

RAFAEL SONCIN RIBEIRO

**ANÁLISE DE PARÂMETROS DE FORÇA NA DINAMOMETRIA DE
NADO ATADO E SEMIATADO**

Belo Horizonte – MG

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional / UFMG

2012

RAFAEL SONCIN RIBEIRO

**ANÁLISE DE PARÂMETROS DE FORÇA NA DINAMOMETRIA DE
NADO ATADO E SEMIATADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Esporte.

Área de Concentração: Biomecânica do Esporte

Orientador: Prof. Dr. Leszek Antoni Szmuchrowski

Belo Horizonte – MG

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional / UFMG

2012

R484a Ribeiro, Rafael Soncin
2012 Análise de parâmetros de força na dinamometria de nado atado e semiatado.
[manuscrito] / Rafael Soncin Ribeiro – 2012.
65 f., enc.:il.

Orientador: Leszek Szmuchrowski
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de
Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Bibliografia: f. 29-30

1. Esportes - Treinamento técnico - Teses. 2. Biomecânica - Teses. 3. Natação-
Teses. I. Szmuchrowski, Leszek. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola
de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 796.015: 797.2



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte



Dissertação intitulada **“Análise de parâmetros de força na dinamometria de nado atado e semiatado”**, de autoria do mestrando **Rafael Soncin Ribeiro**, defendida em 29 de março de 2012, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais e submetida à banca examinadora composta pelos professores:

Prof. Dr. Leszek Antoni Szmuchrowski
Departamento de Esportes
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Rudolf Huebner
Departamento de Engenharia Mecânica
Escola de Engenharia
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Bruno Pena Couto
Departamento de Esportes
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 29 de março de 2012.

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Avaliação da Carga (LAC), da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Foram concedidos auxílios financeiros pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo Ministério da Educação e pelo Ministério do Esporte.

Dedico este trabalho a minha mãe Ana, ao meu pai Antônio
e ao meu amigo lá de cima Deus.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais acima de tudo. Por serem meu porto seguro e me tornarem uma pessoa de bom caráter e de bom coração. Pelo apoio em todos os momentos da minha vida. Por todas as manhãs que minha mãe Ana acorda antes de mim pra fazer um lanche antes de eu sair e me espera chegar para jantar comigo. Por todos os dias que meu pai Antônio me liga pra saber como estou e saber se preciso de alguma coisa. Não os troco por nada nesse mundo. Amo muito vocês.

Ao meu amigo lá de cima que ilumina meu caminho e me dá saúde e força para atingir meus objetivos. Obrigado por tudo sempre meu Deus.

Aos meus irmãos Marcelo, Flávio, Rose e, em especial a Jack, em quem confio, admiro e tenho como grande exemplo de fidelidade e sinceridade.

A minha namorada por compreender os momentos ausentes destinados ao mestrado e me apoiar nos meus objetivos.

Ao professor Leszek, pela oportunidade, amizade e confiança desde o início.

A professora Sílvia pela receptividade na minha chegada ao CENESP da UFMG.

Aos membros de outros laboratórios pelos equipamentos emprestados, em especial a Chaveirinho (Crislaine) do GEDAM, acima de tudo minha amiga.

A todos meus verdadeiros amigos com quem posso contar nas horas difíceis. Contem comigo sempre.

Aos amigos que fiz no LAC, que me ajudaram incondicionalmente durante todo mestrado, com quem aprendi muito e demos muitas risadas.

Aos meus alunos que estão comigo desde minha graduação e sempre compreenderam quando tive que remanejar seus horários.

EPÍGRAFE

...Se as pessoas foram feitas para serem amadas e as coisas para serem usadas, por que amamos as coisas e usamos as pessoas...

BOB MARLEY

RESUMO

A força propulsiva e a técnica de nado são fatores determinantes no desempenho do nadador. Os métodos mais específicos para avaliar a força propulsiva são a dinamometria de nado atado e semiatado. Os modelos de regressão conhecidos para avaliar a relação entre a dinamometria de nado atado (R1) e semiatado (R2) e a velocidade de nado consideram somente a força média produzida em cada teste. O objetivo do presente estudo foi propor um modelo de regressão que considere a variação de força ao redor da média para a dinamometria de nado atado (R3) e outro modelo que considere a velocidade pré-determinada do teste para a dinamometria de nado semiatado (R4) e que forneça novos parâmetros quantitativos associados ao desempenho do nadador. Doze nadadores (21.8 ± 4.4 anos, 1.77 ± 0.07 m, 70.6 ± 5.4 kg, 26.3 ± 1.9 s nos 50m livre) com mais de cinco anos de experiência na natação realizaram em ordem aleatória testes de nado livre, dinamometria de nado atado e semiatado. Os resultados para R1 e R3 apresentaram valores próximos de coeficiente de determinação (0.7436 e 0.7539, respectivamente), porém, em R1 o intercepto foi significativamente diferente de zero. Isso sugere que o parâmetro oscilação englobou parte da velocidade média que anteriormente era tida como termo independente da equação. R4 apresentou um r^2 (0.9002) maior que R2 (0.5975), possivelmente por ser o único modelo que considera efetivamente o arrasto atuante sobre o nadador e a velocidade do teste. Dessa forma, os modelos propostos, R3 e R4, parecem ser mais eficientes para avaliar resultados obtidos em testes de dinamometria.

Palavras-chave: nado atado, nado semiatado e oscilação.

ABSTRACT

The propulsive force of swimming and technique are key factors in the performance of swimmer. The more specific methods to evaluate the propulsive force dynamometry are fully tethered swimming and partially tethered swimming. The regression models known to evaluate the dynamometry of the fully tethered swimming (R1) and partially tethered swimming (R2) consider only the mean force produced in each test. The purpose of the study was to propose a regression model for each dynamometer test, considering the force variation around the average for the fully tethered swimming (R3) and the pre-established velocity of the partially tethered swimming (R4). Twelve swimmers (21.8 ± 4.4 years, 1.77 ± 0.07 meters, 70.6 ± 5.4 kg, 26.3 ± 1.9 s as the best time in the 50 meters free swimming) with more than five years of experience in this sport performed in a random order the free swimming, dynamometry of the fully tethered swimming and of the partially tethered swimming. The results for R1 and R3 presented similar values for the r^2 (0.7436 and 0.7539, respectively), however, in R1 the intercept was significant different from zero. This suggests that the oscillation parameter comprised part of the mean velocity that was previously considered as an independent term of the equation. R4 presented a higher r^2 (0.9002) than R2 (0.5975), possibly because it was the only model that effectively considers the drag force on the swimmer and the velocity of the test. In that way, the proposed models, R3 and R4, seem to be more efficiently to evaluate the results obtained by the dynamometer tests.

Key Words: fully tethered swimming, partially tethered swimming and oscillation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Modelo esquemático dos testes de dinamometria	19
--	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Modelos de regressão	23
TABELA 2 - Velocidade média, Força media e parâmetro Oscilação ($M \pm DP$)	24
TABELA 3 - Soma dos quadrados dos erros (SSE), Coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2) das equações de regressão	24
TABELA 4 - Coeficientes e intervalos de confiança (95%) das equações de regressão	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a – coeficiente linear que representa os fatores não considerados pelos parâmetros força média e de oscilação

b – coeficiente angular que representa uma constante de proporcionalidade que engloba os erros embutidos na equação

C_x – coeficiente de arrasto

DP – desvio padrão

F_a – força de arrasto

F_i – força instantânea produzida pelo nadador

\bar{F}_{ft} – força média produzida no nado atado

\bar{F} – força média produzida pelo nadador

F_{pt} – força medida pela célula de carga no nado semiatado

F_m – força necessária para que o nadador se desloque na velocidade pré-estabelecida no nado semiatado

F – força produzida pelo nadador

F_T – força total produzida pelo nadador no nado semiatado

fps – frames por segundo

Hz – hertz

k – constante que substitui $1/2 \rho S C_x$

kg – quilogramas

M – média

m – metros

N – Newton

N – Número amostral de dados de força

O – parâmetro oscilação

ρ – massa específica da água

r – coeficiente de correlação

r^2 – coeficiente de determinação

R1 – modelo de regressão linear para o teste de nado atado

R2 – modelo de regressão linear para o teste de nado semiatado

R3 – modelo de regressão não-linear para o teste de nado atado

R4 – modelo de regressão não-linear para o teste de nado semiatado

S – área de superfície corporal exposta ao escoamento

s – segundos

SSE – soma dos quadrados dos erros

V – velocidade de deslocamento

V_{pt} – velocidade do teste de nado semiatado

\bar{V} – velocidade média

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	HIPÓTESES	17
3	MÉTODO	18
3.1	Amostra	18
3.2	Procedimentos	18
3.3	Coleta de dados	18
3.4	Tratamento dos dados.....	20
3.5	Definição dos parâmetros de força.....	20
3.6	Análise estatística	23
4	RESULTADOS	24
5	DISCUSSÃO	26
6	CONCLUSÃO.....	28
	REFERÊNCIAS.....	29
	ANEXOS	31
	APÊNDICES	33

1 INTRODUÇÃO

A força propulsiva, bem como a técnica de nado, são fatores determinantes no desempenho do nadador (SMITH *et al.*, 2002; AKIS; ORCAN, 2004; MOROUÇO *et al.*, 2011).

