

Medição da força exercida por nadadores enquanto ferramenta metodológica na avaliação biomecânica: estratégias para diagnóstico e prescrição do treino

Autor

Pedro Gil Frade Morouço¹

pedro.morouco@ipleiria.pt

Resumo

Uma das principais preocupações, e provavelmente das mais prementes, no controlo e avaliação de atletas resulta da possibilidade de se extraírem informações fulcrais e privilegiadas (e.g. biomecânicas e/ou fisiológicas), que permitam otimizar e rentabilizar a cadeia de processo que envolve a prescrição e o planeamento do treino. Para tal, a conjugação de várias disciplinas assume-se como fator determinante na identificação exata das necessidades individuais do sujeito, perante os condicionalismos e contextos em causa. Posto isto, o objetivo do presente trabalho foi analisar as potencialidades da medição das forças exercidas por nadadores enquanto indicador auxiliar na avaliação e prescrição do treino de nadadores, tendo em consideração as respostas biomecânicas. A metodologia implementada neste estudo possibilitou diagnosticar assimetrias cinéticas bilaterais (todos os nadadores apresentaram um índice de simetria superior a 10%), avaliar a contribuição relativa aos segmentos corporais para a produção de força (para os nadadores estudados a contribuição dos membros superiores para a performance foi muito significativa), inferindo-se sobre as limitações de coordenação, examinar a interação entre as variações intracíclicas de força e de velocidade (foi obtida uma forte correlação entre estas variáveis e a performance) e avaliar a efetiva aplicação da força na água (corroborando a elevada importância de considerar o impulso mecânico como fator determinante da performance. Os resultados obtidos corroboram e validam a pertinência e contribuição que esta metodologia apresenta no fornecimento de informações críticas e céleres, para a prescrição de treino de nadadores de nível elevado. Adicionalmente, este estudo permitiu também clarificar a importância da aplicação efetiva da força na água para o rendimento desportivo, reforçando as vantagens de incluir esta abordagem no processo de controlo e avaliação de treino.

Palavras-chave: Biomecânica; Natação; Força; Impulso mecânico; Rendimento

¹ Centro para o Desenvolvimento Rápido e Sustentado de Produto

INTRODUÇÃO

É incontornável que o rendimento desportivo em natação está diretamente relacionado e, simultaneamente, interdependente da capacidade do nadador investir e utilizar a sua força de uma forma eficaz e eficiente, num meio fluído [1]. Como tal, esse rendimento surge em consequência do processo de treino que, incrementado e direcionado em especificidade e rigor, aumentará as possibilidades de melhoria da sua performance. Por exemplo, a Biomecânica desportiva tem vindo a demonstrar que os movimentos utilizados em treino devem ser mecanicamente similares aos utilizados em competição [2]. Assim, as Ciências do Desporto, poderão ser utilizadas como recurso primordial, enquanto ferramenta fundamental para a avaliação e prescrição do treino de nadadores.

Há mais de 40 anos, Magel [3] recorreu a um planímetro para estimar as forças propulsoras em natação, para cada uma das técnicas de nado. Nessa data, era medida a altura média (em milímetros) das curvas referentes a cada braçada e, posteriormente, convertidas em valores de força média. Reconhecendo a validade de a medição ser efetuada dentro de água, seguiram-se vários estudos inferindo a relação deste teste com a performance de nado [e.g.4,5]. No entanto, as limitações tecnológicas daquela altura inibiam a obtenção rápida dos resultados, obstando a que fossem apurados outros fatores determinantes e influenciadores do rendimento em natação.

Os avanços na tecnologia registados na última década permitiram recuperar os fundamentos de uma metodologia que permanecia obsoleta e dar-lhes novas funcionalidades. Atualmente, a utilização de um transdutor de força para avaliar as forças exercidas por um nadador, mantendo a ecologia (i.e. medindo as forças aplicadas na água), acabou por se tornar um método útil e auxiliar ao processo de avaliação e prescrição de treino [6], em diversas variantes, quer de domínio aeróbio [7], quer de domínio anaeróbio [8].

