução do movimento representativos do seu impacto. A apresentação de dois picos de velocidade associados a dois momentos propulsivos, ainda que mais reduzidos, são determinantes para apresentar a variante sequencial como a opção que permite a manutenção de velocidades médias superiores (Nicol et al., 2021) e alcançar um percurso subaquático mais distante e com superior duração.

Apesar do controlo realizado para aprimorar e impor rigor científico, o presente trabalho apresenta algumas limitações. O processo de familiarização foi conduzido pelos próprios nadadores e o tempo variou entre quatro a seis semanas, podendo diferir no aperfeiçoamento das variantes entre os que realizaram uma duração inferior. O aquecimento padronizado parece apresentar um volume reduzido de 400 m face ao ideal reportado de 1000-1500 m (Neiva et al., 2014), podendo não ter promovido as adaptações necessárias ao esforço exigido. A análise cinemática à articulação do joelho apenas teve em conta um dos lados, não contabilizando com possíveis desigualdades laterais do movimento.

5. Conclusões

A presente dissertação permitiu concluir que:

- O perfil da curva velocidade-tempo difere qualitativamente entre a variante sequencial e sobreposta da ação subaquática na técnica de bruços, com a apresentação de dois ou um momento propulsivo, respetivamente.
- Em termos quantitativos, as diferenças existentes no perfil da curva velocidade-tempo situam-se apenas na fase de propulsão da ação subaquática.
- O comportamento cinemático global nas duas variantes é distinto, sendo a variante sequencial aquela que promove valores superiores de distância percorrida e duração do percurso subaquático.
- A comparação do comportamento cinemático por fases apenas revela diferenças na fase de propulsão, não havendo distinção nas fases de impulsão e de recuperação.
- A variante sequencial parece ser a que mais favorece o rendimento da ação subaquática devido à existência dos dois momentos propulsivos separados temporalmente na fase propulsão face ao único momento propulsivo detetado na variante sobreposta, espelhando-se nas competições na técnica de bruços.

6. Sugestões para estudos futuros

Este trabalho representa uma primeira análise qualitativa e quantitativa mais aprofundada ao tema das diferentes estratégias que podem ser implementadas para a realização da ação subaquática na técnica de bruços. Contudo, ainda existem outras vias que devem ser essenciais ao estudo, tais como:

- i. Analisar o comportamento cinemático nas diferentes variantes incluindo fases que fazem parte de uma prova de natação pura desportiva (partida do bloco ou viragens);
- ii. Efetuar a comparação cinemática entre variantes com efeito de fadiga induzido após viragens das diferentes distâncias de nado;
- iii. Avaliar o efeito das diferentes variantes no rendimento total da prova através do contributo dos ganhos marginais;
- iv. Realizar uma análise mais rigorosa procurando estudar o efeito do sexo no comportamento cinemático das diferentes variantes;
- v. Interpretar o comportamento das diferentes variantes incluindo outros fatores influenciadores do rendimento tais como coeficientes de arrasto, forças propulsivas ou atividade neuromuscular.

7. Referências bibliográficas

- Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J., & Nelson, R. C. (1994). Analysis of 50-m, 100-m, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 189–199.
- Balsom, P., Seger, J., Sjodin, B., & Ekblom, B. (1992). Maximal-Intensity Intermittent Exercise: Effect of Recovery Duration. *International Journal of Sports Medicine*, 13, 528-533.
- Barbosa, T.M., Costa, M.J., & Marinho, D. A. (2013). Proposal of a deterministic model to explain swimming performance. *International Journal of Swimming Kinetics*, 2(1), 1-54.
- Born, D. P., Kuger, J., Polach, M., & Romann, M. (2021). Turn Fast and Win: The Importance of Acyclic Phases in Top-Elite Female Swimmers. *Sports (Basel)*, 9(9).
- 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. *Perceptual and Motor Skills*, 85(1), 167-177.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.)*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- 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., Marinho, D. A., Barbosa, T. M. (2016). Preparação desportiva a longo prazo: um modelo operativo para a natação em Portugal. In: Marinho, D. A., Machado, J., Silva, A. J. (eds). *Política Desportiva FPN: plano estratégico 2014-2024*. pp 30-42. Federação Portuguesa de Natação, Lisboa.
- Fernandes, A., Afonso, J., Noronha, F., Mezêncio, B., Vilas-Boas, J. P.; Fernandes, R. J. (2023). Intracycle Velocity Variation in Swimming: A Systematic Scoping Review. *Bioengineering*, 10(3), 308.

