

Relação entre a velocidade de nado, variação intra-cíclica da velocidade e eficiência de nado em jovens nadadores

VERSÃO FINAL APÓS DEFESA

Mafalda Maria Rangel Pamplona Pizarro Pinto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências do Desporto
(2^o ciclo de estudos)

Orientador: Professor Doutor Henrique Pereira Neiva
Coorientador: Professor Doutor Daniel Almeida Marinho

julho de 2023

Declaração de Integridade

Eu, Mafalda Maria Rangel Pamplona Pizarro Pinto, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M11733 de Ciências do Desporto da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 21 /07 /2023

Mafalda Pamplona Pinto

Dedicatória

Aos meus Pais...

Agradecimentos

O encerramento deste ciclo só é possível graças à ajuda fundamental de várias pessoas. Assim, quero expressar a minha profunda gratidão a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para isso:

- Ao Professor Doutor Henrique Pereira Neiva, pelos ensinamentos, por toda a disponibilidade, pelo incentivo constante, por toda a paciência, pela empatia, pelos conselhos, pela bondade que lhe é característica;
- Ao Professor Doutor Daniel Almeida Marinho, pelo compromisso com a excelência no ensino, por todas as oportunidades, pela disponibilidade ao longo destes anos;
- Ao Professor Doutor Jorge Estrela Morais, com quem tenho tido o privilégio de trabalhar e de aprender, e a quem devo tanto;
- A todo o corpo docente do Departamento de Ciências do Desporto da Universidade da Beira Interior, por toda a contribuição na minha formação académica;
- Ao João Pedro Oliveira, ao Rogério Pereira, à Tatiana Sampaio e ao Tiago Lopes, pela amizade, pela generosidade, pela partilha, pelo espírito de equipa;
- Ao Slime, por tudo e por tanto;
- E por último, mas SEMPRE em primeiro, à minha família. Aos meus Pais, Maria José e Eduardo, aos meus irmãos Diogo, Pedro e Gaspar, às minhas cunhadas Zaruhi, Corina e Natalie, e aos meus sobrinhos Francisco, Julia, Ricardo e Maria Inês: a minha equipa favorita, que me faz viver numa enorme bolha de amor.

A todos muito obrigada!

Publicações

Artigos em Revista

Pinto, M. P., Marinho, D. A., Neiva, H. P. & Morais, J. E. (2023). Relationship between swimming speed and intra-cycle variation of the horizontal speed, and Froude efficiency during consecutive stroke cycles in adolescent swimmers. *PeerJ* (Fator de impacto 3.06; em revisão).

Comunicações em Conferência

Pinto, M. P., Morais, J. E., Neiva, H. P., & Marinho, D. A. (2023, Janeiro, 26-28). *Previsão da velocidade máxima de jovens nadadoras com base em indicadores cinemáticos, de propulsão e de arrasto* [Comunicação oral]. XIX Congresso de Ciências do Desporto e Educação Física dos Países de Língua Portuguesa, Coimbra, Portugal.

Publicação em livro de resumos

Pinto, M. P., Morais, J. E., Neiva, H. P., & Marinho, D. A. (2023). Previsão da velocidade máxima de jovens nadadoras com base em indicadores cinemáticos, de propulsão e de arrasto. In V. Vaz (Ed.), *Livro de resumos do XIX Congresso de Ciências do Desporto e Educação Física dos Países de Língua Portuguesa, janeiro 26-28, 2023, Portugal* (PP. 100). ISBN: 978-989-53189-6-4

Resumo

O objetivo do presente estudo foi analisar a relação entre a velocidade de nado, a variação intra-cíclica da velocidade horizontal (dv) e a eficiência de Froude (η_F) no nado crol durante três ciclos consecutivos de braçada, em nadadores jovens. A amostra foi composta por 15 nadadores do sexo masculino (16.07 ± 0.77 anos), e 15 nadadores do sexo feminino (15.05 ± 1.07 anos). A velocidade de nado e a dv foram medidos em três ciclos de braçada consecutivos durante a realização de 25 m no nado crol, à máxima intensidade. A velocidade de nado apresentou um efeito não significativo na braçada a braçada ($F = 2.55, p = 0.087, \eta^2 = 0.08$), mas um efeito de sexo significativo ($F = 90.46, p < 0.001, \eta^2 = 0.76$). A dv e η_F tiveram a mesma tendência que a velocidade de nado para o efeito braçada a braçada, mas um efeito de sexo não significativo ($p > 0.05$). A matriz de correlação de Spearman entre velocidade de nado e dv , e velocidade de nado e η_F revelou correlações não significativas em todos os três ciclos de braçada em ambos os sexos. No entanto, a tendência da primeira (velocidade de nado e dv) nem sempre foi inversa (valor inferior de dv e velocidade de nado superior), e a segunda (velocidade de nado e η_F) nem sempre foi direta e positiva (maior η_F e velocidade superior). Adicionalmente, a análise de modelação hierárquica HLM revelou que η_F poderá ser um preditor da velocidade de nado, mas não a dv . Os resultados demonstraram que as velocidades de nado tendem a diminuir com o tempo, mas com os nadadores a apresentarem velocidades mais elevadas em todos os ciclos de braçada analisados do que as nadadoras. Apesar de não existirem correlações significativas entre a velocidade de nado e dv ou η_F , a eficiência de Froude demonstrou ser um preditor superior, lançando a discussão acerca da importância e influência da variação intra-cíclica da velocidade para a velocidade de nado em nadadores jovens. Treinadores e nadadores devem estar cientes de que dvs mais baixos podem nem sempre estar relacionados com velocidades de nado mais rápidas e vice-versa, e que η_F entrou como um preditor de velocidade de nado em vez de dv .

Palavras-chave

Natação; time-trials; comportamento motor; eficiência; técnica.

Abstract

The aim of this study was to analyze the relationship between the swimming speed, intra-cycle variation of the horizontal speed of displacement (dv), and Froude efficiency (η_F) in front-crawl during three consecutive stroke cycles. The sample consisted of 15 males (16.07 ± 0.77 years) and 15 females (15.05 ± 1.07 years). Swimming speed and dv were measured during a 25 m trial in front-crawl, at maximum intensity. Swimming speed presented a non-significant stroke-by-stroke ($F = 2.55, p = 0.087, \eta^2 = 0.08$), but a significant sex effect ($F = 90.46, p < 0.001, \eta^2 = 0.76$). The dv and η_F had the same trend as swimming speed for the stroke-by-stroke effect, but a non-significant sex effect ($p > 0.05$). The Spearman correlation matrix between swimming speed and dv , and swimming speed and η_F revealed non-significant correlations in all three stroke cycles in both sexes. However, the tendency of the former (swimming speed and dv) was not always inverse, and the latter (swimming speed and η_F) was not always direct and positive (greater η_F and higher speed). Additionally, HLM hierarchical modeling analysis revealed that η_F could be a predictor of swimming speed, but not dv . The results showed that swimming speeds tended to decrease over time but with male swimmers presenting higher velocities in all stroke cycles analyzed than female swimmers. Although there are no significant correlations between swimming speed and dv or η_F , the Froude efficiency proved to be a superior predictor, launching the discussion about the importance and influence of intra-cycle velocity variation for swimming speed in young swimmers. Coaches and swimmers must be aware that lower dvs may not always be related to faster swimming velocities and vice-versa and that η_F entered as a swimming speed predictor rather than dv .

Keywords

Swimming; time-trials; motor behavior; efficiency; technique.

