

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE DE RIBEIRÃO PRETO**

**JOÃO OCTAVIO ROSATTI PIRES DE CAMPOS**

**VALIDADE E REPRODUTIBILIDADE DO DISPOSITIVO TRINESENSE  
*SMARTPADDLE*® NAS FORÇAS PROPULSIVAS DA NATAÇÃO.**

**Ribeirão Preto**

**2022**



João Octavio Rosatti Pires de Campos

**Validade e reprodutibilidade do dispositivo Trainesense *SmartPaddle*® nas forças propulsivas da natação**

**Versão Original**

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Area de Concentração: Atividade Física e Esporte

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Papoti

Ribeirão Preto

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Rosatti Pires de Campos, João Octavio

Validade e reprodutibilidade do dispositivo Trainesense *SmartPaddle*® nas forças propulsivas da natação. Ribeirão, 2022. 65p.

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Área de concentração: Atividade Física e Esporte.

Orientador: Papoti, Marcelo.

1. Natação. 2. Força propulsiva. 3. Nado atado. 4. SmartPaddle. 5. Sensores de pressão.

CAMPOS, João Octavio. **Validade e reprodutibilidade do dispositivo Trainesense SmartPaddle® nas forças propulsivas da natação**. 2022. 64p. Dissertação (Mestrado em Educação Física e Esporte) – Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 2022.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_



## *Dedicatória*

*“A minha família, a base de tudo.  
Obrigado por sempre me apoiar e  
incentivar a buscar ser uma pessoa  
melhor.”*





## *Agradecimentos*

Em primeiro lugar à minha família por me dar o apoio nesse processo de formação acadêmica. Isso inclui principalmente meus pais Ana Luiza e Alexandre, minha irmã Bianca, e meus avós que sempre me incentivaram no esporte desde criança, assim contribuindo com minha formação profissional e meu caráter. Também minha namorada Marilia, que foi a grande incentivadora o meu ingresso nesse programa, e agradeço por sempre me incentivar a ser um profissional melhor e buscar cada vez mais conhecimento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Papoti pela confiança, paciência, disponibilidade, profissionalismo e principalmente amizade quando eu mais precisei.

Agradeço também aos meus amigos, que participaram diretamente e indiretamente do trabalho. Em especial Felipe Alves, o Tam. Pela parceria durante todo esse período.

Também agradeço ao grupo de estudos GECIFEX. Pelo acolhimento, prontidão e conhecimento trocado.

Aos amigos e professores da EEFERP que colaboraram na minha formação acadêmica durante todo processo.

Aos leitores deste documento, espero que vocês tenham uma leitura agradável. Poder ter contribuído com a ciência do esporte foi uma satisfação imensurável para mim, cada segundo de trabalhado nessa trajetória valeu a pena.



## RESUMO

CAMPOS, João Octavio. **Validade e reprodutibilidade do dispositivo Trainesense *SmartPaddle*® nas forças propulsivas da natação**. 2022. 65 p. Dissertação (Mestrado em Educação Física e Esporte) – Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 2022.

Este estudo teve como objetivo investigar a reprodutibilidade e a validade do *SmartPaddle* com um *strain-gauge* em um teste de nado atado máximo, somente com os braços de 30s (30NA). Doze nadadores universitários, adultos, realizaram dois testes de 30NA com 24 horas de intervalo, e as forças propulsoras foram coletadas simultaneamente por ambos os dispositivos durante as avaliações. Na análise de validade (*strain-gauge* × *SmartPaddle*), foram encontrados valores significativamente maiores para *strain-gauge* para força de pico, força média e impulso ( $p \leq 0,001$ ,  $d \geq 2,33$ ). Foram encontradas fortes correlações significativas tanto para as forças de pico quanto para as forças médias ( $r \geq 0,84$ ), mas não para o impulso ( $r = 0,31$ ). Na análise de reprodutibilidade (teste × reteste), não foram encontradas diferenças estatísticas em todas as variáveis ( $p \geq 0,39$ ). Altos níveis de reprodutibilidade foram encontrados para força pico (ICC = 0,96, TE = 2,52 N), força média (ICC = 0,95, TE = 1,35 N) e impulso (ICC = 0,94, TE = 3,24 N), com uma análise de concordância apresentando erros sistemáticos próximos de zero para todas as variáveis (-0,41 a 0,15 N). Em conclusão, a força propulsora pelo *SmartPaddle* foi fortemente correlacionada com o *strain-gauge* durante o 30NA, e os altos níveis de reprodutibilidade indicam que este dispositivo pode ser usado para avaliar a força propulsora em condições reais de treinamento e competição.

**Palavras-Chave:** 1. Natação. 2. Força propulsiva. 3. Nado atado. 4. SmartPaddle. 5. Sensores de pressão.



## ABSTRACT

CAMPOS, João Octavio. **Validity and reliability of Traineseense SmartPaddle® device on swimming propulsive forces.** 2022. 65p. Dissertation (Master's in sciences) – School of Physical Education and Sport of Ribeirão Preto, University of São Paulo, 2022.

This study aimed to investigate the reliability and validity of the SmartPaddle (SP) compared with the traditional strain-gauge (SG) measurements in a 30-s all-out arms-only tethered swimming test (30TS). Twelve recreational young-adult swimmers performed two 30TS tests 24 hours apart, and the propulsive forces were collected simultaneously by both devices during the assessments. In the validity analysis (SG × SP), significantly higher values were found for SG for peak force, mean force, and impulse ( $p \leq 0.001$ ,  $d \geq 2.33$ ). Strong significant correlations were found to both peak and mean forces ( $r \geq 0.84$ ), but not to impulse ( $r = 0.31$ ). In the reliability analysis (test × retest), no statistical differences were found in any variables ( $p \geq 0.39$ ). High levels of reliability were found to peak force (ICC = 0.96, TE = 2.52 N), mean force (ICC = 0.95, TE = 1.35 N), and impulse (ICC = 0.94, TE = 3.24 N). The concordance analysis showed systematic errors close to zero in all variables (−0.41 to 0.15 N). In conclusion, the propulsive force measured by the SP was strongly correlated with the SG during a 30TS, and the high levels of reliability indicate that this device can be used to assess the propulsive force during real conditions of training and competition.

**Keywords:** 1. Swimming. 2. Propulsive force. 3. Tethered swimming. 4. SmartPaddle. 5. Pressure sensors.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Desenho esquemático do sistema MAD System, ilustrando os movimentos de braçadas apoiado a painéis conectados a um transdutor de força, permitindo a medição direta da força propulsiva das braçadas. Fonte: Autoria própria, modificado de HOLLANDER; DE GROOT; VAN INGEN SCHENAU; TOUSSAINT et al. (1986) ..... 17
- Figura 2.** Mão direita do nado crawl vista por diferentes ângulos: vista latera, inferior e frontal da trajetória da mão do nadador na trajetória da braçada. Adaptado de Toussaint, Hollander [11]. ..... 18
- Figura 3.** Desenho esquemático do sistema proposto por Alley [21], ilustrando o nadador realizando um estímulo, atado a uma corda conectada a um motor, permitindo o controle de velocidade e medição de arrasto, força de reboque e força propulsora excedente. .... 19
- Figura 4.** Desenho esquemático do nado atado, permitindo a mensuração de valores como a força pico, força média, impulso e índice de fadiga do nadador. .... 21
- Figura 5.** Desenho esquemático do método usado nos testes de nado atado de 30s somente com os braços. .... 26
- Figura 6.** Média  $\pm$  desvio padrão da força de pico (A), força média (B) e impulso (C), e a respectiva análise gráfica de Bland & Altman (D, E e F) e análise de regressão (G, H, e I) às comparações Strain-Gauge  $\times$  SP. O símbolo de asterisco (\*) indica diferença estatística ( $p < 0,001$ ) em relação ao Strain-Gauge ..... 32
- Figura 7.** Média  $\pm$  desvio padrão da força de pico (A), força média (B) e impulso (C), e a respectiva análise gráfica de Bland & Altman (D, E e F) para comparação de teste  $\times$  reteste. 35





## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1.</b> Característica dos Participantes .....	25
<b>Tabela 2.</b> Média $\pm$ desvio padrão dos dados de força propulsiva e comparações teste versus reteste.....	34



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

F	Força de pressão exercida
FM	Força média
FP	Força pico
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
ICC	Coeficiente de correlação intraclasse
IMP	Impulso
MAD <i>System</i>	Measurmet Active Drag System
NA	Nado atado
SP	<i>SmartPaddle</i>
TX	Frequência de braçadas
30NA	30s de esforço máximo, somente com os braços
SG-FP	<i>Strain-Gauge</i> Força pico
SG-FM	<i>Strain-Gauge</i> Força media
SG-IMP	<i>Strain-Gauge</i> Impulso
SP-FP	<i>SmartPaddle</i> Força pico
SP-FM	<i>SmartPaddle</i> Força média
SP-IMP	<i>SmartPaddle</i> Impulso
DP	Desvio padrão
ES	Tamanho de efeito
IC	Intervalo de confiança
SEE	Erro padrão da estimativa
ET	Erro típico
CV	Coeficiente de variação
SDD	Menor diferença detectável



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
1.1 AS FORÇAS NA NATAÇÃO .....	15
1.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA REVISÃO .....	22
<b>CAPÍTULO 2. MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
2.1. PARTICIPANTES .....	25
2.2 DESENHO EXPERIMENTAL .....	25
2.3 TESTE DE NADO ATADO EM 30S DE ESFORÇO MÁXIMO, SOMENTE COM OS BRAÇOS. (30NA) .....	26
2.3.1 <i>Strain-gauge</i> .....	27
2.3.2 <i>SmartPaddle® (SP)</i> .....	27
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	27
2.4.1 <i>Validade</i> .....	28
2.4.2 <i>Reprodutibilidade</i> .....	28
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
3.1 VALIDADE.....	31
3.2 REPRODUTIBILIDADE .....	33
<b>CAPÍTULO 4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
4.2 CONCLUSÃO.....	39
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>



## INTRODUÇÃO

As forças propulsivas são um fator chave para melhorar o desempenho na natação, assim como estimar essas forças parece ser um ótimo meio para o sucesso (LAUDER; DABNICHKI; BARTLETT, 2001; MATSUUCHI; MIWA; NOMURA; SAKAKIBARA *et al.*, 2009; SANDERS, 1999). No entanto, a mensuração dessas forças não é uma tarefa fácil, pois a complexidade do ambiente aquático, decorrente das características únicas da água, dificulta a avaliação dessas forças (MOROUÇO, PEDRO; KESKINEN, KARI L.; VILAS-BOAS, JOÃO PAULO; FERNANDES, RICARDO JORGE, 2011). Diante dessas dificuldades, ao longo do tempo muitos dispositivos foram desenvolvidos, cada um com vantagens, mas também desvantagens (MOROUÇO, PEDRO; KESKINEN, KARI L.; VILAS-BOAS, JOÃO PAULO; FERNANDES, RICARDO JORGE, 2011), fazendo com que novas tecnologias fossem aprimoradas para otimizar a avaliação, a fim de melhorar a qualidade e a eficiência da coleta e análise de dados da força propulsiva de nadadores.