- FINA. (2017). *FINA Swimming Rules 2017 - 2021*. Available online at: http://www.fina.org/sites/default/files/2017_2021_swimming_16032018.pdf (accessed April 12, 2023).
- Gatta, G., Cortesi, M., Fantozzi, S., & Zamparo, P. (2015). Planimetric frontal area in the four swimming strokes: implications for drag, energetics and speed. *Human Movement Science*, 39, 41–54.
- Gonjo, T., & Olstad, B. H. (2020). Race Analysis in Competitive Swimming: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 69.
- Gonjo, T., Olstad, B. H., Štastný, J., Conceição, A., & Seifert, L. (2023). Intra- and inter-individual variability in the underwater pull-out technique in 200 m breaststroke turns. *PLOS ONE*, 18(3), e0283234.
- Hamidi Rad, M., Aminian, K., Gremeaux, V., Massé, F., & Dadashi, F. (2021). Swimming Phase-Based Performance Evaluation Using a Single IMU in Main Swimming Techniques. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 793302.
- Lima, A., Semblano, P., Fernandes, D., Gonçalves, P., Morouço, P., Sousa, F., Fernandes, R., Barbosa, M., Correia, M., Tani, G., & Vilas-Boas, J. P. (2006). A kinematical, imagiological and acoustical biofeedback system for the technical training in breaststroke swimming. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6, 21-23.
- Maglischo, E. (2003). *Swimming Fastest*. Mayfield Publishing Company. Mountain View, California, USA.
- McCabe, C., Mason, B., and Fowlie, J. (2012). A temporal investigation into the butterfly kick placement following a breaststroke start and turn. Paper presented at the 30th Conference of the International Society of Biomechanics in Sport, Melbourne.
- McCabe, C., Moss crop, E., Hodierne, R., & Tor, E. (2022). The characteristics of the breaststroke pullout in elite swimming. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 963578.

- McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2022). Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(2), 317-331.
- 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 (2), 236-239.
- Naemi, R., Easson, W. J., & Sanders, R. H. (2010). Hydrodynamic glide efficiency in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(4), 444–451.
- Neiva, H. P., Marques, M. C., Barbosa, T. M., Izquierdo, M., & Marinho, D. A. (2014). Warm-up and performance in competitive swimming. *Sports Medicine*, 44(3), 319–330.
- Nicol, E., Adani, N., Lin, B., & Tor, E. (2021). The temporal analysis of elite breaststroke swimming during competition. *Sports Biomechanics*, 1-13. Advance online publication.
- Olstad, B. H., Wathne, H., & Gonjo, T. (2020). Key Factors Related to Short Course 100 m Breaststroke Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6257.
- Pla, R., Poszalczyk, G., Souaissia, C., Joulia, F., & Guimard, A. (2021). Underwater and Surface Swimming Parameters Reflect Performance Level in Elite Swimmers. *Frontiers in Physiology*, 12, 712652.
- Ruiz-Navarro, J. J., Cano-Adamuz, M., Andersen, J. T., Cuenca-Fernández, F., López-Contreras, G., Vanrenterghem, J., & Arellano, R. (2021). Understanding the effects of training on underwater undulatory swimming performance and kinematics. *Sports Biomechanics*, 1–16.
- Seifert, L., Didier, C. & Mujika, I. (2011). World book of swimming: from science to performance. *New York, NY: Nova Science Publishers, Hauppauge*.

- Seifert, L., Vantorre, J., & Chollet, D. (2007). Biomechanical analysis of the breaststroke start. *International Journal of Sports Medicine*, 28(11), 970-976.
- Tor, E., Pease, D. L., & Ball, K. A. (2015). How does drag affect the underwater phase of a swimming start?. *Journal of Applied Biomechanics*, 31(1), 8-12.
- Veiga, S., Cala, A., Frutos, P. G., & Navarro, E. (2014). Comparison of starts and turns of national and regional level swimmers by individualized-distance measurements. *Sports Biomechanics*, 13(3), 285-295.
- Veiga, S., & Roig, A. (2015). Underwater and surface strategies of 200 m world level swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 34(8), 766-771.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R. J., & Barbosa, T. M. (2011). Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance, and training in swimming. In *World book of swimming: from science to performance* (pp. 119-134) New York, NY: Nova Science Publishers, Hauppauge.
- Vilas-Boas, J. P., Costa, L., Fernandes, R. J., Ribeiro, J., Figueiredo, P., Marinho, D., Silva, A. J., Rouboa, A., & Machado, L. (2010). Determination of the drag coefficient during the first and second gliding positions of the breaststroke underwater stroke. *Journal of Applied Biomechanics*, 26(3), 324–331.
- Yamakawa, K. K., Takagi, H., & Sengoku, Y. (2018). Three-dimensional analysis of hip and knee joint movements during dolphin kicking and butterfly swimming. In *Tokyo: Impress R&D, XIII th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming Proceedings* (pp. 187-192).