Índice

Agradecimentos	vii
Publicações	ix
Resumo	xi
Abstract.....	xiii
Lista de Figuras.....	xvii
Lista de Tabelas	xix
Lista de Acrónimos	xxi
Introdução	1
Metodologia	5
Participantes	5
Procedimentos	6
Análise Estatística.....	8
Resultados.....	9
Discussão	13
Conclusão.....	17
Implicações Práticas	19
Sugestões para futuras investigações	21
Referências Bibliográficas	23

Lista de Figuras

Figura 1 – Velocidade de nado e análise dv por tempo e sexo. Painel (A) – velocidade de nado; Painel (B) – variação intra-cíclica da velocidade horizontal de deslocamento (dv); Painel (C) – eficiência de Froude (η_F). 1 – primeiro ciclo de braçada; 2 – segundo ciclo de braçada; 3 – terceiro ciclo de braçada. As barras representam um erro padrão..... 9

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Dados demográficos (média \pm desvio padrão) dos nadadores por sexo...	5
Tabela 2 – ANOVA de medidas repetidas da velocidade de nado e <i>dv</i>	10
Tabela 3 – Matriz de correlação de Spearman entre velocidade de nado e <i>dv</i> em cada ciclo de braçada, por sexo.....	11
Tabela 4 – Efeitos fixos dos modelos finais calculados por estimativa e intervalos de confiança de 95%.....	12

Lista de Acrónimos

ANOVA	Teste estatístico de análise de variância
CV	Coefficiente de variação de velocidade
<i>dv</i>	Varição intra-cíclica da velocidade horizontal
HLM	Modelo Linear Hierárquico
<i>l</i>	Distância média do ombro à mão
NPD	Natação Pura Desportiva
SF	Frequência de braçada
SPSS	Statistical Package for the Social Science
η_F	Eficiência de Froude
<i>v</i>	Velocidade de nado

Introdução

A natação pura desportiva (NPD), é uma modalidade individual (o desempenho obtido depende apenas do atleta), cíclica (tem como característica a repetição contínua ou prolongada de determinado gesto desportivo) e fechada (o adversário não condiciona diretamente a ação do atleta), que tem como objetivo, percorrer determinadas distâncias no menor tempo possível (Barbosa et al., 2009). É uma modalidade desportiva com contornos muito específicos, devido ao meio onde se pratica (meio aquático), solicitando adaptações espaço-temporais e energéticas particulares, e que impõe um conjunto de limitações, quer sejam biomecânicas ou bioenergéticas (Barbosa et al., 2010; Marinho et al., 2007). Para além destas limitações, a NPD depende ainda de fatores genéticos, contextuais, psicológicos (Fernandes et al., 2008), hidrodinâmicos (Morais et al., 2012) e antropométricos (Mezzaroba & Machado, 2014). De facto, esta modalidade distingue-se de outras modalidades por vários fatores, nomeadamente i) por ser praticada com o corpo na posição horizontal; ii) a propulsão ser garantida pelas ações dos membros superiores, inferiores e pelo tronco; iii) acontecer com o corpo em imersão, obrigando a uma respiração sempre ativa e coordenada com as outras ações motoras; iv) e a propulsão ser garantida por uma força aplicada num fluido (Aspenes & Karlsen, 2012).

A ótima relação entre a propulsão conseguida durante o nado e a resistência ao avanço permite ao nadador atingir o melhor rendimento desportivo, combinando a velocidade de nado com a eficiência propulsiva e maior economia energética (Zamparo et al., 2020). Das quatro técnicas de nado formais (i.e., crol, costas, bruços e mariposa), o crol tem recebido especial atenção por parte de investigadores e treinadores, por ser o mais rápido e eventualmente a técnica com menor gasto energético associado (Maglischo, 2003; Moraes et al., 2022a). A técnica de crol caracteriza-se por ser ventral (posição do corpo), alternada (ação dos membros superiores e inferiores) e contínua (produção de força) (Maglischo, 2003). Assim, para conseguirem melhores desempenhos, os nadadores devem aumentar a propulsão (ou manter) enquanto minimizam a resistência hidrodinâmica oposta ao seu deslocamento (Toussaint e Beek, 1992). No entanto, durante o nado crol, assim como noutras técnicas de nado, a interação entre as forças propulsivas e de arrasto produz acelerações e desacelerações corporais, levando a uma variação no centro de massa dos nadadores (Ribeiro et al., 2013; Gonjo et al., 2021).

A variação da velocidade de deslocamento do centro de massa dos nadadores é usualmente referida como “variação intra-cíclica da velocidade horizontal de deslocamento” (dv) (Barbosa et al., 2005). Muitas vezes, por conveniência, os investigadores calculam o dv como o coeficiente de variação da velocidade durante ciclos consecutivos de braçada ($CV = (\text{um desvio padrão}) / \text{média} * 100$, em %) (Barbosa et al., 2005; Figueiredo et al., 2016; Silva et al., 2019). Esta variável é considerada um indicador relacionado com a eficiência de nado (Figueiredo et al., 2012; Ribeiro et al., 2013). Tal significará que, por exemplo, valores mais baixos tendem a mostrar maior eficiência propulsiva bruta, para a mesma condição de arrasto (Peterson Silveira et al., 2019). Assim, os investigadores que se debruçam sobre a NPD têm demonstrado grande interesse na inter e intra-variabilidade do dv (Barbosa et al., 2013b; Figueiredo et al., 2013; Fernandes et al., 2022b). A primeira refere-se à comparação entre sujeitos, enquanto a segunda diz respeito à análise linear de um sujeito. Por ser uma variável facilmente mensurada por investigadores, e interpretada de forma eficiente por treinadores e nadadores, a comunidade científica tem todo o interesse em aprofundar as informações e o conhecimento sobre o dv .

De forma resumida, as maiores oscilações verificadas na velocidade de nado indicam que os nadadores tendem a realizar um maior padrão de aceleração/desaceleração. Por outro lado, se a curva velocidade-tempo de nado for mais suave, isso indica que os nadadores tendem a desacelerar menos, mantendo assim uma velocidade de nado mais constante (Ganzevles et al., 2019). No entanto, a literatura indica que os resultados fornecidos pelo dv podem ser enganadores (Fernandes et al., 2023). Existem estudos que relatam que um dv menor está relacionado com melhores desempenhos (Barbosa et al., 2013b; Matsuda et al., 2014). No entanto, também foi demonstrado que o dv não apresentou uma relação linear com o desempenho aquando duma análise entre parciais da prova (Psycharakis et al., 2010), assim como outros não demonstraram associações significativas entre o dv e o rendimento durante o nado (Ruiz-Navarro et al., 2020). Esses dados contraditórios podem ser explicados por diferenças no perfil de arrasto ou nos parâmetros de eficiência dos nadadores e, portanto, podem não estar diretamente relacionados com a variação de velocidade em si (Fernandes et al., 2022a). A braçada crol, tal como nas outras braçadas, apresenta uma variabilidade elevada (Bideault et al., 2013). Ou seja, os nadadores tendem a apresentar uma variação significativa na mecânica da braçada entre os ciclos de nado consecutivos, na mesma prova ou time-trial (Morais et al., 2020). Podemos afirmar que este é mesmo um fenómeno comum observado no desporto. Um estudo de Preatoni et al. (2013) indica que quando um movimento é realizado de forma repetitiva, o movimento do corpo apresenta alguma variabilidade, mesmo em movimentos cíclicos. No caso da natação, essa variabilidade

pode ser ainda maior devido às características do meio aquático (por exemplo, densidade e viscosidade). Assim, as braçadas podem apresentar diferentes padrões.

O procedimento mais utilizado para medir o dv é usar a média de um conjunto de ciclos de braçada durante um percurso (e.g., Barbosa et al., 2014; Figueiredo et al., 2016). No entanto, e até onde se sabe, apenas Fernandes et al. (2022b) tiveram como objetivo, obter conhecimentos sobre a relação velocidade de nado e dv numa análise de braçada a braçada. Com base em dois ciclos de braçada consecutivos, os autores argumentaram que o dv observado num ciclo de braçada não afeta a variação do ciclo de braçada subsequente nem está relacionado com a velocidade média (Fernandes et al., 2022b). Assim, a literatura carece de evidências sobre a análise braçada a braçada que possa fornecer informações mais profundas sobre a relação velocidade de nado – dv .