Ao longo dos anos, pesquisadores vêm tentando encontrar a melhor maneira de avaliar essas forças. Em meados da década de 1980, HOLLANDER; DE GROOT; VAN INGEN SCHENAU; TOUSSAINT *et al.* (1986) desenvolveram um dispositivo chamado *Measures of Active Drag System* (MAD System) para medir o arrasto ativo de nadadores. A técnica utilizada neste método baseia-se na medição direta das forças das braçadas do nado crawl. Este dispositivo é composto por transdutores de força que são fixados na piscina a uma determinada profundidade. Durante o nado, o nadador apoia a palma da mão nos transdutores de força fixos e executa a braçada, esta ação permite calcular a força e o arrasto produzidos por ele. Anos depois, KOLMOGOROV e DUPLISHCHEVA (1992) desenvolveram outro método para medir o arrasto ativo, este método foi chamado de perturbação de velocidade. Neste estudo os nadadores foram instruídos a realizar dois esforços máximos com duração de 30 segundos: uma vez no estilo livre e uma vez nadando amarrado a um aparelho que criava uma resistência adicional conhecida, para que a resistência produzida pelo nadador pudesse ser medida pelo aparelho, que subtraía a resistência do dispositivo extra e assim foi encontrada a resistência total do nadador. O ponto positivo desse método é que ele pode ser aplicado em todos os nados conhecidos, enquanto o Sistema MAD só pode ser aplicado no nado crawl.

Dentre as ferramentas de mensuração, o nado totalmente atado é apontado como um dos testes mais utilizado para mensurar a força propulsora na natação por meio de *strain-gauges* (DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001). O nado atado (NA) é um método de avaliação que tem uma boa aceitação entre a

comunidade por sua validação e relação com as respostas metabólicas quando comparada à natação convencional (BONEN; WILSON; YARKONY; BELCASTRO, 1980; CABRI; ANNEMANS; CLARYS; BOLLENS *et al.*, 1988; HOLMÉR, 1992; PAPOTI, M.; MARTINS, L. E. B.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.*, 2003), sua sensibilidade para a identificação e monitoramento de adaptações induzidas pelo treinamento também já foi estudada (PAPOTI; MARTINS; CUNHA; ZAGATTO *et al.*, 2007). Além disso, os parâmetros coletados no NA em um teste de esforço máximo de 30s, como força pico (FP) e força média (FM), mostram fortes correlações com o desempenho em distâncias curtas e médias em ritmo de prova (BARBOSA; DOPSAJ; OKICIC; ANDRIES JÚNIOR, 2010; DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001; MOROUÇO, P.; KESKINEN, K. L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J., 2011; MOROUÇO; MARINHO; KESKINEN; BADILLO *et al.*, 2014; PAPOTI, M.; MARTINS, L. E. B.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.*, 2003).

No entanto, vale a pena ressaltar que em alguns estudos, aponta-se que o NA não é completamente semelhante à natação livre, tal suposição é explicada pois em condições de natação livre, quando o braço está na fase de propulsão do ciclo de braçada, o braço e o ombro estão se movendo para frente em relação à água e, portanto, encontram resistência da água (HAY; THAYER, 1989). Também é possível observar que a condição atada pode alterar a duração, trajetória e frequência da braçada (MAGLISCHO; MAGLISCHO, 1984; MAGLISCHO; MAGLISCHO, 2008), e fazer com que o nadador avaliado não sofra a ação do arrasto hidrodinâmico (BARBOSA; DOPSAJ; OKICIC; ANDRIES JÚNIOR, 2010). Porém é importante ressaltar que os sistemas de aquisição de força, especialmente o NA, já são ferramentas usadas e confiáveis não apenas para prever o desempenho da natação (DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001; YEATER, R. A.; MARTIN, R. B.; WHITE, M. K.; GILSON, K. H. J., 1981), mas também para investigar os efeitos de diferentes intervenções e modelos de treinamento (BARBOSA; DOPSAJ; OKICIC; ANDRIES JÚNIOR, 2010; DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001; MOROUÇO, P.; KESKINEN, K. L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J., 2011; MOROUÇO; MARINHO; KESKINEN; BADILLO *et al.*, 2014; PAPOTI, M.; MARTINS, L. E. B.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.*, 2003), bem como a investigação de parâmetros maturacionais (PAPOTI; DA SILVA; KALVA-FILHO; ARAUJO *et al.*, 2017), estratégias nutricionais (NORBERTO; BARBIERI; BERTUCCI; GOBBI *et al.*, 2020), e a sensibilidade em fases do treinamento, como por exemplo o polimento (PAPOTI; MARTINS; CUNHA; ZAGATTO *et al.*, 2007).



Por outro lado, sensores de pressão, como por exemplo o *Aquanex System*®, são posicionados nas mãos do nadador, que são responsáveis pela maior força de propulsão durante a natação [21], permitindo que seja possível entender o comportamento das forças de propulsão geradas pelos membros superiores e inferiores durante o nado crawl (BARBOSA, TIAGO M; YAM, JIA WEN; LUM, DANNY; BALASEKARAN, GOVINDASAMY *et al.*, 2020; MORAIS; FORTE; NEVILL; BARBOSA *et al.*, 2020; NG; YAM; LUM; BARBOSA, 2020) Apesar de ser considerado preciso, o ato de nadar com esses sensores de pressão também acarreta algumas restrições mecânicas, haja vista que o uso do aparelho não o deixa livre de fios, o que leva a uma subestimação ou superestimação da cinemática e eficiência. Uma vez que a superfície de mudança da área da mão pode ocorrer a partir da saliência corporal adicional promovida pelos sensores (SANTOS; MARINHO; COSTA).

Recentemente, novas tecnologias têm sido propostas para resolver esses problemas. O *SmartPaddle* (Traineseense®) é um dispositivo sensor de pressão que é fixado na palma da mão do atleta através de tiras de silicone posicionadas nos dedos, semelhante a um palmar, este dispositivo permite a avaliação da força propulsora na natação sem o uso de fios ou cabos. Os dados obtidos são enviados diretamente para um aplicativo específico, permitindo a avaliação de parâmetros como a força propulsora através da pressão exercida (F); Frequência de braçadas (Tx); Impulso (Imp); velocidade da mão; trajetória das mãos, e tempo total e parcial do percurso. Desta forma, o uso do *SmartPaddle* (SP) tem sido utilizado na tentativa de mensurar novos parâmetros, além de ser uma forma rápida e prática de apresentar seus resultados.

Tendo em vista as importantes informações supracitadas, este documento apresentará no 0, uma breve revisão de literatura abordando sobre as forças que regem o corpo na natação. Elaborada de forma evolutiva, com as principais teorias baseadas nos princípios de propulsão, e bem como as principais metodologias e estudos de grande impacto na comunidade da natação, essa revisão tem como objetivo expor os principais paradigmas, problemas, e lacunas científicas ainda não investigadas pela ciência do esporte. O Erro! Fonte de referência não encontrada., t em como objetivo apresentar, por meio do da confecção de um manuscrito, toda a metodologia usada neste estudo científico. O Erro! Fonte de referência não encontrada., mostra os resultados o btidos no trabalho, bem como a validade e reprodutibilidade do dispositivo testado nos nadadores em comparação ao *strain-gauge* utilizado no nado atado. Por fim, o 0 tem como objetivo listar as importantes descobertas científicas deste estudo, encerrando o documento com as principais conclusões da dissertação.



## CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA

Na natação competitiva, fatores como técnica de nado, forças propulsivas envolvidas durante a tarefa e aspectos fisiológicos, apresentam grande influência sobre o desempenho de nadadores (GIROLD; MAURIN; DUGUÉ; CHATARD *et al.*, 2007). Dentre estes fatores, a força propulsiva exercida pelo nadador parece ser um fator chave para o sucesso no desempenho (GIROLD; MAURIN; DUGUÉ; CHATARD *et al.*, 2007; LAUDER; DABNICHKI; BARTLETT, 2001; MATSUUCHI; MIWA; NOMURA; SAKAKIBARA *et al.*, 2009; SANDERS, 1999). Tendo isso em vista, um melhor entendimento sobre essas forças se faz necessário para o desenvolvimento e acompanhamento do treinamento esportivo na natação competitiva, sobretudo, sua quantificação pode contribuir em ajudar a definir, identificar, e até estabelecer associações com as variáveis cinemáticas de nado (MOROUÇO; MARINHO; FERNANDES; MARQUES, 2015; PSYCHARAKIS; PARADISIS; ZACHAROGIANNIS, 2011).

COUNSILMAN, J. E. (1977) sugeriu que a velocidade de nadadores poderia ser aumentada por meio de fatores como a (i) diminuição das forças de arrasto, (ii) o aumento das forças propulsivas geradas pelas braçadas e pernadas, e (iii) a combinação entre estas duas variáveis, fazendo com que a mensuração das forças propulsivas na natação se tornasse um tema de grande interesse investigativo para estudos sobre biomecânica da natação (MARINHO; BARBOSA; ROUBOA; SILVA, 2011; PAYTON; BALZPOULOS; BARTLETT, 2002). No entanto, a avaliação das forças de propulsão e arrasto é considerada uma linha de pesquisa extremamente desafiadora, uma vez que a complexidade do ambiente aquático decorrente das características únicas da água, dificulta a quantificação dessas forças (MOROUÇO, P.; KESKINEN, K. L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J., 2011), fazendo com que uma sofisticação nos progressos científico-tecnológicos dos métodos de avaliação utilizados fossem necessária por este propósito.

Entretanto, ao longo dos últimos anos têm-se verificado determinados progressos na sofisticação dos métodos de avaliação usados para esse propósito. Sendo assim entender essas forças é uma ferramenta valiosa para treinadores e atletas desempenharem melhor na natação.

### 1.1 As forças na natação

O deslocamento durante um determinado nado é resultado entre as forças de resistência exercidas pelo meio líquido, e as forças propulsivas aplicadas pelo nadador (TOUSSAINT;

HOLLANDER; VAN DEN BERG; VORONTSOV *et al.*, 2000), portanto, um bom desenvolvimento do nadador na água não depende somente das habilidades propulsivas, mas também na capacidade de redução do arrasto durante o nado (RIBEIRO, 2006).

