

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO
HUMANO

**RESPOSTAS BIOMECÂNICAS E FISIOLÓGICAS A DIFERENTES
FREQUÊNCIAS GESTUAIS CONTROLADAS NA NATAÇÃO ATÉ A
EXAUSTÃO**

Marcos Franken

Porto Alegre 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO
HUMANO

RESPOSTAS BIOMECÂNICAS E FISIOLÓGICAS A DIFERENTES FREQUÊNCIAS
GESTUAIS CONTROLADAS NA NATAÇÃO ATÉ A EXAUSTÃO

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob orientação do Prof. Dr. Flávio Antônio de Souza Castro.

Marcos Franken

Porto Alegre, agosto de 2017

CIP - Catalogação na Publicação

Franken, Marcos
RESPOSTAS BIOMECÂNICAS E FISIOLÓGICAS A DIFERENTES
FREQUÊNCIAS GESTUAIS CONTROLADAS NA NATAÇÃO ATÉ A
EXAUSTÃO / Marcos Franken. -- 2017.
137 f.

Orientador: Flávio Antônio de Souza Castro.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. natação. 2. biomecânica. 3. fisiologia. 4. desempenho. 5. treinamento. I. Antônio de Souza Castro, Flávio, orient. II. Título.

Agradecimentos

A Deus, por me dar a oportunidade de viver e realizar e tornar os meus sonhos em realidade.

Aos meus pais Erno Armando Franken e Sigrid Gabe Franken e ao meu irmão Lucas Franken, pessoas de quem tenho orgulho e que sempre me deram um apoio inexplicável e compreenderam a minha ausência em todos os momentos.

A minha namorada Ariane por todo o carinho, compreensão, amor e ajuda.

Ao engenheiro Victor, grande responsável por projetar e confeccionar e realizar a manutenção do *pacemaker* e do volume de calibração utilizados neste estudo, sem sua ajuda nada disso teria passado de uma idéia.

A todos os funcionários da secretaria do Laboratório de Pesquisa do Exercício, do Centro Natatório e do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da UFRGS por toda atenção, convivência, carinho e compreensão.

Aos queridos amigos de ESEFID, LAPEX, GPEA, Sala 212, Pedro, Wellington, Ricardo Silveira, Ricardo Correia, Luisa, Cristiano, Fábio, Jeam, Aguiar, Matias, Juliana, Cássia, Rossane e demais colegas que, de alguma forma, contribuíram com este trabalho pela amizade, colaboração, aprendizado e a convivência na elaboração de todo esse trabalho.

A todos aqueles que me ajudaram nas coletas...em especial, Bruno, Cristiano, Francesco, Jéssica, Alex, Ricardo Correia, Wellington, Cristiano, Luis, Daniel, Lucas Beal, Júlia, Carlos, Marcelo, Priscila, Gustavo, Ramón, Rossane: muito obrigado.....pelos mais variados finais de semana e feriados e 36 dias de muito trabalho.

A todos meus alunos de graduação e colegas pelo incentivo.

A todos aqueles que me ajudaram nas dosagens, cálculos da cinética do consumo de oxigênio e “intermináveis” análises de vídeo...em especial Francesco, Caetano, Fernando, Wellington, Lucas e Ricardo. Aos meus amigos de longa data em especial, Ricardo Correia e Wellington, pela colaboração e apoio incansável nos estudos e elaboração das coletas e análises de cinematria. Ao meu “orientando de iniciação científica”, Lucas, por todo o

aprendizado que me oportunizou e por toda a ajuda prestada. Às colegas irmãs Karla e Kelly de Jesus, a Lara e ao Pedro Figueiredo pelas discussões e contribuição nas análises e interpretações dos resultados deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Dr. Flávio Antônio de Souza Castro... que sempre me deu confiança, muitas oportunidades e muitos ensinamentos, sempre buscando a excelência em todos os nossos trabalhos e que sempre me estendeu a mão quando precisei, se tornando um amigo nestes mais de 10 anos de convivência.

À CAPES pela minha bolsa de estudos.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Pedro Figueiredo, Prof. Dr. Marcelo Papoti, Prof. Dr. Giovani dos Santos Cunha e Prof. Dr. Rafael Reimann Baptista pela atenção dispensada a este estudo.

Ao treinador Felipe Moré do Clube Caixeiros Viajantes e atletas por colaborarem e participarem deste estudo de forma assídua, acreditando na ciência como o melhor aliado do desempenho esportivo.....Muito obrigado!

RESUMO

FRANKEN, M. Respostas biomecânicas e fisiológicas a diferentes frequências gestuais controladas na natação até a exaustão. **Tese de Doutorado**. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017.