Aceitando que o dv resulta de várias interações de restrição de nado e que difere de acordo com o nível de desempenho (Barbosa et al., 2019; Fernandes et al., 2022b), uma análise de um número superior de ciclos de braçada (e.g., 3 ciclos de braçadas) sucessivos daria uma compreensão mais profunda do efeito do dv na velocidade de nado. Além disso, existem outras variáveis de eficiência que se têm mostrado serem bons indicadores da eficiência dos nadadores, como a eficiência de Froude (η_F) (Zamparo et al., 2005). Portanto, o objetivo deste estudo foi entender a relação entre a velocidade de nado, dv e η_F no nado crol, durante três ciclos consecutivos de braçada. Enquanto hipóteses foi estabelecido que seria verificada uma relação significativa entre a velocidade de nado e ambas as variáveis. Mais especificamente, dv s mais baixos (relação inversa) e maior η_F (relação direta) levariam a velocidades de nado mais rápidas.

Metodologia

Participantes

A amostra foi composta por 30 nadadores adolescentes (15 do sexo masculino e 15 do sexo feminino). Os dados demográficos, relativos a estes, são apresentados na Tabela 1. Quanto ao nível de desempenho (i.e., pontos FINA), foi calculado com base na prova de 100 m livres, em piscina curta. Os sujeitos foram recrutados a partir de uma seleção nacional, participando regularmente em competições regionais, nacionais e internacionais. A amostra, incluiu nadadores detentores de recordes nacionais de grupos etários, campeões nacionais dos escalões etários e outros nadadores que se inscreveram em escolas nacionais de identificação de talentos (atletas de nível 3) (McKay et al., 2021). Os nadadores pertencentes à amostra, realizavam entre seis a nove sessões de treino por semana, e no momento da recolha de dados, encontravam-se num elevado estado de forma desportiva, correspondente ao final do segundo macrociclo da época desportiva.

Como critérios de inclusão, os nadadores deveriam ser nadadores de nível competitivo, com marca de 100m livres superiores aos 500 pontos FINA, com idades inferiores aos 18 anos, e não apresentar qualquer constrangimento (como por exemplo, estarem livres de lesões nos últimos seis meses), que os levasse à realização duma técnica de nado alterada ou manifestamente de qualidade inferior ao que apresentariam no contexto do dia-a-dia. Todos os procedimentos foram realizados de acordo com a Declaração de Helsínquia, em relação à investigação em seres humanos, e em respeito pelas normas éticas da Universidade da Beira Interior.

Tabela 1. Dados demográficos (média \pm desvio padrão) dos nadadores, por sexo.

	Média \pm DP	
	Masculino (N = 15)	Feminino (N = 15)
Idade [anos]	16.07 \pm 0.77	15.05 \pm 1.07
Massa Corporal [kg]	67.53 \pm 5.69	56.55 \pm 6.14
Altura [m]	1.76 \pm 0.05	1.63 \pm 0.07
Envergadura [m]	1.82 \pm 0.09	1.67 \pm 0.07
Pontos FINA [pontos]	581.40 \pm 62.37	596.27 \pm 76.14

Procedimentos

Após a chegada ao local da recolha, a piscina, cada nadador foi avaliado relativamente às variáveis antropométricas de caracterização, como sendo, a altura, massa corporal, e envergadura. Após esta análise realizada em repouso, cada nadador realizou um aquecimento padronizado para a realização de nado à máxima velocidade (Neiva et al., 2017), numa piscina coberta, de 25 m (temperatura da água: 27.5° C; temperatura do ar: 26.0° C; humidade relativa: 67%). Após o aquecimento, cada nadador realizou um percurso de 25 m à máxima intensidade onde se registaram os valores da cinemática para posterior análise. Todos os procedimentos foram realizados no mesmo dia, sendo que a ordem de realização dos sprints foi aleatória.

Características antropométricas

Para a avaliação das características dos participantes, foi utilizado um estadiómetro (Seca 213, Seca Lda, Alemanha) para medir a altura corporal. Foi assim determinada a distância entre o cimo da cabeça e a planta dos pés, medindo com os participantes descalços, pés planos sobre o solo e calcanhares juntos, costas e região occipital em contato com o plano vertical do estadiómetro. Para a determinação da massa corporal, cada sujeito foi também avaliado em posição ereta, com o mínimo de roupa possível, recorrendo a uma balança digital (Tanita Corporation, Tokyo, Japão). A envergadura foi medida com recurso a uma fita métrica flexível, com o participante em pé, de costas para a parede e com os braços estendidos formando um ângulo de 90° com o corpo, sendo aferida a distância entre os dedos médios do indivíduo.

Time-trial

Cada nadador realizou um aquecimento típico de 1000 m antes da realização do sprint máximo (Neiva et al., 2017). Após 10 min de descanso passivo, foram completados 25 m à máxima velocidade, com partida realizada dentro de água e após sinal sonoro. Este sprint de 25 m foi repetido num total de três tentativas, com 30 min de intervalo para permitir a recuperação completa. Os nadadores foram aconselhados a realizar ciclos de braçada sem respiração durante a sessão de recolha de dados, para evitar alterações na coordenação ou técnica de braçada, que poderiam ter um efeito negativo na velocidade de nado (McCabe et al., 2015). No final, a melhor tentativa (velocidade de nado mais

rápida) foi usada para análise. Foram analisados três ciclos de braçada consecutivos, após a marca dos 11 metros, para evitar qualquer vantagem do empurrão na parede.

Variáveis cinemáticas e eficiência

Durante a realização dos três sprints de 25 m crol à máxima intensidade foram analisadas a velocidade de nado, a variação intra-cíclica da velocidade (dv) e calculada a eficiência de Froude (η_F).

Para medir a velocidade de nado, o cabo de um aparelho mecânico (SpeedRT, ApLab, Roma, Itália) foi preso à cintura dos nadadores (Morais et al., 2022b). Este velocímetro calculou o deslocamento e a velocidade do nadador a uma taxa de 100 Hz. Posteriormente, os dados velocidade-tempo foram importados para um software de processamento de sinal (AcqKnowledge v. 3.9.0, Biopac Systems, Santa Barbara, CA, EUA). O sinal foi manipulado com filtro Butterworth de 4ª ordem (corte: 5Hz) após análise residual (Winter, 2009). Uma câmara de vídeo (GoPro Hero Black 7, EUA) foi colocada em posição fixa no meio da piscina (12.5 m). De seguida, foi sincronizada com o aparelho mecânico para registar os nadadores no plano sagital e identificar a entrada e saída das mãos na água. A velocidade de nado (em m/s) foi obtida do software, durante três ciclos de braçada consecutivos (com base na entrada e saída das mãos). Posteriormente, o dv (em %) de cada ciclo de braçada, foi calculado como sendo o coeficiente de variação (CV): $CV = \text{um desvio padrão} / \text{média} * 100$ (Barbosa et al., 2005).

A eficiência de Froude (η_F), foi calculada como:

$$\eta_F = \left(\frac{v \cdot 0.9}{2\pi \cdot SF \cdot l} \right) \cdot \frac{2}{\pi} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde η_F é a eficiência de Froude (em %), v é a velocidade de nado (em m/s), SF é a frequência de braçada (em Hz) e l é a distância média do ombro à mão (em m) (Zamparo et al., 2005). A frequência de braçada foi determinada através do número de ciclos por unidade de tempo, a partir momento que leva para completar um ciclo completo ($f = 1/t$), e depois convertido para Hz. A variável l foi medida em terra por fotogrametria digital (Morais et al., 2020).