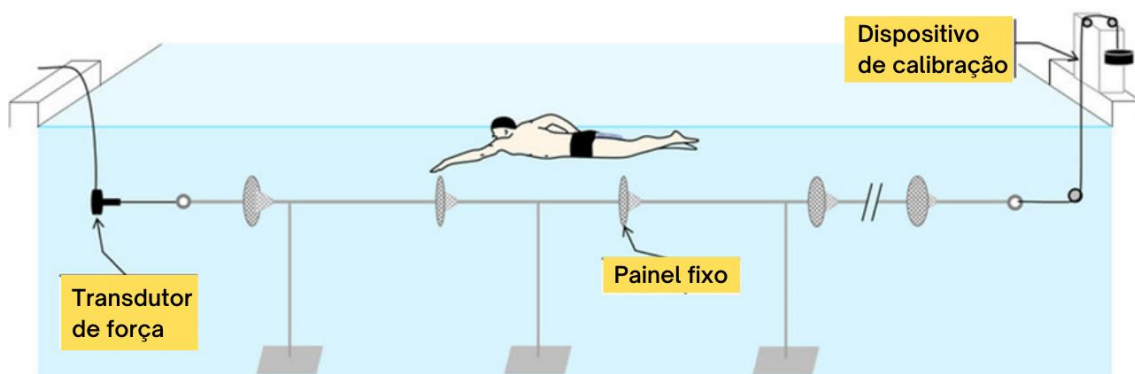
Segundo MAGLISCHO (2003), as forças de arrasto na natação podem ser divididas em: (i) arrasto de forma – que está relacionado ao tamanho e forma do corpo do nadador, (ii) arrasto de onda – resultante das ondas provocadas pelo nadador ao se deslocar na água e, (iii) arrasto friccional – consequência do contato do nadador com a água. De acordo com TOUSSAINT; HOLLANDER; VAN DEN BERG; VORONTSOV *et al.* (2000), essas formas de resistências estão relacionadas com o quadrado da velocidade de nado de acordo com a equação:  $D = K \cdot v^2$  (TOUSSAINT; HOLLANDER; VAN DEN BERG; VORONTSOV *et al.*, 2000). Onde: D é a força de arrasto, K é a constante do coeficiente de arrasto composta pela área de secção transversa do corpo e densidade da água, e  $V^2$  é a velocidade do nado. Sendo assim, pode-se concluir que ao considerar as forças de resistência encontradas pelo nadador considerando as características da água (densidade e viscosidade), a área e do corpo do nadador e a velocidade de deslocamento, podemos encontrar o nível de resistência gerado.

Em um estudo experimental, CLARYS (1975) examinaram a resistência do nado crawl rebocando nadadores em duas diferentes posições: (i) em *streamline* – com as mãos sobrepostas acima da cabeça e pernas unidas e, (ii) com o corpo de lado a 45° em relação a superfície da água – com um braço estendido sob a cabeça e o outro ao longo do corpo, com as pernas também unidas. Os autores encontraram valores inferiores de arrasto total para a posição lateral (45°) em comparação com a posição de *streamline* durante o nado. Porém, estes valores só foram considerados significativos para velocidades de nado entre 1.5 e 1.6 m·s<sup>-1</sup>, concluindo que a posição lateral parece não influenciar a propulsão do nadador em velocidades superiores a 1.7 m·s<sup>-1</sup>. No entanto, mesmo com o aumento da velocidade de deslocamento, a variação percentual da resistência foi maior para a posição lateral. Contudo, os autores suspeitavam que os movimentos dos nadadores eram criadores de maiores arrastos, e desta forma, iniciaram as tentativas de se avaliar o arrasto do indivíduo nadando, e não apenas sendo rebocado (TOUSSAINT; HOLLANDER; VAN DEN BERG; VORONTSOV *et al.*, 2000).

A partir da importância dos achados supracitados, técnicas para determinar os arrastos ativos foram desenvolvidas por vários grupos em anos seguintes (TOUSSAINT; ROOS; KOLMOGOROV, 2004). HOLLANDER; DE GROOT; VAN INGEN SCHENAU; TOUSSAINT *et al.* (1986) desenvolveram um equipamento denominado *Measurement Active Drag System* (MAD System) para mensurar o arrasto ativo dos nadadores sem a influência de rebocadores. A técnica deste método baseia-se na medição direta das forças das braçadas do

nado crawl por meio de um dispositivo composto por transdutores de força fixos na piscina a uma determinada profundidade, deste modo, o nadador apoia a palma da mão nos transdutores de força durante a realização de cada braçada, permitindo calcular a força e o arrasto produzidos pelo nadador (Figura1).

Mais recentemente, KOLMOGOROV e DUPLISHCHEVA (1992) desenvolveram outro método para mensurar o arrasto ativo, este método foi chamado de perturbação da velocidade. Os nadadores eram orientados a fazerem dois esforços máximos na duração de 30 segundos: o primeiro em nado livre, e o segundo nadando atados a um dispositivo que criava uma resistência adicional conhecida, assim a resistência produzida pelo nadador podia ser mensurada pelo dispositivo, que era subtraindo pela resistência do dispositivo extra, e assim era encontrada a resistência total do nadador. O ponto positivo desse método é que o mesmo pode ser aplicado em todos os nados, enquanto o sistema MAD System apenas pode se aplicar no nado crawl.

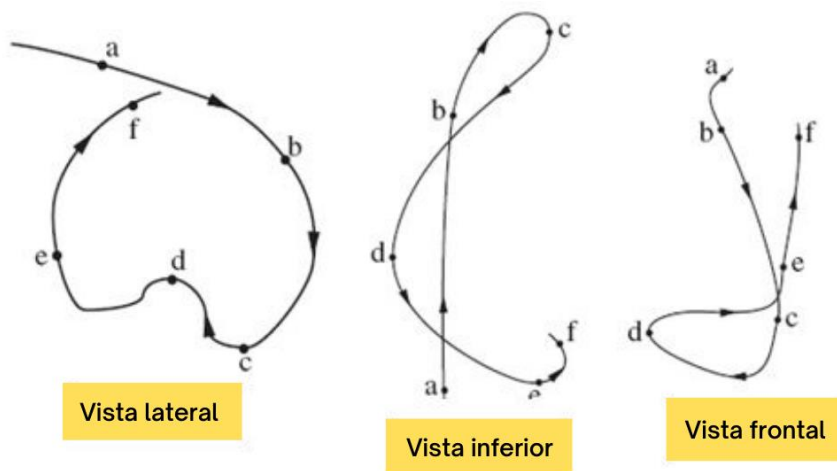


**Figura 1.** Desenho esquemático do sistema MAD System, ilustrando os movimentos de braçadas apoiado a painéis conectados a um transdutor de força, permitindo a medição direta da força propulsiva das braçadas. Fonte: Autoria própria, modificado de HOLLANDER; DE GROOT; VAN INGEN SCHENAU; TOUSSAINT *et al.* (1986)

Até cerca de 1960, pouco tinha se discutido sobre a força propulsiva, parâmetros biomecânicos e eficiência de braçada. COUNSILMAN, J. J. I. I., USA (1977), então liderou um experimento para verificar o melhor padrão de braçada: com os cotovelos fletidos ou estendidos na realização da mesma. O padrão de movimento com os cotovelos fletidos seria com os cotovelos flexionados a 90° ao passar por debaixo da linha média do corpo durante a braçada. Esse estudo concluiu que o padrão dos cotovelos estendidos era superior à dos cotovelos flexionados a 90° e os nadadores eram sugeridos a fazerem a braçada de natação como um remo é usado. Já na década de 70, com o auxílio de novas tecnologias como a análise cinemática das braçadas, TOUSSAINT; HOLLANDER; VAN DEN BERG; VORONTSOV *et*

al. (2000) selecionaram os melhores nadadores do mundo e fizeram um experimento com pontos de luz apoiado nas mãos, onde os atletas nadavam em uma piscina com as luzes apagadas para verificar o padrão de movimento mais utilizado. Os autores verificaram que os melhores nadadores não utilizavam a trajetória reta, mas sim em um movimento curvilíneo na maioria da trajetória subaquática.

Após estes achados, surge o conceito de braçada em “S”, esse modelo desenha a trajetória da letra na fase submersa, teoria que é sustentada no Princípio de Bernoulli (COUNSILMAN, 1970), que diz que a “pressão da água diminui à medida que sua velocidade aumenta”. Sendo assim, COUNSILMAN, J. E. (1977) sugeriram que nadadores de nível competitivo mundial, aplicavam a força por um breve período de tempo à medida que a massa de água era modificada, fazendo assim a força da braçada nas melhores condições de propulsão (Figura 2). Esse modelo foi bastante aceito até então em todos os nados competitivos (COUNSILMAN, 1970).

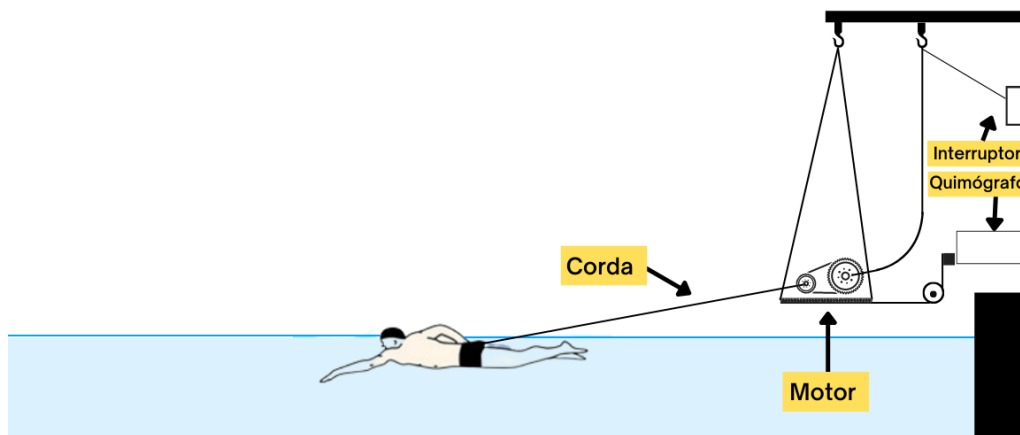


**Figura 2.** Mão direita do nado crawl vista por diferentes ângulos: vista lateral, inferior e frontal da trajetória da mão do nadador na trajetória da braçada. Adaptado de Toussaint, Hollander [11].

Ainda em relação às teorias que buscam explicar a propulsão em natação, MAGLISCHO e DO NASCIMENTO (1999) propuseram a formação de vórtices de água ao redor dos segmentos corporais em movimento como responsável pela propulsão em natação. Esses vórtices, de acordo com o movimento, estariam dispostos entre recorrentes e concorrentes, e estariam ligados com um aumento na magnitude da força de sustentação e com uma contraforça na água que projetaria o nadador para frente. Por fim, na tentativa de unificar as teorias para um melhor entendimento da comunidade aquática, MAGLISCHO e DO NASCIMENTO (1999)

concluíram que cada teoria tem contribuído para uma melhor compreensão da propulsão em natação e que a força de sustentação seja a mais predominante força propulsora na natação, sem deixar de lado a contribuição da força de resistência.

