

Avaliação das forças propulsivas em natação com recurso a métodos diretos: uma revisão sistemática

Autores

Catarina C. Santos^{1,2,3}; Daniel A. Marinho^{1,3}; Henrique P. Neiva^{1,3}; Mário J. Costa^{2,3}

catarina.costa.santos@ubi.pt

Resumo

Objetivo: O objetivo da presente revisão sistemática centrou-se em analisar o estado da arte sobre as forças propulsivas avaliadas por métodos diretos.

Métodos: Foi efetuada uma pesquisa nas bases de dados *Web of Science*, *PubMed* e *Scopus* até 30 de junho de 2020. Os estudos foram incluídos ou excluídos de acordo com os critérios definidos na estratégia de PICO e a *Downs and Black Quality Assessment Checklist* foi usada para avaliar o Índice de Qualidade (IQ) dos estudos incluídos.

Resultados: Dos 2530 estudos encontrados, 35 foram incluídos. O IQ médio foi de $54,7 \pm 9,6\%$ (boa qualidade metodológica). O nado amarrado e os sensores de pressão diferencial permitem avaliar diretamente as forças propulsivas. Estudos com desenhos transversais, incluindo o género masculino com diferentes níveis competitivos e uma idade igual ou superior a 15 anos foram os mais reportados. A maioria dos estudos avaliou o pico e a média da força propulsiva na técnica de crol. Efeitos de curto e longo prazo na força propulsiva foram observados nos programas de treino em seco e em água.

Conclusão: A magnitude da força propulsiva depende do tipo de método de avaliação, técnica de nado e ações segmentares, características dos nadadores e características/efeitos do processo de treino.

Palavras-chave: propulsão, nadadores, técnicas de nado, género, ações segmentares, treino

¹ Departamento de Ciências do Desporto, Universidade da Beira Interior

² Departamento de Ciências do Desporto, Instituto Politécnico da Guarda

³ CIDESD - Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano

INTRODUÇÃO

A locomoção humana no meio aquático resulta da interação dos membros propulsivos com o fluído. A capacidade de deslocamento dos nadadores nesse meio está, maioritariamente, dependente das forças propulsivas aplicadas e das forças de arrasto que atuam em oposição ao movimento. As forças propulsivas são produzidas pelos membros superiores e pelos membros inferiores, resultantes de ações coordenadas dos braços e das pernas [1]. Embora as evidências científicas sugiram que a braçada representa 85 a 90% de toda a propulsão na técnica de crol [2,3], a pernada apresenta um papel preponderante e não deverá ser desconsiderada [4,5]. A avaliação das forças propulsivas na natação com carácter competitivo é um aspeto primordial para o controlo do treino e diagnóstico da performance. A quantificação da força poderá ajudar a definir aspetos singulares da trajetória dos membros (i.e., as fases propulsivas), identificar desequilíbrios na simetria dos movimentos ou estabelecer ligações preponderantes com as variáveis cinemáticas [6,7]. Contudo, a complexidade do ambiente aquático, resultante das características únicas da água, dificulta a avaliação dessas forças [8]. Ainda assim, ao longo dos últimos anos têm-se verificado determinados progressos na sofisticação dos métodos de avaliação usados para esse propósito. A literatura existente reporta o uso de métodos de avaliação diretos e indiretos com humanos ou modelos robóticos [3,5-13]. A maioria dos estudos centrou-se na análise da força propulsiva recorrendo a métodos indiretos em mecanismos humanos, baseados em simulações numéricas e/ou estimativas [2,9,11], levando a uma limitação intrínseca relativa à validade ecológica.

A curva individual da força-tempo permite avaliar diversos parâmetros, como a o pico de força propulsiva (FP_{PICO}) e a média da força propulsiva ($FP_{MÉDIA}$). O aumento destas forças leva a uma melhoria no desempenho desportivo do nadador, principalmente em provas curtas (*sprint*) [14,15]. Por outro lado, do nosso melhor conhecimento, pouco se sabe sobre o comportamento das forças propulsivas em diferentes técnicas de nado [8], ações segmentares [16] ou características dos nadadores [17].

O objetivo da presente revisão centrou-se em consolidar e analisar o estado da arte sobre as forças propulsivas na natação de competição, com base nos estudos que recorreram a métodos de avaliação direta.

MÉTODOS

Estratégia de pesquisa

Foi realizada uma revisão sistemática de acordo com as diretrizes da declaração PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-analyses*) [18] e registada na plataforma PROSPERO (*International Prospective Register of Systematic Reviews*) com o código CRD42020200398. A pesquisa de artigos originais publicados entre 1 de janeiro de 1980 e 30 de junho de 2020 foi realizada em três bases de dados (Web of Science, PubMed e Scopus). O método *Boolean* (incluindo *AND/OR*) foi considerado para identificar as palavras-chaves e termos na literatura relacionada com as forças propulsivas na natação de competição.

CrITÉRIOS de elegibilidade

Os artigos foram incluídos ou excluídos usando os critérios definidos pela estratégia PICO (População, Intervenção, Comparação e Resultado) [19] (Tabela 1). Revisões, resumos de conferências, dissertações e teses foram excluídas, bem como artigos originais com o tamanho da amostra inferior a oito nadadores. Não foram aplicadas restrições no que diz respeito ao idioma, desde que os estudos incluíssem o título e o resumo em inglês.

Tabela 1. Estratégia de pesquisa e critérios de inclusão e exclusão com base na estratégia de PICO.

Termos	PICO	CrITÉRIOS de Inclusão	CrITÉRIOS de Exclusão
Natação	População	Nadadores de competição saudáveis	Nadadores com condições clínicas
Competição			Nadadores recreativos
Biomecânica	Intervenção	Avaliação das forças propulsivas	Forças de arrasto
Propulsão		Participantes humanos	Modelos mecânicos
Forças		Natação completa ou segmentar	Movimentos específicos (p.e., remadas)
Métodos	Comparação	Métodos diretos	Métodos indiretos
Avaliação		Técnicas de nado	
		Características dos nadadores	
		Características/efeitos do treino	
	Resultado	Pico e média da força propulsiva avaliados por métodos diretos	Métodos sem precisão para a avaliação das forças propulsivas

Qualidade metodológica

Uma ferramenta previamente elaborada (*Downs and Black Quality Assessment Checklist*) [20] foi utilizada para a avaliação metodológica dos estudos incluídos. A versão original possui 27 itens, com uma pontuação máxima de 32 pontos. Algumas adaptações foram efetuadas na versão original, tendo em conta o foco primordial dos estudos incluídos e as versões modificadas reportadas previamente [21]. A qualidade metodológica foi classificada como previamente sugerida [22]. O grau de concordância entre os investigadores foi obtido com base no coeficiente de Kappa (κ) [23] e interpretado de acordo com a sugestão de Landis e Koch's [24].