Dentre os métodos utilizados para avaliar a força propulsiva durante o nado podemos destacar a dinamometria de nado atado e nado semiatado, considerados testes específicos (DOPSAJ *et al.*, 2003; KJENDLIE; THROSVOLD, 2006). Diversos autores utilizaram modelos lineares de regressão para avaliar a relação entre alguns parâmetros de força e a velocidade média de nado. Tais autores, encontraram em seus estudos uma elevada correlação positiva e significativa da velocidade média de nado com a força média no nado atado (MAGEL, 1970; YEATER *et al.*, 1981; MARINHO, 2002; MOROUÇO *et al.*, 2008; MOROUÇO *et al.*, 2011) e entre a velocidade média de nado e a força média do nado semiatado (CRAIG; BOOMER, 1980).

Costil *et al.* (1986) utilizaram um equipamento isocinético capaz de medir a potência durante o nado semiatado e encontraram uma elevada correlação dessa variável com a velocidade média de nado livre. Klentrou e Monpetit (1991) não encontraram correlações significativas entre a potência de nado e os indicadores de desempenho como, tempo para 100 e 400m e a velocidade máxima nos testes. Mensurar a força produzida pelo nadador parece ser uma das dificuldades para os pesquisadores, pois o atleta deve estar em velocidade constante e abaixo da sua velocidade mínima intracíclica. Caso contrário, não seria mantida a tensão constante sobre o cabo que está fixado ao atleta e então os valores de força mensurados deveriam ser desconsiderados. Para controlar tais variáveis, os trabalhos encontrados utilizaram equipamentos isocinético, que apresentam um elevado custo, e assim a execução de tal teste tem sua aplicabilidade diminuída.

Dopsaj *et al.* (2003) avaliaram a relação entre o pico de força, o impulso e a taxa de desenvolvimento de força obtidos no nado atado com a velocidade de nado. Os autores

encontraram que, em diferentes fases do teste, o impulso e a taxa de desenvolvimento de força poderiam prever o desempenho nos 50m de nado livre, tendo o impulso uma importância maior na equação de regressão.

O ponto comum entre as análises já realizadas é a utilização de um parâmetro médio de força para prever o desempenho, seja ele a força média, o impulso ou a potência média. Dessa forma, aumentando valores de força média, o nadador aumentaria sua velocidade de nado livre.

Porém, devido à natureza quadrática da relação entre força e velocidade na natação (TOUSSAINT *et al.*, 1988), a variação da força ao redor da média pode influenciar diretamente no resultado. Outro fato negligenciado pelos autores é a força gerada pelo nadador para manter a velocidade pré-determinada na dinamometria de nado semiatado. Tais fatos explicariam porque nadadores que geram valores semelhantes de força média no nado atado podem possuir desempenhos variados e também essa divergência de resultados para o nado semiatado, que não ocorre no nado atado.

Com base no supracitado, o objetivo do presente deste estudo foi propor um modelo de regressão que considere a variação de força ao redor da média para a dinamometria de nado atado e outro modelo que considere a velocidade pré-determinada do teste para a dinamometria de nado semiatado, e que forneça novos parâmetros quantitativos associados ao desempenho do nadador.

2 HIPÓTESES

H0a – O modelo de regressão não linear proposto para a dinamometria de nado atado não permitirá considerar a variação da força ao redor da média na equação.

H1a – O modelo de regressão não linear proposto para a dinamometria de nado atado permitirá considerar a variação da força ao redor da média na equação.

H0b – O modelo de regressão não linear proposto para a dinamometria de nado semiatado não permitirá considerar a velocidade pré-determinada do teste na equação.

H1b – O modelo de regressão não linear proposto para a dinamometria de nado semiatado permitirá considerar a velocidade pré-determinada do teste na equação.

3 MÉTODO

3.1 Amostra

Participaram do estudo 12 nadadores com experiência maior que cinco anos na modalidade, com idade média de 21.8 ± 4.4 anos, estatura de 1.77 ± 0.07 m, massa corporal de 70.6 ± 5.4 kg e melhor desempenho na prova de 50m nado livre com o tempo médio de 26.3 ± 1.9 s. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, parecer número 395/08.

3.2 Procedimentos

Os voluntários realizaram um aquecimento padronizado, que consistiu de 300m de nado livre em intensidade submáxima. Em seguida, realizaram três repetições dos testes de dinamometria para familiarização com os mesmos. Posteriormente foram realizadas cinco repetições de cada um dos testes em ordem aleatória com intervalo de 10 minutos entre eles.

Os testes realizados foram nado livre, dinamometria de nado semiatado e dinamometria de nado atado.

3.3 Coleta de dados

No nado livre o voluntário deveria realizar um *sprint* máximo de 25m, iniciando de dentro da piscina com impulsão na parede, e era registrado por uma câmera (A602fc, Basler[®], Alemanha) com frequência de aquisição de 100fps. Foi mensurada a velocidade média nos 12m intermediários. A câmera foi posicionada fora da piscina perpendicularmente a direção de nado.

No teste de dinamometria de nado semiatado o nadador utilizava um cinto ligado a um cabo de aço fixado a uma célula de carga (JBA, Zb *Staniak*[®], Polônia) com frequência de amostragem de 1000Hz, conectada a um amplificador (WTM 005, *Jaroslaw Doliriski Systemy Mikroprocesorowe*[®], Polônia) em interface com o software MAX (v. 5.5 JBA, Zb

Staniak[®] - Polônia). Esta célula de carga por sua vez, estava ligada a um segundo cabo que ficava acima da piscina ligado a um motorvariador (RX-400, *Ringcone*[®], Brasil) conforme FIGURA 1.

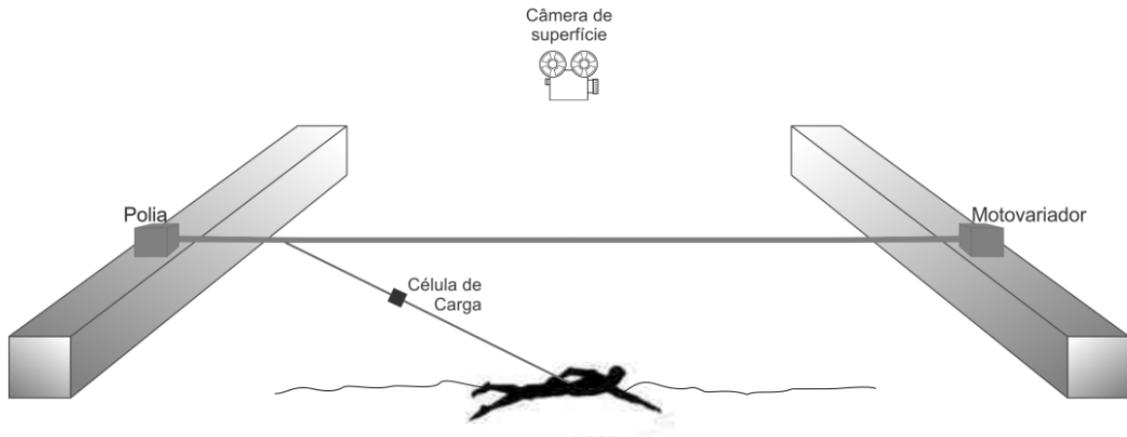


FIGURA 1 - Modelo esquemático dos testes de dinamometria

FONTE: criada pelo próprio autor

A câmera de superfície e a célula de carga foram calibradas previamente a cada sessão de testes.

O teste foi realizado com a velocidade de 0.60m/s. Segundo Costill *et al.* (1986), para se medir a força em um teste de nado semiatado, a velocidade preestabelecida do teste não deve exceder 0.70m/s, pois tal velocidade encontra-se abaixo da velocidade mínima intracíclica no nado crawl.

Inicialmente o nadador realizava o nado em velocidade submáxima para esticar o cabo. Durante o nado submáximo era emitido um sinal sonoro para que, após este sinal, o voluntário realizasse o maior esforço possível sem executar a respiração por 10 ciclos de braçada. Juntamente com o sinal sonoro o motorvariador era ativado, fazendo com que o nadador se deslocasse a uma velocidade constante durante o teste. Os dados de força foram registrados durante todo o teste, porém, foram analisados apenas cinco ciclos de braçada, do quarto ao oitavo.

O teste de dinamometria de nado atado foi realizado da mesma forma que o teste semiatado, porém, o motovariador não era acionado, desta forma não havia deslocamento do nadador durante o teste.

3.4 Tratamento dos dados

Os dados de vídeo foram digitalizados no software *SIMI motion* (v. 7.0, SIMI Reality Motion Systems, Alemanha). Os dados de força foram tratados no software *Matlab*TM (v. 2009b, The MathWorksTM, EUA) e filtrados com um filtro passa baixa do tipo *Butterworth* de sexta ordem com frequência de corte de 16Hz.

Como a célula de carga foi fixada em um cabo suspenso sobre a piscina, houve uma inclinação entre a orientação da célula de carga e a direção do nado. Para corrigir os valores de força, eles foram multiplicados pelo cosseno do ângulo formado entre a direção do nado e a inclinação do cabo (XIN-FENG *et al.*, 2007). Este ângulo foi medido em cada ciclo de braçada a partir dos dados da filmagem de superfície.