O objetivo deste estudo foi descrever e analisar respostas agudas a diferentes frequências gestuais controladas do nado crawl em parâmetros biomecânicos, coordenativos e fisiológicos em intensidade relativa à velocidade de 95% da velocidade média de um teste de 400 m nado crawl, até a exaustão. Foram voluntários 12 nadadores do sexo masculino (idade: $23,6 \pm 6,0$ anos; estatura: $178,2 \pm 4,5$ cm; envergadura: $185,2 \pm 4,9$ cm; massa corporal total: $74,4 \pm 8,9$ kg) que treinavam, pelo menos, 12 horas por semana (melhor desempenho em 400 m nado crawl: $275,5 \pm 16,2$ s). Foram realizados: i) familiarização ao esnorquel, metrônomo, *pacemaker* e escala de 15 pontos de Borg; ii) determinação da velocidade média (V400) em teste máximo de 400 m (T400); iii) séries de nado contínuo a 95% da V400 em (a) Frequência gestual (FG) livre, (b) FG aumentada (110% da FG média da série de FG livre) e (c) FG reduzida (90% da FG média da série de FG livre). Foram avaliados: (i) parâmetros biomecânicos (frequência média de ciclos de braçadas - FG, distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas - DC, velocidade média de nado - VN; variação tridimensional intracíclica da velocidade do centro - VIV, VIVx, VIVy, VIVz, índice de coordenação - IdC, duração das fases de braçada - entrada + apoio, puxada, empurrada e recuperação; duração das fases propulsivas e não-propulsivas - FP e FNP; tempo propulsivo - Tprop) e eficiência de Froude (η_T); e (ii) parâmetros fisiológicos (consumo de oxigênio - $\dot{V}O_2$, concentração sanguínea de lactato - [La], esforço percebido - EP), frequência cardíaca (FC) e amplitude (Ap), tempo de atraso (τ_d) e constante temporal (τ) (cinética do consumo de oxigênio). Dados foram obtidos antes, durante (momentos inicial, intermediário, final e pico) das séries de nado contínuo. Parâmetros biomecânicos de nado foram obtidos por cinemática 3D. O $\dot{V}O_2$ foi mensurado por respiração utilizando o ergoespirômetro K5 e esnorquel Aquatrainer (ambos Cosmed). Tempo total até a exaustão, de cada série, foi também registrado. Foram utilizadas estatística descritiva e inferencial. Os principais achados indicaram que: i) entre as condições de FG, nadadores incrementam a VIV e a η_T com a FG controlada. Ao nadar com a FG aumentada, o IdC, a duração das fases de puxada e de empurrada e a FP aumentam e a constante temporal (τ) diminui. Já, ao nadar com a FG reduzida os valores do IdC, da duração da fase de recuperação e da FNP diminuem. Aumento ou redução da FG não alteram as respostas das demais variáveis fisiológicas e do tempo total até a exaustão (TTE). ii) Entre os momentos da FG livre, os nadadores aumentaram os valores da FG, da [La], do EP, da FC e do $\dot{V}O_2$ e diminuíram os valores da DC, da η_T e da VIVz. iii) Entre os momentos da FG aumentada, os nadadores diminuíram a VIV e a VIVx e aumentaram o Tprop, a [La], o EP, a FC e o $\dot{V}O_2$. iv) Entre os momentos da FG reduzida, os nadadores diminuíram os valores do IdC, da VIV, da VIVx e da VIVz ao passo que aumentaram a η_T , a [La], o EP, a FC e o $\dot{V}O_2$. Reduzir a FG, para a mesma velocidade, induz à diminuição da duração das fases não-propulsivas e à aumento da eficiência de Froude, enquanto as fases de puxada e de empurrada aumentam. A condição de FG aumentada diminuiu a constante temporal da cinética do consumo de oxigênio quando comparada às FG livre e reduzida. O controle da FG (com aumento de 10% e redução de 10%) durante o nado com velocidade controlada a 95% da V400 altera a magnitude dos parâmetros de braçada em ambas as situações. Enquanto a FG e a velocidade forem mantidas, as propriedades temporais do ciclo de braçada alteram características importantes para o desenvolvimento da técnica, da energética e conseqüentemente a melhora do desempenho dos nadadores.

Palavras-chave: nado crawl, cinemática, consumo de oxigênio, avaliação.

ABSTRACT

FRANKEN, M. Biomechanical and physiological responses at different controlled stroke rates in swimming to exhaustion. **PhD Thesis**. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017.

The objective of this study was to describe and to analyze biomechanical, coordinative and physiological parameters acute responses to different control crawl frequencies in until exhaustion in intensity relative to the 95% speed of a 400 m front crawl test. Volunteered to this study 12 male swimmers (age: 23.6 ± 6.0 years; height: 178.2 ± 4.5 cm; upper arm span: 185.2 ± 4.9 cm; total body mass: 74.4 ± 8.9 kg) training at least 12 hours per week (best performance in 400 m front crawl: 275.5 ± 16.2 s). The procedures were: i) familiarization to the Borg's 15-point scale, snorkel, metronome and pacer; ii) determination of the mean velocity (V400) in a 400 m maximum front crawl test (T400); and iii) series in continuous swimming at 95% of the V400 at (a) free stroke frequency (FG); (b) increased FG (110% of the mean FG of the free FG series) and (c) reduced FG (90% of the mean FG of the free FG series). Biomechanical (mean stroke rate – FG, stroke length, swimming speed, swimming velocity tridimensional intracyclic variation - VIV, coordination index - IdC, duration of stroke phases - entry, pull, push and recovery, duration of propulsive and non-propulsive phases - FP and FNP, propulsive time - Tprop and Froude efficiency - η_T) as well as physiological parameters (oxygen consumption - $\dot{V}O_2$, lactate blood concentration - [La], perceived exertion - PE, heart rate (HR) and, regarding the oxygen uptake kinetics: amplitude - Ap, time delay (τ_d) and time constant - τ) were obtained and assessed. Each series total time to exhaustion (TTE) was even registered. Data were obtained before, during (initial, intermediate, final and peak moments) of the continuous swimming series. Biomechanical swimming parameters were obtained by 3D cinemetry. The $\dot{V}O_2$ was measured breath-by-breath using the K5 ergometer and the Aquatrainer snorkel (both Cosmed). Descriptive and inferential statistics were used. The main findings indicated that: i) between the FG conditions, swimmers increase VIV and η_T with controlled FG. When swimming in increased FG, the IdC, the duration of the pull and push phases and the FP increase and the τ decreases. Already, when swimming in FG reduced the IdC, the duration of the recovery phase and the PNF decreased. Increasing or reducing FG does not alter the responses of the other physiological variables and the TTE. ii) Among the moments of free FG, swimmers increased the values of FG, [La], PE, HR and $\dot{V}O_2$ and decreased the values of DC, η_T and VIVz. iii) Among the moments of increased FG, swimmers decreased VIV and VIVx and increased Tprop, [La], PE, HR and $\dot{V}O_2$. iv) Among the moments of the reduced FG, swimmers decreased the values of IdC, VIV, VIVx and VIVz while increasing [La], EP, HR and $\dot{V}O_2$. Reducing FG at the same speed induces a decrease in the duration of non-propellant phases and an increase in Froude efficiency, while the pull and push phases increase. The increased FG condition decreased the τ when compared to free and reduced FG. The control of FG (10% increase and 10% reduction) during swimming at 95% V400 alters the magnitude of the stroke parameters in both situations. While FG and velocity are maintained, the temporal properties of the stroke cycle alter important characteristics for the development of the technique, energy and consequently the improvement of swimmers' performance.

Key-words: front-crawl stroke, kinematics, oxygen uptake, assessment.

Lista de abreviaturas, símbolos e unidades

α	Alfa, valor de referência para os testes estatísticos, nível assumido de significância em 5% e definido <i>a priori</i> .
a	Aceleração.
A_p	Amplitude da cinética do consumo de oxigênio, expresso em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.
Bpm	Batimentos por minuto, unidade de medida de frequência cardíaca.
$\text{ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$	Ciclos por minuto, unidade de medida de frequência de ciclos.
$\text{ciclos}\cdot\text{s}^{-1}$	Ciclos por segundo, unidade de medida de frequência de ciclos.
$\text{cl}\dot{\text{V}}\text{O}_2$	Componente lento da cinética do consumo de oxigênio.
cm	Centímetro, unidade de medida de comprimento linear.
DC	Distância média percorrida a cada ciclo de braçadas do nado <i>crawl</i> , expressa em m.
DESFINA	Desempenho em pontos da Federação Internacional de Natação – FINA.
D_p	Desvio-padrão.
$3D_u$	Velocidade tridimensional da mão calculada pela soma da velocidade tridimensional instantânea da mão direita e esquerda durante a fase subaquática.
E	Energia metabólica.
ENV	Envergadura, expressa em cm.
E_p	Erro-padrão.
EP	Esforço percebido, expresso em índices da escala de 6 a 20 pontos.
EST	Estatuta, expressa em cm.
FC	Frequência cardíaca, expressa em batimentos por minuto.
FG	Frequência gestual média de ciclos de braçadas em nado <i>crawl</i> , expressa em $\text{ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$.
FNP	Duração das fases não-propulsivas da braçada, expressa em %.
FP	Duração das fases propulsivas da braçada, expressa em %.