Análise dos dados

Os artigos foram agrupados de acordo com os métodos diretos e extraída a informação que consta nas Tabelas 2-4. A idade cronológica dos nadadores foi dividida em quatro grupos: i) <12 anos; (ii) 12-14 anos; (iii) 15-17 anos; e (iv) ≥ 18 anos. O Índice de Qualidade (IQ, %) foi calculado como: [(total de pontos obtidos) / (máximos de pontos) x 100]. A estatística descritiva para todos os resultados foi expressa por meio da média e o desvio padrão (\pm DP), variação (mínimo e máximo) e/ou percentagem (%). Os dados foram analisados numa folha do Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation Redmond, WA, USA).

RESULTADOS

Resultados da pesquisa

A pesquisa inicial resultou em 2781 registos. Após a remoção dos duplicados, 2530 registos foram manualmente analisados pelo título e resumo, o que resultou na exclusão de 2468 registos. Sessenta e dois artigos completos foram avaliados de acordo com os critérios de elegibilidade, sendo que 27 foram excluídos. O processo de pesquisa completo e detalhado é mostrado na Figura 1.

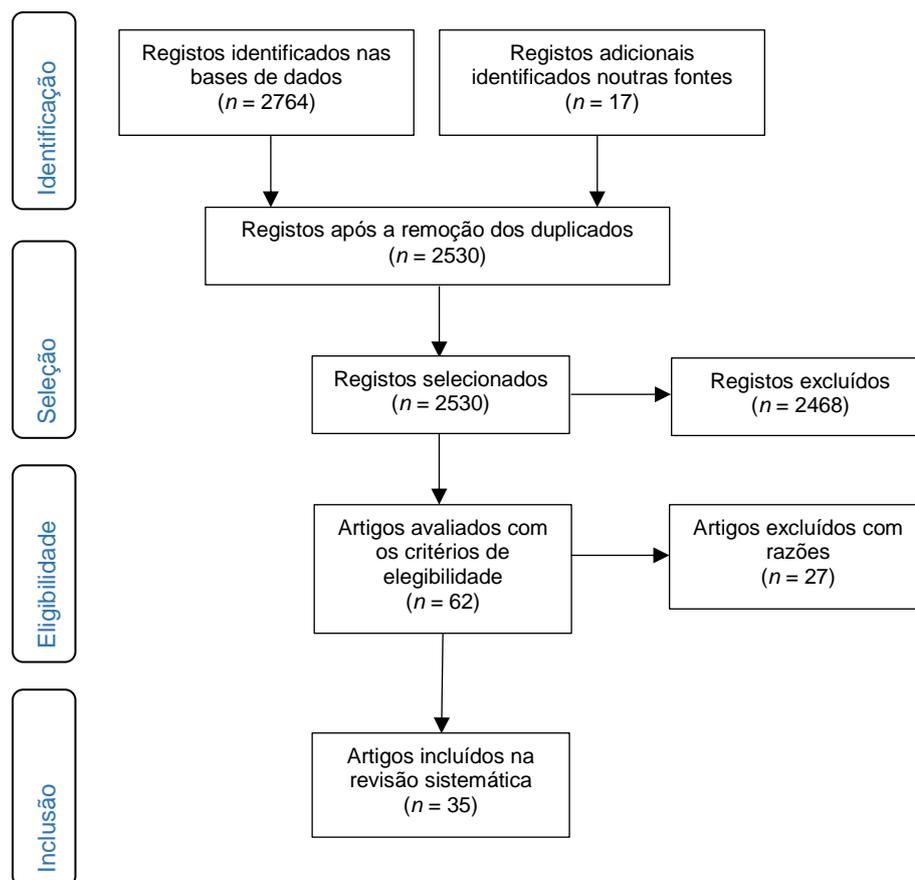


Figura 1. Fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-analyses*).

Características dos estudos incluídos

As características dos estudos incluídos são apresentadas nas Tabela 2 e 3. Vinte e nove estudos avaliaram as forças propulsivas através do nado amarrado [7,8,15-17,25-48] e seis estudos usaram sensores de pressão diferencial [3,5,12,49-51]. A confiabilidade entre os investigadores que quantificaram a qualidade dos estudos mostrou uma concordância quase perfeita ($\kappa = 0,95$). O IQ geral obteve uma média (\pm DP) de $9,3 \pm 1,7$ pontos (variação: 6 a 20 pontos) e uma percentagem de $54,7 \pm 9,6\%$ (variação: 35,3% a 70,6%). A percentagem média (\pm DP) para os estudos com nado amarrado foi de $54,7 \pm 9,9\%$ (variação: 35,3% a 70,6%) e para os estudos com os sensores de pressão diferencial foi de $54,9 \pm 8,7\%$ (variação: 47,1% de 70,6%).

Os intervalos de força propulsiva de acordo com os estudos incluídos são apresentados na Tabela 4. Adicionalmente, alguns estudos analisaram as forças propulsivas de acordo com programas de treino em seco e em água [33,46,48], aquecimento [3,5,43] e material propulsivo [27,40]

Tabela 2. Síntese dos estudos incluídos com nado amarrado.