Uma possível fonte de ruído para a medição da força nos testes de dinamometria de nado atado e semiatado é a movimentação do cabo de aço principal, porém Xin-Feng *et al.* (2007), que também utilizaram um cabo de aço suspenso, verificou que a média do ruído gerado pela movimentação do cabo era igual a zero, e, por isso, não afetaria os valores médios de força.

Foi calculada a força média realizada nos ciclos válidos dos testes de dinamometria, a velocidade média nos ciclos válidos para os testes de nado livre e semiatado e o parâmetro de oscilação para o nado atado. O parâmetro oscilação representa a variação da força ao redor da média.

3.5 Definição dos parâmetros de força

Para deduzir as equações de regressão, foi considerado que a relação entre força de arrasto e a velocidade é quadrática (EQUAÇÃO 1):

$$F_a = \frac{1}{2} \rho S C_x V^2 \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde F_a é a força de arrasto, ρ a massa específica da água, S a área de superfície corporal exposta ao escoamento, C_x o coeficiente de arrasto e V a velocidade de deslocamento. Considerando que ρ e S são constantes e C_x influencia a força de arrasto de maneira linear, o produto $1/2 \rho S C_x$ foi substituído por uma constante k . Considerando que na maior velocidade média de nado as forças propulsivas e de arrasto se igualam (HOLLANDER *et al.*, 1986), temos que (EQUAÇÃO 2):

$$V = \sqrt{\frac{F}{k}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde F é a força produzida pelo nadador. Calculando os valores médios e considerando a EQUAÇÃO 3 temos a EQUAÇÃO 4:

$$F_i = \bar{F} \frac{F_i}{\bar{F}} \quad \text{Eq.(3)}$$

$$\bar{V} \approx \sqrt{\frac{\bar{F}}{k}} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{F_i}{\bar{F}}} \quad \text{Eq.(4)}$$

Onde \bar{F} é a força média produzida pelo nadador. O segundo parâmetro da equação foi denominado “Oscilação” (EQUAÇÃO 5):

$$O = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{F_i}{\bar{F}}} \quad \text{Eq.(5)}$$

O parâmetro oscilação, O , avalia a magnitude da variação da força ao redor da força média. Considerando que a oscilação da curva força em função do tempo é

determinada principalmente pela técnica de nado, o parâmetro oscilação representa um índice de eficiência da técnica de nado.

Esse modelo foi aplicado para o nado atado. Foi assumido que a relação entre os parâmetros citados e a velocidade é linear, portanto o modelo de regressão foi (EQUAÇÃO 6):

$$\bar{V} \approx a + b\sqrt{\bar{F}_{ft}} O \quad \text{Eq.(6)}$$

Onde \bar{F}_{ft} é a força média do nado atado. Desta forma, o coeficiente a representa os fatores não considerados pelos parâmetros força média e oscilação, e o coeficiente b uma constante de proporcionalidade que engloba os erros embutidos na equação pelos pressupostos assumidos.

Para o teste de nado semiatado, é necessário considerar que a força medida pela célula de carga (F_{pt}) representa a força total produzida pelo nadador (F_T) menos a força necessária para que este se desloque na velocidade pré-estabelecida do teste (F_m) (EQUAÇÃO 7).

$$F_{pt} = F_T - F_m \quad \text{Eq.(7)}$$

Substituindo a EQUAÇÃO 2 na EQUAÇÃO 7 e rearranjando os termos, temos (EQUAÇÃO 8):

$$\bar{V} \approx \sqrt{\frac{F_{pt}}{k} + V_{pt}^2} \quad \text{Eq.(8)}$$

Onde V_{pt} é a velocidade do nado semiatado. Não foi possível extrair outro parâmetro desta equação e, portanto os valores médios foram utilizados, mesmo sabendo que isso desconsidera os efeitos da oscilação no resultado final.

Também foi assumido que a relação entre os parâmetros da EQUAÇÃO 8 e a velocidade é linear. Dessa forma o modelo de regressão para o nado semiatado é apresentado na EQUAÇÃO 9, tendo os coeficientes a mesma interpretação do modelo anterior:

$$\bar{V} \approx a + b \left(\sqrt{\frac{\bar{F}_{pt}}{k} + V_{pt}^2} \right) \quad \text{Eq.(9)}$$

3.6 Análise estatística

Com objetivo de relacionar os dados de força de ambos os testes com o desempenho específico da modalidade, foram calculados os coeficientes de quatro equações de regressão pelo método dos mínimos quadrados. Além dos dois modelos propostos acima, também foram calculadas as regressões lineares entre a força média dos testes e a velocidade, a fim de comparar a resposta dos modelos tradicionais com os propostos neste estudo. Para avaliar a qualidade do ajuste foram calculados a soma dos quadrados dos erros (SSE), o coeficiente de correlação (r) e o coeficiente de determinação (r²) das equações. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. Os modelos de regressão (R1, R2, R3 e R4) adotados foram resumidos na TABELA 1.

TABELA 1 - Modelos de regressão

Modelo	Teste de dinamometria	Variáveis do modelo	Equação de regressão
R1	Atado	$\bar{F}_{ft} \times \bar{V}$	$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{ft}$
R2	Semiatado	$\bar{F}_{pt} \times \bar{V}$	$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{pt}$
R3	Atado	$\bar{F}_{ft} \times O \times \bar{V}$	$\bar{V} \approx a + b\sqrt{\bar{F}_{ft}} O$
R4	Semiatado	$\bar{F}_{pt} \times V_{pt} \times \bar{V}$	$\bar{V} \approx a + b \left(\sqrt{\frac{\bar{F}_{pt}}{k} + V_{pt}^2} \right)$

4 RESULTADOS

A TABELA 2 apresenta os valores de média (M) e desvio padrão (DP) das variáveis analisadas.

TABELA 2 - Velocidade média, Força media e parâmetro Oscilação (M ± DP)

	Velocidade Média (m/s)		Força Média (N)		
	Livre (\bar{V})	Semiatado (V_{pt})	Atado (\bar{F}_{ft})	Semiatado (\bar{F}_{pt})	Oscilação (O)
$M \pm DP$	1.81 ± 0.19	0.59 ± 0.05	117.03 ± 18.28	98.56 ± 17.16	0.979 ± 0.009

A TABELA 3 apresenta os valores de SSE, r e r² para as equações de regressão. Todas as equações de regressão apresentaram altas correlações positivas e significativas (r>0.70 e p<0.05) entre os parâmetros de força e a velocidade média do nado livre.

TABELA 3 - Soma dos quadrados dos erros (SSE), Coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r²) das equações de regressão

Equações de regressão	SSE	r	r ²
$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{ft}$	0.1066	0.8565*	0.7336
$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{pt}$	0.1592	0.7730*	0.5975
$\bar{V} \approx a + b\sqrt{\bar{F}_{ft}} O$	0.0984	0.8683*	0.7539
$\bar{V} \approx a + b\left(\sqrt{\frac{\bar{F}_{pt}}{k} + V_{pt}^2}\right)$	0.0395	0.9488*	0.9002

* Correlação significativa ao nível de p<0.05

A TABELA 4 apresenta os valores dos coeficientes a , b e k para as equações de regressão.

TABELA 4 - Coeficientes e intervalos de confiança (95%) das equações de regressão

Equações de regressão	a	b	k
$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{ft}$	0.7654 (0.3165 - 1.2140)	0.0089 (0.0051 - 0.0127)	--
$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{pt}$	1.0030 (0.5298 - 1.4770)	0.0837 (0.03529 - 0.1321)	--
$\bar{V} \approx a + b\sqrt{\bar{F}_{ft}O}$	-0.3013 (-1.1540 - 0.5515)	1.1999 (0.1194 - 0.2804)	--
$\bar{V} \approx a + b\left(\sqrt{\frac{\bar{F}_{pt}}{k} + V_{pt}^2}\right)$	-0.6075 (-1.2170 - 0.0017)	3.1760 (2.2250 - 4.1270)	41.2100 (5.5570 - 76.8500)

5 DISCUSSÃO

Não foram encontrados trabalhos que utilizaram outros modelos de regressão diferentes de R1 e R2. Pesquisadores que estudaram a relação entre a velocidade média de nado livre e as variáveis de força obtidas na dinamometria de nado atado (MAGEL, 1970; YEATER *et al.*, 1981; MARINHO, 2002; DOPSAJ *et al.*, 2003; MOROUÇO *et al.*, 2008; MOROUÇO *et al.*, 2011) e semiatado (CRAIG; BOOMER, 1980; COSTILL *et al.*, 1986; KLENTROU; MONPETIT, 1991) utilizaram a equação R1 e R2, respectivamente.