Sendo assim, sabendo da importância de quantificar esses valores de força propulsiva, e a importância dela na performance da natação (GIROLD; MAURIN; DUGUÉ; CHATARD *et al.*, 2007; LAUDER; DABNICHKI; BARTLETT, 2001; MATSUUCHI; MIWA; NOMURA; SAKAKIBARA *et al.*, 2009; SANDERS, 1999), ALLEY (1952) conduziram um experimento para investigar o problema da resistência à água e propulsão no nado crawl por meio de um método de análise de desempenho. Neste estudo, foi utilizado um motor elétrico de 1hp fixado ao nadador, que deveria vencer a força aplicada pelo motor nadando com diferentes padrões de pernada e braçada (Figura 3).



**Figura 3.** Desenho esquemático do sistema proposto por Alley [21], ilustrando o nadador realizando um estímulo, atado a uma corda conectada a um motor, permitindo o controle de velocidade e medição de arrasto, força de reboque e força propulsora excedente.

Fonte: autoria própria, adaptado de ALLEY (1952)

Atualmente, é comum encontrar sistemas de aquisição de força conhecido como *strain-gauges*, fixados no bloco de partida das piscinas e conectados ao nadador por meio de uma corda quase inextensível para a execução do NA (DOPSAJ; MATKOVI; THANOPOULOS; OKI, 2004; SANTOS; MARINHO; NEIVA; COSTA, 2021; YEATER, R. A.; MARTIN, R. B.; WHITE, M. K.; GILSON, K. H., 1981), sendo considerado um dos métodos mais utilizados para mensuração de força propulsiva nos nadadores atualmente (DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001). Isso pode ser explicado pelo baixo custo e ser facilmente aplicado a qualquer tipo de piscina, esse é um método amplamente estudado e utilizado (BONEN; WILSON; YARKONY; BELCASTRO,

1980; CABRI; ANNEMANS; CLARYS; BOLLENS *et al.*, 1988; HOLMÉR, 1992; PAPOTI, M.; MARTINS, L. E. B.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.*, 2003).

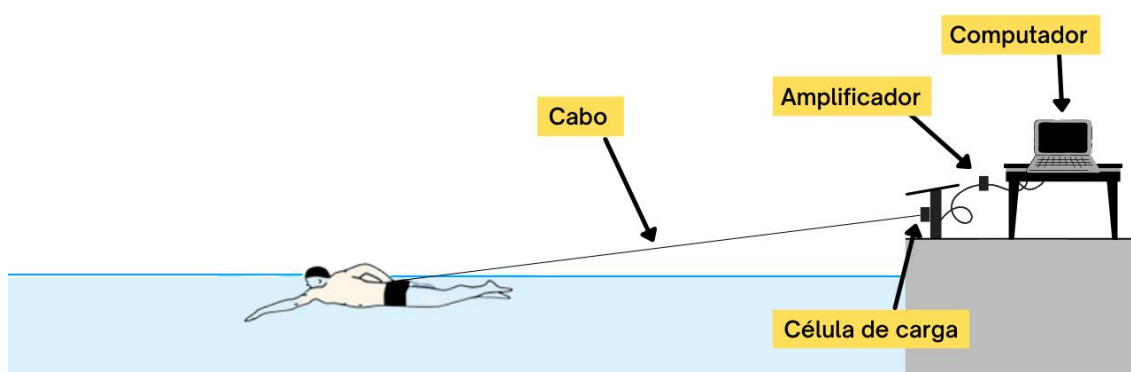
O nado atado pode ser empregado em diversas finalidades, com o objetivo de fornecer informações importantes para auxiliar técnicos e atletas no planejamento de treinos e avaliações, é importante ressaltar que os sistemas de aquisição de força, especialmente o nado atado, já são ferramentas usadas e confiáveis não apenas para prever o desempenho da natação (DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001; YEATER, R. A.; MARTIN, R. B.; WHITE, M. K.; GILSON, K. H. J., 1981), mas também para investigar os efeitos de diferentes intervenções e modelos de treinamento (BARBOSA; DOPSAJ; OKICIC; ANDRIES JÚNIOR, 2010; DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001; MOROUÇO, P.; KESKINEN, K. L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J., 2011; MOROUÇO; MARINHO; KESKINEN; BADILLO *et al.*, 2014; PAPOTI, M.; MARTINS, L. E. B.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.*, 2003), bem como a investigação de parâmetros maturacionais (PAPOTI; DA SILVA; KALVA-FILHO; ARAUJO *et al.*, 2017), estratégias nutricionais (NORBERTO; BARBIERI; BERTUCCI; GOBBI *et al.*, 2020), e a sensibilidade em fases do treinamento, como por exemplo o polimento (PAPOTI; MARTINS; CUNHA; ZAGATTO *et al.*, 2007). Porém, no decorrer dos anos, com a melhora da tecnologia, surgiram novas formas de mensurar as forças propulsivas, como por exemplo a utilização de sensores de pressão posicionados nas mãos do nadador (JASZCZAK, 2011; LÖPPÖNEN; VÄNTTINEN; HAVERINEN; LINNAMO, 2022; PEREIRA; SCHUT; RUSCHEL; ROESLER *et al.*, 2015).

Dentre as ferramentas de mensuração da força propulsiva, o NA assim como supracitado, é apontado como um método amplamente testado e utilizado para medir a força propulsora na natação por meio de células de carga (DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001). O NA tem boa aceitação entre a comunidade por sua validação e semelhança com as respostas metabólicas quando comparada à natação convencional (BONEN; WILSON; YARKONY; BELCASTRO, 1980; CABRI; ANNEMANS; CLARYS; BOLLENS *et al.*, 1988; HOLMÉR, 1992; PAPOTI, M.; MARTINS, L. E. B.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.*, 2003), além de ser sensível à identificação e monitoramento de adaptações induzidas pelo treinamento (PAPOTI; MARTINS; CUNHA; ZAGATTO *et al.*, 2007). Além disso, os parâmetros coletados em nado atado no teste de 30s máximo, como força de pico (PF) e força média (MF), mostram fortes correlações com o desempenho em distâncias curtas e médias em ritmo de prova (BARBOSA; DOPSAJ; OKICIC; ANDRIES JÚNIOR, 2010; DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ,



IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001; MOROUÇO, P.; KESKINEN, K. L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J., 2011; MOROUÇO; MARINHO; KESKINEN; BADILLO *et al.*, 2014; PAPOTI, M.; MARTINS, L. E. B.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.*, 2003).

O sistema de aquisição de sinais de força no teste de nado atado consiste na conexão entre uma célula de carga, conectada a um cabo inextensível, presos ao bloco de partida, e um cinto colocado na cintura do nadador (Figura 4) (PAPOTI, M.; MARTINS, L. E. B.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.*, 2003). 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 (MOROUÇO, P.; KESKINEN, K. L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J., 2011). Algumas preocupações surgem devido ao fluxo de água em torno do nadador (BARBOSA, TIAGO M.; YAM, JIA WEN; LUM, DANNY; BALASEKARAN, GOVINDASAMY *et al.*, 2020; SONCIN; MEZÊNCIO; FERREIRA; RODRIGUES *et al.*, 2017), em alguns estudos, aponta-se que o nado atado não é completamente semelhante à natação livre. Explicações são fornecidas para justificar tal suposição: em condições de natação livre, quando o braço está na fase propulsiva do ciclo de braçada, o braço e o ombro estão se movendo para frente em relação à água e, portanto, encontram resistência resistiva (HAY; THAYER, 1989). Embora a condição atada possa alterar a duração, trajetória e velocidade da propulsão da braçada (MAGLISCHO; MAGLISCHO, 1984; MAGLISCHO; MAGLISCHO, 2008), e fazer com que o atleta avaliado não sofra a ação do arrasto hidrodinâmico. Morouço et al. (MOROUÇO; MARINHO; KESKINEN; BADILLO *et al.*, 2014) reportaram que o referido método não provoca alterações significativas no padrão de movimento da braçada.



**Figura 4.** Desenho esquemático do nado atado, permitindo a mensuração de valores como a força pico, força média, impulso e índice de fadiga do nadador.

Já os sensores de pressão permitem que o nadador se desloque na água sem, ou com pouca interferência de cabos e fios, nadando em uma condição mais próxima possível da

situação de treino e competição (BOTTONI; LANOTTE; BOATTO; BIFARETTI *et al.*, 2011; MORAIS; MARQUES; RODRÍGUEZ-ROSELL; BARBOSA *et al.*, 2020). Tendo em vista essa abordagem da quantificação da força propulsiva, podemos encontrar na literatura metodologias como o *Aquanex System*® (SANTOS; MARINHO; COSTA). Estudos anteriores utilizaram o *Aquanex System*® para verificar o comportamento das forças de propulsão geradas pelos membros superiores e inferiores durante o nado crawl (BARBOSA, TIAGO M; YAM, JIA WEN; LUM, DANNY; BALASEKARAN, GOVINDASAMY *et al.*, 2020; MORAIS; FORTE; NEVILL; BARBOSA *et al.*, 2020; NG; YAM; LUM; BARBOSA, 2020). Apesar de ser considerado preciso, o ato de nadar com esses sensores de pressão também leva a alguns problemas mecânicos, sendo que o uso desse dispositivo específico não o deixa livre de fios podendo criar certa resistência causada por eles, e há uma subestimação ou superestimação da cinemática e eficiência do nado investigado, o que pode ser explicado pela mudança da área de superfície das mãos com o uso do sensor (SANTOS; MARINHO; COSTA).

Recentemente, novas tecnologias têm sido propostas para resolver esses problemas. O *SmartPaddle* (Traineseense®) é um dispositivo sensor de pressão que é fixado na palma da mão do nadador por meio de tiras de silicone posicionadas nos dedos. Semelhante a um pequeno palmar, este dispositivo permite a avaliação da força propulsora na natação sem o uso de fios ou cabos. Os dados obtidos são enviados diretamente para um aplicativo específico, permitindo a avaliação da força propulsora, como a FP, FM e IMP, por meio da pressão exercida pelo nadador durante determinado teste e/ou avaliação. Desta forma, o uso do *Smart Paddle* (SP) tem sido utilizado por treinadores na tentativa de mensurar essas forças além de ser uma forma rápida e prática de apresentar seus resultados.

SANTOS; MARINHO; NEIVA e COSTA , avaliaram em uma revisão sistemática o estado da arte em relação a diferentes métodos de mensuração de força na natação, dentre eles, os sensores de pressão e o nado atado. De 35 artigos analisados, vinte e nove estudos avaliaram as forças propulsivas através do nado atado e seis estudos usaram sensores de pressão. Os autores concluíram que 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. E apesar dos valores diferentes o nado atado e os sensores de pressão permitam avaliar diretamente as forças propulsivas, sendo que os valores mais elevados foram observados no nado atado.