Autor ano	IQ	Desenho de estudo	Amostra	Técnica/condição de nado	Protocolo de avaliação	Forças Propulsivas (N ou kgf)	
						FP _{PICO}	FP _{MÉDIA}
Ruiz-Navarro et al. 2020 [25]	10 (58,8%)	Transversal	♂ n = 16 19,6 ± 3,3 anos	Crol Segmentar (MS)	4x30-seg 4 velocidades	214,58 ± 48,66 N 156,55 ± 37,00 N 125,14 ± 38,86 N 110,11 ± 36,18 N	93,20 ± 16,92 N 60,14 ± 18,23 N 43,89 ± 15,32 N 35,49 ± 15,23 N
Oliveira et al. 2020 [26]	11 (64,7%)	Transversal	♂ n = 53 13,6 ± 1,8 anos ♀ n = 75 12,5 ± 1,8 anos	Crol Segmentar (MS)	2x30-seg Esforço máx.	26,0 ± 10,5 kgf (♂) 20,2 ± 6,7 kgf (♀)	-
Barbosa et al. 2020 [27]	17 (53,1%)	Longitudinal	♂ n = 10 ♀ n = 10 GE: 21,8 ± 1,9 anos GC: 22,4 ± 2,3 anos	Crol Completo	2x10-seg Esforço máx.	-	81 ± 32 N (GE, PRE) 83 ± 33 N (GE, POS) 90 ± 31 N (GC, PRE) 92 ± 25 N (GC, PRE)
Silva et al. 2019 [17]	10 (58,8%)	Transversal	♂ n = 23 15,7 ± 0,8 anos ♀ n = 26 14,5 ± 1,8 anos	Crol Completo	1x30-seg nd Experientes ¹ Não experientes ²	186,6 ± 44,4 N (♂ ¹) 149,0 ± 56,6 N (♂ ²) 125,8 ± 37,2 N (♀ ¹) 149,3 ± 60,6 N (♀ ²)	144,2 ± 18,9 N (♂ ¹) 126,6 ± 55,2 N (♂ ²) 106,2 ± 18,4 N (♀ ¹) 118,9 ± 33,0 N (♀ ²)
Carvalho et al. 2019 [28]	9 (52,9%)	Transversal	♂ n = 7 20,9 ± 3,4 anos ♀ n = 5 19,0 ± 2,2 anos	Crol Costas Segmentar (MS)	1x30-seg nd 10 MS ¹ 30-seg ²	183,20 ± 49,41 N (D ¹) 186,68 ± 56,17 N (ND ¹) 177,71 ± 49,55 N (D ²) 183,44 ± 56,31 N (ND ²)	-
Rozi et al. 2018 [29]	10 (58,8%)	Transversal	nd; n = 23 15,4 ± 1,6 anos	Crol Completo	1x20-seg Vel. Controlada (100-m)	183,6 ± 51,5 N	72,1 ± 24,7 N
Andrade et al. 2018 [30]	9 (52,9%)	Transversal	♂ n = 16 18,6 ± 1,3 anos	Crol Completo	2x10-seg Esforço máx.	269,68 ± 17,20 N	134,86 ± 7,10 N
Strzala et al. 2019 [31]	10 (58,8%)	Transversal	♂ n = 35 J: 17,3 ± 0,59 anos S: 20,6 ± 1,05 anos	Crol Completo	1x25-seg nd	325,98 ± 78,14 N (J) 318,46 ± 100,53 N (S)	116,52 ± 25,98 N (J) 123,18 ± 31,89 N (S)
dos Santos et al. 2017 [32]	9 (52,9%)	Transversal	♂ n = 18 21,3 ± 4,6 anos	Crol Completo	1x15-seg Esforço máx.	130,3 ± 31,3 N (D) 116,3 ± 31,4 N (ND)	-
Amaro et al. 2017 [33]	20 (62,5%)	Longitudinal	♂ n = 18 G1: 12,7 ± 0,8 anos G2: 12,7 ± 0,8 anos CG: 12,6 ± 0,8 anos	Crol Completo	1x40-seg Esforço máx. (30-seg)	-	59,86 ± 9,74 N (G1 ^{T1}) 58,57 ± 11,26 N (G1 ^{T2}) 60,97 ± 9,73 N (G1 ^{T3}) 63,82 ± 17,20 N (G2 ^{T1}) 64,12 ± 17,92 N (G2 ^{T2}) 66,36 ± 17,32 N (G2 ^{T3})
Soncin et al. 2017 [34]	8 (47,1%)	Transversal	♂ n = 12 21,8 ± 4,4 anos	Crol Completo	Nd Esforço máx. (10 ciclos)	-	117,03 ± 18,28 N
Gatta et al. 2016 [15]	9 (52,9%)	Transversal	♂ n = 10 23,5 ± 3,4 anos	Crol Completo	3x15-seg Esforço máx.	357 ± 77 N	181 ± 21 N
Morouço et al. 2015 [35]	7 (41,2%)	Transversal	♂ n = 12 15,2 ± 0,9 anos ♀ n = 11 15,7 ± 1,4 anos	Crol Completo ¹ Segmentar (MS ² e MI ³)	3x30-seg Esforço máx.	325,4 ± 27,8 N (♂ ¹) 243,7 ± 27,7 N (♂ ²) 100,1 ± 28,2 N (♂ ³) 222,3 ± 61,8 N (♀ ¹) 168,5 ± 36,2 N (♀ ²) 72,0 ± 9,4 N (♀ ³)	98,8 ± 13,7 N (♂ ¹) 82,5 ± 12,0 N (♂ ²) 35,1 ± 7,6 N (♂ ³) 74,0 ± 12,4 N (♀ ¹) 56,9 ± 8,7 N (♀ ²) 28,4 ± 4,6 N (♀ ³)
Morouço et al. 2015 [7]	9 (52,9%)	Transversal	♂ n = 18 15,6 ± 2,1 anos	Crol Completo	1x30-seg Esforço máx.	271,9 ± 28,7 N (D) 217,0 ± 29,3 N (ND)	211,2 ± 30,5 N (D) 175,7 ± 32,8 N (ND)
Loturco et al. 2015 [36]	8 (47,1%)	Transversal	♂ n = 10 17,0 ± 0,7 anos	Crol Completo	2x10-seg Esforço máx.	207,1 ± 27,2 N	133,2 ± 16,8 N
Amaro et al. 2014 [37]	10 (58,8%)	Transversal	♂ n = 8 15,3 ± 1,17 anos	Crol Completo	1x40-seg Esforço máx.	220,66 ± 50,94 N (T ¹) 217,86 ± 53,07 N (T ²)	86,10 ± 12,62 N (T ¹) 86,92 ± 16,15 N (T ²)

Tabela 2. (continuação).