A relação linear entre a força média do nado semiatado e a velocidade média de nado livre (R2) apresentou os menores valores de coeficiente de determinação ($r^2=0.5975$). Costill *et al.* (1986) também encontraram correlação positiva e significativa entre a potência de nado semiatado e velocidade média de nado livre com $r^2=0.7056$, bem como o coeficiente a em seu foi significativamente maior do que zero ($a=1.575$). Klentrou e Monpetit (1991), no entanto, não encontraram correlação significativa entre as variáveis e não reportaram os valores dos coeficientes a , b e r , porém, como a amostra do estudo foi composta por 25 voluntários sabe-se que o r^2 foi menor do que 0.1722. Tal resultado era esperado, pois essa relação não considera a força necessária para gerar o deslocamento do nadador na velocidade de teste. O valor apresentado pelo coeficiente a no presente estudo também foi o maior entre as equações analisadas ($a=1.003$), significativamente diferente de zero ($p<0.05$). Esta diferença sugere que uma parcela significativa da velocidade independe da força média avaliada no teste semiatado.

As equações baseadas no teste de nado atado (R1 e R3) apresentaram valores semelhantes de correlação, indicando que apresentam a mesma qualidade de ajuste $r^2=0.7336$ para R1 e $r^2=0.7539$ para R3. Porém, o coeficiente a de R1 foi significativamente diferente de zero, enquanto o de R3 não diferiu significativamente de zero. Isso sugere que embora a qualidade do ajuste entre R1 e R3 seja semelhante,

parte da magnitude da velocidade média, que não era associada à força média em R1, foi associada ao produto da raiz quadrada da força média e do parâmetro oscilação em R3. Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores que utilizaram um modelo análogo a R1 para estudar a relação entre a força média de nado atado e a velocidade média de nado livre (YEATER *et al.*, 1981; MARINHO, 2002; MOROUÇO *et al.*, 2008; MOROUÇO *et al.*, 2011). Todos os trabalhos apresentaram correlações significativas, com valores de r^2 variando de 0.6400 a 0.8873. O coeficiente a destes estudos variou de 1.2572 a 1.5291, valores elevados considerando que a velocidade de nado destes estudos variou de 1,65 a 1,92 m/s. Destes, apenas Marinho (2002) reportou o intervalo de confiança da regressão, em que o coeficiente a de 1.2906 diferiu significativamente de zero. Desta forma, os resultados obtidos no presente estudo indicam que os parâmetros de força média e oscilação se mostraram eficientes como indicadores de desempenho para natação, sendo a oscilação efetivamente um parâmetro quantitativo para técnica de nado.

O modelo R4 apresentou o maior valor de r^2 entre as equações analisadas (0.9002). Possivelmente isso ocorre por esta ser a única equação que considera as forças de arrasto atuantes no nadador. Desta forma, ela pode avaliar com maior especificidade a influência da técnica na velocidade. Essa hipótese é suportada pelo fato do coeficiente k apresentar valores significativamente diferentes de zero. Em R3 o coeficiente k não foi incluído no modelo de regressão, pois é esperado que em velocidade zero não houvesse interferência do arrasto, o que naturalmente inviabiliza a estimativa correta do coeficiente k , que é derivado do coeficiente de arrasto.

6 CONCLUSÃO

Os dados do estudo apontam que o parâmetro oscilação poderia ser utilizado como um indicador quantitativo da técnica de nado, influenciando o desempenho juntamente com a força média desenvolvida pelo nadador. Sugere-se que novos estudos sejam realizados com o intuito de verificar tal teoria. O elevado coeficiente de determinação de 0.9002 em R4 e a consistência dos valores do coeficiente k sugerem que a dinamometria de nado semiatado possa vir a ser utilizada para estimar o produto coeficiente de arrasto e área de superfície corporal exposta ao escoamento. Porém, para obtenção de valores mais fidedignos ou ainda individuais seriam necessários testes em grandes amostras com características específicas ou alterações no modelo seguido. Desta forma, mesmo com R4 tendo apresentado os melhores resultados de r^2 , a análise dos parâmetros de força média e de oscilação obtidos pelo nado atado em R3 parecem ser os mais importantes para treinadores e atletas.

REFERÊNCIAS

AKIS, T.; ORCAN, Y. Experimental and analytical investigation of the mechanics of *crawl* stroke swimming. **Mechanics Research Communications**, 31, 243–261, 2004.

COSTILL, D. L.; RAYFIELD, F.; KYRWAN, J.; THOMAS, R. A Computer based system for the measurement of force and power during front crawl swimming. **Journal of Swimming Research**, 2, 16–19, 1986.

CRAIG, A. B.; BOOMER, W. F. Relationships between tethered and free swimming the front crawl stroke. **Journal of Biomechanics**, 13, 194–195, 1980.

DOPSAJ, M.; MATKOVIC, I.; ZDRAVKOVIC, I. The relationships between 50m - freestyle results and characteristics of tethered forces in male sprint swimmers: a new approach to tethered swimming test. **Facta Universitatis : Physical Education and Sports**, 1, 15–20, 2003.

HOLLANDER, A. P. *et al.* Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. **Journal of Sports Sciences**, 4, 21–30, 1986.

KJENDLIE, P. L.; THORSVALD, K. A tethered swimming power test is highly reliable. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, 6, 231–233, 2006.

KLENTROU, P. P.; MONPETIT, R. R. Physiologic and physical correlates of swimming performance. **Journal of Swimming Research**, 7, 13–18, 1991.

MAGEL, J. R. Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. **Research Quarterly**, 41, 68–74, 1970.

MARINHO, P. C. S. **Mensuração da força propulsora mediante o emprego do “nado amarrado” e sua relação com a velocidade básica de nadadores.** 2002. 121f.

[Dissertação de Mestrado em Educação Física]. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MOROUÇO, P. *et al.* Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. **Journal of Applied Biomechanics**, 27, 161–169, 2011.

MOROUÇO, P. *et al.* Association between 30sec maximal tethered swimming and swimming performance in front crawl. **North American Congress on Biomechanics**, Ann Arbor, Michigan, USA. 2008

SMITH, D. J.; NORRIS, S. R.; HOGG, J. M. Performance evaluation of swimmers: scientific tools. **Sports Medicine**, 32, 539–554, 2002.

TOUSSAINT, H. M. *et al.* Active drag related to velocity in male and female swimmers. **Journal of Biomechanics**, 21, 435–438, 1988.

XIN-FENG, W. *et al.* A new device for estimating active drag in swimming at maximal velocity. **Journal of Sports Sciences**, 25, 375–379, 2007.

YEATER, R. A. *et al.* Tethered swimming in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. **Journal of Biomechanics**, 14, 527–537, 1981.

ANEXOS

ANEXO A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TERMINOLOGIA OBRIGATÓRIO EM ATENDIMENTO A RESOLUÇÃO 196/96 - CNS-MS)

Ao ser convidado a participar como voluntário do estudo intitulado “Análise de parâmetros de força na dinamometria de nado atado e semiatado” fui informado dos procedimentos deste projeto, em que os participantes serão avaliados quanto ao (s): teste de dinamometria de nado atado, teste de dinamometria de nado semiatado e teste de nado livre, os procedimentos serão realizados em um dia. Este visa determinar novos parâmetros de força para avaliação de nadadores.

O horário será estabelecido conforme a conveniência do participante e dos pesquisadores. Estes procedimentos são gratuitos, as informações são sigilosas e utilizadas apenas com fins de estudos.

Os resultados obtidos serão apresentados tanto aos participantes quanto para a comunidade científica, e no caso desta última, sempre serão resguardados os nomes dos voluntários.

Eu discuti os riscos e benefícios da minha participação neste estudo com os pesquisadores envolvidos. Eu li e compreendi todos os procedimentos que envolvem esta pesquisa e tive tempo suficiente para considerar a minha participação. Eu perguntei e obtive as respostas para todas as minhas dúvidas. Eu sei que posso me recusar a participar deste estudo ou que posso abandoná-lo a qualquer momento sem qualquer tipo de constrangimento. Eu também compreendo que os pesquisadores podem decidir a minha exclusão do estudo por razões científicas, sobre as quais eu serei devidamente informado.

Portanto, aqui forneço o meu consentimento para participar do estudo intitulado: “Análise de parâmetros de força em testes de dinamometria de nado atado e semiatado”.

O presente termo de consentimento é feito de livre e espontânea vontade, sendo que o mesmo é assinado nesta data, em duas vias (sendo uma via minha) para que produza seus efeitos éticos, jurídicos e legais.

Belo Horizonte, _____ de _____ de 2011.

Assinatura do voluntário

Declaro que expliquei os objetivos desse estudo, dentro dos limites dos meus conhecimentos científicos.

Assinatura do pesquisador responsável

Pesquisadores:

Prof. Dr. Leszek Antoni Szmuchowski
Av. Presidente Carlos Luz, 6627 / CENESP/EEFFTO/UFMG, Belo Horizonte - MG
Tel: 31-3499-2326
leszek@eef.ufmg.br

Rafael Soncin Ribeiro
Rua Viriato Alexandrino de Melo 80ª, Betim - MG
Tel: 31-9142-6588
rafaelsoncin@yahoo.com.br

Comitê de Ética em Pesquisa
Av. Antônio Carlos, 6627 – Campos Pampulha
Unidade Administrativa II – 2º andar – Sala: 2005
Belo Horizonte – CEP: 31270-901
Tel: COEP (31) 3409- 4592

ANEXO B



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

Parecer nº. ETIC 395/08

**Interessado(a): Prof. Leszek Antoni Szmuchrowski
Departamento de Esportes
EEFFTO - UFMG**

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 03 de março de 2009, após atendidas as solicitações de diligência, o projeto de pesquisa intitulado **"Mensuração do arrasto ativo baseado na diferença da medida de força propulsiva em nado completamente amarrado e parcialmente amarrado"** bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.