## **1.2 Considerações finais da revisão**

Existem vários métodos de avaliação da força propulsiva na natação, o nado atado e os sensores de pressão se destacam pela praticidade, especificidade e baixo custo. O nado atado se destaca por ser um método amplamente utilizado para a análise da força pico e força média na natação, mas apresenta limitações no que diz respeito à simulação das condições reais de nado. Já os sensores de pressão apesar de se mostrarem como um método preciso, e estudos futuros devem tentar compreender se existe uma concordância entre estes dois métodos e qual a diferença entre eles.



## CAPÍTULO 2. MÉTODOS

### 2.1. Participantes

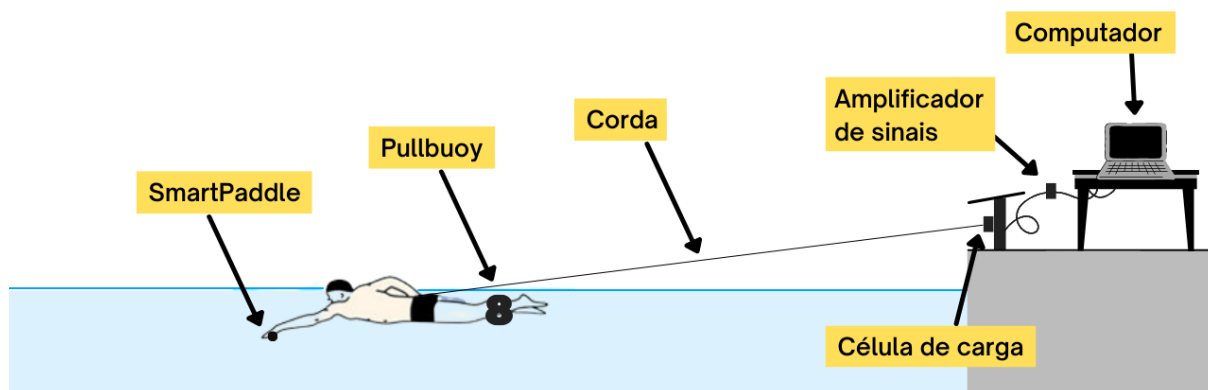
Doze nadadores adultos de nível universitário (10 homens e 2 mulheres) participaram voluntariamente deste estudo. As características dos participantes estão apresentadas na Tabela 1. A rotina de treinamento consistiu em 5 sessões semanais, com duração entre 45 e 90 min, realizadas por pelo menos 3 meses ininterruptos. O termo de consentimento informado por escrito foi obtido, e todos os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade de São Paulo (protocolo nº: 55101221.1.0000.5659).

**Tabela 1.** Característica dos Participantes

	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso (kg)	Massa magra (kg)	Gordura corporal (%)	Área das mãos (cm <sup>2</sup> )	Envergadura (cm)	Tempo de 100m livre (s)
Média	23.70	177.40	73.15	54.90	21.65	162.40	183.8	61.41
DP	2.22	7.26	7.95	6.45	5.60	14.20	8.89	6.97

### 2.2 Desenho experimental

Para determinar a validade, e reprodutibilidade da força propulsiva na natação em diferentes métodos de avaliação, dois testes de NA em 30s de esforço máximo, somente com os braços. (30sNA) foram feitos em um intervalo de 24 horas, nas condições de teste e reteste. (Figura 5. No primeiro dia, foi determinado os parâmetros antropométricos dos participantes para a caracterização da amostra. Além disso, após um aquecimento de 1000m (400 livre, 4x50 livre, 8x25 com 10m em aceleração, 200 livre com melhor técnica), a ordem dos participantes foi randomizada e eles realizaram o primeiro 30sNA na situação de teste. No segundo dia, após o mesmo protocolo de aquecimento na água, os participantes realizaram o segundo 30sNA na situação de reteste. Ambas as avaliações foram realizadas no horário habitual de treino dos atletas (entre as 18h e as 20h), numa piscina coberta semiolímpica (25m) a uma temperatura de  $27 \pm 1$  °C, é importante ressaltar que todos os participantes já estavam previamente familiarizados com os testes.



**Figura 5.** Desenho esquemático do método usado nos testes de nado atado de 30s somente com os braços.

### 2.3 Dados antropométricos

Utilizando o método de densitometria por dupla emissão de raios X (Lunar iDXA, GE Healthcare), o peso, massa magra e percentual de gordura corporal foram determinados por um software específico (enCORE v.18, GE Healthcare). A altura e a envergadura foram caracterizadas com estadiômetro graduado de 1mm (Micheletti, São Paulo, Brasil) e fita métrica, respectivamente. A área da mão foi estimada multiplicando-se a distância entre os pontos transversais extremos e longitudinais da mão (TELLES; BARBOSA; CAMPOS; JÚNIOR, 2011).

### 2.3 Teste de nado atado em 30s de esforço máximo, somente com os braços. (30NA)

A força propulsora somente dos braços foi avaliada simultaneamente pelos dispositivos de *strain-gauge* e o *SmartPaddle*® (SP), adaptados de protocolos anteriores como PAPOTI, M.; MARTINS, L.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.* (2003). O teste foi caracterizado por um esforço máximo de crawl de 30s em NA. Os participantes foram equipados com o SP nas mãos enquanto estavam amarrados na cintura por uma corda inextensível, conectada a uma célula de carga (CSA-100 kg, MK Controle e Instrumentação, São Paulo, Brasil) e presa ao bloco de partida (Figura 5). O início e o fim dos esforços foram sinalizados por sinais sonoros (apito) de modo que os nadadores iniciaram os esforços com o cabo já tensionado, além disso, durante toda a avaliação, os nadadores foram instruídos e estimulados verbalmente a realizarem o máximo esforço possível. A frequência de braçadas foi escolhida arbitrariamente pelos participantes e, para garantir que não houvesse ação propulsora proveniente da pernada do

nadador, neutralizar a flutuabilidade e impossibilitar o movimento de pernada durante todo o teste, foi utilizada uma boia entre os tornozelos (*pullbuoy*) dos participantes.

### 2.3.1 *Strain-gauge*

Os dados de força propulsiva foram adquiridos a 1000 Hz por uma célula de carga equipada com *strain-gages* embutidos (CSA-100 kg, MK *Control and Instrumentations*, São Paulo, Brasil) acoplado ao bloco de partida. Os dados de força foram amplificados por um amplificador de sinal (MKTC 05, MK *Control and Instrumentations*, São Paulo, Brasil), registrados por um módulo de aquisição de dados (USB-6009, *National Instruments*, Inc), e analisados por um algoritmo desenvolvido especificamente no Matlab software (R2018a, *The MathWorks, Inc*). A força de pico (SG-FP) e a força média (SG-FM) foram definidas como a força máxima e média exercida durante todo o esforço total de 30s, respectivamente. O impulso (SG-IMP) foi definido como a área sob a curva força-tempo registrada. O sinal registrado em volts foi transformado em newtons por um protocolo de calibração, realizado antes de cada avaliação utilizando seis pesos progressivos conhecidos (0,1 a 10,2 kg) para calcular o fator de ganho linear.

### 2.3.2 *SmartPaddle*® (SP)

Os dados de força propulsiva foram adquiridos a 100 Hz pelo *SmartPaddle*® (*Trainese Oy*, Tampere, Finlândia), fixado nas mãos dos nadadores conforme proposto pelo manual do usuário, todos os participantes utilizaram previamente o aparelho para familiarização e redução do efeito de aprendizagem. Os dados registrados foram baixados para o serviço em nuvem do *Trainese Analysis Center* e, em seguida, transferidos para o celular via conexão *Bluetooth*. A força de pico (SP-FP), força média (SP-FM) e impulso (SP-IMP) exercidos durante todo o esforço total de 30s foram analisados pelo *Matlab GUI (Graphical User Interface)* desenvolvido pela *Trainese Oy*. Os parâmetros de força propulsiva foram definidos pela média entre as duas medidas referentes às mãos direita e esquerda.

## 2.4 Análise estatística.

Os dados são relatados como média  $\pm$  desvio padrão (DP). A distribuição normal dos dados foi confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk e pela inspeção visual dos dados usando

gráficos box-plot, histogramas e gráficos de dispersão dos resíduos. O software *Statistical Package for Social Science*, versão 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL) foi utilizado para a análise e o nível de significância foi estabelecido em  $p < 0,05$ .

#### 2.4.1 Validade

A validade concorrente (CURRELL; JEUKENDRUP, 2008) entre os resultados do *Strain-Gauge* e do SP foram investigados por diferentes análises estatísticas. Primeiramente, as diferenças entre os parâmetros obtidos pelo *Strain-Gauge* tradicional e o SP foram analisadas pelo teste t pareado. Os tamanhos de efeito (ES) foram relatados como d de Cohen com 0,2, 0,5 e 0,8 considerados como efeitos pequenos, moderados e grandes, respectivamente (COHEN, 2013). A análise de regressão linear e o coeficiente de correlação de Pearson (r) com seus respectivos intervalos de confiança de 90% (IC) foram usados para testar a força de associação entre FP, FM e IMP obtidos do *Strain-Gauge* e do SP. Os pontos de corte r de 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 e 0,9 foram considerados como pequeno, moderado, grande, muito grande e quase perfeito, respectivamente (HOPKINS, 2009). Além disso, o erro padrão da estimativa (SEE; desvio padrão dos resíduos) foi calculado e interpretado como uma medida de variação em torno da linha de regressão. A concordância entre as duas metodologias foi testada pela análise de Bland-Altman (BLAND; ALTMAN, 2010). O viés sistemático foi acompanhado de seus limites de concordância de 95% (LoA = viés  $\pm$  1,96 DP).

#### 2.4.2 Reprodutibilidade

A reprodutibilidade das medidas do SP aplicadas aos mesmos indivíduos duas tentativas (reprodutibilidade teste-reteste) (HOPKINS, 2000) foi verificada. Portanto, as diferenças entre as tentativas foram verificadas pelo teste t pareado, ES e pela análise de Bland-Altman, calculadas e interpretadas conforme a seção Validade. O coeficiente de correlação intraclassa (ICC) e seu IC (90%) foram calculados como uma medida de confiabilidade relativa com base em um modelo de efeitos mistos de duas vias, medidas únicas e concordância absoluta (modelo 2,1) (HOPKINS, 2000; WEIR, 2005). Além disso, o desvio padrão das medidas repetidas do indivíduo, ou seja, erro típico (ET), foi calculado para acessar a variação dentro do sujeito (confiabilidade absoluta) (HOPKINS, 2000; WEIR, 2005). O ET também foi expresso em termos relativos como coeficiente de variação [(CV);  $CV = ET/média \cdot 100$ ].