Autor ano	IQ	Desenho de estudo	Amostra	Técnica/condição de nado	Protocolo de avaliação	Forças Propulsivas (N ou kgf)	
						FP _{PICO}	FP _{MÉDIA}
Moura et al. 2014 [38]	11 (64,7%)	Transversal	♂ <i>n</i> = 56 14 ± 1,8 anos	Crol Segmentar (MS)	2x30-seg Esforço máx.	17,5 ± 8,5 kgf	-
Morouço et al. 2014 [39]	10 (58,8%)	Transversal	♂ <i>n</i> = 34 17,2 ± 2,72 anos	Crol Completo	1x30-seg Esforço máx	331,8 ± 40,6 N	112,7 ± 15,6 N
Barbosa et al. 2013 [40]	10 (58,8 %)	Transversal	♂ <i>n</i> = 14 20,0 ± 3,7 anos	Crol Completo	2x10-seg Esforço máx 4 tamanhos de palas	278 ± 29 N (sem palas) 293 ± 39 N (pequena) 310 ± 36 N (média) 324 ± 39 N (grande) 338 ± 40 N (extra grande)	148 ± 10 N (sem palas) 151 ± 14 N (pequena) 156 ± 14 N (média) 159 ± 17 N (grande) 156 ± 19 N (extra grande)
Morouço et al. 2012 [41]	10 (58,8%)	Transversal	♂ <i>n</i> = 7 16,6 ± 1,0 anos ♀ <i>n</i> = 6 15,8 ± 0,8 anos	Crol Completo	1x30-seg Esforço máx	243,6 ± 60,15 N	89,8 ± 22,13 N
dos Santos et al. 2012 [42]	12 (70,6%)	Transversal	♂ <i>n</i> = 28 14,0 ± 1,8 anos	Crol Segmentar (MS)	2x30-seg Esforço máx.	22,6 ± 8,1 kgf	-
Neiva et al. 2011 [43]	9 (52,9%)	Transversal	♂ <i>n</i> = 10 15,3 ± 0,95 anos	Crol Completo	2x30-seg Esforço máx.	299,62 ± 77,56 N 351,33 ± 81,85 N (AQ)	91,65 ± 14,70 N 103,97 ± 19,11 N (AQ)
Morouço et al. 2011 [8]	8 (47,1%)	Transversal	♂ <i>n</i> = 20 19,0 ± 2,88 anos ♀ <i>n</i> = 12 15,3 ± 1,68 anos	Crol (Cr) Costas (Co) Bruços (Bru) Mariposa (Mar) Completo	2x30-seg Esforço máx.	232,6 ± 63,2 N (Cr) 211,6 ± 47,5 N (Co) 513,0 ± 153,9 N (Bru) 394,4 ± 134,4 N (Mar)	92,8 ± 33,7 N (Cr) 99,9 ± 29,1 N (Co) 115,6 ± 30,5 N (Bru) 88,9 ± 34,9 N (Mar)
Morouço et al. 2011 [44]	10 (58,8%)	Transversal	♂ <i>n</i> = 10 14,9 ± 0,74 anos	Crol Completo ¹ Segmentar (MS ² e MI ³)	3x30-seg Esforço máx.	-	95,16 ± 11,66 N ¹ 80,33 ± 11,58 N ² 33,63 ± 7,53 N ³
Morouço et al. 2010 [45]	6 (35,3%)	Transversal	♂♀ <i>n</i> = 419 nd	Crol Completo	1x30-seg Esforço máx.	283,6 ± 45,02 N (♂) 196,8 ± 29,38 N (♀) 248,9 ± 58,33 N (♂♀)	101,9 ± 18,01 N (♂) 71,3 ± 2,98 N (♀) 89,7 ± 20,71 N (♂♀)
Papoti et al. 2007 [46]	14 (43,8%)	Longitudinal	♂ <i>n</i> = 11; ♀ <i>n</i> = 3 16,0 ± 1,3 anos	Crol Completo	1x30-seg Esforço máx.	-	86,56 ± 13,05 N (PRE) 89,88 ± 16,05 N (POS)
Papoti et al. 2003 [47]	7 (41,2%)	Transversal	nd; <i>n</i> = 13 nd	Crol Completo	2x30-seg Esforço máx.	-	86,6 ± 3,6 N (T ¹) 87,6 ± 4,0 N (T ²)
Hooper et al. 1998 [48]	12 (37,5%)	Longitudinal	♂ <i>n</i> = 12; ♀ <i>n</i> = 15 15,0 ± 1,6 anos	Crol Completo	nd Esforço máx. (20 ciclos)	167,2 ± 58,8 N (T ¹) ^a 157,7 ± 51,9 N (T ²) ^a 165,5 ± 47,0 N (T ³) ^a 177,3 ± 49,0 N (T ⁴) ^a	-
Yeater et al. 1981 [16]	7 (41,2%)	Transversal	nd; <i>n</i> = 18 nd	Crol (Cr) Costas (Co) Bruços (Bru) Completo ¹ Segmentar (MS ² e MI ³)	1x nd Esforço máx.	384 ± 77 N (Cr ¹) 693 ± 231 N (Bru ¹)	191 ± 41 N (Cr ¹) 97 ± 23 N (Cr ²) 119 ± 35 N (Cr ³) 156 ± 43 N (Co ¹) 188 ± 51 N (Bru ¹) 126 ± 38 N (Bru ²) 138 ± 47 N (Bru ³)

Os dados são reportados como media ± desvio padrão, a menos que seja indicado de outra forma.

♂, homem/rapaz; ♀, mulher/rapariga; %, percentagem; ^a, média ± erro padrão da média; T¹, T², T³, T⁴, diferentes períodos ou avaliações; GC, grupo de controlo; D, membro dominante; GE, grupo experimental; J, juniores; kgf, quilograma-força; MS, membros inferiores; N, Newton; *n*, número de participantes; ND, membro não-dominante; nd, não disponível; Vel., velocidade; FP, força propulsiva; FP_{MEAN}, força propulsiva média; FP_{PEAK}, pico de força propulsiva; PRE, pré-teste; POS, pós-teste; MS, membros superiores; WU, aquecimento; S, seniores;

Tabela 3. Síntese dos estudos incluídos com sensores de pressão diferencial

Autor ano	IQ	Desenho de estudo	Amostra	Técnica/condição de nado	Protocolo de avaliação	Forças Propulsivas (N ou hPa)	
						FP _{PICO}	FP _{PICO}
Barbosa et al. 2020 [3]	10 (58,8%)	Longitudinal	♂ n = 12 23,50 ± 3,35 anos	Crol Segmentar (MS)	1x25-m Esforço máx.	72,3 ± 11,6 N (sem PAP) 80,9 ± 11,9 N (PAP)	27,9 ± 7,7 N (sem PAP) 31,9 ± 8,1 N (PAP)
Ng et al. 2019 [5]	9 (52,9%)	Longitudinal	♂ n = 16 22,13 ± 3,84 anos	Crol Segmentar (MI)	1x25-m Esforço máx.	92,7 ± 15,8 N (sem PAP) 105,2 ± 21,1 N (PAP)	35,2 ± 7 N (sem PAP) 39,6 ± 12,4 N (PAP)
Morais et al. 2019 [49]	12 (70,6%)	Transversal	♂ n = 12; ♀ n = 6 15,81 ± 1,62 anos	Crol Completo	3x25-m Esforço máx.	64,63 ± 8,19 N (D) 64,49 ± 10,69 N (ND)	37,88 ± 6,61 N (D) 36,18 ± 6,42 N (ND)
Tsunokawa et al. 2018 [12]	9 (52,9%)	Transversal	♂ n = 8 20,4 ± 1,3 anos	Crol Segmentar (MS)	2x16-m Esforço máx.	-	44,86 ± 9,06 N 51,07 ± 9,36 N (Palas)
Pereira et al. 2015 [50]	8 (47,1%)	Transversal	♂ n = 9; ♀ n = 5 18,4 ± 4,9 anos	Mariposa Completo	3x25-m Esforço máx.	124,8 ± 39,6 N (D) 110,7 ± 36,7 N (ND)	55,7 ± 14,7 N (D) 51,2 ± 14,7 N (ND)
Bottoni et al. 2011 [51]	8 (47,1%)	Transversal	♂ n = 20 nd	Crol Completo	1x25-m Vel. Controlada (1500-m)	55,6 ± 12,1 hPa	28,7 ± 4,5 hPa

Os dados são reportados como média ± desvio padrão.

♂, homem/rapaz; ♀, mulher/rapariga; %, percentagem; D, membro dominante; hPa, hectopascal; MS, membros inferiores; N, Newton; n, número de participantes; ND, membro não-dominante; PAP, potencialização pós-ativação; nd, não disponível; FP, força propulsiva; FP_{MEAN}, força propulsiva média; FP_{PEAK}, pico de força propulsiva; MS, membros superiores;

Tabela 4. Intervalos/valores de força propulsiva de acordo com os estudos incluídos.