**Profa. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG**

APÊNDICES

APÊNDICE A

Artigo submetido à **SPORTS BIOMECHANICS**

Determination of a parameter for quantitative evaluation of swimmers technique based on test of dynamometry of Fully Tethered Swimming

Key-words: dynamometry, fully tethered swimming, oscillation

Rafael Soncin¹, Bruno Mezêncio², Sara Andrade Rodrigues¹, João Gustavo de Oliveira Claudino², Rudolf Huebner³, Julio Cerca Serrão², Bruno Pena Couto¹, Leszek Antoni Szmuchrowski¹

¹ Federal University of Minas Gerais, Load Evaluation Laboratory

² São Paulo University, Biomechanical Laboratory

³ Federal University of Minas Gerais, Mechanical Engineering Department

Rafael Soncin, rafaelsoncin@yahoo.com.br, +55 31 9142-6588, Viriato Alexandrino de Melo Street, 80-A, Guarujá, Betim, Minas Gerais, Brazil.

Reviewers:

Sergei V. Kolmogorov, Department of Physical Education and Sport Pomor State University, Arkhangelsk, Russia. Contact: kolmogorov@pomorsu.ru

Huub M Toussaint, Institute for Fundamental and Clinical Human Movement Science,
Academy for Physical Education, University of Professional Education, Amsterdam,
Netherlands. Contact: h_m_toussaint@fbw.vu.nl

Abstract

The regression models known to evaluate the dynamometry of the fully tethered swimming (R1) consider only the mean force produced in each test. The purpose of the study was to propose a regression model for the dynamometry of the fully tethered swimming test which consider the force variation around the average (R2), been determinate a new parameter, denominate as oscillation. Twelve swimmers (21.8 ± 4.4 years, $1.77 \pm .07$ meters, 70.6 ± 5.4 kg, 26.3 ± 1.9 s in the 50 meters free swimming) with more than five years of experience in this sport performed in a random order the free swimming, dynamometry of the fully tethered swimming. The results for R1 and R2 presented similar values for r^2 (.7436 and .7539, respectively), however, in R1 the intercept was significant different from zero. This suggests that the oscillation parameter comprised part of the mean velocity that was previously considered as an independent term of the equation. This parameter therefore allows a quantitative assessment of the swimming technique influencing the performance coupled with mean force produced by the athlete. Thus, the analysis of mean force and oscillation parameters obtained by R2, may be used to control and planning of swimmers training.

Key-words: dynamometry, fully tethered swimming, oscillation

Introduction

The propulsive force, as the swimming technique are determining factors on the performance of the swimmer (Smith, Norris & Hogg, 2002; Akis & Orcan, 2004; Morouço, Keskinen, Vilas-Boas & Fernandes, 2011).

Among the methods used to evaluate this force during swimming we can highlight the test of dynamometry of fully tethered swimming which is considered a valid and specific method (Dopsaj, Matkovic & Zdravkovic, 2003; Kjendlie & Throsvald, 2006). Many authors found in their studies a high correlation between the mean velocity and the mean force of the fully tethered swimming (Magel, 1970; Yeater, Martin, White & Gilson, 1981; Marinho, 2002; Morouço, Soares, Vilas-Boas & Fernandes, 2008; Morouço *et al.*, 2011).

Thus, increasing the mean force values, the athlete would increase its swimming velocity.

However, due to the exponential nature of the relationship between force and velocity in swimming (Toussaint *et al.*, 1988), the force variation around the average directly influences the mean velocity. These variations are result of the different technical gestures that the swimmer executes to generate propulsion.

This explains why swimmers with similar average force may have different performances.

The purpose of the study was propose a new parameter of force that is associated with swimming technique and performance of the swimmer in a regression model that considers the exponential relationship between force and velocity.

Method

Volunteered for this study 12 swimmers with more than 5 years of experience in this sport, with mean age of 21.8 ± 4.4 years, height of 1.77 ± 0.07 meters, body mass of 70.6 ± 5.4 kg and 26.3 ± 1.9 seconds as the best time in the 50 meters free style. The

study was approved by the ethical committee in research of the Federal University of Minas Gerais.

The volunteers performed a standardized warm up and after three repetitions of the dynamometry test of the fully tethered swimming for familiarization. Then five repetitions were performed for each test in a random order at intervals of 10 minutes between them.

The tests performed were free swimming and dynamometry of the fully tethered swimming.

In the free swimming the athlete should perform a maximal sprint of 25 meters beginning with impulsion at the wall of the swimming pool and it was registered by a camera (A602fc, *Basler*[®], Germany) with acquisition frequency of 100fps. The mean velocity of the twelve intermediated meters was measured.

In the dynamometry test of the fully tethered swimming the athlete used a belt connected to a steel cable fixed in a force cell (JBA, Zb *Staniak*[®], Poland) with a sampling frequency of 1000Hz connected to an amplifier (*WTM 005, Jaroslaw Doliriski Systemy Mikroprocesorowe*[®], Poland) in interface with the software MAX (v. 5.5 JBA, Zb *Staniak*[®] - Poland). This in turn was connected to a second cable which was above the pool according to figure 1.

Figure 1 – Schematic model of the dynamometer tests

The athlete was instructed to swim in a sub maximal velocity to stretch the cable. During the sub maximal swimming, an audible sign was issued so the athlete could start a maximal effort without breathing for 10 stroke cycles. The force data were registered

during the whole test although only five stroke cycles were analyzed, from the fourth until the eighth.

As the force cell was fixed in a suspended cable above the swimming pool, there was an inclination among the orientation of the force cell and the direction of the swim. To correct the force values, they were multiplied by the cos of the angle formed between the direction of the swim and the cable inclination (Xin-Feng, Lian-Ze, Wei-Xing, De-Jian & Xiong, 2007). This angle was measured using data from filming surface

The video data were digitalized in the SIMI *motion software* (v. 7.0, SIMI Reality Motion Systems, Germany). The force data were treated in the Matlab™ software (v. 2009b, The MathWorks™, EUA) and were filtered with a lowpass filter type sixth-order Butterworth with a cutoff frequency of 16Hz.

The mean force performed in the valid stroke cycles of the dynamometry tests, the mean velocity in the valid stroke cycles in the free style swim and a parameter called Oscillation were calculated

To deduce the regression equation is judged that the relation between the drag force and the speed is quadratic (Equation 1):

$$F_a = \frac{1}{2} \rho S C_x V^2 \quad \text{Eq.(1)}$$

Where F_a is the drag force, ρ is the specific mass of the water, S is the body surface area exposed to the flow, C_x the drag coefficient and, V the displacement velocity. Considering that ρ and S are constant and C_x influences the drag force in a

linear way, the product $1/2 \rho S C_x$ was replaced by a constant k , and considering that in the highest mean velocity of the swim the propulsive forces and drag forces are equalized (Hollander et. al., 1985), we have that (Equation 2):

$$V = \sqrt{\frac{F}{k}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Where, F is the force produced by the athlete. Calculating the mean values and considering the equation 3 we have (Equation 4):

$$F_i = \bar{F} \frac{F_i}{\bar{F}} \quad \text{Eq.(3)}$$

$$\bar{V} \approx \frac{\sqrt{\bar{F}}}{k} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{F_i}{\bar{F}}} \quad \text{Eq.(4)}$$

Where, \bar{F} is the mean force produced by the athlete. The second parameter of the equation was denominated "Oscillation" (Equation 5):

$$O = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{F_i}{\bar{F}}} \quad \text{Eq.(5)}$$

The oscillation parameter, O , evaluates the magnitude of the force variation around the average force. Considering that the oscillation of the curve force x time is

determinate mainly by the swim technique, the oscillation parameter represents an efficiency index for the swim technique.

It was assumed that the relationship between the above parameters and the velocity is linear, so the regression model was (Equation 6):

$$\bar{V} \approx a + b\sqrt{\bar{F}_{ft}}O \quad \text{Eq.(6)}$$

Where \bar{F}_{ft} is the mean force of the fully tethered swimming. In that way, the coefficient a represents the factors that were not considered by the mean force parameter and oscillation, and the parameter b is a constant of proportionality, which includes the errors embedded in the equation for the assumptions made.

In order to relate the force data with the specific performance of the modality the coefficients of two regression equations were calculated by the method of least squares. Beyond the model proposed above, equation 6, the linear regression between the mean force and velocity was also calculated, to compare the answer of the traditional model with the one proposed in this paper. Were calculated the sum of squared errors (SSE) to assess the quality of the adjustment, the correlation coefficient (r) and the determination coefficient (r^2). The level of significance was set at $p < .05$. Table 1 summarizes the regression models adopted (R1, R2).

Table 5 – Regression Models

Results

Table 2 presents the average and standard deviation values for the analyzed variables.