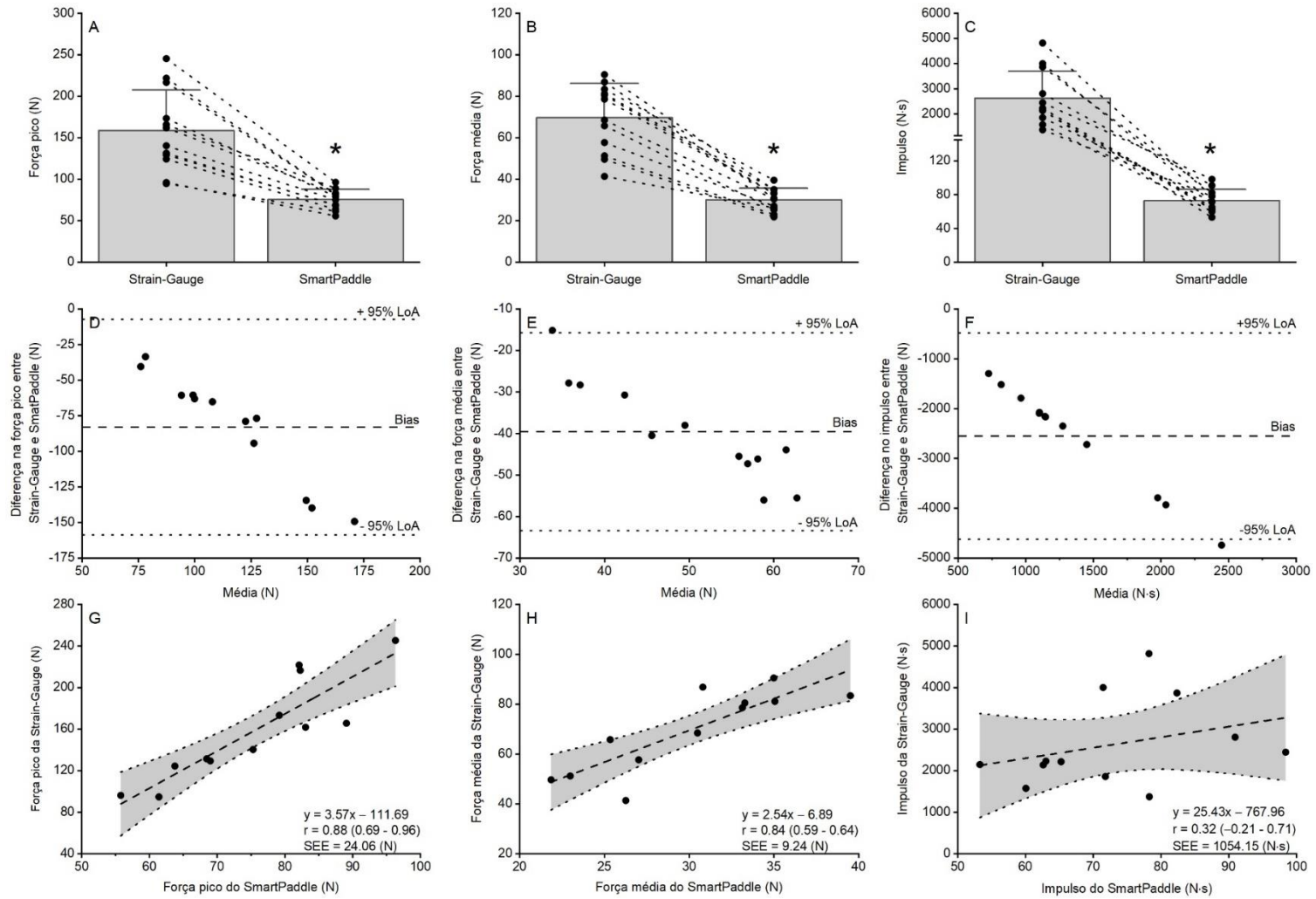
Complementarmente, a menor diferença detectável (SDD) foi calculada como  $1,96 \cdot \sqrt{2} \cdot \text{SEM}$ , onde  $\text{SEM} = \text{SD} \cdot \sqrt{(1-\text{ICC})}$  (WEIR, 2005).



## CAPÍTULO 3. RESULTADOS

### 3.1 Validade

Os dados das forças propulsivas (FP, FM e IMP) são mostrados na Figura 6. Diferenças estatísticas entre a condição *Strain-Gauge* × SP foram encontradas em FP ( $158,46 \pm 48,85 \times 75,47 \pm 12,05$  N,  $p < 0,001$ ,  $d = 2,33$ ), FM ( $69,62 \pm 16,36 \times 30,06 \pm 5,42$  N,  $p < 0,001$ ,  $d = 3,25$ ) e IMP ( $2623,69 \pm 1060,30 \times 72,96 \pm 13,27$  N·s,  $p < 0,001$ ,  $d = 3,40$ ). A análise gráfica de Bland & Altman demonstrou erros sistemáticos elevados (ou seja, viés) e LoA com  $-82,99 \pm 75,71$  N,  $-39,56 \pm 23,82$  N e  $-2550,73 \pm 2070,05$  N em relação ao FP, FM e IMP, respectivamente. Fortes correlações significativas entre *Strain-Gauge* × SP foram encontradas em ambos FP ( $r = 0,88$  [0,69-0,96]) e FM ( $r = 0,84$  [0,59-0,94]), mas não para IMP ( $r = 0,31$  [-0,21 a 0,71]).



**Figura 6.** Média  $\pm$  desvio padrão da força de pico (A), força média (B) e impulso (C), e a respectiva análise gráfica de Bland & Altman (D, E e F) e análise de regressão (G, H, e I) às comparações *Strain-Gauge*  $\times$  SP. O símbolo de asterisco (\*) indica diferença estatística ( $p < 0,001$ ) em relação ao *Strain-Gauge*

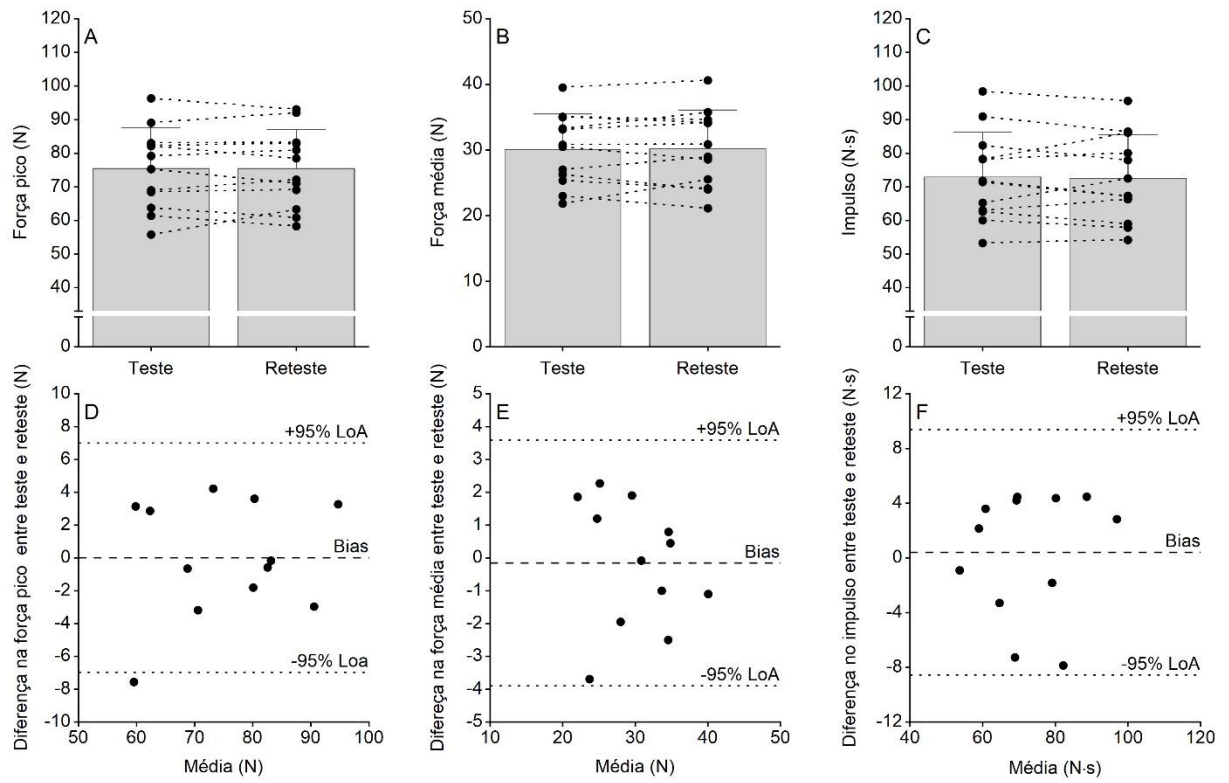
### 3.2 Reprodutibilidade

Os dados de força propulsiva e as comparações teste e reteste são mostrados na Tabela 2. Não foram encontradas diferenças estatísticas ( $p \geq 0,39$ ) entre as condições teste e reteste em FP, FM e IMP. Os dados da força propulsiva individual e a análise gráfica de Bland & Altman são apresentados na Figura 7. A análise de concordância resultou em erros sistemáticos próximos a zero em todas as variáveis (PF = -0,02 N; MF = 0,15 N; IMP = -0,41 N). Além disso, os valores dos resíduos individuais foram distribuídos uniformemente entre seus LoA's (FP = 6,99 N; FM = 3,74 N; IMP = 8,97 N).

**Tabela 2.** Média  $\pm$  desvio padrão dos dados de força propulsiva e comparações teste versus reteste.

	Teste	Reteste	test t pareado (p-value)	Tamaho do efeito (Cohen's d)	ICC ( $\pm$ 95 % CI)	TE (N)	CV (%)	SDD (N)
Força pico (N)	75.47 $\pm$ 12.05	75.45 $\pm$ 11.54	0.99	0.00	0.96 (0.86 to 0.99)	2.52	3.33	6.51
Força média (N)	30.06 $\pm$ 5.42	30.21 $\pm$ 5.83	0.80	- 0.03	0.95 (0.83 to 0.98)	1.35	4.48	3.52
Impulso (N·s)	72.96 $\pm$ 13.27	72.55 $\pm$ 12.88	0.39	0.03	0.94 (0.82 to 0.98)	3.24	4.45	8.41

ICC: Coeficientes de correlação intraclassa; IC: Intervalo de confiança; ET: Erro típico; CV: Coeficiente de variação; SDD: Menor diferença detectável.



**Figura 7.** Média  $\pm$  desvio padrão da força de pico (A), força média (B) e impulso (C), e a respectiva análise gráfica de Bland & Altman (D, E e F) para comparação de teste  $\times$  reteste.





## CAPÍTULO 4. DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo examinar a validade e reprodutibilidade dos resultados propulsivos apresentados no dispositivo de sensor de pressão SP em comparação com a *strain-gauge* já utilizado no NA. Os principais resultados mostraram que o SP foi uma metodologia altamente confiável para avaliar essas forças propulsivas na natação. Isso se manifesta tanto por um excelente valor de ICC (0,96, 0,95, 0,94) e pequenos CVs (3,33%, 4,48%, 4,45%) para FP, FM e IMP, respectivamente. Portanto, o SP pode ser uma alternativa atrativa para treinadores e atletas mensurarem a força propulsora além da oportunidade de avaliar os atletas na natação sem estar amarrado, mais próximo da condição real de treinamento e competição.