Esta metodologia, comumente, denominada de nado amarrado, foi já descrita como um dos mais específicos ergómetros para a natação [9], uma vez que apresenta elevadas similaridades com o nado livre ao nível do consumo máximo de oxigénio [10] e da atividade elétrica muscular [11]. Tendo por base identificar as sequências, e respetivas consequências, de movimentos tecnicamente adequados, o nado

amarrado permite obter, de uma forma célere, informações significativas sobre as condições que influenciam e interferem diretamente no rendimento desportivo [12]. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi examinar as potencialidades da medição das forças propulsivas exercidas em água através do teste de nado amarrado, no processo de avaliação e prescrição de treino de nadadores de elevado nível.

METODOLOGIA

Amostra

Fizeram parte do estudo 14 nadadores de elite do sexo masculino ($17,8 \pm 1,4$ anos de idade; $1,78 \pm 0,08$ m de estatura; $75,7 \pm 4,9$ kg de massa corporal; $55,2 \pm 1,84$ s de recorde pessoal aos 100 m livres em piscina longa), que voluntariamente aceitaram participar no estudo. Como critérios de inclusão foi estabelecido um mínimo de 6 anos de prática competitiva, ter representação em seleções nacionais com participação em campeonatos Europeus ou Mundiais, recorde pessoal aos 100 m Livres piscina longa acima dos 75% do Recorde do Mundo, e experiência prévia com o teste de nado amarrado. Neste processo, foi obtido o consentimento informado dos participantes, e todos os procedimentos respeitaram a Declaração de Direitos Humanos de Helsínquia 1975 e estavam de acordo com o Comité de Ética da instituição de acolhimento do autor.

Procedimentos

Em dois dias consecutivos (intervalo temporal máximo de 32h) foram realizados, de forma aleatória, 4 testes em piscina longa (2 testes em cada dia): i) 50 m de nado livre à máxima velocidade com monitorização da velocidade instantânea através de um velocímetro; ii) 30 s de nado crol amarrado com intensidade máxima; iii) 30 s de nado crol amarrado com intensidade máxima, inibido de utilizar os membros inferiores; e iv) 30 s de nado crol amarrado com intensidade máxima, inibido de utilizar os membros superiores (Figura 1). Antes de cada sessão de testes, os nadadores realizaram um aquecimento de 1000 m (400 m livres a baixa intensidade, 100 m só membros superiores, 100 m só membros inferiores, 4 x 50 m com incremento progressivo da velocidade e 200 m livres a baixa intensidade) [11]. Foi solicitado aos participantes

que mantivessem o seu padrão de respiração normal, e que se privassem da ingestão de cafeína (pelo menos 4 horas antes do teste), bem como da prática de outras formas de exercício nos dias de teste.

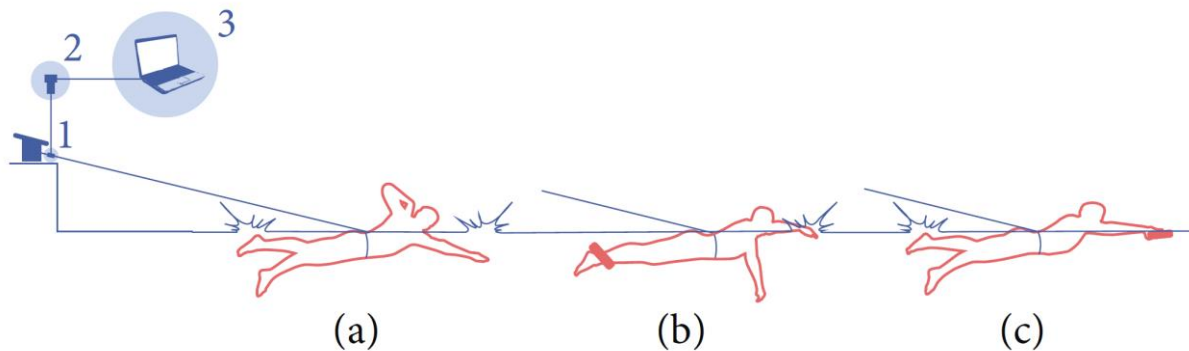


Figura 1. Ilustração representativa dos constrangimentos aplicados em cada teste: (a) nado completo; (b) só com membros superiores; (c) só com membros inferiores; 1 – célula de carga, 2 – sistema de aquisição de dados; 3 – computador portátil. Republicado de [13], com permissão da Hindawi Publishing Corporation.