Hz	Unidade de frequência de amostragem das imagens obtidas.
IdC	Índice de coordenação, expresso em %.
kg	Quilograma, unidade de medida de massa.
l	Comprimento do membro superior.
[La]	Concentração sanguínea de lactato, expressa em mmol·l ⁻¹ .
LL	Limiar de lactato, expresso em mmol·l ⁻¹ .
m	Metro, unidade de medida de comprimento linear.
m·s ⁻¹	Metros por segundo, unidade de medida de velocidade linear.
MAS	Massa corporal total, em kg.
min	Minuto, unidade de medida de tempo.
ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	Mililitros por quilograma de massa corporal por minuto, unidade de medida de consumo de oxigênio e de produção de gás carbônico relativos à massa corporal.
MLSS	Máxima fase de estado estável de lactato, expressa em mmol·l ⁻¹ .
mmol·l ⁻¹	Milimol por litro, unidade de medida de concentração de lactato sanguíneo.
N	Tamanho da amostra.
η_o	Eficiência geral da locomoção.
η_p	Eficiência propulsiva.
η_r	Eficiência de froude.
°C	Grau Célsius, unidade de medida de temperatura.
rpm	Rotações por minuto, unidade de medida de cadência.
s	Segundo, unidade de medida de tempo.
T	Tempo, registrado em minutos e frações decimais de minuto.
T400	Tempo para a realização do teste de 400 m, expresso em s.
T _{ciclo}	Tempo médio, em s, para realização dos ciclos de braçadas.
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.
τ	Constante temporal da cinética do consumo de oxigênio, expresso em s.
τ_d	Tempo de atraso da cinética do consumo de oxigênio, expresso em s.
T _{lim-v$\dot{V}O_{2max}$}	Tempo limite na intensidade relativa a $\dot{V}O_{2max}$, expresso em

	segundos.
T_{prop}	Tempo propulsivo, expresso em segundos.
TTE	Tempo total até a exaustão, expresso em minutos.
$\dot{V}O_2$	Consumo de oxigênio, expresso em $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.
$\dot{V}O_{2max}$	Consumo máximo de oxigênio, expresso em $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.
$\dot{W}O_{2max}$	Velocidade média mínima para atingir o $\dot{V}O_{2max}$, expressa em $m \cdot s^{-1}$.
V400	Velocidade média dos 400 m em nado <i>crawl</i> em máxima intensidade, expresso em $m \cdot s^{-1}$.
VC	Velocidade crítica, expressa em $m \cdot s^{-1}$.
VIV	Variação intra-cíclica da velocidade, expressa pelo coeficiente de variação de velocidade do centro de massa do nadador.
VN	Velocidade média de nado, expressa em $m \cdot s^{-1}$.
$\dot{V}O_{2pico}$	Consumo de oxigênio de pico, expresso em $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.
$\dot{V}O_{2repouso}$	Consumo de oxigênio de repouso, expresso em $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.
Wd	Força de arrasto hidrodinâmico.
W_{tot}	Energia mecânica.

Lista de Quadro

Quadro 1 - Três domínios de intensidade e os seus efeitos fisiológicos (WHIPP et al., 1982; GAESSER e POOLE, 1996; GRECO, CAPUTO e DENADAI, 2008; BARON et al., 2008).....	38
--	----

Lista de Figuras

Figura 1 - Diagrama de corpo livre das forças atuantes sobre um segmento rígido durante o movimento, contendo a força de arrasto propulsivo (F_P), a força ascensional propulsiva (F_L), a resultante da soma da F_P e da F_L (F) em cada posição angular (α) e o comprimento do membro superior (l) (modificado de Zamparo et al., 2005).....	27
Figura 2 - Efeito da cadência na resposta do $\dot{V}O_2$ em diferentes intensidades de exercício (modificado de Coast e Welch, 1985).	46
Figura 3 - <i>Design</i> temporal explicativo da primeira etapa do estudo.	53
Figura 4 - <i>Design</i> temporal explicativo da etapa da condição de FG livre.	53
Figura 5 - <i>Design</i> temporal explicativo da etapa da condição de FG aumentada.	53
Figura 6 - <i>Design</i> temporal explicativo da etapa da condição de FG reduzida.	53
Figura 7 - Volume de calibração utilizado para as análises 3D similar ao descrito por Psycharakis, Sanders e Mill (2005).....	56
Figura 8 – Módulo eletrônico de sincronização utilizado para a sincronização das câmeras.....	57
Figura 9 – Sessões de familiarização com o esnorquel, metrônomo aquático, pacer e escala de 15 pontos de Borg.	59
Figura 10 – Marcações anatômicas que foram utilizadas para a digitalização dos dados.....	63
Figura 11 – Desenho esquemático do posicionamento das câmeras para as análises 3D. Em cinza, o posicionamento das seis câmeras (quatro subaquáticas e duas fora da água, adaptado de Correia, 2016).	64
Figura 12 – Definição de cada fase do ciclo de braçada no nado crawl. O tempo foi expresso em percentual do tempo para a realização do ciclo de braçada (adaptado de de Jesus et al., 2016).....	68
Figura 13 – Nadador conectado ao Esnorquel Aquatrainer e este ao ergoespirômetro K5 (Cosmed).....	73
Figura 14 – Nadador executando série de nado contínuo de FG reduzida com o esnorquel e o ergoespirômetro.	74

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores médios, desvios-padrão (DP) e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média (IC) das características antropométricas dos indivíduos; n = 12..... 78

Tabela 2 - Valores médios, desvios-padrão (DP) e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média (IC) dos anos de experiência competitiva em natação (EXP NAT), do tempo realizado no teste de 400 m em máxima intensidade com snorkel (T400), do melhor tempo realizado em prova de 400 m nado livre em piscina de 25 m (DES400) e do desempenho em pontos da FINA (DESFINA) dos indivíduos; n = 12. 79