Table 6 – Mean velocity, mean force and Oscillation parameter ($M \pm SD$)

Table 3 presents the values for SSE, r and r^2 for the regression equations. All the regression equations presented high positive and significant correlations ($r > .70$ and $p < .05$) between the force and mean velocity of free swimming parameters.

Table 3 – Sum of Squared Errors (SSE), Correlation Coefficient (r) and Determination Coefficient (r^2) for the regression equations

Table 4 presents the coefficients a and b for the regression equations.

Table 4 – Coefficients and Confidence Interval (95%) a and b for the regression equations

Discussion

The equations based on the fully tethered swimming presented similar correlation values, indicating that they have the same quality of adjustment $r^2 = .7336$ for R1 and $.7539$ for R2. However, the coefficient a of R1 was significantly different from zero,

while the R2 was not significantly different from zero. This suggests that although the quality of adjustment between R1 and R2 are similar, the magnitude of the average velocity that was not associated to the average force in R1 was associated with the product of the square root of the mean force and oscillation in R2. Similar results were found by other authors that used a linear regression model to study the relation between mean force for the fully tethered swimming and the swim velocity, similar to R1 used in the present study (Yeater *et al.*, 1981; Marinho, 2002; Morouço *et al.*, 2008; Morouço *et al.*, 2011). All papers presented significant correlations, with values for r^2 ranging from .6400 to .8873. The coefficient a for these studies ranged from 1.2572 to 1.5291, high values considering that the swim velocity of these studies ranged from 1.65 to 1.92 m/s. Of these, only Marinho (2002) reported the confidence interval of the regression, where the coefficient a of 1.2906 was significantly different from zero. In that way the mean force and oscillation parameters proved to be efficient as indicators of performance for swimming, being the oscillation an effectively quantitative parameter for swimming technique.

Table 5 presents the individual values for the Oscillation parameter and its descriptive statistical. The values of oscillation varies in a margin very close to the maximum of the parameter, yet it is possible to observe a range of 3.65 standard deviation in a sample with a variation coefficient of 10.49% in the 50m free swimming performance, showing the sensitivity of the parameter.

Table 5 - individual values for the Oscillation parameter and its descriptive statistical

Conclusion

The data of this study indicate that the oscillation parameter may be used as a quantitative indicator for the swimming technique, influencing the performance coupled with mean force produced by the athlete. Thus, the analysis of mean force and oscillation parameters obtained by the fully tethered swimming, R2, may be used to control and planning of swimmers training.

References

- Akis, T., & Orcan, Y. (2004). Experimental and analytical investigation of the mechanics of *crawl* stroke swimming. *Mechanics Research Communications*, 31, 243–261.
- Dopsaj, M., Matkovic, I., & Zdravkovic, I. (2003). The relationships between 50m - freestyle results and characteristics of tethered forces in male sprint swimmers: a new approach to tethered swimming test. *Facta Universitatis - Physical Education and Sports*, 1, 15–20.
- Kjendlie, P. L., & Thorsvald, K. (2006). A tethered swimming power test is highly reliable. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6, 231–233.
- Magel, J. R. (1970). Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. *Research Quarterly*, 41, 68–74.
- Marinho, P. C. S. (2002). Mensuração da força propulsora mediante o emprego do “nado amarrado” e sua relação com a velocidade básica de nadadores. (Tese de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP.
- Morouço, P., Keskinen, K. L., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2011). Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27, 161–169.
- Morouço, P., Soares, S., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2008). Association between 30sec maximal tethered swimming and swimming performance in front crawl. *North American Congress on Biomechanics*, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Smith, D. J., Norris, S. R., & Hogg, J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers: scientific tools. *Sports Medicine*, 32, 539–554.

Toussaint, H. M., Groot, G., Savelberg, H. H. C. M., Vervoorn, K., Hollander, A. P. & Van Ingen Schenau, G. J. (1988). Active drag related to velocity in male and female swimmers. *Journal of Biomechanics*, *21*, 435–438.

Yeater, R. A., Martin, B. R., White, M. K. & Gilson, K. H. (1981). Tethered swimming in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. *Journal of Biomechanics*, *14*, 527–537.

Xin-Feng, W., Lian-Ze, W., Wei-Xing, Y., De-Jian, L., & Xiong, S. (2007). A new device for estimating active drag in swimming at maximal velocity. *Journal of Sports Sciences*, *25*, 375–379.

Table 1 – Regression Models

Model	Model Variables	Regression Equation
R1	$\bar{F}_{ft} \times \bar{V}$	$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{ft}$
R2	$\bar{F}_{ft} \times O \times \bar{V}$	$\bar{V} \approx a + b\sqrt{\bar{F}_{ft}}O$

Table 2 – Mean velocity, mean force and Oscillation parameter ($M \pm SD$)

	Mean velocity free style (\bar{V})	Mean force fully tethered swimming (\bar{F}_{ft})	Oscillation (O)
$M \pm SD$	1.81 \pm .19 m/s	117.03 \pm 18.28 N	.98 \pm .01

Table 3 – Sum of Squared Errors (SSE), Correlation Coefficient (r) and Determination Coefficient (r^2) for the regression equations

Regression Equations	SSE	r	r^2
$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{ft}$.1066	.8565*	.7336
$\bar{V} \approx a + b\sqrt{\bar{F}_{ft}}O$.0984	.8683*	.7539

* Significant correlation set at $p < .05$

Table 4 – Coefficients and Confidence Interval (95%) a and b for the regression equations

Regression Equation	a	b
$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{ft}$.7654 (.3165 - 1.2140)	.0089 (.0051 - .0127)
$\bar{V} \approx a + b\sqrt{\bar{F}_{ft}}O$	-.3013 (-1.1540 - .5515)	0.1999 (.1194 - .2804)

Table 5 - individual values for the Oscillation parameter and its descriptive statistics

Volunteer	Oscillation
1	.984
2	.970
3	.983
4	.981
5	.970
6	.987
7	.976
8	.962
9	.983
10	.994
11	.974
12	.984
Minimum	.962
Maximal	.994
Mean	.979
SD	.009

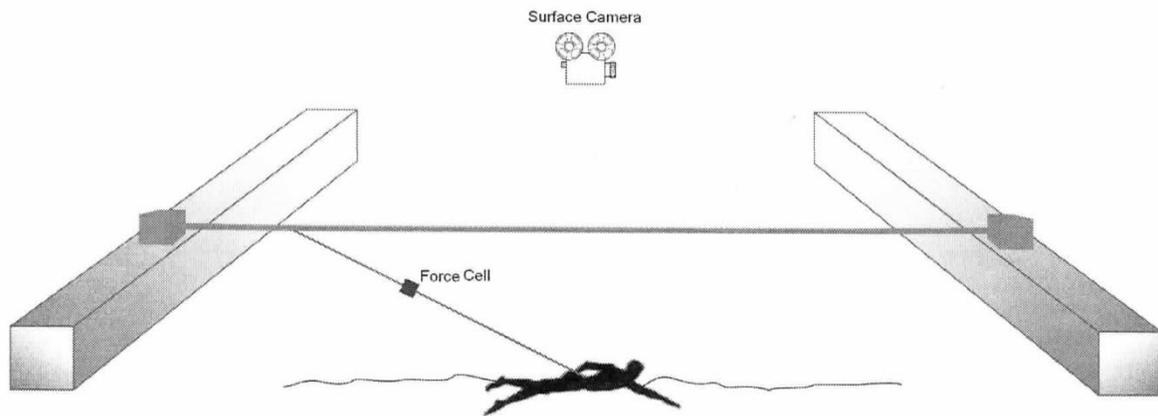


Figure 1 – Schematic model of the dynamometer tests

APÊNDICE B

Artigo submetido à REVISTA PORTUGUESA DE CIÊNCIAS DO DESPORTO

Tipo de trabalho: Investigação Original

Efeito da velocidade do nado semiatato na correlação entre força propulsiva e a velocidade de nado livre

Nomes do autores: Rafael Soncin¹, Bruno Mezêncio², Sara Andrade Rodrigues¹, Jacielle Carolina Ferreira¹, Rudolf Huebner³, Julio Cerca Serrão², Bruno Pena Couto¹, Leszek Antoni Szmuchrowski¹

¹ Federal University of Minas Gerais, Load Evaluation Laboratory

² São Paulo University, Biomechanical Laboratory

³ Federal University of Minas Gerais, Mechanical Engineering Department

Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha 31270-901
- Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

Rafael Soncin, rafaelsoncin@yahoo.com.br, +55 31 9142-6588, Rua Viriato Alexandrino de Melo, 80-A, Guarujá, Betim, Minas Gerais, Brasil.

Resumo

Os testes de dinamometria de nado semiatado consideram a força de arrasto do nadador, diferentemente nado atado. Contudo, estudos que utilizaram este teste desconsideraram a força produzida pelo nadador para atingir a velocidade pré-determinada do teste. O objetivo do estudo foi avaliar a correlação da força média desenvolvida no nado semiatado e da velocidade média de nado considerando a força necessária para se manter a velocidade do teste e desenvolver um novo modelo de regressão para tal análise (R2). Doze nadadores (21.8 ± 4.4 anos, 1.77 ± 0.07 m, 70.6 ± 5.4 kg, 26.3 ± 1.9 s nos 50m livre) com mais de cinco anos de experiência no esporte realizaram em ordem aleatória testes de nado livre e dinamometria de nado semiatado. O modelo tradicional (R1) apresentou um r^2 (.5975) e R2 apresentou o um r^2 (.9002) superior a R1 e aos valores encontrado em outros modelos de outros estudos. Possivelmente isso ocorre por este modelo considerar as forças de arrasto atuantes no nadador e a força necessária para atingir e manter a velocidade do teste.