Para os i) 50 m de nado livre, um velocímetro colocado na parede frontal da piscina, aproximadamente a 0,2 m acima da superfície da água (Swim velocímetro, Swimsportec, Hildesheim, Alemanha), foi conectado à anca do nadador, conforme descrito anteriormente [14]. Foi solicitado aos nadadores que reduzissem o seu desliz. O biosinal foi adquirido on-line a uma taxa de amostragem de 50-Hz. Uma interface de software do LabVIEW® (v. 2009) foi usada para adquirir, exibir e processar os dados de tempo-velocidade durante os testes. Para transferir dados do velocímetro para o aplicativo de software utilizou-se um cartão de aquisição de resolução de 12 bits (USB-6008, National Instruments, Austin, Texas, EUA).

Para os testes de nado amarrado ii), iii) e iv), foi utilizada uma célula de carga (Globus, Codognè, Itália), com frequência de aquisição de 50-Hz e capacidade de 4905 N, acoplada ao bloco de partida, e ao nadador através de um cabo de ferro de 3,5 m com extensibilidade insignificante, conforme descrito recentemente [15]. Com recurso a um software de análise de processamento de sinal (AcqKnowledge v.4.0; Biopac Systems, Santa Barbara, USA), os dados foram filtrados, de acordo com o valor de corte da análise de resíduos.

Quer as curvas velocidade-tempo, quer força-tempo, foram visualmente inspecionadas e 10 ciclos consecutivos foram selecionados para análise posterior. Os ciclos selecionados ocorreram a meio dos testes, para que não se registassem inspirações durante os ciclos de nado. Após retificado o valor angular de força, foram obtidas e visualizadas as curvas força-tempo para cada um dos testes efetuados (Fig. 2), e calculado para cada teste (quando aplicável), de cada participante: (a) o valor de força máxima, como o máximo valor registado no teste; (b) a força média de teste, como a média aritmética dos valores de força nos 30 s; o impulso mecânico, como o integral da curva força-tempo por braçada, (c) máximo e (d) médio (Fig. 3).

A variação intracíclica da velocidade horizontal da anca (dv) foi analisada conforme descrito [14,15]:

$$dv = \frac{\sqrt{\frac{\sum_i (v_i - \bar{v})^2 \cdot F_i}{n}}}{\frac{\sum_i v_i \cdot F_i}{n}} \cdot 100$$

equação 1

onde dv representa a variação intracíclica da velocidade horizontal da anca, v representa a velocidade média de nado, v_i corresponde à velocidade instantânea de nado, F_i respeita à frequência de aquisição e n é o número de ciclos analisados. De acordo, a variação intracíclica da força (dF) foi calculada com a mesma equação, utilizando os parâmetros de força obtidos no teste de nado amarrado ii) [15].

O pico de força foi medido em cada braçada, permitindo o cálculo do índice de simetria (SI) como sugerido [16]:

$$SI = \frac{x_d - x_{nd}}{\frac{1}{2}(x_d + x_{nd})} \cdot 100$$

equação 2

em que x_d e x_{nd} são as médias dos picos de força dos ciclos analisados para o membro dominante e não dominante, respetivamente. O tempo obtido no 50 m nado livre foi considerado como o valor de referência para a determinação da performance.