Análise Estatística

Foi realizada uma análise de potência à priori, utilizando o G*Power (Faul et al., 2009). Para uma análise de medidas repetidas, foi determinado ser necessário 10 participantes para detetar um tamanho de efeito moderado ($d = 0.50$) com poder de 80% ($\alpha = 0.05$) com dois grupos e três medições para um teste estatístico de “Medidas repetidas, interação intra e intergrupo ANOVA”. O teste de Shapiro-Wilk, foi utilizado para avaliar a distribuição da amostra. A velocidade de nado revelou uma distribuição normal e o dv uma distribuição não normal. A média e o respetivo desvio padrão, foi calculada como estatística descritiva. Uma ANOVA de medidas repetidas (*two-way*) foi utilizada para verificar as diferenças entre os três ciclos de braçada consecutivos ($\alpha = 0.05$). Assim, foram considerados dois fatores: braçada a braçada, sexo e a respetiva interação entre ambos. A correção de Bonferroni seria usada para detetar diferenças significativas entre pares, se necessário. O tamanho do efeito (eta quadrado - η^2), foi calculado e interpretado como: (i) sem efeito se $0 < \eta^2 \leq 0.04$; (ii) mínimo se $0.04 < \eta^2 \leq 0.25$; (iii) moderada se $0.25 < \eta^2 \leq 0.64$; e (iv) forte se $\eta^2 > 0.64$ (Ferguson, 2009). O coeficiente de correlação de Spearman ($p < 0.05$), foi utilizado para verificar a relação entre a velocidade de nado, o dv e η_F . Foi ainda realizada uma análise do modelo linear hierárquico multinível (HLM) para verificar se a velocidade de nado poderia ser prevista pelo dv e η_F , ou ambos. No primeiro nível, variáveis que permitiam medidas repetidas (dv e η_F) foram testadas como predictoras. No segundo nível, as variáveis que não mudaram (sexo), foram testadas como predictoras. O modelo final incluiu apenas os preditores significativos. A estimativa de máxima verossimilhança foi calculada no software HLM7 (Raudenbush et al., 2011). Para as restantes análises foi utilizado Microsoft Excel® para Microsoft 365 MSO (versão 2204 Build 16. 0. 15128. 20158) e o programa de análise estatística *Statistical Package of Social Science* (SPSS) 27.0, ambos para Windows.

Resultados

A Figura 1 apresenta os dados descritivos da velocidade de nado, dv , e η_F por sexo, durante os três ciclos consecutivos de braçada. Os nadadores masculinos foram mais rápidos que os nadadores femininos, em todos os ciclos de braçada (Figura 1). Ambos os sexos apresentaram uma tendência semelhante, em que foi observada uma diminuição na velocidade de nado ao longo do tempo. A dv , tendeu a aumentar nos homens e a diminuir nas mulheres. Quanto à η_F , esta tendeu a diminuir ao longo do tempo.

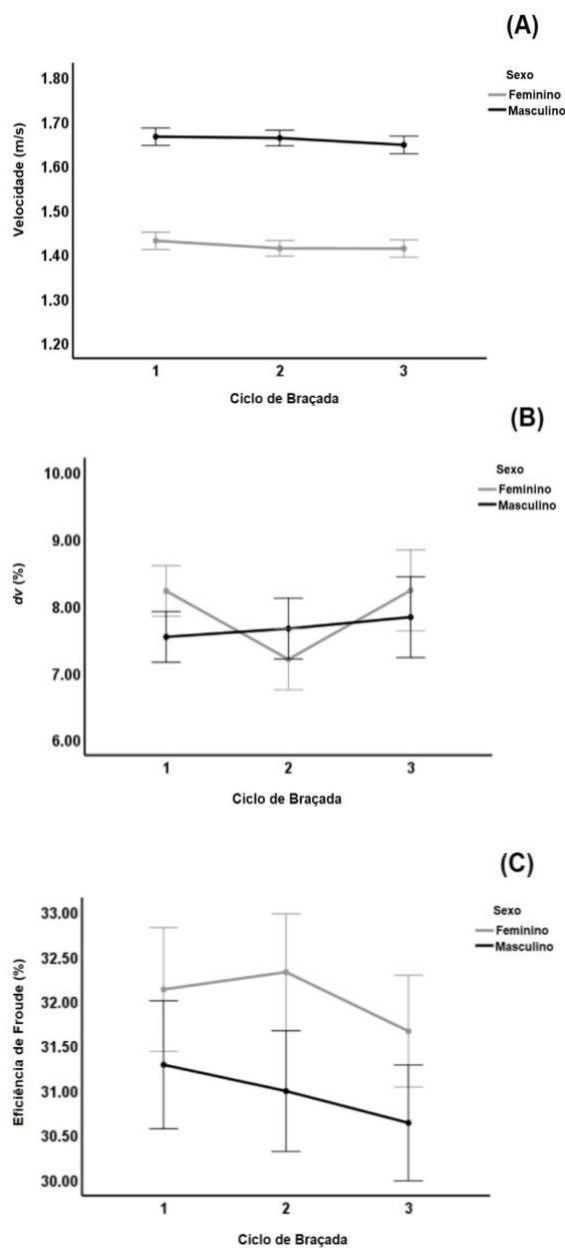


Figura 1. Velocidade de nado e análise dv por tempo e sexo. Painel (A) – velocidade de nado; Painel (B) – variação intra-cíclica da velocidade horizontal de deslocamento (dv); Painel (C) – eficiência de Froude. 1 -

primeiro ciclo de braçada; 2 - segundo ciclo de braçada; 3 - terceiro ciclo de braçada. As barras representam um desvio-padrão.

A Tabela 2, apresenta os dados referentes à análise de variância. Para a velocidade de nado, um efeito braçada a braçada não significativo com tamanho de efeito mínimo ($F = 2.55$, $p = 0.087$, $\eta^2 = 0.08$). Por outro lado, foi verificado um efeito de sexo significativo com tamanho de efeito forte ($F = 90.46$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.76$). Observou-se uma interação não significativa entre braçadas X sexo. Efeitos não significativos (braçada a braçada, sexo e respetiva interação), foram observados por dv e η_F . Isso indica que, o dv não mudou significativamente ao longo do tempo e não houve diferenças significativas entre os sexos.

Tabela 2. ANOVA de medidas repetidas da velocidade de nado e dv .

	F	p	η^2
Velocidade [m/s]			
Efeito braçada a braçada	2.55	0.087	0.08
Efeito do sexo	90.46	< 0.001	0.76
Interação braçada a braçada X sexo	0.57	0.571	0.02
dv [%]			
Efeito braçada a braçada	1.17	0.318	0.04
Efeito do sexo	0.17	0.681	0.01
Interação braçada a braçada X sexo	1.06	0.352	0.04
η_F [%]			
Efeito braçada a braçada	2.05	0.139	0.07
Efeito do sexo	1.48	0.235	0.05
Interação braçada a braçada X sexo	0.33	0.723	0.02

dv – flutuação de velocidade; η_F – eficiência de Froude; η^2 - eta ao quadrado (índice do tamanho do efeito).

A Tabela 3 apresenta a matriz de correlação de Spearman entre velocidade de nado, dv e η_F em cada ciclo de braçada. Como foi observado um efeito significativo do sexo na velocidade de nado, as correlações da velocidade de nado, dv e η_F também são apresentadas por sexo. Nos homens, o coeficiente de correlação de Spearman revelou uma relação inversa (ou seja, dv s mais altos levaram a velocidades de nado mais lentas)

entre a velocidade de nado e o dv no primeiro e segundo ciclos de braçada. No entanto, essas correlações não foram significativas em todos os ciclos de braçada. Quanto ao η_F , este foi direto no primeiro e terceiro ciclos de braçada, mas inverso no segundo. Mais uma vez, com correlações não significativas. Nas mulheres, as correlações não foram significativas em todos os ciclos de braçada medidos, assim como nos homens. Além disso, apenas o segundo ciclo de braçada foi inversamente relacionado. Curiosamente, as correlações velocidade de nado – η_F foram inversas em todos os ciclos de braçada, mas não significativas. Assim, pode-se indicar que a correlação dv – velocidade de nado nem sempre foi inversa e a η_F – velocidade de nado nem sempre foi direta, e sempre com correlações não significativas.