Características	Intervalo/Valor (N)	
	FP _{PICO}	FP _{MÉDIA}
FP e os métodos diretos de avaliação		
Nado amarrado	≈100-693 N	≈35-211 N
Sensores de pressão diferencial	≈64-124 N	≈27-55 N
FP e as técnicas de nado/ações segmentares		
Crol	≈65-384 N	≈28-211 N
Costas	≈211 N	≈99-156 N
Mariposa	≈110-124 N	≈51-55 N
Bruços	≈513-693 N	≈115-188 N
MS (crol)	≈72-255 N	≈27-97 N
MI (crol)	≈72-105 N	≈28-119 N
MS (bruços)	-	≈126 N
MI (bruços)	-	≈138 N
FP e características dos nadadores		
Homens/rapazes	≈64-357	≈27-211
Mulheres/raparigas	≈72-222	≈28-119
Nadadores internacionais	≈186-513	≈115-181
Nadadores nacionais	≈183-351	≈66-104
Nadadores regionais	≈80-215	≈31-93

≈, aproximadamente; FP, força propulsiva; MS, membros superiores; MI, membros inferiores; N, Newton.

DISCUSSÃO

O objetivo da presente revisão foi analisar o estado da arte disponível sobre as forças propulsivas na natação de competição e avaliadas por métodos diretos. Os estudos incluídos demonstraram uma qualidade metodológica boa. No entanto, oito estudos apresentaram uma baixa qualidade metodológica, com uma pontuação inferior a 50%. Os diferentes valores de força propulsiva surgem de diferentes métodos de avaliação, técnicas de nado ou ações segmentares, características dos nadadores e características/efeitos do treino.

Análise das forças propulsivas de acordo com os métodos diretos de avaliação

A análise e avaliação da propulsão surge como uma das áreas de pesquisa científica na natação mais desafiantes. Vinte e nove estudos (82,9%) avaliaram as forças propulsivas por meio do nado amarrado, sendo que apenas seis estudos (17,1%) apresentaram valores de forças propulsivas avaliados com os sensores de pressão diferencial. O maior número de estudos encontrados com nado amarrado pode ser explicado pela aplicação comum em equipas de natação [30]. Os valores obtidos pelos dois métodos de avaliação mostram diferentes resultados. Estas diferenças podem estar associadas à natureza da avaliação (i.e., tipologia).

O nado amarrado consiste na conexão entre uma célula de carga/medidor de tensão, presa por um cabo de aço, numa superfície rígida (p.e., bloco de partida), e um cinto colocado na cintura do nadador [16]. Este método permite avaliar as curvas individuais de força-tempo sem restrições nos membros superiores e inferiores, embora o nadador permaneça amarrado sem um deslocamento para a frente [8]. Algumas preocupações surgem devido ao fluxo de água em torno do nadador [3,34], como a ausência da força de arrasto [52] ou pequenas alterações no padrão da braçada [6,16]. Contudo, Morouço et al. [39] reportaram que o referido método não provoca alterações significativas no padrão de movimento da braçada. Importante ressaltar que a avaliação a uma velocidade de zero (i.e., velocidade do fluxo de água) parece sustentar o potencial de força dos nadadores, ao invés da capacidade de o mesmo aplicar uma determinada força na água [25, 37].

Os sensores de pressão diferencial permitem que o nadador se desloque na água (sem constrangimentos) levando a uma condição mais próxima do nado real [49,51]. Estes sensores medem as diferenças de pressão da água entre a superfície

palmar/plantar e a superfície dorsal durante um movimento instável [5,12,49,50]. Contudo, o facto de se transportar vários sensores pode induzir restrições técnicas [3], bem como aumentar a força de arrasto, pela alteração da superfície da mão ou do pé.

Embora o nado amarrado tenha sido sugerido como um método válido/fiável [37,53] e os sensores de pressão diferencial como um método preciso [12,54], estudos futuros devem tentar compreender se existe uma concordância entre estes dois métodos e qual a magnitude de desvio.

Análise das forças propulsivas de acordo com as técnicas de nado/ações segmentares

As técnicas de nado podem ser categorizadas de acordo com as diferentes ações dos segmentos: (i) alternadas (crol e costas); e (ii) simultâneas (bruços e mariposa). Os valores mais elevados foram encontrados na FP_{PICO} em bruços, enquanto a $FP_{MÉDIA}$ tendeu a mostrar intervalos mais próximos das restantes técnicas de nado. Estas diferenças podem advir das ações e trajetórias subaquáticas subjacentes às diferentes técnicas de nado [55]. O bruços é sugerido como a técnica mais lenta, mas os resultados demonstraram uma FP_{PICO} superior. De facto, a propulsão gerada pelos membros inferiores possui uma orientação horizontal, o que poderá justificar a obtenção de valores mais elevados [56]. Como as fases propulsivas nas trajetórias subaquáticas das técnicas simultâneas podem gerar valores de FP_{PICO} mais elevados [8,57], as recuperações podem ser mais lentas devido ao aumento da força de arrasto. Por outro lado, há uma coerência de que os membros superiores são os responsáveis pela maior contribuição de propulsão no crol [58], principalmente devido à trajetória e orientação da mão dos nadadores durante o deslocamento na água [49]. Apesar representar entre 10-15% da velocidade total de nado [2,58], a pernada não deve ser negligenciada [5]. Morouço et al. [35] mostraram que a ação da pernada contribui com $\approx 31\%$ para a produção de força total no crol. Por outro lado, os valores reportados na pernada de bruços são superiores aos obtidos na braçada [16]. Neste sentido, é possível argumentar que a contribuição dos membros inferiores na força propulsiva total não é reduzida, podendo depender das diferentes técnicas de nado. De facto, há evidências que demonstram que a soma das forças propulsivas, de acordo com uma ação segmentar isolada, é maior quando comparada com o nado completo [16,35].

Investigações futuras devem tentar analisar e comparar várias técnicas de nado, e caracterizar, do ponto vista cinético e cinemático, as ações/trajetórias subjacentes a cada uma das técnicas, bem como a real contribuição de cada uma.