Tabela 3 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da concentração de lactato sanguíneo ([La]), do esforço percebido (EP), da frequência cardíaca (FC) e do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) dos indivíduos em repouso e relativo ao T400; n = 12. 79

Tabela 4 - Valores médios \pm desvios-padrão (DP) e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da frequência gestual (FG) real, DC e VN (% da V400) no teste de familiarização de 100 m nos momentos (25 m, 50 m, 75 m e 100 m) n = 12. 80

Tabela 5 - Valores médios, desvios-padrão, limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média e resultados estatísticos das comparações entre a frequência gestual (FG) prescrita e real nas condições de FG aumentada (110%) e reduzida (90%) nos momentos (inicial, intermediário e final); n = 12..... 81

Tabela 6 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média de frequência gestual (FG), distância média percorrida por ciclo de braçada (DC) e velocidade média de nado (VN) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida, nos momentos inicial, intermediário e final; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição; números sobrescritos diferentes indicam diferenças entre as condições no mesmo momento. 82

Tabela 7 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média do coeficiente de variação intra-cíclica da velocidade do centro de massa (VIV) geral e nos três eixos (VIV_x, VIV_y, VIV_z) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida e momentos (inicial, intermediário e final) a 95% da V400 dos indivíduos; n = 12..... 85

Tabela 8 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média de I_{dC} , de T_{prop} e de η_T nas condições de FG livre, aumentada e reduzida e momentos (inicial, intermediário e final) a 95% da V400 dos indivíduos; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição; números sobrescritos diferentes indicam diferenças entre as condições no mesmo momento..... 87

Tabela 9 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da duração das fases da braçada (entrada + apoio, puxada, empurrada e recuperação) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida e momentos (inicial, intermediário e final) a 95% da V400 dos indivíduos; n = 12..... 90

Tabela 10 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da FP e FNP e o T_{ciclo} nas condições de FG livre, aumentada e reduzida e momentos (inicial, intermediário e final) a 95% da V400 dos

indivíduos; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição; números sobrescritos diferentes indicam diferenças entre as condições no mesmo momento..... 92

Tabela 11 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da concentração de lactato sanguíneo ([La]), do esforço percebido (EP) e da frequência cardíaca (FC) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida a 95% da V400 nos momentos de repouso e exaustão dos indivíduos; n = 12..... 94

Tabela 12 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida a 95% da V400 em quatro momentos de repouso, inicial, intermediário e pico de cada série dos indivíduos; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição; números sobrescritos diferentes indicam diferenças entre as condições no mesmo momento.. 95

Tabela 13 - Valores médios \pm desvios-padrão (DP), limites do intervalo de confiança da média (95%) e resultados estatísticos da A_p , do τ_d , da τ , do $\dot{V}O_{2pico}$ e do TTE nas condições de FG livre, aumentada e reduzida a 95% da V400 dos indivíduos; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição. 96

Lista de Equações

Equação 1	12
Equação 2	13
Equação 3	13
Equação 4	13
Equação 5	14
Equação 6	27
Equação 7	27
Equação 8	28
Equação 9	28
Equação 10	28
Equação 11	28
Equação 12	66
Equação 13	67
Equação 14	67
Equação 15	67
Equação 16	69
Equação 17	69
Equação 18	70
Equação 19	70
Equação 20	70
Equação 21	71

Sumário

INTRODUÇÃO	12
2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	19
3 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	20
3.1 Objetivo Geral.....	20
3.2 Objetivos Específicos	20
3.3 Justificativa	20
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	22
4.1 Biomecânica de nado	22
4.1.1 Eficiência propulsiva	26
4.1.2 Parâmetros coordenativos e duração das fases da braçada	30
4.2 Energética da natação	36
4.2.1 Domínios de intensidade	37
4.2.2. Respostas fisiológicas a intensidades controladas pela V400 na natação ..	39
4.2.3 Cinética do Consumo de Oxigênio.....	44
4.3 Análise crítica da literatura.....	48
5 HIPÓTESES	51
6 MATERIAIS E MÉTODOS	52
6.1 Caracterização do Estudo.....	52
6.2 Participantes.....	52
6.3 Procedimentos Éticos	52
6.4 Design explicativo do estudo	53
6.5 Variáveis do estudo	53
6.6 Materiais utilizados	54
6.7 Procedimentos de aquisição dos dados.....	58
6.7.1 Avaliação antropométrica	58
6.7.2 Protocolos em natação	59
6.7.3 Marcações anatômicas.....	62
6.8 Procedimentos para obtenção das variáveis biomecânicas	63
6.8.1 Frequência gestual, distância média percorrida por ciclo de braçada e velocidade média de nado.....	66
6.8.2 Índice de coordenação, tempo propulsivo, eficiência propulsiva e variação intra-cíclica da velocidade	67
6.8.3 Erro RMS da digitalização do volume de calibração	70
6.9 Procedimentos para obtenção das variáveis fisiológicas	71
6.9.1 Determinação de [La], FC e EP	71

6.9.2 Determinação do $\dot{V}O_2$	72
6.9.3 Determinação da cinética do $\dot{V}O_2$	75
6.10 Análise estatística.....	76
7 RESULTADOS	78
7.1 Características da amostra	78
7.2 Variáveis biomecânicas	80
7.3 Variáveis fisiológicas	94
8 DISCUSSÃO.....	98
8.1 Familiarização ao metrônomo e pacer	98
8.2 Variáveis biomecânicas	99
8.3 Variáveis fisiológicas	105
9 CONCLUSÕES E DIREÇÕES	112
REFERÊNCIAS	114
ANEXO I.....	125
ANEXO II.....	127
ANEXO III.....	129
ANEXO IV.....	130

INTRODUÇÃO

A natação é uma modalidade cíclica cujos objetivos competitivos estão relacionados a percorrer uma distância previamente prescrita no menor tempo possível dentro das regras estabelecidas. Assim o desempenho em natação é aferido pelo tempo decorrido para a distância específica (TERMIN e PENDERGAST, 2000; MUJIKÁ, PADILLA e PYNE, 2002). A evolução do desempenho em natação está relacionada à melhoria dos processos de avaliação e controle do treinamento, de forma sistemática, a partir das capacidades de ordem fisiológica (bioenergética), biomecânica (relacionados à técnica de nado) e psicológica (FERNANDES et al., 2003).

Zamparo et al. (2006) afirmam que a habilidade técnica de um nadador representa um dos fatores que podem incrementar ou reduzir o custo energético da natação (outros fatores seriam o estilo em que se nada, as características antropométricas, a capacidade de flutuação, as resistências passiva e ativa e a eficiência propulsiva). Neste sentido, tem se estudado o modo como os atletas executam o gesto até completar determinada tarefa respectiva da modalidade esportiva com o mínimo de custo, conforme a demanda da tarefa (SPARROW e NEWELL, 1998).

