

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança

Vitor Emanuel Xavier Vargas

**EFICIÊNCIA PROPULSIVA DA BRAÇADA E VELOCIDADE DE NADO AO
LONGO DOS OITO TRECHOS DE 25 METROS DE 200 METROS NADO CRAWL**

Porto Alegre

2024

Vitor Emanuel Xavier Vargas

**EFICIÊNCIA PROPULSIVA DA BRAÇADA E VELOCIDADE DE NADO AO
LONGO DOS OITO TRECHOS DE 25 METROS DE 200 METROS NADO CRAWL**

Trabalho de Conclusão de Curso
elaborado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Educação Física

Orientador: Prof. Dr. Flavio Antônio de
Souza Castro

Porto Alegre

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Flávio Antônio de Souza Castro, que, além de ser fundamental nesse momento de produção de trabalho de conclusão de curso, também foi responsável por me despertar o interesse no estudo da natação.

Aos meus pais, familiares e namorada, que sempre me apoiaram e acreditaram nas minhas capacidades.

Aos meus colegas de faculdade, principalmente aqueles que estão comigo desde os primeiros dias na ESEFID.

Aos meus amigos, tanto de Vacaria, quanto de Porto Alegre, por deixarem a jornada mais leve.

Aos meus colegas de trabalho e alunos no Clube Caixeiros Viajantes, por me ensinarem muito e me auxiliarem a colocar em prática aquilo que aprendi.

RESUMO

Este estudo analisou as relações entre a eficiência propulsiva da braçada (η_p) e a velocidade média de nado (VN) em oito trechos de 25 m, em um teste de 200 m nado crawl. Além disso, também analisou o comportamento das variáveis cinemáticas frequência média de ciclo (FC) de braçada e distância média de ciclo braçada (DC), comportamento durante os oito trechos. Dez nadadores do sexo masculino ($18,0 \pm 2,6$ anos), federados e de nível no mínimo estadual, que treinavam regularmente entre 5 e 9 sessões por semana nos últimos 8 meses, realizaram o teste de 200 m em uma piscina de 25 m. Os oito trechos do teste foram registrados em vídeo, e posteriormente analisados no software Kinovea (versão 0.8.15, EUA), para a obtenção das variáveis e posterior análise estatística. Dentre os resultados, destacam-se: a η_p que variou entre $35,1 \pm 4,4$ % e $37,7 \pm 6,0$ % e VN que variou entre $1,44 \pm 0,08$ m/s e $1,67 \pm 0,08$ m/s. Não foram encontradas correlações significativas entre η_p e VN; apenas VN teve variação significativa entre os trechos, sendo os valores do 1º trecho superior aos demais, e o 2º superior ao 3º e 4º trechos.

Palavras-chaves: natação; biomecânica; cinemática; performance.

ABSTRACT

This study analyzed the relations between arm stroke efficiency (η_p) and average swimming speed (VN) in eight 25 m segments of a 200 m front crawl test. In addition, it also analyzed the behavior of the kinematic variables average stroke cycle rate (HR) and average stroke cycle length (DC), behavior during the eight segments. Ten male swimmers (18.0 ± 2.6 years old), federated and at least state level, who trained regularly between 5 and 9 sessions per week in the last 8 months, performed the 200 m test in a 25 m pool. The eight segments of the test were recorded on video and later analyzed in the Kinovea software (version 0.8.15, USA), to obtain the variables and subsequent statistical analysis. Among the results, the following stand out: the η_p , which varied between $35.1 \pm 4.4\%$ and $37.7 \pm 6.0\%$; and the VN that varied between 1.44 ± 0.08 m/s and 1.67 ± 0.08 m/s. No significant correlations were found between η_p and VN; only VN had significant variation between the 25 m segments, with the values of the 1st segment being higher than the others, and the 2nd higher than the 3rd and 4th segments.

Keywords: swimming; biomechanics; kinematics; performance.

LISTA DE EQUAÇÕES, TABELA E FIGURAS

Equação 1 – Custo energético	13
Equação 2 – Relação entre força propulsiva, força de arrasto, massa corporal e velocidade de nado	15
Equação 3 – Eficiência propulsiva a partir do trabalho mecânico	16
Equação 4 – Equação utilizada para estimar a eficiência propulsiva da braçada. ...	16
Tabela 1 – Resultados a cada trecho de 25 m (T1 a T8) do T200 de VN, η_p , FC e DC; em média \pm desvio-padrão [limites do intervalo de confiança da média a 95%) n = 10	21
Figura 1 – Dispersões entre VN e η_p , com respectivos valores de r e p, para cada um dos trechos de 25 m do T200; n = 10.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATP – Adenosina trifosfato

C – Custo energético

ciclos/min – ciclos por minuto

cm - centímetros

DC – Distância média de ciclo

DP – Desvio padrão

$E_{m\acute{a}x}$ – Potência metabólica máxima

F – Teste exato de Fischer

FC – Distância média de ciclo

F_d – Força de arrasto

F_p – Força propulsiva

Hz - Hertz

kg – Quilograma

L – Distância linear

m – Metros

mas - Massa

p – Probabilidade de significância

r – Correlação de Pearson

s - Segundos

VN – Velocidade de nado

W_d – Trabalho para superar a resistência hidrodinâmica

W_{ext} – Trabalho externo

$W_{f\ddot{u}}$ – Trabalho interno

W_{tot} – Trabalho mecânico total

η^2 – Tamanho de efeito

η_p – Eficiência propulsiva da braçada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Nado Crawl.....	11
2.2 Velocidade de nado.....	12
2.3 Arrasto e Propulsão.....	14
2.4 Eficiência propulsiva.....	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 População e amostra.....	18
3.2 Variáveis do Estudo.....	18
3.3 Protocolo	18
3.4 Realização do teste	19
3.5 Processamento de dados	19
3.6 Análise estatística.....	20
4 RESULTADOS	21
5 DISCUSSÃO	23
6 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A natação é um esporte que mede o seu desempenho a partir do tempo para cumprir uma distância previamente estabelecida, quanto menor o tempo, melhor o desempenho. Dessa maneira, entre as variáveis que influenciam o desempenho podemos destacar as fisiológicas e biomecânicas. As primeiras estão associadas ao gasto energético e ao metabolismo, enquanto as outras a aplicação da força e ao próprio gesto técnico do nado (Barbosa et al., 2009). A partir disso, conhecer essas variáveis é imprescindível para quem trabalha na prescrição de treinamento em natação, assim como para quem participa da formação de nadadores em geral, a fim de traçar as melhores estratégias de treino para seus atletas (Castro, 2007).