Análise estatística

Testada a fiabilidade [com 8 nadadores que repetiram os testes no prazo de 72h; ICC variou entre 0,94 (0,91-0,98) e 0,96 (0,93-0,99)], a normalidade e homogeneidade dos resultados, adotou-se a estatística paramétrica para: (i) comparação de médias (medidas repetidas e medidas independentes); (ii) correlação entre variáveis; e (iii)

regressão múltipla linear e não-linear. Os tamanhos de efeito (d) das diferenças obtidas foram calculados e categorizados (pequeno se $0 \leq d \leq 0,5$, médio se $0,5 < |d| \leq 0,8$ e grande se $|d| > 0,8$) [17]. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados recorrendo ao SPSS 20.0 (Chicago, IL, EUA) e o nível de significância estatística foi estabelecido em $p < 0,05$.

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Todos os nadadores apresentaram um índice de assimetria superior a 10%, com o membro dominante a obter valores $26,6 \pm 13,5\%$ superiores aos do membro não dominante ($p < 0,01$; $d = 1,78$). Conforme exposto na Figura 2, os nadadores conseguiram obter maiores valores de exercício de força quando lhes era permitido usar os membros superiores em comparação do que quando estes lhes era impedido ($p < 0,01$; $d = 5,18$). Não se verificaram diferenças significativas na execução de força ao comparar com e sem utilização dos membros inferiores ($p > 0,05$).

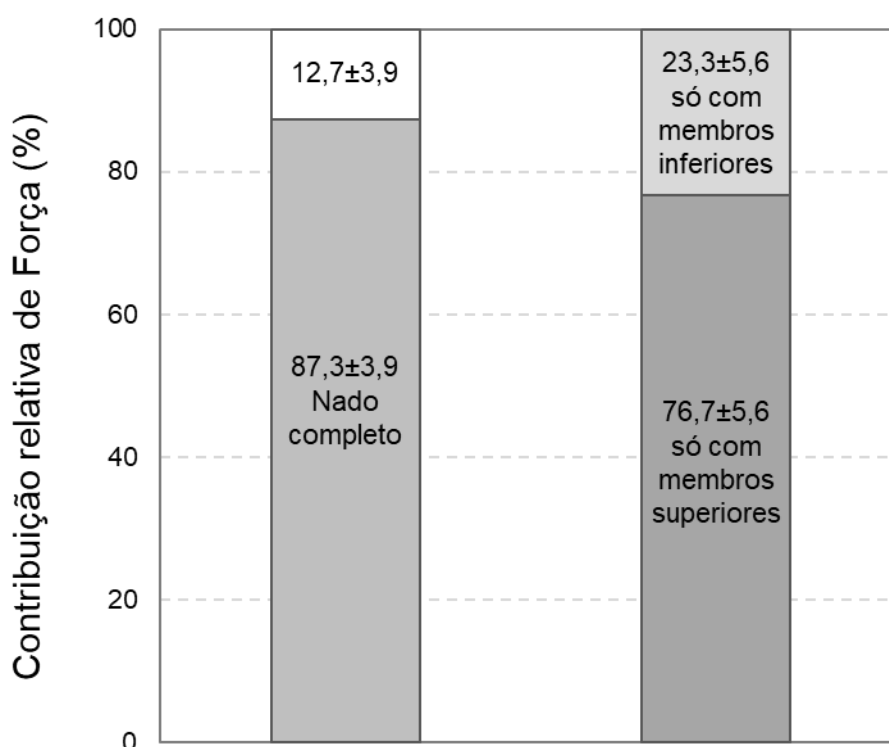


Figura 2. Contribuição relativa dos membros superiores e inferiores para o nado completo no teste de nado amarrado. Valores apresentados representam os valores médios \pm dp.

Verificou-se uma correlação positiva muito forte entre as variações intracíclica de velocidade e de força ($r = 0,877$, $p < 0,001$), e correlações negativas muito fortes destas com a performance de nado ($r = -0,744$, $p < 0,01$ e $r = -0,862$, $p < 0,001$, respetivamente). O impulso mecânico demonstrou ser o parâmetro com maior inferência na performance ($r^2 = 0,87$, $p < 0,001$), seguido pela contribuição relativa de força pelos membros superiores ($r^2 = 0,84$, $p < 0,001$). Estes dois parâmetros, quando conjugados num modelo múltiplo de regressão, conseguiram explicar 89% da variação da performance ($t50m = 26,4 \pm 0,55s$).