Os movimentos são considerados econômicos quando atingem o objetivo da tarefa com um mínimo gasto de energia metabólica para a tarefa imposta. A energia metabólica é derivada dos alimentos, principalmente da gordura e dos hidratos de carbono, a qual é convertida em energia química que, por sua vez, é convertida em energia mecânica por meio da contração muscular. A energia gasta por meio da contração muscular, produz calor. Este calor produzido pelo metabolismo alimentar é equivalente ao calor liberado pelo organismo (CAVANAGH e KRAM, 1985). Essa energia metabólica (\dot{E}), derivada das fontes de energia aeróbica e anaeróbica, sustenta a saída de energia mecânica (W_{tot}), que pode ser produzida para sustentar a locomoção em terra ou na água, que vai influenciar na eficiência geral da locomoção ou mecânica (η_o), de acordo com a Equação 1:

Equação 1

$$\eta_o = W_{tot}/E$$

No entanto, na locomoção aquática apenas uma fração da W_{tot} pode ser utilizada para superar as forças de arrasto (arrasto hidrodinâmico, W_d), pois o nadador tem que produzir energia adicional para mover a água, já que a energia cinética não é útil para a propulsão (DANIEL, 1991). A fração da E convertida em W_{tot} é definida como η_o . Na locomoção aquática, a W_{tot} é composta por componentes úteis e não úteis, produzindo uma cascata de eficiências, como a eficiência hidráulica, a eficiência de Froude, a eficiência propulsiva e a eficiência da braçada (ZAMPARO et al., 2002; SILVEIRA et al., 2017). A eficiência de Froude pode, de fato, ser medida também a partir da relação da velocidade direta do centro da massa pela velocidade média dos segmentos das mãos e dos pés na natação. Essa relação representa a eficiência teórica da mecânica dos fluídos (FOX e McDONALD, 1992), bem como a eficiência teórica (Froude) nos animais que nadam usando "ações semelhantes a de remada" (ALEXANDER, 1983). A W_{tot} pode ser utilizada na água, para superar o arrasto hidrodinâmico, o qual é denominada eficiência propulsiva (η_p):

Equação 2

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

O W_d pode ser determinado a partir dos valores da força de arrasto (F_d) e da velocidade de nado ($W_d = F_d \cdot V$). Assim, a F_d é proporcional ao quadrado da velocidade:

Equação 3

$$F_d \approx K v^2$$

Ainda, o custo energético para vencer as forças de arrasto é proporcional ao cubo da velocidade:

Equação 4

$$Wd \approx Kv^3$$

Ao combinar as Equações 2 e 4, obtém-se:

Equação 5

$$V^3 = 1 / KnpWtot$$

A Equação 5 define a relação entre ηp , $Wtot$ e k , de forma independente da velocidade, e que demonstra que a velocidade de deslocamento no meio aquático será maior quando $Wtot$ e ηp são maiores e a constante k é inferior (ZAMPARO et al., 2014). O $Wtot$ aumenta de acordo com o aumento da velocidade, da frequência gestual média de ciclos (FG) e a ηp diminui em conjunto com a diminuição da distância média percorrida por ciclo de braçada (DC) em altas velocidades (ZAMPARO, 2006). O sucesso de um nadador é determinado pela capacidade de aplicar força propulsiva e de minimizar a magnitude do arrasto. Com isso, nadadores de alto nível competitivo conseguem nadar em maiores velocidades com o mesmo custo energético ou nadar à mesma velocidade com menor custo energético quando comparados a nadadores de menor nível (BARBOSA et al., 2005).

Wakayoshi et al. (1993) afirmam que a velocidade média de nado (VN), indicador de desempenho, pode ser determinada pelo produto entre a FG e a DC (CRAIG e PENDERGAST, 1979; ARELLANO et al., 1994; SMITH, NORRIS e HOGG, 2002). Os nadadores adotam, geralmente de maneira livre e espontânea, a combinação que julgam ser mais eficiente entre a FG e a DC. Para Toussaint e Beek (1992), os parâmetros FG e a DC são representativos da capacidade técnica de um nadador, e, de acordo com Vilas-Boas et al. (2001), tendem a se alterar de acordo com a instalação do processo de fadiga durante a execução de determinada tarefa.

A DC é influenciada pelas forças aplicadas sobre e pelo nadador na água e definida como a distância, em metros, que o corpo do nadador se desloca para frente durante cada ciclo de braçadas (HAY e GUIMARÃES, 1983). Quanto à FG, esta é definida como um valor que expressa o número de ciclos efetuados pelo nadador a cada unidade de tempo (HAY e GUIMARÃES,

1983) e depende do tempo que o nadador gasta nas fases propulsivas e não propulsivas da braçada. De acordo com Hay e Guimarães (1983) há uma relação negativa entre a FG e a DC: aumento na DC deve, geralmente, gerar diminuição na FG; aumento na FG deve gerar, de maneira geral, diminuição na DC. Aumentos, tanto na DC, quanto na FG podem resultar em importantes melhoras na VN e, conseqüentemente, no desempenho.

Foi definida a existência de uma relação directa da ηp com a DC e inversa com a FG e o custo energético (TOUSSAINT e HOLLANDER, 1994; BARBOSA et al., 2005; BARBOSA et al., 2008). Por outro lado, de acordo com Toussaint (1990) e Barbosa et al. (2005), existe associação significativa entre a ηp e características antropométricas: a envergadura pode induzir aumento da DC e, conseqüentemente, aumentos na ηp .

Para nadar nas maiores velocidades possíveis, nadadores adotam maiores valores de DC, com altos valores de FG (CHOLLET et al., 1997). Assim, treinadores de natação atentam para o desenvolvimento da DC. Quanto maior for a DC, maior será a economia do nado, por diminuição do arrasto e aumento da força de propulsão e da ηp (SANDERS, 2002; KESKINEN, TILLI e KOMI, 1989). Por outro lado, o incremento da FG é a estratégia utilizada e encontrada pelos nadadores quando da necessidade de aumento agudo da VN (YANAI, 2003; MARINHO et al., 2006) e representa a adequação neuromuscular à nova situação de intensidade mais elevada. De acordo com Pelayo et al. (2007), as diferentes estratégias a serem utilizadas no treinamento de natação, relacionadas ao comportamento das combinações de DC e da FG para manutenção das velocidades, podem ser explicados por diversos fatores, tais como: (i) as características antropométricas, (ii) a força muscular, (iii) o nível de desempenho e (iv) a ηp . As estratégias adotadas pelos nadadores em relação ao comportamento da FG e da DC sob velocidades controladas em séries de treinamento na natação foram avaliadas por alguns estudos (CRAIG e PENDERGAST, 1979; DEKERLE et al., 2002; DEKERLE et al., 2005; RIBEIRO, LIMA e GOBATTO, 2010; ALBERTY et al., 2008; ALBERTY et al., 2009; ALBERTY et al., 2011; FIGUEIREDO et al., 2013a; FRANKEN et al., 2013; FIGUEIREDO et al., 2014; MORRIS et al., 2016).