Entre as variáveis biomecânicas destacam-se: a velocidade de nado (VN), a eficiência propulsiva), a frequência média de ciclo (FC) e a distância média de ciclo (DC). VN está relacionada a distância que o nadador cumpre em por um tempo; já a η_p é o quanto da força aplicada pelo nadador realmente o desloca a frente; FC é quantos ciclos de braçadas se dá pelo tempo; DC é a distância percorrida pelo ciclo de braçada do nadador (HAY E GUIMARÃES, 1983; Zamparo *et al.*, 2005). Todas as variáveis, e seus comportamentos, influenciam o desempenho em provas de natação. Portanto, um bom desempenho está associado um bom domínio técnico do nado.

Como o tempo determina o desempenho, a VN é uma das principais determinantes de desempenho em natação. Sabe-se que ela é dependente de a propulsão final, que é a força propulsiva (F_p) menos a força de arrasto (F_d). Dessa maneira, para atingir uma alta VN, depende-se de uma grande capacidade de produção de força, porém, o aumento da VN também gera um aumento na F_d , o que faz aumentar a necessidade de produzir força a fim de superar F_d , o que gera mais gasto energético (Toussaint e Beek, 1992; Martin *et al.* 1981).

A F_p é gerada a partir de movimentos de um ou um grupo de membros, que geram força necessária para superar F_d , e assim gerar o movimento do corpo (PALMER, 1990). Entretanto, como a água é um fluido, nem toda a força aplicada acaba sendo em direções propulsivas, pois apenas a força que é direcionada para trás que move o nadador a frente (de Groot, & van Ingen Schenau, 1988). Nesse sentido, a η_p é uma variável que mede o quanto da força aplicada realmente se

converte em F_p , logo nadadores com maiores η_p tendem a conseguir atingir maiores velocidades (Zamparo *et al.*, 2005). Nisso se dá a importância de ter bons níveis de η_p , que nesse estudo será adotada como eficiência propulsiva da braçada, por falta de métodos para se estimar η_p de membros inferiores na natação.

Dessa maneira, reconhecendo a importância da compreensão das variáveis apresentadas, esse estudo tem como objetivo geral analisar as possíveis correlações entre a η_p e VN em cada trecho de 25 m de um teste de 200 m nado crawl (8 trechos no total). Já como objetivos específicos: 1) comparar as variáveis cinemáticas ao longo dos trechos de 25 m; 2) comparar a η_p ao longo dos 8 trechos; 3) testar as correlações entre η_p e VN em cada trecho de 25 m.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Nado Crawl

O crawl é um nado ventral e alternado. A posição do corpo do nadador durante o nado crawl, segundo Palmer (1990), quando observada de lado, deve estar numa atitude plana e horizontal, com ombros, costas e membros inferiores apenas alguns centímetros abaixo da superfície, qualquer desvio dessa posição aumentará as forças de resistência (o arrasto). A cabeça deve ser observada de frente e a linha d'água deve estar aproximadamente na linha natural do cabelo; a elevação da cabeça aumenta o arrasto, dessa maneira, a respiração deve ser realizada com rotação cervical, que acompanha o rolamento dos ombros no eixo longitudinal. Os movimentos de membros superiores são alternados, bem como o movimento de membros inferiores. Para efeitos de maior eficiência durante o nado, o nadador deve ter um rolamento corporal, tanto de ombros, quanto de quadril. Ainda visto de frente, é necessário que o eixo longitudinal do nadador esteja alinhado com a direção geral do movimento, a fim de evitar aumento do arrasto.

A braçada do nado crawl é dividida em 4 fases, sendo apenas a segunda e a terceira propulsivas. Essas fases se dividem em: (i) entrada mão na água, até o começo do movimento de puxada para trás (apoio); (ii) puxada, que começa no apoio e vai até que a mão chegue ao plano vertical; (iii) empurrada, que vai da posição em que a mão está abaixo do ombro, até a saída da água; (iv), a fase de recuperação, que é desde o momento que o braço sai da água, até a sua nova entrada (CHOLLET *et al.*, 2000).

Os membros inferiores se movem principalmente na vertical e alternadamente. Essa ação tem como objetivo a manutenção do corpo na horizontal, criar propulsão e manter o equilíbrio por meio da reação à ação dos membros superiores. O movimento dos membros inferiores se origina no quadril com uma leve flexão da articulação do joelho. Durante o movimento para cima os pés permanecem em flexão plantar, enquanto no batimento para baixo a extensão da articulação do tornozelo é auxiliada pelas forças hidrodinâmicas. Os dedos ficam ligeiramente voltados para dentro, a fim de criar uma maior superfície de propulsão. A frequência de batimentos varia de 2 a 6 batimentos por ciclo de braçada (duas braçadas completas), sendo as maiores

frequências associadas a maiores velocidades e menores distâncias de nado (PALMER, 1990).

Palmer (1990) ainda afirma que a coordenação do nado deve criar um nado equilibrado e contínuo, para isso, os membros inferiores devem se movimentar a fim de reagir às forças desequilibradoras geradas pelo movimento dos membros superiores durante o nado. O ritmo de 6 batimentos de perna por ciclo garante um bom equilíbrio ao nadador; o de 4 batimentos também, entretanto de a amplitude da pernada deve ser aumentada em relação ao de 6 batimentos; já o de 2 pernadas tem característica puramente estabilizadora do nado e está mais associado a maiores distâncias, onde a prioridade é a economia de energia. Além disso, a coordenação do nado crawl, em relação aos membros superiores, pode ser em oposição, quando um braço começa a fase de puxa quando o outro está terminando a fase de empurrada; sobreposição, onde há uma sobreposição das fases propulsivas; e captura, quando a braçada só vai para a sua fase propulsiva após a finalização da anterior. Outro fator que pode influenciar a coordenação do nado é a velocidade. Em maiores velocidades de nado, o modelo tende a ser de sobreposição e a menores velocidades, de captura (CHOLLET *et al.*, 2000; SEIFERT *et al.*, 2005).