Para o melhor de nossos conhecimentos, este é o primeiro estudo a medir forças propulsivas em natação usando o dispositivo SP. Neste estudo foi possível identificar fortes correlações significativas entre SG × SP tanto em FP quanto em FM, mas não em IMP. Apesar das fortes correlações significativas entre SG × SP, foram encontradas diferenças significativas entre as metodologias, por exemplo, uma limitação do sistema SP é que alguns dados como o IMP não puderam ser profundamente estudados porque o algoritmo usado pelo SP é confidencial, então essas estimativas devem ser tratadas com cautela. Em concordância com esses resultados, LÖPPÖNEN; VÄNTTINEN; HAVERINEN e LINNAMO (2022) em um estudo similar utilizaram o mesmo sensor SP conectado a um remo no caiaque. Este estudo investigou o efeito das principais variáveis de remada medidas no SP e velocidade do caiaque, um *strain-gauge* foi usado como um método de referência para examinar a validade do SP. Os resultados mostraram que a taxa de braçada, o tempo de produção de força e a FM e FP medida com o eixo da pá do *strain-gauge* correlacionaram-se fortemente ( $r = 0,84-0,95$ ,  $p < 0,01$ ) com SP. No entanto, o SP superestimou a FM em relação ao *strain-gauge*. E eles concluem que o SP fornece informações promissoras sobre as principais variáveis do curso quando comparado ao *strain-gage*. No entanto, mais pesquisas e desenvolvimento de algoritmos são necessários, principalmente para determinar a reprodutibilidade da trajetória e direção das remadas avaliadas. A vantagem do SP é que ele pode ser usado para medir as braçadas separadamente entre direita e esquerda, identificando possíveis assimetrias e a direção do movimento da mão.

Por outro lado, o NA que é considerada até hoje um dos métodos mais utilizado para estimar a força de natação devido à sua eficiência e reprodutibilidade. (DOPSAJ; MATKOVI; THANOPOULOS; OKI, 2004). Estudos anteriores mostram a reprodutibilidade realizada com nadadores mais experientes e altamente qualificados (DOPSAJ; MATKOVIĆ; THANOPOULOS; OKIČIĆ *et al.*, 2004; KJENDLIE; THORSVALD, 2006). Além disso,

estudos de validação anteriores usaram uma variedade de medidas como critérios de comparação, incluindo uma ampla gama de distâncias de provas de natação (14m-400m), medidas de forças e outros testes de capacidade anaeróbica (como o teste de Wingate) (DOTAN; BAR-OR; PHYSIOLOGY, 1983). Da mesma forma, outros estudos de reprodutibilidade examinaram a reprodutibilidade teste-reteste por longos períodos de tempo, até uma semana. Além disso, estudos anteriores investigaram esses parâmetros em diferentes idades e níveis de experiência de natação (AMARO; MARINHO; BATALHA; MARQUES *et al.*, 2014; D'ACQUISTO; COSTILL, 1998; DOPSAJ; MATKOVIĆ; THANOPOULOS; OKIČIĆ *et al.*, 2004; DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M *et al.*, 2001; KJENDLIE; THORSVALD, 2006; LÖPPÖNEN; VÄNTTINEN; HAVERINEN; LINNAMO, 2022; MOROUÇO, 2009; MOROUÇO, P.; KESKINEN, K. L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J., 2011; MOROUÇO; SOARES; VILAS-BOAS; FERNANDES, 2008; NAGLE ZERA; NAGLE; NAGAI; LOVALEKAR *et al.*, 2021; SANTOS; BENTO; PEREIRA; RODACKI, 2016; YEATER, R. A.; MARTIN, R. B.; WHITE, M. K.; GILSON, K. H., 1981) Diferentes metodologias, procedimentos e amostras levaram a resultados conflitantes nos estudos citados. Aqui foi utilizado o teste máximo de 30 segundos de nado livre atado, uma avaliação que já demonstrou que esse teste é reprodutível e com fortes associações com o desempenho da natação (DOPSAJ, MILIVOJ; MATKOVIĆ, IVICA; ZDRAVKOVIĆ, IVAN; DOPSAJ, M. *et al.*, 2001; KJENDLIE; THORSVALD, 2006; MOROUÇO, PEDRO; KESKINEN, KARI L.; VILAS-BOAS, JOÃO PAULO; FERNANDES, RICARDO JORGE, 2011; MOROUÇO; SOARES; VILAS-BOAS; FERNANDES, 2008; PAPOTI; DA SILVA; ARAUJO; SANTIAGO *et al.*, 2013), produzindo respostas fisiológicas semelhantes em relação à natação livre. (AMARO; MARINHO; BATALHA; MARQUES *et al.*, 2014; NAGLE ZERA; NAGLE; NAGAI; LOVALEKAR *et al.*, 2021; PAPOTI; DA SILVA; ARAUJO; SANTIAGO *et al.*, 2013; PAPOTI; DA SILVA; KALVA-FILHO; ARAUJO *et al.*, 2017)

Podemos sugerir o uso do SP, no entanto, os valores absolutos entre as duas metodologias não podem ser comparados, para isso deve-se utilizar a equação de correção. Mas apesar das diferenças de valores, consideramos que a magnitude da força propulsora é dependente do tipo de método de avaliação (SANTOS; MARINHO; NEIVA; COSTA, 2021) e que algumas informações de dados de aquisição de força SP são limitadas, podemos destacar também que o nado atado reduz o intervalo entre as fases propulsivas: O nadador passa mais tempo empurrando devido a uma possível sobreposição das braçadas (MAGLISCHO; MAGLISCHO, 1984). Por outro lado, SP nos dá essa informação separadamente entre as braçadas direita e esquerda. Isso pode explicar os maiores valores obtidos na avaliação de FP e

FM no nado atado quando comparado ao SP. O SP parece ser consistente nas principais variáveis de FP, FM e IMP com base nesses resultados. Mas não pudemos dizer sobre as outras medidas que o dispositivo nos apresenta, como a trajetória ou direção das mãos, pois não foi validado neste ou em outros estudos. Isso precisa ser feito no futuro, especialmente se o SP for usado em pesquisa. Embora os resultados forneçam evidências de que o SP pode ser um acessório prático e portátil a ser utilizado para medir força na natação.

Algumas limitações do presente estudo devem ser destacadas. Primeiramente, é possível custear o produto e para cada avaliação de SP é necessária uma licença que aumenta o custo por avaliação dificultando o uso diário, mas não descartamos ser uma boa e prática opção para avaliações pontuais e agendadas. Segundo, apenas os achados deste estudo não podem ser extrapolados para outros níveis de desempenho, onde a sensibilidade do sensor pode ser maior ou menor dependendo do nível do atleta. Terceiro, nosso estudo mediu as forças apenas em condições de nado atado, não podemos prever em outras situações, no entanto, nossos altos índices de reprodutibilidade incentivam mais estudos em natação livre. Outros estudos devem ser elaborados para uma melhor investigação dos mecanismos de análise pelo SP, estudos de sensibilidade do dispositivo aos efeitos de treinamento, e outros parâmetros que ajudam a melhorar o dispositivo contribuindo com o avanço na literatura.

## 4.2 Conclusão

Podemos concluir que metodologias estabelecidas como o nado atado podem fornecer uma avaliação ecologicamente mais válida, enquanto o desenvolvimento de tecnologias como os sensores de força *SmartPaddle* podem ter um papel futuro na medição de forças na natação. Nosso estudo mostrou que, apesar de diferente, o SP apresentou forte correlação com o nado atado e os altos índices de reprodutibilidade incentivam mais estudos e avaliações em nado livre, mais próximos das condições reais de treinamento e competição.



## **CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO**

Considerando a complexidade do meio líquido ao avaliar atletas de natação, a pesquisa tem evoluído cada vez mais em buscar a melhor metodologia para esse feito, especialmente nas forças propulsivas. É inegável que a evolução no treinamento, bem como desempenho na natação é consequência aos avanços da ciência do esporte. Apesar das diversas metodologias propostas ainda encontramos limitações quanto a usabilidade das ferramentas.

Frente aos resultados obtidos nos experimentos desse presente estudo, entende-se que essa dissertação de mestrado trouxe importantes achados em relação aos problemas que se propôs investigar. Sendo assim, é possível concluir que não somente a ferramenta avaliada, mas os sensores de pressão podem ter um papel futuro na medição de forças na natação, incentivando mais estudos e avaliações em nado livre, próximos das condições reais de treinamento e competição.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEY, L. E. An Analysis of Water Resistance and Propulsion in Swimming the Crawl Stroke. **Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation**, 23, n. 3, p. 253-270, 1952/10/01 1952.

AMARO, N.; MARINHO, D. A.; BATALHA, N.; MARQUES, M. C. *et al.* Reliability of tethered swimming evaluation in age group swimmers. **Journal of human kinetics**, 41, p. 155-162, 2014.

BARBOSA, A. C.; DOPSAJ, M.; OKICIC, T.; ANDRIES JÚNIOR, O. The usefulness of the fully tethered swimming for 50-m breaststroke performance prediction. **Biomechanics and medicine in swimming XI. Oslo: Nordbergtrykk**, p. 47-49, 2010.

BARBOSA, T. M.; YAM, J. W.; LUM, D.; BALASEKARAN, G. *et al.* Arm-pull thrust in human swimming and the effect of post-activation potentiation. **Scientific Reports**, 10, n. 1, p. 8464, 2020/05/21 2020.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. *J. I. j. o. n. s.* Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. 47, n. 8, p. 931-936, 2010.

BONEN, A.; WILSON, B. A.; YARKONY, M.; BELCASTRO, A. N. Maximal oxygen uptake during free, tethered, and flume swimming. **Journal of Applied Physiology**, 48, n. 2, p. 232-235, 1980/02/01 1980.

BOTTONI, A.; LANOTTE, N.; BOATTO, P.; BIFARETTI, S. *et al.* Technical skill differences in stroke propulsion between high level athletes in triathlon and top level swimmers. 6, n. 2, p. 351-362, 2011.

CABRI, J.; ANNEMANS, L.; CLARYS, J. P.; BOLLENS, E. *et al.* The relation of stroke frequency, force and EMG in front crawl tethered swimming. **Swimming Science V**, p. 183-189, 01/01 1988.

CLARYS, J. J. S. I. Total resistance of selected body positions in the front crawl. p. 110-117, 1975.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Academic press, 2013. 1483276481.

COUNSILMAN, J. E., 1970, **The application of Bernoulli's principle to human propulsion in water**. 59-71.

COUNSILMAN, J. J. I. I., USA. Competitive swimming manual for coaches and swimmers. Counsilman, Co. p. 232-247, 1977.