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente estudo teve como principal objetivo a análise das potencialidades da medição das forças propulsivas exercidas em água, como ferramenta biomecânica para a avaliação e prescrição de treino de nadadores de elevado nível. Os principais resultados demonstraram que a metodologia adotada e implementada permitiu: (i) identificar assimetrias cinéticas bilaterais ao nível dos membros superiores; (ii) avaliar a contribuição das ações dos membros superiores e dos membros inferiores, inferindo acerca do (des)equilíbrio entre força e coordenação; (iii) examinar as relações entre as variações intracíclicas da velocidade e força e (iv) avaliar a efetiva aplicação da força para a velocidade de nadadores de elevado nível.

Na natação de elite são vários os fatores suscetíveis de interferirem no alto rendimento desportivo [2]. Dessa forma, o treino destes nadadores pressupõe e exige o controlo de múltiplas variáveis (e.g. biomecânicas, fisiológicas, psicológicas), que têm influência na prescrição da carga. Medindo de forma isolada os parâmetros que interferem no desempenho do atleta, podemos traçar e definir o perfil do nadador na perspetiva de aumento do seu rendimento, em determinado momento. Contudo, várias são as questões que se colocam ao treinador, destacando-se: quais, como, quando e com que frequência os parâmetros de rendimento desportivo devem ser avaliados? Ademais, como devem ser interpretados os resultados de forma a fornecerem informações concretas para a prescrição de treino? Embora as respostas possam ser complexas, o entendimento destas questões e a sua clarificação permitem aumentar a eficiência do processo de treino, almejando um maior sucesso desportivo.

Teoricamente, e tendo em consideração que os membros superiores são os principais responsáveis pela propulsão na técnica de crol [13,18], a simetria entre membros superiores poderá afetar a velocidade média do nadador refletindo-se em posturas mais associadas a um menor arrasto resistivo [1,19]. Por sua vez, várias investigações reportam assimetrias cinemáticas e cinéticas em nadadores de elevado nível [20,21], corroborando os resultados do presente estudo. Torna-se premente questionar se as assimetrias diagnosticadas podem alterar a função ótima, ou se simplesmente estão nos limites de variação normais [19,22]. Apesar de serem escassos os estudos que analisam essa assimetria ao longo de um espectro temporal, a presente metodologia poderá permitir novas inferências sobre esta temática [20], uma vez que faz a medição constante das forças exercidas. Essa constatação torna-se ainda mais relevante uma vez que a contribuição dos membros superiores, embora assimétrico, se revelou um fator preponderante para descrever a variância da performance. Se a este facto, somarmos a consideração de que esse padrão resulta da comparação entre as variações intracíclicas da velocidade e força, é possível apontar que, em curtas distâncias de nado a uma muito elevada velocidade, essa assimetria permite a obtenção de maior impulso pelo membro superior dominante [20], e consequentemente, uma melhor performance.

A influência da força na performance de nado é um tópico de discussão de longa data, suportando-se na literatura que a força que um nadador exerce na água é um dos fatores preponderante e crítico na determinação do seu sucesso [2]. Por essa razão, estudar a magnitude dessas forças tem sido uma temática de investigação atual, pese embora as dificuldades induzidas pela complexidade que o meio aquático em si encerra para a sua medição [23]. O nado amarrado tem surgido como um método que, embora induza algumas alterações cinemáticas pela ausência de deslocamento [24], permite fornecer, de uma forma rápida, indicadores válidos para a prescrição do treino [25]. No entanto, vários são os estudos que não têm em consideração o impulso mecânico produzido pelo ciclo de nado, mas sim o pico de força obtido. Considerando que a exerceção de força na água ocorre durante toda a fase propulsiva do ciclo de nado [26], o efeito da força em relação ao tempo deve ser considerado [12]. No presente estudo, o impulso mecânico no teste de nado completo foi o indicador que maior correlação obteve na performance em nado livre, sugerindo que investigações que recaem sobre o pico de força subestimam a associação entre as forças exercidas e a