Tabela 3. Matriz de correlação de Spearman entre velocidade de nado e dv em cada ciclo de braçada, por sexo.

	Masculino			Feminino		
	Velocidade 1º	Velocidade 2º	Velocidade 3º	Velocidade 1º	Velocidade 2º	Velocidade 3º
dv 1º	$r_s = -0.050$ $p = 0.860$			dv 1º $r_s = 0.164$ $p = 0.558$		
dv 2º		$r_s = -0.229$ $p = 0.413$		dv 2º $r_s = -0.061$ $p = 0.830$		
dv 3º			$r_s = 0.325$ $p = 0.237$	dv 3º $r_s = 0.214$ $p = 0.443$		
η_F 1º	$r_s = 0.116$ $p = 0.692$			η_F 1º $r_s = -0.125$ $p = 0.657$		
η_F 2º		$r_s = -0.178$ $p = 0.543$		η_F 2º $r_s = -0.243$ $p = 0.383$		
η_F 3º			$r_s = 0.114$ $p = 0.697$	η_F 3º $r_s = -0.032$ $p = 0.909$		

dv – variação intra-cíclica da velocidade horizontal de deslocamento. η_F – Eficiência de Froude; 1º – primeiro ciclo de braçada medido; 2º – segundo ciclo de braçada medido; 3º – terceiro ciclo de braçada medido.

A Tabela 4 apresenta os preditores significativos da velocidade de nado. O tempo (ou seja, a variação da velocidade de nado ao longo dos três ciclos), não foi mantido como um preditor significativo. Isso significa que, apesar da velocidade de nado ter diminuído ao longo do tempo, não foi significativo. O modelo final manteve o sexo como um preditor significativo, indicando diferenças entre os sexos. Em vez do dv , o η_F foi mantido como um preditor significativo da velocidade de nado. A cada aumento de unidade em η_F (em %), a velocidade de nado aumentava em 0.010 m/s (IC95: 0.004 a 0.016, $p = 0.002$).

Tabela 4. Efeitos fixos dos modelos finais calculados por estimativa e intervalos de confiança de 95%.

Efeitos Fixos	Estimativa (SE)	IC 95	<i>p</i>
Sexo	0.242 (0.027)	(0.189 a 0.295)	< 0.001
η_F	0.010 (0.003)	(0.004 a 0.016)	0.002

η_F – Eficiência de Froude.

Discussão

O objetivo primário do presente estudo foi entender a relação entre a velocidade de nado, a variação intra-cíclica da velocidade horizontal de deslocamento (dv) e a eficiência de Froude (η_F) durante os três ciclos consecutivos de braçada de crol. Os principais resultados deste estudo mostraram que todas as variáveis apresentaram um efeito não significativo de ciclo para ciclo de braçada. Contudo, a velocidade de nado indicou um efeito significativo relativamente ao sexo, mas a dv e η_F não. Adicionalmente, não foram encontradas correlações significativas em ambos os sexos entre velocidade de nado e dv , e entre a velocidade de nado e η_F . A relação nem sempre foi inversa com a dv (dvs mais baixas levam a velocidades de nado mais rápidas) e direta positiva com η_F (maiores η_F leva a velocidades de nado mais rápidas). Além disso, o HLM indicou a η_F como um preditor de velocidade de nado, mas não a dv .

A dv foi popularizada como um indicador de eficiência na natação, com efeito positivo direto nos gastos de energia (Barbosa et al., 2006). Ou seja, em todas as quatro técnicas de nado, nadar com uma dv menor poderia induzir a uma diminuição no gasto energético dos nadadores para percorrer uma determinada distância (Barbosa et al., 2011). Em estudos transversais, ao analisar tentativas máximas na técnica de crol, foi sugerido que, em nadadores jovens, as velocidades de nado mais rápidas estão relacionadas com dvs menores (Barbosa et al., 2013^a; Silva et al., 2019). Considerando estudos longitudinais, ao analisar nadadores de nível nacional com idades compreendidas entre os 11 e os 13 anos, observou-se que a velocidade de nado apresentou um perfil sinusoidal numa avaliação de três momentos (Morais et al., 2013). Especificamente, a velocidade de nado diminuiu do primeiro para o segundo momento de avaliação e aumentou entre o segundo e o terceiro momento de avaliação. Além disso, a dv mostrou uma tendência oposta, ou seja, quando a velocidade de nado diminuiu entre os momentos de avaliação, a dv aumentou. Por outro lado, quando a velocidade de nado aumentou, a dv diminuiu (Morais et al., 2013).

A tendência acima apresentada também foi observada quando os nadadores foram divididos por clusters com base no seu nível de desempenho (Morais et al., 2015). Os três clusters de desempenho apresentaram um perfil semelhante (ou seja, quando a velocidade de nado diminuiu entre os momentos de avaliação, a dv aumentou e vice-versa) (Morais et al., 2015). Outros estudos tiveram como objetivo analisar o efeito de um programa de treino coordenativo dentro de água em jovens nadadores nestas variáveis (Silva et al., 2022). Os autores observaram que o grupo de treino aumentou

significativamente a velocidade de nado e diminuiu significativamente a dv (Silva et al., 2022). Além disso, mesmo em nadadores mais velhos de nível recreativo, um programa de treino permitiu que os nadadores melhorassem o seu desempenho, aumentando assim as suas velocidades de nado e reduzindo o dv (Costa et al., 2017). Assim, com base numa perspetiva geral, a literatura parece indicar que existe uma relação forte e inversa entre velocidade de nado e dv . Quanto à η_F , esta parece estar diretamente relacionada a melhores desempenhos. Ou seja, nadadores mais rápidos são mais propensos a apresentar maiores valores de η_F (Barbosa et al., 2019; Morais et al., 2015).

No presente estudo, uma análise da velocidade de nado, dv e η_F foi realizada ciclo a ciclo de braçada em vez de se calcular a média de todo o teste. Estudos têm demonstrado que nadadores de sprint apresentam tendência a diminuir a velocidade de nado ao longo do tempo durante uma prova (Morais et al., 2020, 2022b). Os presentes resultados, que incluíram nadadores jovens do sexo masculino e do sexo feminino, estão de acordo com esses estudos (diminuição com o tempo), mas não significativamente. Tal como a velocidade de nado, a dv não apresentou variação significativa. Nos nadadores do sexo masculino, observou-se uma tendência inversa. Ou seja, a dv aumentou à medida que a velocidade de nado diminuiu. Quanto ao sexo feminino, ao invés de existir um aumento ao longo do tempo (com base na lógica de que menores dvs levam a maiores velocidades de nado e vice-versa), foi observado um perfil sinusoidal. A η_F apresentou um comportamento similar aos resultados da dv , ou seja, efeitos não significativos entre ciclos e entre sexo masculino e feminino, mas com tendência a diminuir ao longo do tempo. Com os resultados apresentados pode-se sugerir que nem sempre a velocidade de nado pode ter uma relação inversa com a dv , principalmente no sexo feminino. Por outro lado, a velocidade de nado parece apresentar uma relação direta com η_F .