CURRELL, K.; JEUKENDRUP, A. E. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. **Sports Med**, 38, n. 4, p. 297-316, 2008.

D'ACQUISTO, L. J.; COSTILL, D. L. Relationships between intracyclic linear body velocity fluctuations, power, and sprint breaststroke performance %J Swimm. Res. **Journal of Swimming Research**, 1998.

DOPSAJ, M.; MATKOVIĆ, I.; THANOPOULOS, V.; OKIČIĆ, T. *et al.* Reliability and validity of basic kinematics and mechanical characteristics of pulling force in swimmers measured by the method of tethered swimming with maximum intensity of 60 seconds. 2004.

DOPSAJ, M.; MATKOVIĆ, I.; ZDRAVKOVIĆ, I.; DOPSAJ, M. *et al.* The relationship between 50m- freestyle results and characteristics of tethered forces in male sprint swimmers: A new approach to tethered swimming test. **Physical Education and Sport**, 1, 01/01 2001.

DOTAN, R.; BAR-OR, O. J. E. j. o. a. p.; PHYSIOLOGY, o. Load optimization for the Wingate anaerobic test. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, 51, n. 3, p. 409-417, 1983.

GIROLD, S.; MAURIN, D.; DUGUÉ, B.; CHATARD, J. C. *et al.* Effects of dry-land vs. resisted- and assisted-sprint exercises on swimming sprint performances. **J Strength Cond Res**, 21, n. 2, p. 599-605, May 2007.

HAY, J. G.; THAYER, A. M. Flow visualization of competitive swimming techniques: the tufts method. **J Biomech**, 22, n. 1, p. 11-19, 1989.

HOLLANDER, A. P.; DE GROOT, G.; VAN INGEN SCHENAU, G. J.; TOUSSAINT, H. M. *et al.* Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. **J Sports Sci**, 4, n. 1, p. 21-30, Spring 1986.

HOLMÉR, I. Swimming physiology. **The Annals of physiological anthropology**, 11 3, p. 269-276, 1992.

HOPKINS, W. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. **Med. Sci. Sports Exerc.**, 41, p. 3-12, 2009.

HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Med**, 30, n. 1, p. 1-15, Jul 2000.

JASZCZAK, M. J. B. o. S. THE INFLUENCE OF LOWER LIMB MOVEMENT ON UPPER LIMB MOVEMENT SYMMETRY WHILE SWIMMING THE BREASTSTROKE. 28, n. 3, 2011.

KJENDLIE, P.-L.; THORSVALD, K. A tethered swimming power test is highly reliable. **Port J Sport Sci**, 6, n. S2, p. 231-233, 2006.

KOLMOGOROV, S.; DUPLISHCHEVA, O. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. **Journal of biomechanics**, 25, n. 3, p. 311-318, 1992.

LAUDER, M. A.; DABNICHKI, P.; BARTLETT, R. M. Improved accuracy and reliability of sweepback angle, pitch angle and hand velocity calculations in swimming. **Journal of Biomechanics**, 34, n. 1, p. 31-39, 2001.



LÖPPÖNEN, A.; VÄNTTINEN, T.; HAVERINEN, M.; LINNAMO, V. The Effect of Paddle Stroke Variables Measured by Trainesense SmartPaddle&reg; on the Velocity of the Kayak. **Sensors**, 22, n. 3, p. 938, 2022.

MAGLISCHO, C. W.; MAGLISCHO, E. W., 1984, **Tethered and nontethered crawl swimming**.

MAGLISCHO, E. W. **Swimming fastest**. Human kinetics, 2003. 0736031804.

MAGLISCHO, E. W.; DO NASCIMENTO, F. J. S. P. Nadando ainda mais rápido Manole. 1999.

MARINHO, D. A.; BARBOSA, T. M.; ROUBOA, A. I.; SILVA, A. J. The Hydrodynamic Study of the Swimming Gliding: a Two-Dimensional Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis. **J Hum Kinet**, 29, p. 49-57, Sep 2011.

MATSUUCHI, K.; MIWA, T.; NOMURA, T.; SAKAKIBARA, J. *et al.* Unsteady flow field around a human hand and propulsive force in swimming. **Journal of Biomechanics**, 42, n. 1, p. 42-47, 2009/01/05/ 2009.

MORAIS, J. E.; FORTE, P.; NEVILL, A. M.; BARBOSA, T. M. *et al.* Upper-limb kinematics and kinetics imbalances in the determinants of front-crawl swimming at maximal speed in young international level swimmers. **Scientific Reports**, 10, n. 1, p. 1-8, 2020.

MORAIS, J. E.; MARQUES, M. C.; RODRÍGUEZ-ROSELL, D.; BARBOSA, T. M. *et al.* Relationship between thrust, anthropometrics, and dry-land strength in a national junior swimming team. **Phys Sportsmed**, 48, n. 3, p. 304-311, Sep 2020.

MOROUÇO, P. Force production in tethered swimming and its relationship with performance. A new approach to evaluate the anaerobic capacity of swimmers? 01/01 2009.

MOROUÇO, P.; KESKINEN, K. L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J. Relationship Between Tethered Forces and the Four Swimming Techniques Performance. **Journal of Applied Biomechanics**, 27, n. 2, p. 161-169, 01 May. 2011 2011.

MOROUÇO, P.; SOARES, S.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. **Association between 30sec maximal tethered swimming and swimming performance in front crawl**. 2008. (Annual Meeting. American Society of Biomechanics.

MOROUÇO, P. G.; MARINHO, D. A.; FERNANDES, R. J.; MARQUES, M. C. Quantification of upper limb kinetic asymmetries in front crawl swimming. **Hum Mov Sci**, 40, p. 185-192, Apr 2015.

MOROUÇO, P. G.; MARINHO, D. A.; KESKINEN, K. L.; BADILLO, J. J. *et al.* Tethered swimming can be used to evaluate force contribution for short-distance swimming performance. **J Strength Cond Res**, 28, n. 11, p. 3093-3099, Nov 2014.

NAGLE ZERA, J.; NAGLE, E. F.; NAGAI, T.; LOVALEKAR, M. *et al.* Tethered Swimming Test: Reliability and the Association With Swimming Performance and Land-Based Anaerobic Performance. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 35, n. 1, p. 212-220, 2021.

NG, F.; YAM, J. W.; LUM, D.; BARBOSA, T. M. Human thrust in aquatic environment: The effect of post-activation potentiation on flutter kick. **Journal of advanced research** 21, p. 65-70, 2020.

NORBERTO, M. S.; BARBIERI, R. A.; BERTUCCI, D. R.; GOBBI, R. B. *et al.* Beta alanine supplementation effects on metabolic contribution and swimming performance. **Journal of the International Society of Sports Nutrition** 17, n. 1, p. 1-9, 2020.

PAPOTI, M.; DA SILVA, A.; ARAUJO, G.; SANTIAGO, V. *et al.* Aerobic and anaerobic performances in tethered swimming. **International journal of sports medicine**, 34, n. 08, p. 712-719, 2013.

PAPOTI, M.; DA SILVA, A. S.; KALVA-FILHO, C. A.; ARAUJO, G. G. *et al.* Tethered swimming for the evaluation and prescription of resistance training in young swimmers. **International journal of sports medicine**, 38, n. 02, p. 125-133, 2017.

PAPOTI, M.; MARTINS, L.; CUNHA, S.; ZAGATTO, A. *et al.* Standardization of a specific protocol to determine the anaerobic conditioning in swimmers during a 30sec effort using load cells. **J Portuguese Journal of Sports Science**, 3, n. 3, p. 36-42, 2003.

PAPOTI, M.; MARTINS, L. E.; CUNHA, S. A.; ZAGATTO, A. M. *et al.* Effects of taper on swimming force and swimmer performance after an experimental ten-week training program. **J Strength Cond Res**, 21, n. 2, p. 538-542, May 2007.

PAYTON, C.; BALZOPoulos, V.; BARTLETT, R. Contributions of Rotations of the Trunk and Upper Extremity to Hand Velocity during Front Crawl Swimming %J **Journal of Applied Biomechanics**. 18, n. 3, p. 243-256, 01 Aug. 2002 2002.

PEREIRA, G. S.; SCHUT, G. R.; RUSCHEL, C.; ROESLER, H. *et al.* Propulsive force symmetry generated during butterfly swimming. 17, p. 704-712, 2015.

PSYCHARAKIS, S. G.; PARADISIS, G. P.; ZACHAROGIANNIS, E. Assessment of accuracy, reliability and force measurement errors for a tethered swimming apparatus. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, 11, n. 3, p. 410-416, 2011/12/01 2011.

RIBEIRO, J. Análise hidrodinâmica do arrasto passivo e activo nas diferentes técnicas de nado. 2006.

SANDERS, R. H. Hydrodynamic Characteristics of a Swimmer's Hand. **Journal of Applied Biomechanics**, 15, n. 1, p. 3-26, 01 Feb. 1999 1999.

SANTOS, C. C.; MARINHO, D. A.; COSTA, M. J. The mechanical and efficiency constraints when swimming front crawl with the Aquanex System.

SANTOS, C. C.; MARINHO, D. A.; NEIVA, H. P.; COSTA, M. J. Propulsive forces in human competitive swimming: a systematic review on direct assessment methods. **Sports Biomech**, p. 1-21, Aug 9 2021.

SANTOS, K. B.; BENTO, P. C.; PEREIRA, G.; RODACKI, A. L. The Relationship Between Propulsive Force in Tethered Swimming and 200-m Front Crawl Performance. **J Strength Cond Res**, 30, n. 9, p. 2500-2507, Sep 2016.

SONCIN, R.; MEZÊNCIO, B.; FERREIRA, J. C.; RODRIGUES, S. A. *et al.* Determination of a quantitative parameter to evaluate swimming technique based on the maximal tethered swimming test. 16, n. 2, p. 248-257, 2017.

TELLES, T.; BARBOSA, A. C.; CAMPOS, M. H.; JÚNIOR, O. A. Effect of hand paddles and parachute on the index of coordination of competitive crawl-strokers. **Journal of Sports Sciences**, 29, n. 4, p. 431-438, 2011/02/15 2011.

TOUSSAINT, H. M.; HOLLANDER, A. P.; VAN DEN BERG, C.; VORONTSOV, A. J. E. *et al.* Biomechanics of swimming. p. 639-660, 2000.

TOUSSAINT, H. M.; ROOS, P. E.; KOLMOGOROV, S. J. J. o. b. The determination of drag in front crawl swimming. 37, n. 11, p. 1655-1663, 2004.

WEIR, J. P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **J Strength Cond Res**, 19, n. 1, p. 231-240, Feb 2005.

YEATER, R. A.; MARTIN, R. B.; WHITE, M. K.; GILSON, K. H. Tethered swimming forces in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. **Journal of Biomechanics**, 14, n. 8, p. 527-537, 1981/01/01/ 1981.