2.2 Velocidade de nado

Um nadador competitivo tem como objetivo percorrer determinada distância no menor tempo possível. Para isso, ele deve atingir a sua velocidade máxima, a qual é a razão entre a potência metabólica total máxima ($E_{m\acute{a}x}$) e o custo energético (C) (Di Pamprero, 1986). Dessa maneira, para nadar mais rápido é necessário aumentar $E_{m\acute{a}x}$, processo fisiológico, e diminuir C. Entre os processos fisiológicos destacam-se as melhoras nas capacidades cardiovascular e metabólica, enquanto na biomecânica a melhora na técnica, a fim de diminuir as forças de arrasto criadas pelo movimento e aumentar as forças propulsivas (Pyne *et al.*, 2014).

O desempenho em natação é dependente de força, velocidade e resistência; e esses elementos são auxiliados pela capacidade de produção de energia (rotas metabólicas para a ressíntese de ATP); competições de maiores velocidades tem predominantemente o uso de fosfato, já se o esforço durar entre 45 segundos e 15 minutos à uma combinação entre fosfato, glicólise anaeróbia e metabolismo aeróbio

de carboidratos, gorduras e proteínas; em ambos casos o treino gera adaptações que melhoram a performance (Pyne *et al.*, 2014). O pico de lactato é uma importante variável fisiológica a ser observada, uma vez que ela está associada à recuperação muscular, e a sua concentração diminui mais rápido em atletas experts do que em atletas recreacionais.

Por um olhar biomecânico, o produto entre a quantidade de ciclos de braçadas realizadas durante um determinado tempo (frequência média de braçadas - FC) e a distância média percorrida pelo corpo em um ciclo de braçadas (DC), gera a velocidade de nado (VN) (HAY E GUIMARÃES, 1983). Entende-se, portanto, que para se atingir uma VN maior, é necessário que se aumente a FC, DC ou ambos. Entretanto Gatti *et al.* (2004) observaram que em intensidades acima de 80% do percentual de esforço de cada nadador, esses tendem a diminuir DC ao aumentar FC, e que, por isso, é necessária uma ótima relação entre FC e DC, a fim de reduzir essa diminuição, o que passa por uma boa capacidade técnica do nadador.

Watkins e Gordon (1983) avaliaram 33 nadadores treinados, com idade em torno dos 17 anos e concluíram que aproximadamente 91% da velocidade durante o nado crawl é proveniente da ação dos membros superiores; tais valores são semelhantes aos encontrados por Deschodt *et al.* (1998) avaliando 8 nadadores homens, competidores de nível regional. A respeito das contribuições dos membros inferiores, Gourgoulis *et al.* (2013) observaram um aumento da FC, DC e VN no nado crawl em mulheres com média de idade de aproximadamente 18 anos, quando nadando com auxílio dos membros inferiores, em comparação ao nado utilizando somente os membros superiores em velocidade máxima. Ainda caracterizaram que a contribuição da pernada se dá na manutenção de uma posição de corpo com menos arrasto, além da contribuição na forma de propulsão.

C é uma variável que é influenciada por parâmetros fisiológicos, quanto biomecânicos. Ele pode ser definido como a quantidade de energia gasta para mover a massa de um indivíduo por unidade de distância a determinada velocidade (Di Pamprero, 1986; Chatard *et al.*, 1990). Ele pode ser calculado com a Equação 1:

$$C = \frac{E_{tot}}{VN}$$

Equação 1 – Custo energético

onde E_{tot} é a energia total gasta. C pode variar dependendo de um indivíduo para o outro, seja por sexo, idade ou composição corporal (Caputo *et al.*, 2006). Um outro fator determinante para C é a técnica do nadador, uma técnica adequada deve reduzi-lo (Costil *et al.*, 1985; Chatard *et al.*, 1990). Para provas de médias e longas distâncias, o C é um dos principais determinantes do desempenho em natação (Correia *et al.*, 2020).

2.3 Arrasto e Propulsão

Ao se abordar as forças na natação, devem ser caracterizadas as de arrasto (forças resistivas) e de propulsão. Das forças resistivas, que se opõem ao deslocamento do corpo no meio aquático, surge F_d , que Zamparo *et al.* (2009) descreveu como a força contrária ao deslocamento de um corpo no meio aquático, além de dividi-lo em ativo e passivo. O arrasto passivo é quando o corpo se desloca em função de uma força externa, dessa maneira o corpo permanece em posição fixa e estável, porém se deslocando. Já o arrasto ativo ocorre quando o deslocamento é em função do movimento gerado pelo próprio corpo. Para Toussaint e Beek (1992), o arrasto total é a soma de três fontes de arrasto existentes: o arrasto de pressão, que é resultante da separação das moléculas de água por um corpo em movimento; de onda, resultante da deformação da superfície da água; e de superfície, que é resultante do atrito entre a água e a superfície corporal.

Um método para se avaliar o arrasto ativo foi desenvolvido por Hollander *et al.* (1986), o Mad-System. Esse método consiste em 15 plataformas presas ao longo de um tubo de 23 metros submerso na piscina, o nadador, à velocidade constante, percorre o trajeto apenas utilizando os membros superiores (usando *pull-buoy* para auxiliar a flutuação de membros inferiores) para aplicar a força nessas plataformas. Assim, a média da força medida deve ser igual a média do arrasto, uma vez que a velocidade é constante, a força aplicada pelo nadador equivale ao arrasto. Outro método é o de Kolmogorov e Duplisheva (1992). Esse, chamado de método da perturbação da velocidade, consiste em um indivíduo percorrer 30 metros à velocidade máxima duas vezes, sendo uma nadando livremente e outra nadando amarrado a um objeto hidrodinâmico que cria uma determinada resistência. A partir disso, calcula-se o arrasto em função da velocidade de cada tentativa. No método de

perturbação da velocidade, assume-se que a potência produzida pelo nadador é máxima em ambas as situações.