velocidade de nado. Esta proposição assume maior relevância, se considerarmos os valores e contribuições de força exercida como indicadores de coordenação [13]. Calculando a diferença entre as forças exercidas com o nado completo e a soma das contribuições dos membros superiores com inferiores, foi possível determinar os níveis de efetividade de aplicação de força na água pelos diferentes segmentos corporais (Figura 2). Considerando que uma (pequena) quantidade adicional de força pode ser obtida através da correta sincronização entre membros [22], a metodologia utilizada possibilitou identificar, ou deficiências de coordenação ou insuficientes índices de força, ferramenta que pode, e deve ser considerada para o planeamento e prescrição do treino [6,27].

Cumulativamente, sabe-se que é mais importante melhorar a capacidade de aplicar eficazmente a força muscular na água, do que aumentar a sua força [28]. Maiores variações intracíclicas de força, produzem maiores variações de velocidade, conduzindo a piores performances, sugerindo que as variações superiores levam a um aumento no custo energético para superar a inércia e arrasto oposto ao deslocamento [15]. A verificada similaridade entre variações de velocidade e força mostra que o arrasto hidrodinâmico está mais dependente do volume corporal do que das formas circunstanciais. Logo, uma aplicação de força, conseguida de forma progressiva ao longo da braçada, justifica então uma menor variação intracíclica da velocidade e respetivo menor custo energético.

CONCLUSÕES

Os treinadores de Natação têm a noção que a avaliação dos seus nadadores deve ser específica e correspondendo à natureza do desporto. Nesse sentido, é essencial a escolha adequada da metodologia a ser empregue, objetivando as respostas que se procuram. Nesta perspetiva, o método do nado amarrado pode ser útil e válido, para além de ter simples aplicação. Uma utilização regular desta metodologia poderá dar aos treinadores ferramentas para intervenção junto dos seus nadadores, no sentido de incrementar o rendimento desportivo.

Atualmente, uma célula de carga é capaz de gravar continuamente as curvas força-tempo e rapidamente fornecer o cálculo de diversas variáveis. Assim, os nadadores podem realizar testes de nado amarrado com feedback imediato, aumentando os

efeitos de melhoria de desempenho ao nível das assimetrias cinéticas dos membros superiores, da efetividade de aplicação de força na água e da contribuição dos diferentes segmentos para a coordenação. Este trabalho permitiu identificar e descrever os procedimentos em que se encaixa o propósito de avaliação Biomecânica, i.e., em fornecer as ferramentas necessárias para prescrição de treino, imediatamente após as avaliações (que devem manter a ecologia o quanto possível).

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer aos nadadores que se empenharam na realização do estudo e aos treinadores que consentiram a realização do mesmo.

REFERÊNCIAS

- [1] Vilas-Boas JP, Fernandes RJ, Barbosa TM. Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. The world book of swimming: from science to performance. New York, NY: Nova Science Publishers, Hauppauge. 2011:119-34.
- [2] 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. Journal of science and medicine in sport. 2010 Mar 1;13(2):262-9.
- [3] Magel JR. Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. Research Quarterly. American association for health, physical education and recreation. 1970 Mar 1;41(1):68-74.
- [4] Yeater RA, Martin RB, White MK, Gilson KH. Tethered swimming forces in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. Journal of biomechanics. 1981 Jan 1;14(8):527-37.
- [5] Costill DL. A computer based system for measurement of force and power during front crawl swimming. Journal of swimming research. 1986;2:16-9.
- [6] Amaro NM, Marinho DA, Marques MC, Batalha NP, Morouço PG. Effects of dry-land strength and conditioning programs in age group swimmers. Journal of strength & conditioning research. 2017 Sep 1;31(9):2447-54.