Análise das forças propulsivas e as características dos nadadores

Embora a investigação na natação se centre nos fatores-chave para otimizar e potenciar o desempenho desportivo, de acordo com uma abordagem biofísica, as características dos nadadores parecem ser primordiais para compreender esses mesmos. Os homens demonstraram intervalos de FP_{PICO} E $PF_{MÉDIA}$ superiores, quando comparados com as mulheres [17,26,35,45]. Estes possuem uma maior capacidade de produzir e aplicar a força em ambientes terrestres e aquáticos [59,60]. No caso da água, este fenómeno pode ser explicado pelas interações subjacentes ao controlo motor, às características antropométricas e às variáveis cinemáticas [55]. Os homens são mais rápidos principalmente devido à propulsão produzida [35], sendo capazes de aumentar as forças propulsivas quando os segmentos se encontram devidamente orientados [61]. Outro aspeto reside nas características antropométricas, apresentando-se como mais altos e exibindo uma maior envergadura, o que beneficia o comprimento da braçada [17]. Neste sentido, a velocidade de nado nos homens/rapazes parece ser adequadamente relacionada com a FP_{PICO} dos membros superiores, enquanto que as mulheres/raparigas parecem ser mais dependentes da $PF_{MÉDIA}$ [35]. Contudo, apenas um estudo mostrou uma semelhante contribuição relativa de força propulsiva para os membros superiores e inferiores em homens e mulheres [35].

Apenas um estudo [31] teve como objetivo mostrar os valores de força propulsiva de acordo com diferentes idades, sendo que não foram encontradas diferenças significativas na PF_{PICO} e na $PF_{MÉDIA}$ entre nadadores juniores e seniores. A ausência de estudos que integrem idades mais jovens (i.e., de 10 a 14 anos) surge, essencialmente, devido a questões éticas [62]. Desta forma, verifica-se necessidade de entender o comportamento das forças propulsivas subjacente ao processo de crescimento/maturação dos jovens nadadores. Por exemplo, Oliveira et al. [26] verificaram que as variáveis antropométricas e de composição corporal estão iminentemente associadas à FP_{PICO} , sendo estas mediadas pela maturação biológica. No que diz respeito à experiência dos nadadores, pelo menos um estudo observou

que que não existem diferenças na PF_{PICO} e na $PF_{MÉDIA}$ entre nadadores especialistas e não especialistas [17].

Análise das forças propulsivas e as características/efeitos do processo de treino

Diferentes desenhos de estudo têm vindo a ser aplicados para avaliar os parâmetros biomecânicos, interligando-os com resultado desportivo na natação [63]. Os desenhos de estudo transversais são aqueles amplamente implementados na natação [64], o que se encontra em linha com os resultados da presente revisão (29 de 35 estudos). Contudo, este tipo de estudos é limitado a uma única avaliação [63] e não fornece informação relativa à relação causa-efeito ao longo do tempo [65]. Por outro lado, os estudos longitudinais permitem analisar as características dos nadadores, compreender as variações ao longo da temporada e do destreino, prever o desempenho ao longo de um determinado período de tempo e ajudar os treinadores a atingir objetivos de treino realistas [64].

O treino específico é considerado como um fator-chave para aumentar o desempenho na natação [66]. O treino de força em seco (10 semanas) parece promover uma transferência nula para a produção de força na água [33]. Por outro lado, foi sugerido que 2 semanas é o suficiente para obter melhorias na FP_{PICO} [48] e na $PF_{MÉDIA}$ [46]. Além disso, protocolos de aquecimento padronizados [43] ou de aquecimento com potencialização pós-ativação [3,5] mostraram-se eficazes em aumentar as forças propulsivas de 12 a 19%. Por outro lado, o uso das palas parece impor um aumento significativo no PF_{PEAK} [40], contudo, o seu efeito a longo prazo e respetivas adaptações crónicas é questionável [27].

Dos estudos existentes, apenas os efeitos a curto prazo são enaltecidos. Assim, torna-se importante controlar as alterações por períodos longos, no sentido de dissecar os efeitos reais das várias tipologias de treino específico (p.e., treino em seco com pesos livres, elásticos, treino em água com material de propulsão e/ou resistência). Além disso, nenhum estudo teve como objetivo entender o comportamento das forças propulsivas numa temporada ou entre temporadas competitivas (e.g., três picos de forma e destreino).

CONCLUSÃO

Os valores da força propulsiva dependem de diferentes métodos de avaliação direta, técnicas de nado e ações segmentares, características dos nadadores e características/efeitos do treino. O nado amarrado e os sensores de pressão diferencial permitem avaliar diretamente as forças propulsivas, sendo que os intervalos mais elevados foram observados no nado amarrado. As quatro técnicas de nado promovem valores distintos e diferentes resultados surgem devido às características do nadador, sendo que os homens/rapazes parecem possuir uma maior capacidade para aplicar força na água. O aquecimento parece eficaz no aumento da força propulsiva, mas os efeitos do treino a curto prazo não promovem adaptações na força propulsiva.

REFERÊNCIAS

1. Cortesi M, Gatta G, Swaine I, Zamparo P, Konstantaki M. Laboratory-based ergometry for swimmers: a systematic review. *J Sports Med Phys Fitness*. 2019;59(9). <http://doi.org/10.23736/s0022-4707.18.09100-4>
2. Deschodt VJ, Arsac LM, Rouard AH. Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999;80(3):192-199. <http://doi.org/10.1007/s004210050581>
3. Barbosa TM, Yam JW, Lum D, Balasekaran G, Marinho DA. Arm-pull thrust in human swimming and the effect of post-activation potentiation. *Sci Rep*. 2020;10(1). <http://doi.org/10.1038/s41598-020-65494-z>
4. Barbosa TM, Marinho DA, Costa MJ, Silva AJ. Biomechanics of competitive swimming strokes. In V. Klika, editor. *Biomechanics in Applications*. Rijeka: InTech;2011. pp. 367–388.
5. Ng F, Wen Yam J, Lum D, Barbosa TM. Human thrust in aquatic environment: The effect of post-activation potentiation on flutter kick. *J Adv Res*. 2020;21:65–70. <http://doi.org/10.1016/j.jare.2019.10.001>
6. Psycharakis SG, Paradisis GP, Zacharogiannis E. Assessment of accuracy, reliability and force measurement errors for a tethered swimming apparatus. *Int J Perf Anal Spor*. 2011;11(3):410–416. <http://doi.org/10.1080/24748668.2011.11868560>
7. Morouço PG, Marinho DA, Fernandes RJ, Marques MC. Quantification of upper limb kinetic asymmetries in front crawl swimming. *Hum Mov Sci*. 2015;40:185–192. <http://doi.org/10.1016/j.humov.2014.12.012>