Os presentes resultados demonstraram que as correlações entre a velocidade de nado e a dv e entre a velocidade de nado e a η_F , não foram significativas em ambos os sexos. Em relação à velocidade de nado – dv , a tendência em ambos os sexos, nem sempre foi inversa (dvs mais baixos levam a velocidades de nado mais rápidas e vice-versa). De facto, existem estudos que reportam resultados contrários à relação entre a velocidade de nado e a dv ao longo do tempo, mas não em ciclos de braçadas consecutivos, como o presente estudo. Por exemplo, Barbosa e os seus colaboradores verificaram que, durante um programa de treino com três momentos de avaliação, os nadadores jovens não alteraram significativamente seu dv entre momentos (Barbosa et al., 2015). Esses resultados também foram confirmados por outro estudo (Morais et al., 2017). Os autores observaram que, durante três temporadas competitivas (10 momentos de

avaliação), houve uma tendência geral dos jovens nadadores para aumentarem a sua velocidade de nado (exceto no período de destreino). Contudo, a dv manteve-se praticamente inalterada durante o mesmo período (Morais et al., 2017). A η_F também foi monitorizado no mesmo estudo (Morais et al., 2017) e apesar dos aumentos e diminuições observados em cada temporada competitiva, a η_F aumentou da primeira para a terceira temporada competitiva. Outros investigadores analisaram a relação velocidade de nado – dv em nadadores adultos de nível nacional (Psycharakis et al., 2010). Mas, em vez de um teste máximo de 25 m, analisaram essa relação durante um teste máximo de 200 m, numa análise entre cada parcial da prova. Os autores observaram que a dv não apresentou uma relação linear com o desempenho e não se alterou significativamente durante a prova de 200m (Psycharakis et al., 2010).

Todos esses estudos citados acima possuem um fator comum, ou seja, as variáveis analisadas (i.e., a velocidade de nado e a dv) foram analisados como a média da prova (ou por parcial, no caso das provas de 200 m). Consequentemente, a média poderá não representar com precisão cada ciclo de braçada executado. De facto, o desempenho desportivo em geral (Preatoni et al., 2013) e a natação em particular apresentam uma elevada inter e intravariabilidade (Bideault et al., 2013). Especificamente, na natação, em que os praticantes devem realizar movimentos em condições instáveis, pode ocorrer uma variabilidade braçada a braçada (Simbana-Escobar et al., 2018). Assim, para entender melhor a relação velocidade de nado com as suas determinantes, uma análise braçada a braçada pode fornecer informações que ajudam a aprofundar o conhecimento sobre este tópico.

O presente estudo apresenta resultados contraditórios sobre a relação entre a velocidade de nado e a dv . Nos nadadores, a velocidade de nado e dv revelaram uma tendência inversa, i.e., velocidade de nado diminuiu e dv aumentou. Nas mulheres, a velocidade de nado diminuiu, mas o dv mostrou um perfil sinusoidal. Além disso, foram encontradas correlações não significativas entre velocidade de nado e dv em todos os três ciclos de braçada, medidos em ambos os sexos. E ainda, as correlações nem sempre foram inversas em ambos os sexos. Ou seja, em alguns ciclos de braçada, a dv tem uma correlação direta com a velocidade de nado (por outras palavras, dv s maiores levam a velocidades de nado mais rápidas). Além disso, e por meio de uma modelagem multinível (HLM), a dv não foi mantida com uma variável significativamente preditiva da velocidade de nado.

Recentemente, foi reportado que a dv pode não ser a causa de um determinado comportamento, mas sim uma consequência (Fernandes et al., 2022b, 2023). Os

nadadores podem aumentar a sua velocidade de nado usando duas abordagens: (i) gerando maiores forças propulsivas de uma forma mais poderosa (levando a uma menor eficiência), ou; (ii) apresentar uma maior eficiência de nado (Peterson Silveira et al., 2019). Portanto, a dv poderá ser vista como consequência do comportamento motor realizado. A primeira abordagem induzirá uma dv mais elevada (flutuações de velocidade mais proeminentes) e a segunda, uma dv mais baixa (flutuações de velocidade mais suaves). Estes resultados, assim como noutros estudos, indicam que nem sempre a dv pode apresentar uma relação inversa e significativa com a velocidade de nado. Por outro lado, a η_F baseado numa modelagem multinível, foi mantida como uma variável preditiva da velocidade de nado, com um efeito significativo e direto (maior η_F leva a velocidades de nado mais rápidas). No entanto, a dv continua a fornecer uma perspectiva geral da eficiência do nadador, mas uma análise braçada a braçada é aconselhada para se entender melhor a relação velocidade de nado – dv . Os treinadores devem estar atentos à mecânica da braçada e ao comportamento motor dos seus nadadores, para reconhecer que ter uma dv maior pode não ser um fator negativo, mas sim uma consequência intrínseca do perfil do nadador.

Como principais limitações deste estudo, pode-se considerar que (i) estes resultados são válidos para nadadores jovens e para provas de sprint, e; (ii) um índice de coordenativo, como por exemplo, o índice de coordenação (Schnitzler et al., 2021), não foi utilizado para obter informações mais profundas sobre a relação velocidade de nado – dv ; (iii) a amostra tem poucos nadadores de cada sexo. Portanto, estudos futuros devem ser realizados para obter mais informações sobre a relação velocidade de nado – dv com base numa análise dos ciclos de braçada e medindo mais braçadas durante a prova. Além disso, outras técnicas de nado também podem ser analisadas, assim como diferentes ritmos de nado.

Conclusão

Os resultados deste estudo mostraram que, em nadadores jovens, a velocidade de nado tende a diminuir ao longo do tempo de nado de sprint, mas sem um efeito significativo entre ciclos de braçada consecutivos. Por outro lado, foi observado um efeito da variação do sexo, em que os homens apresentaram velocidades de nado mais rápidas que as mulheres, em todos os ciclos de braçadas medidos. Quanto às variáveis dv e η_F , foram observados efeitos não significativos entre ciclos de braçada e sexo. As correlações entre a velocidade de nado e dv e entre a velocidade de nado e η_F não foram significativas em todos os três ciclos de braçada, demonstrando resultados mistos em relação à tendência da relação. Contudo, curiosamente a análise de modelação hierárquica demonstrou que, em vez da dv , a η_F foi mantida como uma variável preditiva da velocidade de nado. Assim, pode-se concluir que a diminuição da velocidade de nado ao longo do tempo não foi significativamente relacionada com o aumento do dv , em ambos os sexos.

Implicações Práticas

Este estudo visa capacitar os treinadores com informações valiosas sobre a complexa relação entre os ciclos de braçada e a velocidade de nado, influenciando o desempenho desportivo de forma significativa. Ao analisar os dados destes indicadores, os treinadores podem ajustar o seu programa de treino e adaptar a sua orientação aos nadadores de forma individualizada, otimizando assim o seu potencial de sucesso. As conclusões deste estudo podem ter grandes implicações práticas para os treinadores, pois permite-lhes uma compreensão mais profunda de como os ciclos de braçada afetam a velocidade de nado. Dotados deste conhecimento, os treinadores podem tomar decisões informadas ao projetar sessões de treino, adaptar técnicas e implementar estratégias para melhorar o desempenho. Ao considerar as características e necessidades específicas de cada nadador, os treinadores podem identificar áreas de melhoria e implementar intervenções direcionadas para lidar com as limitações individuais. Por exemplo, se um nadador exhibe ciclos de braçada abaixo do ideal que prejudicam a sua velocidade, o treinador pode concentrar-se em refinar a sua técnica, reduzir o arrasto ou aprimorar a propulsão, para facilitar melhorias na velocidade de nado.

Este estudo realça a importância crítica de preencher a lacuna entre a investigação desportiva e a prática do treinador. A colaboração e a troca de conhecimentos entre investigadores e treinadores são cada vez mais fundamentais. As informações teóricas, obtidas a partir de estudos de investigação, precisam de ser efetivamente traduzidas em aplicações práticas, beneficiando atletas e treinadores. Ao promover uma forte parceria entre a comunidade de investigação e os profissionais de treino desportivo, as descobertas científicas podem ser integradas perfeitamente em metodologias de treino e estratégias de aprimoramento do desempenho. A urgência de fortalecer o vínculo entre a investigação desportiva e as equipas técnicas, é evidente. Os treinadores devem ter acesso aos mais recentes avanços científicos e evidências empíricas para informar os seus processos de tomada de decisão. Este estudo pretende também contribuir para catalisar tal colaboração, destacando a necessidade de diálogo contínuo e troca de conhecimento entre investigadores e treinadores. Ao promover esta conexão, os treinadores podem permanecer na vanguarda da inovação, refinando continuamente as suas abordagens, e maximizando o potencial dos seus atletas.