Palavras chave: dinamometria, nado semiatado, arrasto

Abstract

The dynamometry tests for the partial tethered swimming consider the swimmer drag force, unlike in fully tethered swimming. However, studies that used this test disregarded the force produced by the swimmer to achieve the predetermined test velocity. The purpose of the study was to evaluate mean correlation between the force developed in the partial tethered swimming and the mean velocity of the swimming considering the required force to maintain the test velocity and develop a new regression model for such analysis (R2). Twelve swimmers (21.8 ± 4.4 years, 1.77 ± 0.07 meters, 70.6 ± 5.4 kg, 26.3 ± 1.9 s as the best time in the 50 meters free swimming) with more than five years of experience in this sport performed in a random order the free swimming and dynamometry of the partially tethered swimming. The traditional model (R1) presented an r^2 (.5975) and R2 presented a superior r^2 (.9002) to R1 and to the values found in other models from other studies. This possibly occurs because this models considers the drag force acting on the swimmer and the force required to achieve and maintain the test velocity.

Key-words: dynamometry, partially tethered swimming, drag

Introdução

A dinamometria de nado atado é um teste utilizado para avaliar a capacidade de um nadador de produzir força propulsiva, e é considerada como um teste válido e específico (2, 4), que apresenta correlação significativa com a velocidade de nado (7, 9, 10, 11, 14).

Porém, durante a execução deste teste o nadador não está sujeito às forças de arrasto, normalmente experimentada no nado não atado (12).

Uma alternativa para se avaliar a força propulsiva do nadador é a dinamometria de nado semiatado, onde existe uma determinada resistência ao nado que permite que o nadador se desloque. Essa situação é comumente utilizada por treinadores, onde são utilizados tubos elásticos, pesos, paraquedas entre outros implementos para oferecer essa resistência (6, 8).

Costill, Rayfield, Kyrwan e Thomas (1986) utilizaram um equipamento isocinético capaz de medir a potência durante o nado semiatado e encontraram uma alta correlação dessa variável com a velocidade de nado, porém Klentrou e Monpetit (1991) não encontraram correlações significativas entre a potência de nado e os indicadores de desempenho utilizados, tempo para 100 e 400m e a velocidade máxima nos testes.

Um dos fatores que pode ser a causa da divergência da literatura quanto à relação entre a potência e a velocidade de nado é que os estudos citados não consideraram a força produzida pelo nadador para atingir a velocidade pré-determinada nesse teste de dinamometria.

Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar a correlação da força média desenvolvida no nado semiatado e da velocidade média de nado considerando a força necessária para se manter a velocidade do teste.

Método

Amostra e Procedimentos

Participaram do estudo 12 nadadores com experiência maior que cinco anos no esporte com idade média de 21.8 ± 4.4 anos, estatura de 1.77 ± 0.07 m, massa corporal de 70.6 ± 5.4 kg e 26.3 ± 1.9 s como melhor tempo nos 50 m estilo livre. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais.

Os voluntários realizavam em ordem aleatória cinco repetições dos testes de nado livre e dinamometria de nado semiatado com intervalo de 10 minutos entre eles. Previamente era realizado um aquecimento padronizado e três repetições do teste de dinamometria de nado semiatado para familiarização com o mesmo.

Coleta de dados

No nado livre o nadador deveria realizar um tiro máximo de 25 m, iniciando com impulsão na parede, que era registrado por uma câmera (A602fc, *Basler*[®], Alemanha) com frequência de aquisição de 100fps. Foi mensurada a velocidade média nos 12 m intermediários.

No teste de dinamometria de nado semiatado o nadador utilizava um cinto ligado a um cabo de aço fixado a uma célula de carga (JBA, Zb *Staniak*[®], Polônia) com frequência de amostragem de 1000Hz, conectada a um amplificador (WTM 005, *Jaroslav Doliriski Systemy Mikroprocesorowe*[®], Polônia) em interface com o *software*

MAX (v. 5.5 JBA, Zb *Staniak*[®] - Polônia). Esta por sua vez estava ligada a um segundo cabo que ficava acima da piscina ligado a um motovariador (RX-400, *Ringcone*[®], Brasil) conforme figura 1.

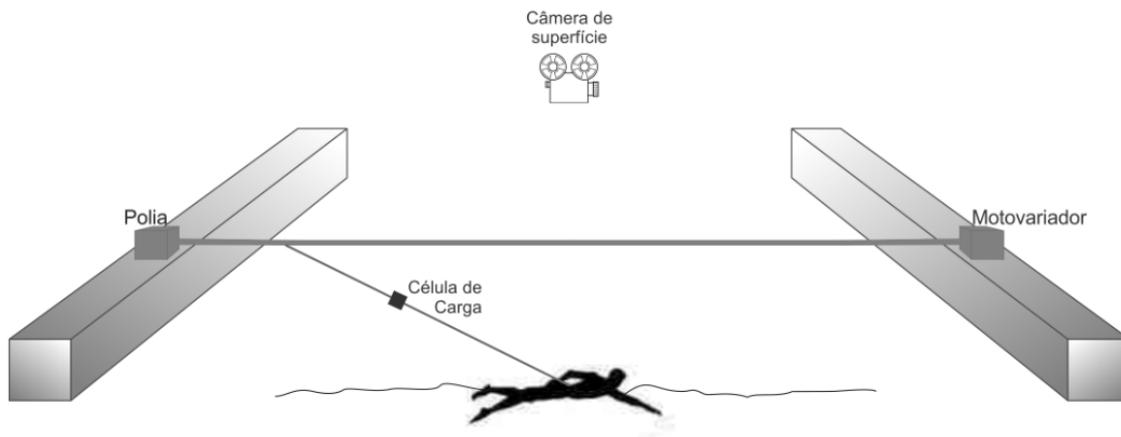


Figura 2 - Modelo esquemático do teste de dinamometria de nado semiado

No teste de dinamometria de nado semiado a velocidade do nadador foi de 0.60 m/s. Segundo Costill, Rayfield, Kyrwan e Thomas (1986), para se medir a força em um teste de nado semiado, a velocidade não deve exceder 0.70 m/s.

O nadador era orientado a nadar em velocidade submáxima para esticar o cabo. Durante o nado submáximo era emitido um sinal sonoro para que este realizasse o maior esforço possível sem executar a respiração por 10 ciclos de braçada. Juntamente com o sinal sonoro o motovariador era ativado permitindo que o nadador se deslocasse a uma velocidade constante durante o teste. Os dados de força eram registrados durante todo o teste, porém foram analisados apenas cinco ciclos de braçada, do quarto ao oitavo. O teste também era filmado para medição da velocidade de deslocamento.

Tratamento dos dados

Os dados de vídeo foram digitalizados no software *SIMI motion* (v. 7.0, SIMI Reality Motion Systems, Alemanha). Os dados de força tratados no software *Matlab*TM (v. 2009b, The MathWorksTM, EUA) e foram filtrados com um filtro passa baixa do tipo *Butterworth* de sexta ordem com frequência de corte de 16Hz.

Como a célula de carga estava fixada em um cabo suspenso sobre a piscina, existia uma inclinação entre a orientação da célula de carga e a direção do nado, para corrigir os valores de força, eles foram multiplicados pelo cosseno do ângulo formado entre a direção do nado e a inclinação do cabo (13). Este ângulo foi medido através dos dados de filmagem.

Foi calculada a força média realizada nos ciclos válidos do teste de dinamometria e a velocidade média nos ciclos válidos para os testes de nado livre e semiatado.

Definição dos parâmetros de força

Para deduzir a equação de regressão, foi considerado que a relação entre força de arrasto e a velocidade é quadrática (Equação 1):

$$F_a = \frac{1}{2} \rho S C_x V^2 \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde F_a é a força de arrasto, ρ a massa específica da água, S a área de superfície corporal exposta ao escoamento, C_x o coeficiente de arrasto e, V a velocidade de deslocamento. Considerando que ρ e S são constantes e C_x influencia a força de arrasto de maneira linear, o produto $1/2 \rho S C_x$ foi substituído por uma

constante k , e considerando que em velocidade constante as forças propulsivas e de arrasto se igualam (3), temos que (Equação 2):

$$V = \sqrt{\frac{F}{k}} \quad \text{Eq. (2)}$$

No teste de nado semiatado, é necessário considerar que a força medida pela célula de carga, F_{sa} , representa a força total produzida pelo nadador, F_T , menos a força necessária para que este se desloque a velocidade pré-estabelecida do teste, F_m (Equação 3).

$$F_{sa} = F_T - F_m \quad \text{Eq.(3)}$$

Substituindo a Equação 2 na Equação 3 e rearranjando os termos (Equação 4):

$$\bar{V} \approx \sqrt{\frac{F_{sa}}{k} + V_{sa}^2} \quad \text{Eq.(4)}$$

Onde V_{sa} é a velocidade do nado semiatado. Para chegar a este parâmetro onde uma das variáveis é a força média foi necessário desconsiderar os efeitos gerados pela variação da força ao redor da média.