Para se deslocar na água, o indivíduo necessita superar F_d . Nesse sentido, Palmer (1990) afirma que se um nadador quiser se deslocar para frente, para trás, para os lados ou apenas se manter flutuando, é preciso que ele desenvolva uma força capaz de gerar o movimento ou de sustentá-lo, essa é F_p . E isso é feito a partir do recrutamento de um ou um conjunto de membros, que atuam criando a força necessária para atingir o seu objetivo, seja locomoção, sustentação ou ambos. Além disso, propõe três formas de básicas de propulsão: movimentos de braçada, criada a partir de ações puxada e empurrada de membros superiores e mãos, sempre em sentido oposto ao do movimento; movimentos de remada, que fazem propulsão de maneira indireta em ângulos aproximadamente retos em relação ao trabalho exigido; e movimentos de pernada ou nadadeira, em formato de onda, realizado pelos membros inferiores, tendo as pernadas do nado crawl e costas como exemplos.

Quando relacionamos F_d com F_p chegamos a três possibilidades: (i) se F_d for maior que a F_p , temos uma aceleração negativa; (ii) se ambas forem equivalentes, o movimento está em velocidade constante; (iii) se F_p supera F_d , o movimento está em aceleração positiva (Toussaint e Beek, 1992). Além do mais, o arrasto é dependente da velocidade (v) desenvolvida, ou seja, quanto maior a velocidade, maior o arrasto. Assim sendo, surge a Equação 2:

$$F_p(v) - F_d(v) = mas * v$$

Equação 2 – Relação entre força propulsiva, força de arrasto, massa corporal e velocidade de nado

onde F_p é a força propulsiva para determinada velocidade (v), F_d é a força de arrasto para determinada v e mas é a massa do nadador (Martin *et al.* 1981).

2.4 Eficiência propulsiva

As F_p geradas pelo nadador influenciam a sua velocidade de nado. Entretanto, apenas uma parte dessa força resulta no deslocamento em si. Assim, surge o conceito da η_p , que é o percentual da força aplicada pelo nadador que realmente o

desloca a frente (Zamparo *et al.*, 2005). Sabe-se que a η_p é a razão entre o trabalho para superar a resistência hidrodinâmica (W_d), que é calculado a partir de medidas de arrasto ativo, e o trabalho mecânico total (W_{tot}), Equação 3:

$$\eta_p = \frac{W_d}{W_{tot}}$$

Equação 3 – Eficiência propulsiva a partir do trabalho mecânico

já W_{tot} é a soma do trabalho interno ($W_{f_{int}}$) e trabalho externo (W_{ext}), sendo o último a soma do trabalho para superar as forças de arrasto (W_d) e trabalho para mover a água (W_k) (Pendergast *et al.*, 2003).

Existem algumas maneiras de se estimar η_p , entretanto esses métodos se restringem apenas aos membros superiores. Deste modo, pode-se afirmar que η_p é a eficiência propulsiva da braçada, não do nado. Uma estimativa, proposta por Martin *et al.* (1981), afirma que η_p pode ser estimada assumindo que o braço é um segmento rígido, que gira à velocidade angular constante em torno do ombro, e que η_p pode ser calculada em meio ciclo. Porém, ao usar a velocidade média para frente, esse método pode acabar superestimando esses valores ao desconsiderar as contribuições da perna na propulsão (Zamparo *et al.*, 2005). Já Hollander *et al.* (1986) afirmam que se pode estimar η_p por meio da razão entre a velocidade do centro de massa e a velocidade da mão do nadador. Em função da aplicação em um contexto de prática não ser viável, Castro *et al.* (2021) indicaram a aplicabilidade de um modelo que utiliza a distância do ombro até a mão ao final da fase propulsiva, VN e FC, proposto por Martin *et al.* (1981) e Zamparo *et al.* (2005, 2006). Este modelo está descrito na Equação 4:

$$\eta_p = \left(\frac{\left(\frac{VN * 0.9}{2 * \pi * FC * L} \right) * 2}{\pi} \right) * 100$$

Equação 4 – Equação utilizada para estimar a eficiência propulsiva da braçada.

onde η_p é a eficiência de propulsão da braçada (em %), VN é a velocidade de nado, FC a frequência média de ciclos de braçada e L a distância linear entre o centro do ombro e o centro da mão quando a mão está exatamente acima do ombro, na

transição entre as fases de puxada e empurrada e assumido como 0,5 m (Zamparo *et al.*, 2006).

Barbosa *et al.* (2009), ao estudarem 28 nadadores não experts, homens e mulheres, não encontraram diferenças significativas no que diz respeito à η_p entre os sexos, aproximadamente 20,5% em média. Tais valores são inferiores aos encontrados por Zamparo *et al.* (2008) em um grupo de 72 jovens entre 8 e 19 anos, aproximadamente 33%; nesse estudo ainda foi observado uma relação entre a η_p e a idade, quanto maior a idade, maior a η_p , o que sugere uma melhora associada ao crescimento. Já Toussaint *et al.* (1990) compararam a η_p entre seis nadadores competitivos e cinco triatletas, com o MAD-System, média de 60,8% e 43,6% respectivamente, e afirma que ela é um bom parâmetro para avaliar performance e nível competitivo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 População e amostra

A população deste estudo é de nadadores de nadadores do sexo masculino, federados, que participem de competições de nível, no mínimo estadual. Dez nadadores ($18,0 \pm 2,6$ anos; estatura: $176,0 \pm 6,5$; envergadura: $182,2 \pm 6,1$ cm; massa corporal: $67,3 \pm 6,8$ kg) especializado em provas de 100, 200 e 400 m livre participaram deste estudo. Todos estavam treinando regularmente nos últimos oito meses antes das coletas. Costumavam realizar de 5 a 9 sessões por semana, com volume médio de 6.200 m por sessão. Todos eles estavam no segundo mesociclo do período básico da temporada, quando percorriam mais distâncias em intensidades aeróbicas. Previamente, o Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS analisou e aprovou o projeto de pesquisa e foram seguidas as recomendações do Conselho Nacional de Saúde (Resolução 466/2012) sobre as pesquisas realizadas em seres humanos.

3.2 Variáveis do Estudo

São variáveis deste estudo:

- a. Variáveis de caracterização da amostra: massa corporal (kg), estatura (m), envergadura (cm), idade (anos)
- b. Variável independente: cada trecho de 25 m de um teste de 200 m em nado crawl.
- c. Variáveis dependentes: velocidade de nado (VN), frequência média de ciclo de braçada (FC), distância média de ciclo de braçada (DC) e eficiência propulsiva da braçada (η_p).