Ribeiro, Lima e Gobatto (2010) observaram aumento nos valores da FG e diminuição da DC em série de treinamento intervalado de cinco repetições de

400 m a velocidade controlada relativa à velocidade crítica (VC) no nado crawl. Já Dekerle et al. (2002) compararam as respostas da FG em velocidades controladas relativas à VC e ao teste de 30 minutos (T30) e não observaram valores similares da FG ao longo de ambos os esforços. Dekerle et al. (2005) observaram aumento na FG e diminuição na DC em intensidades acima da máxima fase estável de lactato (MLSS). A MLSS pode ser definida como a intensidade de exercício na qual o maior valor da [La] é estável por longo tempo (BENEKE, LEITHAUSER e HUTLER, 2001). Essa diminuição na DC pode ser atribuída à ocorrência de fadiga muscular, diminuindo, dessa forma, a aplicação de força propulsiva, aumentando a FG de forma compensatória para manter a VN. Portanto, parecem ocorrer alterações na FG para manter a VN apenas em intensidades acima da MLSS durante séries de treinamento intervalado com velocidades controladas. Essas adaptações têm sido atribuídas ao desenvolvimento da fadiga, pela incapacidade de produzir a força necessária para superar a resistência na progressão do movimento (ALBERTY et al., 2009).

Alguns estudos (FIGUEIREDO et al., 2014; SILVEIRA et al., 2017) demonstraram que a eficiência depende da FG nos desportos cíclicos, como a natação. Ainda, observações da FG e DC com o objetivo de manter a VN em uma intensidade de nado ou em situação de desempenho são utilizados de forma regular (CRAIG e PENDERGAST, 1979; CRAIG et al., 1985; CHOLLET et al., 1997; ALBERTY et al., 2009; FIGUEIREDO et al., 2014). Zamparo et al. (2005) concluíram que a deterioração dos parâmetros do ciclo gestual em nadadores em situação de fadiga leva ao aumento do custo energético.

A técnica de nado desempenha papel importante na variação do custo energético e na eficiência propulsiva durante prova competitiva de natação (CHATARD, LAVOIE e LACOUR, 1990). Contudo, Chatard, Lavoie e Lacour (1990) afirmaram que a FG se afirma como melhor indicador da técnica de nado do que a DC, uma vez que explica a maior variabilidade de propulsão na natação. Em relação aos parâmetros de eficiência, Figueiredo et al. (2014) encontraram diminuição na variação intra-cíclica da velocidade (VIV) e na ηp ao longo de nado em intensidade relativa a máxima fase estável de lactato sanguíneo (MLSS), apesar da estabilidade observada em outros parâmetros, tais como a FG e a DC. De acordo com Figueiredo et al. (2013a), a VIV e a ηp

estão relacionadas com os parâmetros da braçada, portanto, parecem ser mais sensíveis do que FG e DC. A VIV tem sido utilizada para caracterizar a técnica no nado e sua magnitude foi considerada um indicador da eficiência na natação (VILAS-BOAS, FERNANDES e BARBOSA, 2010; FIGUEIREDO et al., 2013b).

No treinamento de natação, como a intensidade é parâmetro de controle que deve induzir adaptações de cunho fisiológico e a técnica é um conteúdo de treino, além de ser fundamental para o desempenho, ambos são muito importantes para monitorar as sessões de treinamento quando avaliados de forma conjunta (DEKERLE et al., 2006; FRANKEN et al., 2013). Com o intuito de aumentar a DC, treinadores de natação poderiam utilizar um modelo de controle da intensidade e da técnica com uma velocidade fixa, na qual o número de ciclos de braçadas a serem executados para determinada distância seriam fixos também. Portanto, essa estratégia de treinamento com múltiplas combinações, que estão associadas aos parâmetros da FG por meio da variação dos valores da FG de forma controlada pode ser utilizada em qualquer velocidade na natação (ALBERTY et al., 2011). Dos pontos de vista biomecânico e fisiológico, o controle da FG, a fim de manter determinada velocidade, pode interferir, respectivamente na organização motora da braçada (ALBERTY et al., 2011), na eficiência do nado (BARBOSA et al., 2005) e no custo energético e, conseqüente, no comportamento da cinética do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) (McLEAN et al., 2010; MORRIS et al., 2016).

A manutenção de determinada velocidade alvo depende dos impulsos propulsivos e de suas frequências de aplicação, ou seja, o valor da FG. Já a variação no custo energético pode ser demonstrada pelo comportamento da curva do $\dot{V}O_2$ em intensidades superiores a MLSS: após a ocorrência de um primeiro aumento monoexponencial do $\dot{V}O_2$, ocorre um segundo aumento, o qual é definido como componente lento ($cl\dot{V}O_2$). Como o $cl\dot{V}O_2$ é encontrado apenas em intensidades de exercício que promovem uma acidose sustentada (WHIPP et al., 2002), a [La] induzida pelo exercício é geralmente associada com o comportamento do $cl\dot{V}O_2$ (POOLE et al., 1988). O $cl\dot{V}O_2$ é considerado um custo adicional de oxigênio que reduz a energia disponível para o exercício, estando associado a uma diminuição na eficiência mecânica (GAESSER e POOLE, 1996), e conseqüentemente, a alterações na ηp e na FG. Com isso, espera-se que diferentes valores de FG em uma mesma intensidade (por

exemplo, 95% da velocidade média –V400 de um teste de 400 m - T400) podem acarretar em diferentes respostas da cinética do $\dot{V}O_2$, bem como alterações no tempo até a exaustão.