- [7] Kalva-Filho C, Araújo M, Silva A, Gobatto C, Zagatto A, Gobbi R, Papoti M. Determination of VO₂-intensity relationship and MAOD in tethered swimming. *International journal of sports medicine*. 2016 Aug 1;37:687-93.
- [8] Loturco I, Barbosa AC, Nocentini RK, Pereira LA, Kobal R, Kitamura K, Abad C, Figueiredo P, Nakamura FY. A correlational analysis of tethered swimming, swim sprint performance and dry-land power assessments. *International journal of sports medicine*. 2016 Mar 1;37(3):211-8.
- [9] Pessôa-Filho DM, Denadai BS. Mathematical basis for modeling swimmer power output in the front crawl tethered swimming: an application to aerobic evaluation. *Open Sports Sci J*. 2008;1:31-7.
- [10] Lavoie JM, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. *Sports medicine*. 1986 May 1;3(3):165-89.
- [11] Bollenes E. Peripheral EMG comparison between fully tethered and free crawl swimming. U: Ungerecht BE, ed. *Swimming*. 1988;5:173-81.
- [12] Morouço PG, Marinho DA, Keskinen KL, Badillo JJ, Marques MC. Tethered swimming can be used to evaluate force contribution for short-distance swimming performance. *Journal of strength & conditioning research*. 2014 Nov 1;28(11):3093-9.
- [13] 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 research international*. 2015; Article ID 563206.
- [14] Barbosa TM, Morouço P, Jesus S, Feitosa WG, Costa MJ, Marinho DA, Silva AJ, Garrido N. The interaction between intra-cyclic variation of the velocity and mean swimming velocity in young competitive swimmers. *International journal of sports medicine*. 2013 ;34(2):123-130.
- [15] Morouço PG, Barbosa T, Arellano R, Vilas-Boas JP. Intra-Cyclic Variation of Force and Swimming Performance. *International journal of sports physiology and performance*. 2018 Aug;13:897-902.
- [16] Robinson RO, Herzog W, Nigg BM. Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*. 1987 Aug;10(4):172-6.
- [17] Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum; 1988.

- [18] Deschodt VJ, Arsac LM, Rouard AH. Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1999 Jul 1;80(3):192-9.
- [19] Sanders RH, Thow J, Fairweather M. Asymmetries in swimming: Where do they come from. *Journal of swimming science*. 2011 Jan 1;18:1-1.
- [20] Morouço PG, Marinho DA, Fernandes RJ, Marques MC. Quantification of upper limb kinetic asymmetries in front crawl swimming. *Human movement science*. 2015 Apr 1;40:185-92.
- [21] Formosa DP, Sayers MG, Burkett B. Front-crawl stroke-coordination and symmetry: A comparison between timing and net drag force protocols. *Journal of sports sciences*. 2013 Apr 1;31(7):759-66.
- [22] Seifert L, Chollet D, Allard P. Arm coordination symmetry and breathing effect in front crawl. *Human Movement Science*. 2005 Apr 1;24(2):234-56.
- [23] Akis T, Orcan Y. Experimental and analytical investigation of the mechanics of crawl stroke swimming. *Mechanics Research Communications*. 2004 Mar 1;31(2):243-61.
- [24] 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 biomechanics*. 2018 Mar 22:1-6.
- [25] 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. *Journal of human kinetics*. 2011 Sep 1;29(Special Issue):105-12.
- [26] Marinho DA, Silva AJ, Reis VM, Barbosa TM, Vilas-Boas JP, Alves FB, Machado L, Rouboa AI. Three-dimensional CFD analysis of the hand and forearm in swimming. *Journal of applied biomechanics*. 2011 Feb;27(1):74-80.
- [27] Soncin R, Mezêncio B, Ferreira JC, Rodrigues SA, Huebner R, Serrão JC, Szmuchrowski L. Determination of a quantitative parameter to evaluate swimming technique based on the maximal tethered swimming test. *Sports biomechanics*. 2017 Apr 3;16(2):248-57.
- [28] Keskinen KL. Maximum velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. *Scand. J. Sports Sci.* 1989;11:87-92.