3.3 Protocolo

Foi seguido um protocolo para aquisição das variáveis com as seguintes etapas:

- I. Explicação do teste: explicação sobre protocolo e materiais utilizados, leitura e assinatura dos termos, esclarecimento do procedimento em geral;
- II. Obtenção das medidas antropométricas;

III. Realização do aquecimento articular e aquecimento de 600 m em nado livre na piscina.

IV. Realização do teste com obtenção das variáveis.

3.4 Realização do teste

O teste foi realizado em uma piscina coberta e aquecida de 25 m (a temperatura da água e do ambiente foram, respectivamente, $\sim 28,5^{\circ}\text{C}$ e $\sim 23^{\circ}\text{C}$). Os nadadores foram solicitados a realizar 200 m de nado crawl em intensidade máxima (T200), sem saída do bloco, mas com viradas olímpicas. Antes e durante o T200, foi utilizado incentivo verbal para todos os participantes. O T200 foi gravado com uma câmera de vídeo digital (JVC, GR-DVL9800, Japão, operando a 50 Hz) colocado sobre um tripé, a 12 m de distância do centro da raia de teste, a uma altura de 2,35 m da superfície da água. Estas dimensões permitiram capturar o nadador durante os 7,5 m centrais de cada um dos oito trechos de 25 m do T200. O campo de visão foi calibrado com uma escala de 2 m de comprimento colocada em cada extremidade e no centro dos 7,5 m para identificar a relação entre metros e pixels. A partir de três quadros consecutivos, para cada uma das três posições da escala, os pixels foram transformados em m (variação máxima de 4,27% entre a posição central e as bordas). Os nadadores foram orientados a nadar exatamente no meio da raia, onde a escala foi previamente registrada.

3.5 Processamento de dados

As imagens foram analisadas no programa Kinovea (versão 0.8.15, EUA). Em cada um dos oito trechos do T200 foram identificados os seguintes quadros, nos vídeos: (i) quadros de entrada e saída da cabeça do nadador do campo de visão (4,5 m), considerando a touca do nadador e (ii) os quadros referentes à entrada da mão do nadador na água em dois a três ciclos de braçada. O ciclo de braçadas iniciava-se pela mão esquerda quando o nadador se deslocava da cabeceira de saída para a borda oposta da piscina e pela mão direita no retorno. A partir da calibração, dos quadros identificados e da taxa de amostragem dos vídeos, foram calculados, para cada trecho de 25 m: VN, FC e DC. A η_p , em %, foi calculado pelo modelo simplificado proposto anteriormente por Zamparo *et al.* (2006) (descrito na Equação 4).

3.6 Análise estatística

A distribuição dos dados foi testada com teste de Shapiro-Wilk, após, foram calculadas as médias, desvios-padrão e limites de confiança das médias para 95%. As comparações das variáveis entre os trechos de 25 m foram realizadas com ANOVA de medidas repetidas, com verificação de esfericidade com teste de Mauchly e aplicação de *post-hoc* de Bonferroni, quando necessário. Tamanho de efeito dos trechos sobre as variáveis foi estimado com estatística η^2 . A correlação entre VN e η_p , em cada um dos trechos, foi verificada com o teste de Correlação Linear Produto-Momento de Pearson. Os cálculos foram realizados no pacote SPSS v.23.0 e foi considerado alfa < 0,05.

4 RESULTADOS

O desempenho no T200, em média \pm DP (limites dos intervalos de confiança das médias a 95%) foi de $129,7 \pm 3,0$ (127,5 – 131,8) s. De modo geral, como média dos oito trechos de 25 m do T200, a η_p , a FC e a DC foram de, respectivamente, $36,4 \pm 4,08$ (33,4 – 39,4) %, $42,0 \pm 5,8$ (40,6 – 43,2) ciclos/min e $2,14 \pm 0,27$ (2,08 – 2,20) m. A Tabela 1 apresenta os dados de VN, η_p , FC e DC a cada trecho de 25 m do T200. A Figura 1 apresenta as dispersões e respectivos valores de r e p , entre VN e η_p , para cada trecho de 25 m, respectivamente, T1 a T8. Pode-se verificar, na Figura 1, que, independentemente de trecho, as correlações não foram significativas.

Tabela 1 – Resultados a cada trecho de 25 m (T1 a T8) do T200 de VN, η_p , FC e DC; em média \pm desvio-padrão [limites do intervalo de confiança da média a 95%]
n = 10

	F; p η^2	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
VN (m/s)	19,3; <0,001 0,68	1,67 \pm 0,08 [#] [1,60 – 1,73]	1,56 \pm 0,09 [§] [1,49 – 1,63]	1,44 \pm 0,08 [1,38 – 1,50]	1,46 \pm 0,06 [1,42 – 1,50]	1,46 \pm 0,08 [1,40 – 1,52]	1,48 \pm 0,08 [1,42 – 1,54]	1,44 \pm 0,08 [1,38 – 1,50]	1,53 \pm 0,07 [1,48 – 1,58]
η_p (%)	1,90; 0,16 0,14	37,7 \pm 6,0 [33,4 – 42,1]	37,7 \pm 4,7 [34,3 – 41,1]	37,2 \pm 4,3 [34,1 – 40,3]	35,6 \pm 4,6 [32,3 – 38,9]	35,6 \pm 4,0 [32,6 – 38,4]	36,2 \pm 4,2 [33,2 – 39,3]	35,1 \pm 4,4 [32,0 – 38,3]	36,0 \pm 4,3 [32,8 – 39,0]
FC (ciclos/min)	1,53; 0,17 0,14	44,6 \pm 6,8 [39,7 – 49,5]	42,3 \pm 4,6 [39,0 – 45,6]	39,3 \pm 4,8 [35,8 – 42,7]	41,1 \pm 5,5 [37,2 – 45,0]	41,6 \pm 4,7 [38,2 – 45,0]	42,1 \pm 5,2 [38,3 – 45,8]	41,4 \pm 8,3 [35,4 – 47,3]	42,7 \pm 6,3 [38,1 – 47,2]
DC (m)	1,67; 0,13 0,15	2,25 \pm 0,36 [1,98 – 1,51]	2,21 \pm 0,27 [2,01 – 2,41]	2,18 \pm 0,26 [2,00 – 2,23]	2,12 \pm 0,27 [1,92 – 2,31]	2,06 \pm 0,25 [1,87 – 2,24]	2,09 \pm 0,26 [1,90 – 2,28]	2,10 \pm 0,28 [1,89 – 2,30]	2,14 \pm 0,25 [1,96 – 2,32]

indica que VN foi maior no trecho 1 em comparação a todos os outros; § indica que VN foi maior no Trecho 2 em comparação aos trechos 3 e 4