8. Morouço P, Keskinen KL, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Relationship Between Tethered Forces and the Four Swimming Techniques Performance. *J Appl Biomech.* 2011;7(2):161–169. <http://doi.org/10.1123/jab.27.2.161>
9. Cohen RCZ, Cleary PW, Mason BR, Pease DL. Forces during front crawl swimming at different stroke rates. *Sports Eng.* 2017;21(1):63–73. <http://doi.org/10.1007/s12283-017-0246-x>
10. Kudo S, Vennell R, Wilson B. The effect of unsteady flow due to acceleration on hydrodynamic forces acting on the hand in swimming. *J Biomech.* 2013;46(10):1697–1704. <http://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.04.002>
11. Marinho DA, Barbosa TM, Reis VM, Kjendlie PL, Alves FB, Vilas-Boas JP, et al. Swimming Propulsion Forces Are Enhanced by a Small Finger Spread. *J Appl Biomech.* 2010;26(1):87–92. <http://doi.org/10.1123/jab.26.1.87>
12. Tsunokawa T, Tsuno T, Mankyu H, Takagi H, Ogita F. The effect of paddles on pressure and force generation at the hand during front crawl. *Hum Mov Sci.* 2018;57:409–416. <http://doi.org/10.1016/j.humov.2017.10.002>
13. Samson M, Monnet T, Bernard A, Lacouture P, David L. Comparative study between fully tethered and free swimming at different paces of swimming in front crawl. *Sports Biomech.* 2018;18(6):571–586. <http://doi.org/10.1080/14763141.2018.1443492>
14. Toussaint HM, Truijens MJ. Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. *Animal Biology.* 2005;55:17-40. <https://doi.org/10.1163/1570756053276907>
15. Gatta G, Cortesi M, Zamparo P. The Relationship between Power Generated by Thrust and Power to Overcome Drag in Elite Short Distance Swimmers. *PLoS One.* 2016;11(9): e0162387. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0162387>
16. Yeater RA, Martin RB, White MK, Gilson KH. Tethered swimming forces in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. *J Biomech.* 1981;14(8):527–537. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(81\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0021-9290(81)90002-6)
17. Silva AF, Figueiredo P, Ribeiro J, Alves F, Vilas-Boas JP, Seifert, et al. Integrated Analysis of Young Swimmers' Sprint Performance. *Motor Control.* 2019;1–11. <http://doi.org/10.1123/mc.2018-0014>
18. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009; 6(7): e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
19. Methley AM, Campbell S, Chew-Graham C, McNally R, Cheraghi-Sohi S. PICO, PICOS and SPIDER: a comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. *BMC Health Services Research.* 2014;14(1). <https://doi.org/10.1186/s12913-014-0579-0>
20. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and nonrandomized studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health.* 1998;52:377–384.

21. Hébert-Losier K, Supej M, Holmberg HC. Biomechanical Factors Influencing the Performance of Elite Alpine Ski Racers. *Sports Med.* 2013;44(4):519–533. <http://doi.org/10.1007/s40279-013-0132-z>
22. Sarmiento H, Clemente FM, Araújo D, Davids K, McRobert A, Figueiredo A. What Performance Analysts Need to Know About Research Trends in Association Football (2012–2016): A Systematic Review. *Sports Med.* 2017;48(4):799–836. <http://doi.org/10.1007/s40279-017-0836-6>
23. Cohen J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Edu Psychol Meas.* 1960;20(1):37–46. <http://doi.org/10.1177/001316446002000104>
24. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.* 1977;33:159-174. <http://doi.org/10.2307/2529310>
25. Ruiz-Navarro JJ, Morouço PG, Arellano R. Relationship Between Tethered Swimming in a Flume and Swimming Performance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2020;15(8):1087–1094. <http://doi.org/10.1123/ijssp.2019-0466>
26. Oliveira M, Henrique RS, Quieroz DR, Salvina M, Melo WV, dos Santos MM. Anthropometric variables, propulsive force and biological maturation: A mediation analysis in young swimmers. *Eur J Sport Sci.* 2020;1–8. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1754468>
27. Barbosa AC, Ferreira TH, Leis LV, Gourgoulis V, Barroso R. Does a 4-week training period with hand paddles affect front-crawl swimming performance? *J Sports Sci.* 2020;38(5):511–517. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1710382>
28. Carvalho DD, Soares S, Zacca R, Marinho DA, Silva AJ, Pyne DB, et al. In-Water and On-Land Swimmers' Symmetry and Force Production *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(24):5018. <http://doi.org/10.3390/ijerph16245018>
29. Rozi G, Thanopoulos V, Dopsaj M. Relationship between force parameters and performance in 100m front crawl swimming. *Sport Sci.* 2018;11(1):57-60.
30. Andrade RM, Figueira Júnior AJ, Metz V, Amadio AC, Serrão JC. Interpretation of Propulsive force in Tethered Swimming Through Principal Component Analysis. *Rev Bras Med Esporte.* 2018;24(3):178–181. <http://doi.org/10.1590/1517-869220182403175155>
31. Strzała M, Stanula A, Krężałek P, Ostrowski A, Kaca M, Głęb G. Influence of Morphology and Strength on Front Crawl Swimming Speed in Junior and Youth Age-Group Swimmers. *J Strength Cond Res.* 2019;33(10):2836–2845. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002084>
32. Dos Santos KB, Bento P, Pereira G, Payton C, Rodacki A. Front Crawl Swimming Performance and Bi-Lateral Force Asymmetry during Land-Based and Tethered Swimming Tests. *J Sci Med Sport.* 2017;16(4):574–580
33. Amaro NM, Marinho DA, Marques MC, Batalha NP, Morouço PG. Effects of Dry-Land Strength and Conditioning Programs in Age Group Swimmers. *J Strength Cond Res.* 2017;31(9):2447–2454. <http://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001709>

34. Soncin R, Mezêncio B, Ferreira JC, Rodrigues SA, Huebner R, Serrão JC, Szmuchowski L. Determination of a quantitative parameter to evaluate swimming technique based on the maximal tethered swimming test. *Sports Biomech.* 2017;16(2):248–257. <http://doi.org/10.1080/14763141.2016.1231836>
35. Morouço PG, Marinho DA, Izquierdo M, Neiva H, Marques MC. Relative Contribution of Arms and Legs in 30 s Fully Tethered Front Crawl Swimming. *Biomed Res Int.* 2015;1–6. <http://doi.org/10.1155/2015/563206>
36. Loturco I, Barbosa A, Nocentini R, Pereira L, Kobal R, Kitamura K, et al. Correlational Analysis of Tethered Swimming, Swim Sprint Performance and Dry-land Power Assessments. *Int J Sports Med.* 2015;37(03):211–218. <http://doi.org/10.1055/s-0035-1559694>
37. Amaro N, Marinho DA, Batalha N, Marques MC, Morouço P. Reliability of Tethered Swimming Evaluation in Age Group Swimmers. *J Hum Kinet.* 2014;41(1):155–162. <http://doi.org/10.2478/hukin-2014-0043>
38. Moura T, Costa M, Oliveira S, Júnior MB, Ritti-Dias R, Santos M. Height and Body Composition Determine Arm Propulsive Force in Youth Swimmers Independent of a Maturation Stage. *J Hum Kinet.* 2014;42(1):277–284. <http://doi.org/10.2478/hukin-2014-0081>
39. Morouço PG, Marinho DA, Keskinen KL, Badillo JJ, Marques MC. Tethered Swimming Can Be Used to Evaluate Force Contribution for Short-Distance Swimming Performance. *J Strength Cond Res.* 2014;28(11):3093–3099. <http://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000509>
40. Barbosa AC, Castro FS, Dopsaj M, Cunha SA, Júnior OA. Acute responses of biomechanical parameters to different sizes of hand paddles in front-crawl stroke. *J Sports Sci.* 2013;31(9):1015–1023. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.762597>
41. Morouço PG, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Evaluation of Adolescent Swimmers Through a 30-s Tethered Test. *Pediatr Exerc Sci.* 2012;24(2):312–321. <http://doi.org/10.1123/pes.24.2.312>
42. Dos Santos MA, Junior ML, de Castro Melo WV, da Costa AV, Costa M. Estimate of propulsive force in front crawl swimming in young athletes Open Access *J Sports Med.* 2012;3:115–120. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S35430>
43. Neiva H, Morouço P, Silva A, Marques M, Marinho D. The Effect Of Warm-up on Tethered Front Crawl Swimming Forces. *J Hum Kinet.* 2011;29A:113–119. <http://doi.org/10.2478/v10078-011-0066-1>
44. Morouço P, Neiva H, González-Badillo J, Garrido N, Marinho D, Marques M. Associations Between Dry Land Strength and Power Measurements with Swimming Performance in Elite Athletes: a Pilot Study. *J Hum Kinet.* 2011;29A:105-112. doi:10.2478/v10078-011-0065-2
45. Morouço P, Sacadura J, Amaro N, Matos R. Evaluation of Age Group Swimmers: A in Field Proposal. *The Open Sports Sci J.* 2010;3(1):38–40. <http://doi.org/10.2174/1875399x01003010038>