Em suma, este estudo não aumenta apenas a compreensão dos treinadores sobre a relação entre os ciclos de braçada e a velocidade de nado, mas também enfatiza a

necessidade crítica de colaboração entre a comunidade da investigação e os profissionais de treino. Aproveitando essas descobertas, os treinadores podem adaptar os seus programas de treino, otimizar a técnica e elevar o desempenho desportivo a novos patamares. Este estudo reforça a importância de traduzir o conhecimento teórico em aplicações práticas, abrindo caminho para uma integração mais perfeita da investigação desportiva na prática do treinador.

Sugestões para futuras investigações

Embora se considere que o presente estudo possa contribuir com valiosos conhecimentos respeitantes à temática central da mesma, é importante reconhecer-lhe algumas limitações que, por sua vez, servirão de sugestões para futuras linhas de investigação. Por conseguinte, surgem listadas de seguida algumas recomendações nesse sentido:

- Recorrendo a metodologias de investigação semelhantes, explorar a relação entre os indicadores avaliados, e o desempenho em nadadores especialistas em várias distâncias e diferentes técnicas de nado, procurando aprofundar a compreensão de como esses indicadores estão ligados ao desempenho em diferentes contextos;
- Replicar este estudo com nadadores de diferentes faixas etárias. Este estudo pode limitar a generalização dos resultados para nadadores de diferentes faixas etárias;
- Recolher alguns dados fisiológicos e comparar com os restantes resultados;
- Expandir a recolha de dados aos ciclos de braçada de todo o percurso de nado, em vez de focar em apenas três ciclos consecutivos. Embora esta análise de três ciclos consecutivos possa fornecer informações iniciais, uma análise mais completa envolvendo todo o percurso, possa oferecer uma representação mais precisa da consistência e eficácia de um nadador. Este nível de análise torna-se particularmente relevante ao estudar nadadores de elite ou altamente qualificados que requerem um exame mais detalhado.

Ao incorporar estas recomendações em futuras investigações, uma compreensão mais profunda da relação entre os indicadores avaliados e o desempenho de nado pode ser alcançada. Estes estudos adicionais, ajudarão a refinar o conhecimento existente e contribuirão para o desenvolvimento contínuo de métodos de treino, melhoramento de técnicas e otimização do desempenho de nado.

Referências Bibliográficas

Aspenes, S. T., & Karlsen, T. (2012). Exercise-Training Intervention Studies in Competitive Swimming. *Sports Medicine*, 42(6), 527–543.

Barbosa, T. M., Bartolomeu, R., Morais, J. E., and Costa, M. J. (2019). Skillful swimming in age-groups is determined by anthropometrics, biomechanics and energetics. *Frontiers in Physiology* 10. doi: 10.3389/fphys.2019.00073.

Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 262-269. doi: 10.1016/j.jsams.2009.01.003.

Barbosa, T. M., Costa, M. J., Morais, J. E., Morouço, P., Moreira, M., Garrido, N. D., et al. (2013a). Characterization of speed fluctuation and drag force in young swimmers: A gender comparison. *Human Movement Science* 32, 1214–1225. doi: 10.1016/j.humov.2012.07.009.

Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaço, P., Lima, A. B., and Vilas-Boas, J. P. (2005). Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *European Journal Applied Physiology* 93, 519–23. doi: 10.1007/s00421-004-1251-x.

Barbosa, T. M., Lima, F., Portela, A., Novais, D., Machado, L., Colaço, P., et al. (2006). Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 192–194.

Barbosa, T. M., Lima, V., Meijas, E., Costa, M. J., Marinho, D. A., Garrido, N., Silva, A., & Bragada, J. (2009). A eficiência propulsiva e a performance em nadadores não experts. *Motricidade*, 5(4), 27-43.

Barbosa, T. M., Marinho, D. A., Costa, M. J., and Silva, A. J. (2011). “Biomechanics of Competitive Swimming Strokes,” in *Biomechanics in Applications*, ed. V. Klika (Rijeka: InTech), Ch. 16.

Barbosa, T. M., Morais, J. E., Costa, M. J., Goncalves, J., Marinho, D. A., and Silva, A. J. (2014). Young swimmers' classification based on kinematics, hydrodynamics, and

anthropometrics. *Journal of Applied Biomechanics* 30, 310–315. doi: 10.1123/jab.2013-0038.

Barbosa, T. M., Morais, J. E., Marques, M. C., Silva, A. J., Marinho, D. A., and Kee, Y. H. (2015). Hydrodynamic profile of young swimmers: Changes over a competitive season. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 25, e184–e196. doi: 10.1111/sms.12281.

Barbosa, T. M., Morouço, P. G., Jesus, S., Feitosa, W. G., Costa, M. J., Marinho, D. A., et al. (2013b). The interaction between intra-cyclic variation of the velocity and mean swimming velocity in young competitive swimmers. *International Journal of Sports Medicine* 34, 123–30. doi: 10.1055/s-0032-1312582.

Bideault, G., Herault, R., and Seifert, L. (2013). Data modelling reveals inter-individual variability of front crawl swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport* 16, 281–5. doi: 10.1016/j.jsams.2012.08.001.

Costa, M. J., Barbosa, T. M., Morais, J. E., Miranda, S., and Marinho, D. A. (2017). Can concurrent teaching promote equal biomechanical adaptations at front crawl and backstroke swimming? *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 19, 81–88. doi: 10.5277/ABB-00511-2015-03.

Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., and Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods* 41, 1149–60. doi: 10.3758/BRM.41.4.1149.

Ferguson, C. J. (2009). An effect size primer: A guide for clinicians and researchers. *Professional Psychology: Research and Practice* 40, 532–538. doi: 10.1037/a0015808.

Fernandes, A., Afonso, J., Noronha, F., Mezêncio, B., Vilas-Boas, J. P., and Fernandes, R. J. (2023). Intracycle Velocity Variation in Swimming: A Systematic Scoping Review. *Bioengineering* 10. doi: 10.3390/bioengineering10030308.

Fernandes, R. J., Aleixo, I., Soares, S., & Vilas-Boas, J. P. (2008). Anaerobic critical velocity: a new tool for young swimmers training advice. In Nova Science Publishers (eds), *Physical Activity and Children: New Research* (pp. 211–223). Retrieved from https://books.google.pt/books?id=PbEC2dszV_UC&lpq=PA211&ots=SuJYjC23K4&dq=aerobic%20critical%20velocity%3A%20%20a%20new%20tool%20for%20young%20swimmers%20training%20advice.&hl=pt-PT&pg=PA213#v=onepage&q&f=false

Fernandes, A., Goethel, M., Marinho, D. A., Mezêncio, B., Vilas-Boas, J. P., and Fernandes, R. J. (2022a). Velocity Variability and Performance in Backstroke in Elite and Good-Level Swimmers. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, 6744.

Fernandes, A., Mezêncio, B., Soares, S., Duarte Carvalho, D., Silva, A., Vilas-Boas, J. P., et al. (2022b). Intra-and inter-cycle velocity variations in sprint front crawl swimming. *Sports Biomechanics*, 1–14.

Figueiredo, P., Kjendlie, P. L., Vilas-Boas, J. P., and Fernandes, R. J. (2012). Intracycle velocity variation of the body centre of mass in front crawl. *International Journal of Sports Medicine* 33, 285–90. doi: 10.1055/s-0031-1301323.

Figueiredo, P., Sanders, R., Gorski, T., Vilas-Boas, J. P., and Fernandes, R. J. (2013). Kinematic and electromyographic changes during 200 m front crawl at race pace. *International Journal of Sports Medicine* 34, 49–55.