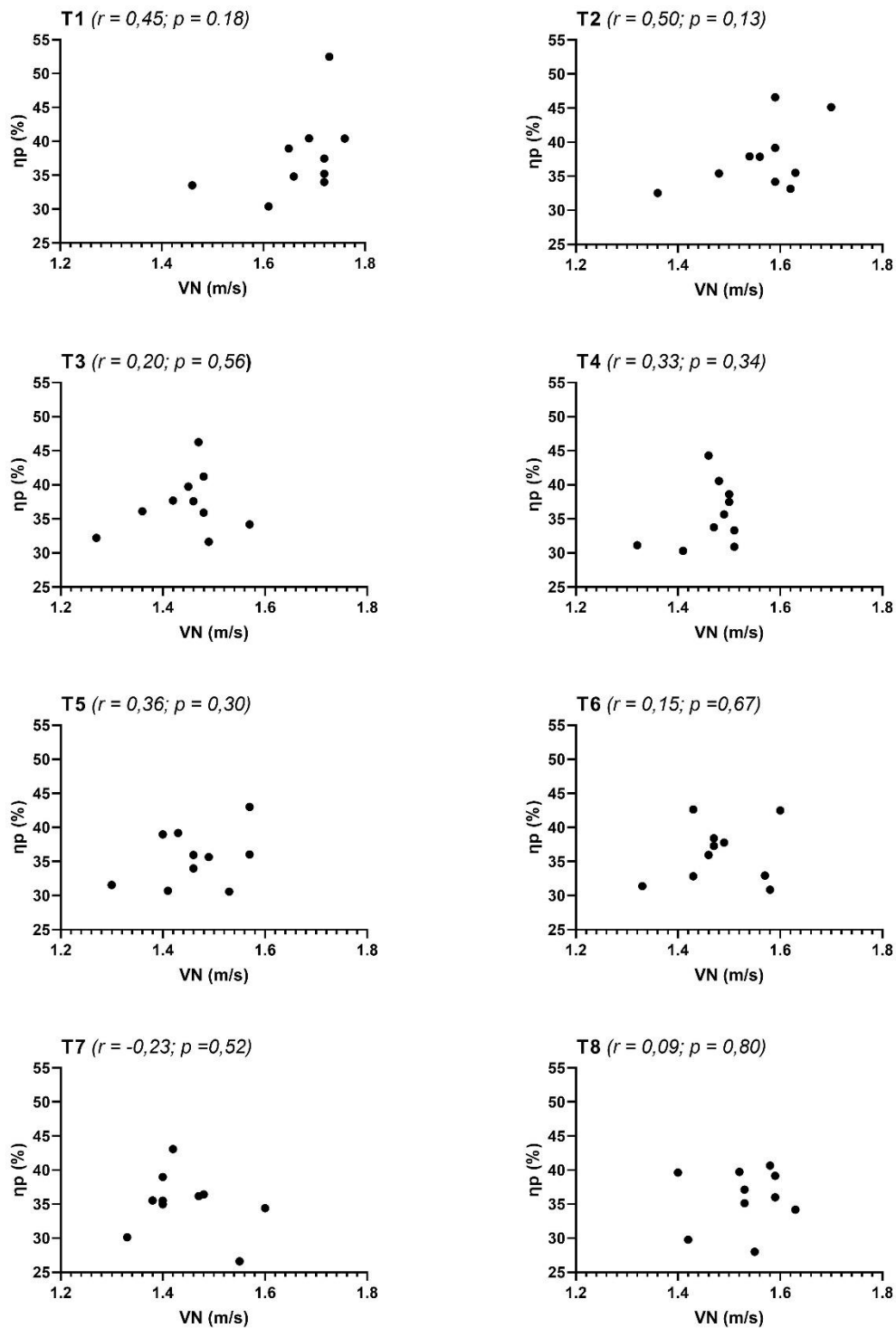


Figura 1 – Dispersões entre VN e η_p , com respectivos valores de r e p, para cada um dos trechos de 25 m do T200; n = 10.

5 DISCUSSÃO

Esse estudo teve como objetivo analisar se existem correlações entre η_p e VN, comparar a η_p e, também, comparar as variáveis cinemáticas ao longo de oito trechos de 25 metros de um T200. Por meio da realização da análise cinemática do nado, os resultados apontaram que não houve correlação significativa entre η_p e VN (valores de r entre -0,23 e 0,50 e valores de $p < 0,05$, como mostrado na Figura 1). A única variável em que a variação foi significativa durante o teste foi a VN, que no Trecho 1 foi maior que nos demais, e que no Trecho 2 foi maior que nos trechos 3 e 4. Por outro lado, a variação da η_p não foi significativa ao longo dos trechos de 25 metros ($p = 0,16$).

De acordo com Zamparo *et al.* (2005) há uma relação à qual uma maior η_p está associada a uma maior VN. Porém, a análise dos dados do presente estudo não apontou a ocorrência dessa relação. Dessa maneira uma possibilidade para a manutenção ou aumento da velocidade em circunstâncias onde a η_p diminui, seria um maior gasto energético. Assim os atletas compensam o declínio técnico colocando um maior esforço no nado (Correia *et al.*, 2020). Há também, a relação que aponta que a VN está associada à FC, dessa maneira, quanto maior FC, maior será VN. Porém, sabe-se que o aumento da FC acaba resultando na diminuição da DC (Gatti *et al.*, 2004), e por consequência da η_p . Então, o C cresce em função de uma menor η_p , assim como também aumenta à medida que E_{tot} gasta durante o teste aumenta conforme a Equação 1, o C total aumenta à medida que a energia gasta durante o teste aumenta. Mas, como o T200 é um teste de menor duração, o alto C não é um fator que prejudica o desempenho dos atletas como seria, se fosse o caso de testes de maior duração (Correia *et al.*, 2020).