46. Papoti M, Martins LB, Cunha SA, Zagatto AM, Gobatto CA. Effects of taper on swimming force and swimmer performance after an experimental ten-week training program. *J Strength Cond Res.* 2007;21(2):538–542. <http://doi.org/10.1519/00124278-200705000-00043>
47. Papoti M, Martins L, Cunha S, Zagatto A, Gobatto, C. Padronização de um protocolo específico para determinação da aptidão anaeróbia de nadadores utilizando células de carga. *Rev Port Cien Desp.* 2003(3):36–42. <http://doi.org/10.5628/rpcd.03.03.36>
48. Hooper SL, Traeger Mackinnon L, Ginn EM. Effects of three tapering techniques on the performance, forces and psychometric measures of competitive swimmers. *Eur J Appl Physiol.* 1998;78(3):258–263. <http://doi.org/10.1007/s004210050417>
49. Morais JE, Marques MC, Rodríguez-Rosell D, Barbosa TM, Marinho DA. Relationship between thrust, anthropometrics, and dry-land strength in a national junior swimming team. *Phys Sportsmed.* 2019;48(3):304–311. <http://doi.org/10.1080/00913847.2019.1693240>
50. Pereira GS, Schutz GR, Ruschel C, Roesler H, Pereira SM. Propulsive force symmetry generated during butterfly swimming. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum.* 2015;17(6):704–712. <http://doi.org/10.5007/1980-0037.2015v17n6p704>
51. Bottoni A, Lanotte N, Boatto P, Bifaretti S, Bonifazi M. Technical skill differences in stroke propulsion between high level athletes in triathlon and top level swimmers. *J Hum Sport Exerc.* 2011;6(2):351–362. <http://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.15>
52. Amaro NM, Morouço PG, Marques MC, Fernandes RJ, Marinho DA. Biomechanical and bioenergetical evaluation of swimmers using fully-tethered swimming: A qualitative review. *J Hum Sport Exerc.* 2017;12(4). <http://doi.org/10.14198/jhse.2017.124.20>
53. Nagle Zera J, Nagle EF, Nagai T, Lovalekar M, Abt JP, Lephart SM. Tethered Swimming Test: Reliability and the Association With Swimming Performance and Land-Based Anaerobic Performance. *J Strength Cond Res.* 2021;35(1):212–220. <http://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002501>
54. Havriluk R. Validation of a criterion measure for swimming technique. *J Swim Res.* 1988;4:11-6.
55. Barbosa TM, Bragada JA, Reis VM, Marinho DA, Carvalho C, Silva AJ. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: Updating the state of the art. *J Sci Med Sport.* 2010;13(2):262–269. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.01.003>
56. Vorontsov A, Rummyantsev V. Propulsive forces in swimming. In V. Zatsiorsky, editor. *Biomechanics in sport—Performance, enhancement and injury prevention.* Cambridge: Blackwell Science Ltd;2000. pp. 205–231
57. Magel JR. Propelling Force Measured during Tethered Swimming in the Four Competitive Swimming Styles. *Res Q.* 1970;41(1):68–74 <http://doi.org/10.1080/10671188.1970.10614948>

58. Bartolomeu RF, Costa MJ, Barbosa TM. Contribution of limbs' actions to the four competitive swimming strokes: a nonlinear approach. *J Sports Sci.* 2018;36(16):1836–1845. <http://doi.org/10.1080/02640414.2018.1423608>
59. Hunter SK, Enoka RM. Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. *J Appl Physiol.* 2001;91(6):2686–2694. <http://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.6.2686>
60. Stoll T, Huber E, Seifert B, Michel BA, Stucki G. Maximal Isometric Muscle Strength: Normative Values and Gender-Specific Relation to Age. *Clin Rheumatol.* 2000;19(2):105–113 <http://doi.org/10.1007/s100670050026>
61. Morais JE, Garrido ND, Marques MC, Silva AJ, Marinho DA, Barbosa TM. The Influence of Anthropometric, Kinematic and Energetic Variables and Gender on Swimming Performance in Youth Athletes. *J Hum Kinet.* 2013;39(1):203–211. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0083>
62. Barbosa TM, Costa M, Marinho DA, Coelho J, Moreira M, Silva AJ. Modeling the Links Between Young Swimmers' Performance: Energetic and Biomechanic Profiles. *Pediatr Exerc Sci.* 2010;22(3):379–391. <http://doi.org/10.1123/pes.22.3.379>
63. Costa MJ, Balasekaran G, Vilas-Boas JP, Barbosa TM. Physiological Adaptations to Training in Competitive Swimming: A Systematic Review. *J Hum Kinet.* 2015;49(1):179–194. <http://doi.org/10.1515/hukin-2015-0120>
64. Costa MJ, Marinho DA, Reis VM, Marques VM, Silva AJ, Bragada JA, et al. Tracking the performance of world-ranked swimmers. *J Sports Sci Med.* 2010;9:411-17.
65. Ferreira MI, Barbosa TM, Costa MJ, Neiva HP, Marinho DA. Energetics, Biomechanics, and Performance in Masters' Swimmers. *J Strength Cond Res.* 2016;30(7):2069–2081. <http://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001279>
66. Muniz-Pardos B, Gomez-Bruton A, Matute-Llorente A, Gonzalez-Aguero A, Gomez-Cabello A, Gonzalo-Skok O, et al. Swim-Specific Resistance Training. *J Strength Cond Res.* 2019;33(10):2875–2881. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003256>