Não foram encontrados, até então, estudos que tenham verificado o efeito da FG em natação nas respostas da cinética do $\dot{V}O_2$. Por outro lado, tem sido demonstrado, no ciclismo, que o exercício realizado em diferentes cadências de pedalada apresenta efeitos estatísticos na cinética do $\dot{V}O_2$, especificamente no $cl\dot{V}O_2$, sendo as maiores amplitudes do $cl\dot{V}O_2$ encontradas nas cadências mais altas (NESI et al., 2004; VERCRUYSSSEN, MISSENARD e BRISSWALTER, 2009; HIRAI et al., 2010). De acordo com estes estudos, é assumido que as fibras musculares do tipo II possuem cinética do $\dot{V}O_2$ mais lenta e são menos eficientes que as fibras musculares do tipo I, e que o $cl\dot{V}O_2$ é relacionado com maior contribuição das fibras musculares do tipo II relativamente às fibras do tipo I durante o exercício realizado nos domínios de intensidade pesado e severo em maiores cadências (NESI et al., 2004; VERCRUYSSSEN, MISSENARD e BRISSWALTER, 2009; HIRAI et al., 2010).

A atividade desportiva de alto nível requer cada vez mais estudos que avaliem e que possam fornecer informações de relevância para treinadores, atletas e cientistas do esporte. Informações a respeito das respostas agudas na técnica e no custo energético a partir do controle da FG da braçada com diferentes valores da mesma em conjunto com a velocidade fixa, são, sem dúvida, de grande importância para a aplicação prática no treinamento em natação.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

Foi formulado, para esta tese, o seguinte problema de pesquisa:

Em nado a 95% da velocidade média relativa ao desempenho dos 400 m (V400), diferentes condições de controle da FG, em protocolos até a exaustão, são capazes de modificar: (i) parâmetros biomecânicos, (ii) parâmetros coordenativos, (iii) parâmetros fisiológicos, (iv) o tempo total até a exaustão (TTE) e (v) a cinética do consumo de oxigênio?

3 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese foi descrever e analisar respostas agudas a diferentes frequências gestuais controladas do nado crawl em parâmetros biomecânicos, coordenativos e fisiológicos em intensidade relativa à velocidade de 95% da V400 na natação até a exaustão.

3.2 Objetivos Específicos

Entre as condições de controle de valores de FG livre, aumentada e reduzida e ao longo das séries de nado contínuo em cada condição de FG:

1. Comparar FG, DC, VN, duração das fases da braçada, duração média do ciclo de braçadas (T_{ciclo}), índice de coordenação (IdC), tempo propulsivo (T_{prop}), variação intra-cíclica da velocidade (VIV) e eficiência de Froude (η_r);
2. Comparar concentração de lactato sanguíneo ([La]), esforço percebido (EP), frequência cardíaca (FC), consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), amplitude da cinética do consumo de oxigênio (A_p), tempo de atraso do consumo de oxigênio (τ_d), constante temporal do consumo de oxigênio (τ);
3. Comparar o tempo total até exaustão (TTE).

3.3 Justificativa

Saber como o nadador adapta a sua técnica à diferentes valores da FG poderia auxiliar treinadores a escolherem com maior segurança a condição da FG a ser imposta para a mesma velocidade. Sabe-se que quanto maior o valor da FG, maior será a duração das fases propulsivas da braçada, independentemente da mudança da VN (ALBERTY et al., 2011). Ainda, Morris et al. (2016) encontraram aumento nos valores do $\dot{V}O_2$, da [La], do EP e da FC e diminuição da DC de acordo com o aumento do valor da FG e da velocidade. As alterações encontradas no estudo de Morris et al. (2016) são explicadas

pelo aumento da FG e também da velocidade. Por outro lado, quanto menor for a VN e a FG, maior será o tempo da duração da fase de entrada até o apoio da braçada (não-propulsiva, Fase A). Assim, em uma VN constante, uma diminuição na FG levaria a maior duração das fases não-propulsivas e a maior intervalo de tempo entre os dois impulsos consecutivos de propulsão de ambos os braços (ALBERTY et al., 2011).

A velocidade de 95% da V400 (acima da MLSS) representa intensidade de exercício com grande componente anaeróbico na natação e pode ser utilizada em séries de treinamento na modalidade para o desenvolvimento da capacidade e da potência aeróbica e da técnica de nado. Portanto, os efeitos que podem gerar a aplicação de diferentes valores da FG da braçada (aumentada e reduzida) em conjunto com a velocidade fixa poderão influenciar, por exemplo, a DC a ser adotada pelo nadador e, conseqüentemente a η_1 e o comportamento da cinética do $\dot{V}O_2$. Por exemplo, em relação ao controle do treinamento pela condição de FG reduzida, ao nadar em uma mesma velocidade, este tipo de variação pode implicar no desenvolvimento de maiores valores da DC ao longo do tempo.

Por outro lado, tem sido demonstrado, no ciclismo, que o exercício realizado em diferentes cadências de pedalada apresenta efeitos estatísticos na cinética do $\dot{V}O_2$, especificamente no $ci\dot{V}O_2$, sendo as maiores amplitudes do $ci\dot{V}O_2$ encontradas nas cadências mais altas (VERCRUYSSSEN, MISSENARD e BRISSWALTER, 2009). O conhecimento dos impactos em variáveis biomecânicas, coordenativas e fisiológicas de se manter a velocidade até a exaustão nesta intensidade, a partir do efeito de diferentes condições na FG da braçada em nadadores, pode oferecer informações importantes para melhor compreender e poder aplicar este parâmetro no treinamento de natação.

4 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão aborda os seguintes tópicos: (1) Biomecânica de nado, (2) Parâmetros coordenativos e duração das fases da braçada no nado *crawl* e, (3) Energética da Natação.

4.1 Biomecânica de nado

Craig et al. (1985) indicaram que melhorias na execução técnica do nado são refletidas na FG e DC durante uma competição. Estes autores compararam FG, DC e VN dos nadadores que participaram das seletivas norte-americanas para as Olimpíadas de 1984. Encontraram informações a respeito da FG, da DC e da VN, de acordo com a prova, de 100 a 1500 m nado livre, com resultados médios dos participantes das séries eliminatórias, presumivelmente mais fracas, e das finais, presumivelmente mais fortes. Os resultados indicaram, para as provas de nado livre analisadas (100, 200, 400 e 1500 m), os nadadores com melhor desempenho apresentaram maiores valores de DC e de VN em altos valores de FG quando comparado a nadadores de pior desempenho.