Ribeiro (2010) não achou correlação significativa entre η_p e VN ao analisar nadadores do sexo masculino entre 12 e 13 anos de idade, que realizaram três repetições de 25 m à velocidade equivalente à velocidade média do melhor tempo em 100 metros nado crawl. Entretanto, Magalhães (2010), em um estudo semelhante, no qual se diferenciava a amostra, composta por nadadoras mulheres entre 11 e 13 anos, encontrou a correlação esperada: a VN aumentava quando a η_p aumentava. Em ambos estudos o protocolo se diferencia do presente estudo, pois, a cada teste de 25 metros, os nadadores tinham 60 segundos de intervalo, dessa maneira o

desgaste físico, provavelmente, não foi um fator presente, como o acumulado ao longo do T200.

No presente estudo, a VN variou durante os 8 trechos do teste, e essa variação foi considerada significativa. No primeiro trecho, a VN medida foi de 1,67 m/s e foi a maior entre todas, e junto com a segunda, foram significativamente maiores que o terceiro e o quarto trechos. Tal resultado pode ser explicado por serem o início dos 200 m, quando a manifestação da fadiga ainda não limita a VN. Esse comportamento é semelhante ao encontrado por Castro e Mota (2008), em uma análise de 8 trechos de um T200, a amostra desse estudo era composta por nadadores com no mínimo 16 anos e índice para campeonato brasileiro, semelhante a esse. Ludwig (2011) também obteve comportamento semelhante, porém analisando 4 trechos de 25 m do T200, com população composta por nadadores especialista em provas de 400, 800 ou 1500 metros livre.

Como os valores de variação da η_p , FC e DC não foram significativos entre os trechos do teste, sendo seus respectivos valores de $36,4 \pm 4,08\%$, $42,0 \pm 5,8$ ciclos/min e $2,14 \pm 0,27$ m, pode-se supor que a queda na velocidade entre os trechos tenha uma origem energética, sendo por conta do desgaste físico ou até mesmo uma questão de estratégia, mais relacionada a economia de energia, a fim de administrar a intensidade para o restante do teste. Olhando o comportamento da VN nos demais trechos, nota-se que ela se estabilizou do terceiro trecho até o sétimo, voltando a subir no oitavo e último.

Ao contrário do que foi aqui encontrado, Castro e Mota (2008) verificaram queda significativa na DC ao longo dos trechos. Ludwig (2011) também obteve um valor superior no primeiro trecho de 50 m, se comparado aos outros três trechos. Possivelmente os participantes do presente estudo estavam numa fase de treinamento que possibilitou maior resistência à fadiga e manutenção do DC ao longo do teste. Quanto a valores absolutos, a DC encontrada nesse estudo foi próxima às dos outros dois citados, porém é inferior aos 2,34 m, aproximadamente, encontrados por Sidney *et al.* (1999), no que diz respeito ao teste de 200 m, esse estudo contou com 16 nadadores, durante as finais do campeonato francês. Ainda foram superiores aos encontrados por Barbosa *et al.* (2009), aproximadamente 0,76 m para homens e 0,71 m para mulheres, quando analisou nadadores não experts.

A FC encontrada nesse estudo, $42,0 \pm 5,8$ ($40,6 - 43,2$) ciclos/min, não teve variação significativa ao longo dos trechos de 25 m. Esse valor é similar aos encontrados por Sidney *et al.* (1999), em média 0,74 Hz nos 200 m, e inferior aos 0,84 Hz, em média, para os 100 m, o que deve ser resultado de uma abordagem diferente de uma prova mais curta; os autores ainda colocaram que a estabilidade de uma alta FC durante a prova parece ser um bom critério para avaliar o nível de habilidade dos nadadores. Castro (2007) também encontrou um valor semelhante, 0,69 Hz, analisando os 200 m em homens com idade próxima aos 18 anos. Dessa maneira, os valores encontrados de FC estão de acordo com os anteriormente descritos em literatura.

Quando comparamos os valores de η_p encontrados no presente estudo com os encontrados por Zamparo *et al.* (2008) os valores ficam próximos (36,4 do primeiro, e aproximadamente 33% do segundo). Uma hipótese para explicar essa pequena diferença é o grupo do presente estudo ser mais velho ($18 \pm 2,6$ anos) em comparação ao de Zamparo, que era entre 8 e 19 anos, uma vez que o último estudo sugere que idade é um fator que influencia a η_p , associado ao crescimento; o mesmo raciocínio vale para os estudos de Ribeiro (2010) e Magalhães (2010), nos quais foram encontrados, aproximadamente, 20% de η_p . Já, quando comparamos aos resultados de Barbosa *et al.* (2009), onde a η_p foi em média 20,5%, podemos diferenciar por conta do nível técnico dos atletas, o presente estudo foi realizado entre nadadores de nível no mínimo estadual, enquanto o de Barbosa foi com nadadores não experts. Por fim, esse valor é muito inferior se comparado aos 60,8% encontrados por Toussaint *et al.* (1990) para nadadores competitivos, porém esse valor é encontrado a partir de outro método, o MAD-System.

Identificaram-se, como limitações deste estudo: (a) dados obtidos de modo transversal e (b) a amostra foi de apenas nadadores homens e de similar nível. Para futuros estudos, recomenda-se: (a) obtenção de dados longitudinais de η_p , ao longo de uma temporada, por exemplo, para verificar se o treinamento modifica os valores e (b) avaliação em populações distintas: nadadores mais e menos experientes, de melhor e pior desempenho, ambos os sexos.

6 CONCLUSÃO

Esse estudo não encontrou correlações entre η_p e VN. Os valores encontrados nas variáveis VN, FC, DC e η_p são semelhantes aos encontrados em estudos semelhantes. Entretanto apenas a VN teve variação significativa ao longo dos trechos, do primeiro aos demais, e do segundo em relação ao terceiro e quarto, semelhante ao já encontrado em literatura. Por outro lado, mesmo não havendo a correlação entre η_p e VN, a manutenção de alta eficiência técnica, ao longo das distâncias nadadas deve ser observada por nadadores e treinadores, a fim de se atingir melhor desempenho.

REFERÊNCIAS

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

Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of science and medicine in sport*, 13(2), 262–269. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.01.003>

Caputo, F., de Oliveira, M. F. M., Denadai, B., & Greco, C. C. (2006, December). Fatores intrínsecos do custo energético da locomoção durante a natação. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 12(6).

Castro, F. A. d. S. (2007). *Determinantes do desempenho para a prova de 200m nado livre* [Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Lume.