Foi assumido que a relação entre os parâmetros da Equação 4 e a velocidade é linear e desta forma o modelo de regressão foi (Equação 5).

O coeficiente a representa os fatores não considerados pelo parâmetro da Equação 4, e o coeficiente b uma constante de proporcionalidade que também engloba os erros embutidos na equação pelos pressupostos assumidos.

$$\bar{V} \approx a + b \left(\sqrt{\frac{\bar{F}_{sa}}{k} + V_{sa}^2} \right) \quad \text{Eq.(5)}$$

Análise estatística

Com objetivo de relacionar os dados de força do teste de dinamometria de nado semiatado com o desempenho específico da modalidade foram calculados os coeficientes de duas equações de regressão pelo método dos mínimos quadrados. Além do modelo proposto acima (R2) também foi calculada a regressão linear entre a força média dos testes e a velocidade de nado livre (R1), desta forma foi possível avaliar o efeito de não se considerar a força necessária para gerar e manter a velocidade do teste na relação entre força e velocidade. Para avaliar a qualidade do ajuste foram calculados a soma dos quadrados dos erros (SSE), o coeficiente de correlação (r) e o coeficiente de determinação (r^2) das equações. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. Os modelos de regressão (R1 e R2) adotados foram resumidos na tabela 1.

Tabela 7 – Modelos de regressão para o teste de dinamometria de nado semiatado

Modelo	Variáveis do modelo	Equação de regressão
R1	$\bar{F}_{sa} \times \bar{V}$	$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{sa}$
R2	$\bar{F}_{sa} \times V_{sa} \times \bar{V}$	$\bar{V} \approx a + b \left(\sqrt{\frac{\bar{F}_{sa}}{k} + V_{sa}^2} \right)$

Resultados

A tabela 2 apresenta os valores de média e desvio padrão das variáveis analisadas.

Tabela 8 - Velocidade média, Força média e parâmetro Oscilação ($M \pm DP$)

	Velocidade média nado livre (\bar{V})	Velocidade média nado semiatado (\bar{V}_{sa})	Força média nado semiatado (\bar{F}_{sa})
$M \pm DP$	1.81 \pm 0.19 m/s	0.59 \pm 0.05 m/s	98.56 \pm 17.16 N

A tabela 3 apresenta os valores de SSE, r e r^2 para as equações de regressão. Ambas as equações de regressão apresentaram correlações positivas e significativas ($p < 0.05$) entre as variáveis de força e a velocidade média do nado livre.

Tabela 3 – Soma dos quadrados dos erros (SSE), Coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2) das equações de regressão

Equações de regressão	SSE	R	r^2
$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{sa}$	0.1592	0.7730*	0.5975

$$\bar{V} \approx a + b \left(\sqrt{\frac{F_{sa}}{k} + V_{sa}^2} \right) \quad 0.0395 \quad 0.9488^* \quad 0.9002$$

* Correlação significativa ao nível de $p < 0,05$

A tabela 4 apresenta os coeficientes a , b e k para as equações de regressão.

Tabela 4 – Coeficientes e intervalos de confiança (95%) a , b e k das equações de regressão

Equações de regressão	a	b	k
$\bar{V} \approx a + b\bar{F}_{sa}$	1.0030 (0.5298 - 1.4770)	0.0837 (0.03529 - 0.1321)	--
$\bar{V} \approx a + b \left(\sqrt{\frac{F_{sa}}{k} + V_{sa}^2} \right)$	-0.6075 (-1.2170 - 0.0017)	3.1760 (2.2250 - 4.1270)	41.2100 (5.5570 - 76.8500)

Discussão

A relação linear entre a força média do nado semiatado e a velocidade média de nado livre (R1) apresentou valores de r^2 , 0.5975, inferiores aos encontrados para o mesmo modelo de regressão para o teste de dinamometria de nado atado nos estudos citados, que variam de 0.6400 a 0.8873 (7, 9, 10, 11, 14).

Este valor também é inferior ao encontrado por Costill, Rayfield, Kyrwan e Thomas (1986) entre a potência de nado semiatado e velocidade média de nado livre

com $r^2=0.7056$, mas é superior ao encontrado por Klentrou e Monpetit (1991) que não encontraram correlação significativa entre as variáveis e não reportaram os valores de r , porém como o n do estudo foi de 25 sujeitos sabe-se que o r^2 foi inferior a 0.1722.

O valor apresentado pelo coeficiente a no presente estudo, 1.003, foi significativamente diferente de zero ($p<0.05$), o mesmo ocorreu para Costill, Rayfield, Kyrwan e Thomas (1986), $a=1.575$. Esta diferença sugere que uma parcela significativa da velocidade independe da força média avaliada no teste semiatado.

R2 apresentou o maior valor de r^2 entre os estudos citados, 0.9002. Possivelmente isso ocorre por este modelo considerar as forças de arrasto atuantes no nadador e a força necessária para atingir e manter a velocidade do teste. Desta forma ela pode avaliar com maior precisão a influencia da força propulsiva pela velocidade.

Essa hipótese é suportada pelo fato do coeficiente a não diferir significativamente de zero. Isso indica que apenas uma parcela não significativa da velocidade média independe do parâmetro de força proposto. O coeficiente k apresentou um valor significativamente maior que zero o que é condizente com a natureza deste coeficiente que representa o produto $1/2 \rho S C_x$.

O alto coeficiente de determinação em R2 e a consistência dos valores do coeficiente k sugerem que a dinamometria de nado semiatado possa vir a ser utilizado para estimar o produto coeficiente de arrasto e área de superfície corporal exposta ao escoamento. Porém para obtenção de valores precisos ou ainda individuais seriam necessários testes em grandes amostras com características específicas ou alterações no modelo seguido.

Conclusão

Os valores de coeficiente de determinação encontrados mostram que a dinamometria de nado semiatado é uma alternativa ao teste de nado atado apresentando uma melhor relação com a velocidade média de nado quando consideramos a força necessária para o atleta atingir e manter a velocidade do teste.

Referências

1. Costill, D. L., Rayfield, F., Kyrwan, J., e Thomas, R. (1986). A Computer based system for the measurement of force and power during front crawl swimming. *J Swim. Res.*, 2: 16–19.
2. Dopsaj, M., Matkovic, I., e Zdravkovic, I. (2003). The relationships between 50m - freestyle results and characteristics of tethered forces in male sprint swimmers: a new approach to tethered swimming test. *Facta Univ. Phys. Educ. Sport*, 1: 15–20.
3. Hollander, A. P., De Groot, G., Van Ingen Schenau, G. J., Toussaint, H. M., De Best, H., Peeters, W., Meulemans, A., e Schreurs, A. W. (1986). Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. *J. Sports Sci.*, 4: 21–30.
4. Kjendlie, P. L., e Thorsvald, K. (2006). A tethered swimming power test is highly reliable. *Rev. Port. Ciências Desp.*, 6: 231–233.
5. Klentrou, P. P., e Monpetit, R. R. (1991). Physiologic and physical correlates of swimming performance. *J Swim. Res.*, 7: 13–18.
6. Llop, F., Gonzales, C., Hernando, E., Diaz-Rincon, J. A., Navarro, F., e Arellano R. (2003). Analysis of modification on technique and lactate concentrations during added resistance freestyle swimming. *Biom. and Med. In Swimming IX proceedings of the IXth World Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming.*

7. Magel, J. R. (1970). Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. *Res. Q.*, 41: 68–74.
8. Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., Sharp, R. L., Zier, D. J., e Zats, A. (1984). Tethered and nontethered crawl swimming. *ISBS - Conference Proceedings Archive*, 2 International Symposium on Biomechanics in Sports. 163–176.
9. Marinho, P. C. S. (2002). Mensuração da força propulsora mediante o emprego do “nado amarrado” e sua relação com a velocidade básica de nadadores. [Tese]. Universidade Estadual de Campinas. Campinas.
10. Morouço, P., Keskinen, K. L., Vilas-Boas, J. P., e Fernandes, R. J. (2011). Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. *J Appl. Biomech.*, 27: 161–169.
11. Morouço, P., Soares, S., Vilas-Boas, J. P., e Fernandes, R. J. (2008). Association between 30sec maximal tethered swimming and swimming performance in front crawl. *NACOB - North American Congress on Biomechanics*, Ann Arbor, Michigan, USA.
12. Sharp, R. L., e Costill, D. L. (1989). Influence of body hair removal on physiological responses during breaststroke swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21: 576–580.

13. Xin-Feng, W., Lian-Ze, W., Wei-Xing, Y., De-Jian, L., e Xiong, S. (2007). A new device for estimating active drag in swimming at maximal velocity. *J Sports Sci.*, 25: 375–379.

14. Yeater, R. A., Martin, B. R., White, M. K., e Gilson, K. H. (1981). Tethered swimming in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. *J Biomech.*, 14: 527–537.