Figueiredo, P., Silva, A., Sampaio, A., Vilas-Boas, J. P., and Fernandes, R. J. (2016). Front Crawl Sprint Performance: A Cluster Analysis of Biomechanics, Energetics, Coordinative, and Anthropometric Determinants in Young Swimmers. *Motor Control* 20, 209–21. doi: 10.1123/mc.2014-0050.

Ganzevles, S. P., Beek, P. J., Daanen, H. A., Coolen, B. M., and Truijens, M. J. (2019). Differences in swimming smoothness between elite and non-elite swimmers. *Sports biomechanics*, 1–14.

Gonjo, T., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., and Sanders, R. (2021). Body roll amplitude and timing in backstroke swimming and their differences from front crawl at the same swimming intensities. *Scientific Reports* 11, 1–12.

Hopkins, W. (2019). A scale of magnitudes for effect statistics. A new view of statistics. 2002. Internet <http://sportsci.org/resource/stats/effectmag.html> (10 October 2013).

Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest*. Human kinetics.

Marinho, D. A., Silva, J., Rouboa, A., Soons, B., Persyn, U., Vilas-Boas, J. P., Barbosa, T. M., Reis, V. M., & Moreira, A. (2007). Modelos Propulsivos: novas teorias velhas polémicas. In *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*, p. 205. Vila Real: Universidade de Trás- os-Montes e Alto Douro.

- Matsuda, Y., Yamada, Y., Ikuta, Y., Nomura, T., and Oda, S. (2014). Intracyclic Velocity Variation and Arm Coordination for Different Skilled Swimmers in the Front Crawl. *Journal of human kinetics* 44, 67–74. doi: 10.2478/hukin-2014-0111.
- McCabe, C. B., Sanders, R. H., and Psycharakis, S. G. (2015). Upper limb kinematic differences between breathing and non-breathing conditions in front crawl sprint swimming. *Journal of Biomechanics* 48, 3995–4001.
- McKay, A., Stellingwerff, T., Smith, E., Martin, D., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V., et al. (2021). Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 17, 1–15. doi: 10.1123/ijsp.2021-0451.
- Mezzaroba, P. V., & Machado, F. A. (2014). Effect of age, Anthropometry, and Distance in Stroke Parameters of Young Swimmers. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 9(4), 702.
- Morais, J. E., Barbosa, T. M., Lopes, T., Simbaña-Escobar, D., and Marinho, D. A. (2022a). Race analysis of the men's 50 m events at the 2021 LEN European Championships. *Sports Biomechanics*, 1–17.
- Morais, J. E., Barbosa, T. M., Silva, A. J., Veiga, S., and Marinho, D. A. (2022b). Profiling of elite male junior 50 m freestyle sprinters: Understanding the speed-time relationship. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 32, 60–68. doi: 10.1111/sms.14058.
- Morais, J. E., Forte, P., Nevill, A. M., Barbosa, T. M., and Marinho, D. A. (2020). Upper-limb kinematics and kinetics imbalances in the determinants of front-crawl swimming at maximal speed in young international level swimmers. *Scientific Reports* 10. doi: 10.1038/s41598-020-68581-3.
- Morais, J. E., Jesus, S., Lopes, V., Garrido, N., Silva, A., Marinho, D., & Barbosa, T. M. (2012). Linking selected kinematic, anthropometric and hydrodynamic variables to young swimmer performance. *Pediatric Exercise Science*, 24(4), 649–664. doi: 10.1123/pes.24.4.649.
- Morais, J. E., Marinho, D. A., Oliveira, J. P., Sampaio, T., Lopes, T., and Barbosa, T. M. (2022c). Using Statistical Parametric Mapping to Compare the Propulsion of Age-Group Swimmers in Front Crawl Acquired with the Aquanex System. *Sensors* 22. doi: 10.3390/s22218549.

- Morais, J. E., Saavedra, J. M., Costa, M. J., Silva, A. J., Marinho, D. A., and Barbosa, T. M. (2013). Tracking young talented swimmers: Follow-up of performance and its biomechanical determinant factors. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 15, 129–138. doi: 10.5277/abb130316.
- Morais, J. E., Silva, A. J., Marinho, D. A., Lopes, V. P., and Barbosa, T. M. (2017). Determinant factors of long-term performance development in young swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12, 198–205. doi: 10.1123/ijsp.2015-0420.
- Morais, J. E., Silva, A. J., Marinho, D. A., Seifert, L., and Barbosa, T. M. (2015). Cluster stability as a new method to assess changes in performance and its determinant factors over a season in young swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 10, 261–268. doi: 10.1123/ijsp.2013-0533.
- Neiva, H. P., Marques, M. C., Barbosa, T. M., Izquierdo, M., Viana, J. L., Teixeira, A. M., et al. (2017). Warm-up for Sprint Swimming: Race-Pace or Aerobic Stimulation? A Randomized Study. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31, 2423–2431. doi: 10.1519/jsc.0000000000001701.
- Peterson Silveira, R., Soares, S. M., Zacca, R., Alves, F. B., Fernandes, R. J., de Souza Castro, F. A., et al. (2019). A Biophysical Analysis on the Arm Stroke Efficiency in Front Crawl Swimming: Comparing Methods and Determining the Main Performance Predictors. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16. doi: 10.3390/ijerph16234715.
- Preatoni, E., Hamill, J., Harrison, A. J., Hayes, K., Van Emmerik, R. E., Wilson, C., et al. (2013). Movement variability and skills monitoring in sports. *Sports biomechanics* 12, 69–92.
- Psycharakis, S. G., Naemi, R., Connaboy, C., McCabe, C., and Sanders, R. H. (2010). Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20, 128–35. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.00891.x.
- Raudenbush, S. W., Bryk, A. S., Cheong, A. S. et al. HLM 7: Hierarchical linear and nonlinear modeling. Lincolnwood, IL: Scientific Software International, 2011.
- Ribeiro, J., De Jesus, K., Figueiredo, P., Toussaint, H., Guidetti, L., Alves, F., et al. (2013). Biomechanical determinants of force production in front crawl swimming. *Journal of sports medicine and physical fitness* 53, 30–37.

- Ruiz-Navarro, J. J., Morouço, P. G., and Arellano, R. (2020). Relationship between tethered swimming in a flume and swimming performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 15, 1087–1094.
- Schnitzler, C., Seifert, L., and Button, C. (2021). Adaptability in Swimming Pattern: How Propulsive Action Is Modified as a Function of Speed and Skill. *Frontiers in Sports and Active Living* 3, 618990. doi: 10.3389/fspor.2021.618990.
- Silva, A. F., Figueiredo, P., Ribeiro, J., Alves, F., Vilas-Boas, J. P., Seifert, L., et al. (2019). Integrated Analysis of Young Swimmers' Sprint Performance. *Motor Control* 23, 354–364. doi: 10.1123/mc.2018-0014.
- Silva, A. F., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R. J., and Seifert, L. (2022). The Effect of a Coordinative Training in Young Swimmers' Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, 7020.
- Simbana-Escobar, D., Hellard, P., and Seifert, L. (2018). Modelling stroking parameters in competitive sprint swimming: Understanding inter- and intra-lap variability to assess pacing management. *Human Movement Science* 61, 219–230. doi: 10.1016/j.humov.2018.08.002.
- Toussaint, H. M., and Beek, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports medicine* 13, 8–24.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Sons.
- Zamparo, P., Cortesi, M., Gatta, G. (2020). The energy cost of swimming and its determinants. *European Journal of Applied Physiology*, 120(1), 41-66. doi: 10.1007/s00421-019-04270-y.
- Zamparo, P., Pendergast, D. R., Mollendorf, J., Termin, A., & Minetti, A. E. (2005). An energy balance of front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1-2), 134-144.