Castro, F. A., Correia, R., Fiori, J. M., Giuliano, A. F., Trindade, C. D. Z., & Feitosa, W. G. (2021). Practical application of the simplified model to assess the arm stroke efficiency: a tool for swimming coaches. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 21(6), 900–908. <https://doi.org/10.1080/24748668.2021.1957295>

Castro, F. A., & Mota, C. B. (2008, November). Desempenho em 200 m nado crawl sob máxima intensidade e parâmetros cinemáticos do nado. *Revista Brasileira de Biomecânica*, 9(17).

Chatard, J. C., Lavoie, J. M., & Lacour, J. R. (1990). Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 61(1-2), 88–92. <https://doi.org/10.1007/BF00236699>

Chollet D, Chabies S, Chatard JC. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *Int J Sports Med.* 2000 Jan;21(1):54-9. doi: 10.1055/s-2000-8855. PMID: 10683100.

Correia, R. d. A. (2021). *Estado da arte da natação: cinemática, eficiência, coordenação e energética* [Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Lume. <http://hdl.handle.net/10183/258671>

Correia, R. A., Feitosa, W. G., Figueiredo, P., Papoti, M., & Castro, F. A. S. (2020). The 400-m Front Crawl Test: Energetic and 3D Kinematical Analyses. *International journal of sports medicine*, 41(1), 21–26. <https://doi.org/10.1055/a-1023-4280>

Costill, D. L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *International journal of sports medicine*, 6(5), 266–270. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025849>

de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1988). Fundamental Mechanics Applied to Swimming: Technique and Propelling Efficiency. *Swimming Science V*, 17-29.

di Prampero P. E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International journal of sports medicine*, 7(2), 55–72. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025736>

Gatti, R. G. O., Erichsen, O. A., & Melo, S. I. L. (2004). Respostas fisiológicas e biomecânicas de nadadores em diferentes intensidades de nado. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 6(1), 26-35.

Gourgoulis, V., Boli, A., Aggeloussis, N., Toubekis, A., Antoniou, P., Kasimatis, P., Vezos, N., Michalopoulou, M., Kambas, A., & Mavromatis, G. (2014). The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. *Journal of sports sciences*, 32(3), 278–289. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.823224>

Hay, J. G., & Guimarães, A. C. S. A. (1983). A quantitative look at swimming biomechanics. *Swimming Technique*, 20(2), 11-17.

Hollander, A. P., De Groot, G., van Ingen Schenau, G. J., Toussaint, H. M., De Best, H., Peeters, W., Meulemans, A., & Schreurs, A. W. (1986). Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. *Journal of sports sciences*, 4(1), 21–30.
<https://doi.org/10.1080/02640418608732094>

Kolmogorov, S. V., & Duplishcheva, O. A. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of biomechanics*, 25(3), 311–318.
[https://doi.org/10.1016/0021-9290\(92\)90028-y](https://doi.org/10.1016/0021-9290(92)90028-y)

Ludwig, R. F. (2011). *Análise cinemática e coordenativa de teste máximo de 200 m nado crawl* [Final Paper, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Lume.
<http://hdl.handle.net/10183/39275>

Magalhães, M. A. A. M. (2010). *A EFICIÊNCIA PROPULSIVA E A PERFORMANCE EM NADADORAS JOVENS* [Master's thesis, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro]. Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal (Repositórios Científicos). <http://hdl.handle.net/10348/633>

Martin, R. B., Yeater, R. A., & White, M. K. (1981). Um modelo analítico simples para o traçado crawl. *Jornal de Biomecânica*, 14(8), 539–548.
[https://doi.org/10.1016/0021-9290\(81\)90003-8](https://doi.org/10.1016/0021-9290(81)90003-8)

Palmer, M. L. (1990). *A ciência do ensino da natação*. EDITORA MANOLE LTDA.

Pendergast, D., Zamparo, P., di Prampero, P. E., Capelli, C., Cerretelli, P., Termin, A., Craig, A., Jr, Bushnell, D., Paschke, D., & Mollendorf, J. (2003). Energy balance of human locomotion in water. *European journal of applied physiology*, 90(3-4), 377–386. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0919-y>

Pyne, D. B., & Sharp, R. L. (2014). Physical and energy requirements of competitive swimming events. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 24(4), 351–359. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0047>

Ribeiro, R. A. d. O. (2010). *A eficiência propulsiva e a performance em nadadores jovens* [Doctoral dissertation, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro]. Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal (Repositórios Científicos). <http://hdl.handle.net/10348/722>

Seifert, L., Chollet, D., & Allard, P. (2005). Arm coordination symmetry and breathing effect in front crawl. *Human movement science*, 24(2), 234–256. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.05.003>

Sidney, M., DelHaye, B., Baillon, M., & Pelayo, P. (1999). Evolução da frequência de braçadas durante provas de 100m e 200m na natação crawl frontal. *Biomecânica e medicina na natação VIII : Anais do Simpósio Internacional de Biomecânica e Medicina na Natação. Universidade de Jyväskylä, Finlândia 28 de junho - 2 de julho de 1998*, S. 71-75.

Toussaint H. M. (1990). Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(3), 409–415.

Toussaint, H. M., & Beek, P. J. (1992). Biomecânica da natação crawl competitiva. *Medicina esportiva (Auckland, N.Z.)*, 13(1), 8–24. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00002>

Watkins, J., & Gordon, A. (1983). The Effects of Leg Action on Performance in the Sprint Front Crawl Stroke *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 310-314.

Zamparo P. (2006). Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. *European journal of applied physiology*, 97(1), 52–58. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0133-9>

Zamparo, P., Gatta, G., Pendergast, D., & Capelli, C. (2009). Active and passive drag: the role of trunk incline. *European journal of applied physiology*, *106*(2), 195–205. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1007-8>

Zamparo, P., Lazzer, S., Antoniazzi, C., Cedolin, S., Avon, R., & Lesa, C. (2008). The interplay between propelling efficiency, hydrodynamic position and energy cost of front crawl in 8 to 19-year-old swimmers. *European journal of applied physiology*, *104*(4), 689–699. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0822-7>

Zamparo, P., Pendergast, D. R., Mollendorf, J., Termin, A., & Minetti, A. E. (2005). Um balanço energético de front crawl. *Revista Europeia de Fisiologia Aplicada*, *94*(1-2), 134–144. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1281-4>