Adaptações na FG e na DC, e conseqüentemente, na VN, ao treinamento aeróbio, foram relatadas por Wakayoshi et al. (1993) que realizaram testes pré e pós-treinamento, que consistiam em percorrer a distância de 400 m em nado *crawl* em máxima velocidade média (V_{400}) e, 24 horas após, três repetições de 400 m em nado *crawl*, a 85, 90 e 95% da V_{400} . Segundo os autores, houve diferenças estatísticas entre pré e pós-treinamento para as médias das máximas velocidades ($1,43 \pm 0,028 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $1,47 \pm 0,021 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente) e para as médias das máximas da DC ($2,17 \pm 0,036 \text{ m}$ e $2,22 \pm 0,031 \text{ m}$, respectivamente), mas não entre as médias das máximas da FG ($0,65 \pm 0,014 \text{ Hz}$ e $0,66 \pm 0,014 \text{ Hz}$, respectivamente). O treinamento aeróbio pode ter sido responsável por melhorias na proficiência técnica, resultando em um decréscimo no custo energético para as mesmas velocidades antes e após o treinamento, refletindo-se no aumento na DC entre

os 300 e 400 m das repetições, segundo os autores, e, conseqüentemente, aumentando a velocidade média.

Para nadar nas maiores velocidades possíveis, nadadores adotam maiores valores de DC, com altos valores de FG (CHOLLET et al., 1997). Assim, treinadores de natação atentam para o desenvolvimento da DC. Quanto maior for a DC, maior será a economia do nado, pela diminuição do arrasto e o aumento da força de propulsão e da eficiência propulsiva (SANDERS, 2002; KESKINEN, TILLI e KOMI, 1989). Segundo Yanai (2003), as alterações da VN são devidas a dois tipos de respostas da DC e da FG: (1) agudamente (durante uma prova ou uma sessão de treino, por exemplo) o incremento da VN acontece por aumento de FG e diminuição, concomitante, de DC (mas o módulo da variação positiva da FG maior que o módulo da variação negativa da DC); e (2), cronicamente (ao longo de uma temporada de treinamentos, por exemplo) o incremento da VN acontece por aumento de DC, com concomitante pequena variação de FG.

Ribeiro, Lima e Gobatto (2010), ao avaliarem 12 nadadores competitivos ($16,5 \pm 1,2$ anos), encontraram aumento nas respostas da FG (de $29,6 \pm 3,2$ para $32,1 \pm 4,1$ ciclos.min⁻¹) com concomitante redução da DC (de $2,48 \pm 0,22$ para $2,31 \pm 0,24$ m) na tentativa de manter a VN correspondente à VC ($1,28 \pm 0,05$ m.s⁻¹), o que correspondeu a 93% da velocidade média do desempenho de 400 m (V400), durante série de treinamento intervalado de cinco repetições de 400 m no estilo *crawl* com intervalo de repouso passivo de 90 segundos. Segundo os autores, os nadadores adotaram essa estratégia para manter a velocidade ao longo da série. Por outro lado, Dekerle et al. (2002), compararam as respostas da FG a velocidades controladas relativas à VC e média do T30 e não observaram valores similares da FG ao longo de ambos os esforços. Pelarigo, Denadai e Greco (2011), ao avaliarem 12 nadadores (21 ± 8 anos) de meio-fundo e fundo, de nível regional e nacional, nas intensidades de 100 e 102,5% da MLSS de forma contínua (velocidades de $1,22 \pm 0,05$ m.s⁻¹; $1,25 \pm 0,04$ m.s⁻¹, respectivamente) com duração de trinta minutos, observaram valores similares da DC e da FG nos 100% da MLSS, porém, aumento da FG (de $30,9 \pm 3,4$ para $32,2 \pm 3,5$ ciclos.min⁻¹) e redução da DC (de $2,47 \pm 0,2$ para $2,38 \pm 0,2$ m) nos 102,5% da MLSS. Os autores (PELARIGO, DENADAI e GRECO, 2011) afirmaram que a intensidade de

MLSS é adequada para o desenvolvimento da técnica nas sessões de treinamento em natação. Dekerle et al. (2005) avaliaram a cinemática (VN, FG e DC) de 11 nadadores bem treinados em quatro sessões de teste de trinta minutos de duração nas intensidades relativas de 75, 80, 85 e 90% da V400, quando foi estimada a MLSS. Dekerle et al. (2005) observaram aumento na FG e diminuição na DC em intensidades acima da MLSS. Essa diminuição na DC pode ser atribuída à ocorrência de fadiga muscular, diminuindo, dessa forma, a aplicação de força propulsiva, aumentando a FG de forma compensatória para manter a VN.

Oliveira et al. (2012) avaliaram 13 nadadores do sexo masculino (23 ± 9 anos) e verificaram as possíveis alterações da técnica (FG, DC e índice de nado - IN) nas intensidades relativas a 100 e 102,5% da MLSS de forma contínua (duração de 30 minutos) e intermitente (12 x 150 s). A velocidade foi maior na forma intermitente ($1,17 \pm 0,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) quando comparada a forma contínua ($1,13 \pm 0,08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), enquanto a concentração de lactato sanguíneo foi semelhante entre as duas condições ($4,3 \pm 1,1$ e $4,4 \pm 1,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, respectivamente). Os autores (OLIVEIRA et al., 2012) encontraram aumento da FG e diminuição da DC e do índice de nado de forma estatística a 102,5% da MLSS tanto de forma contínua, quanto intermitente. Na intensidade de 100% da MLSS, apenas a DC apresentou diminuição, porém, a FG e o IN foram similares.

Ainda, Figueiredo et al. (2014) realizaram avaliação cinemática ao longo de um teste com a duração de 30 minutos na intensidade correspondente a MLSS em treze nadadores de longa distância. Avaliaram os parâmetros cinemáticos (FG, DC, inclinação do tronco, variação da velocidade intracíclica, tempo propulsivo, índice de coordenação - IdC - e eficiência propulsiva) em cinco momentos do teste de 30 minutos: 0, 25, 50, 75 e 100%. Ocorreu aumento no valor da FG e diminuição da DC apenas do primeiro para o último momento do teste ($p < 0,05$). Também ocorreu diminuição da variação da velocidade intracíclica e da eficiência propulsiva, porém, o IdC e o tempo propulsivo apresentaram comportamentos similares durante o teste na MLSS. Figueiredo et al. (2014) concluíram que a intensidade na MLSS não é apenas uma intensidade em que o nadador consegue manter sem um aumento expressivo da concentração de lactato sanguíneo, mas também com uma

estabilidade concomitante de parâmetros biomecânicos (após adaptação inicial).

Portanto, ocorrem alterações na FG para manter a VN apenas em intensidades acima da MLSS durante séries de treinamento intervalado com velocidades controladas (ALBERTY et al., 2008; RIBEIRO, LIMA e GOBATTO, 2010; ALBERTY et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012; FIGUEIREDO et al., 2014). De acordo com Vilas-Boas et al. (2001), esses parâmetros tendem a se alterar de acordo com a instalação do processo de fadiga durante a execução de alguma prova ou treinamento em natação. Conforme Castro e Mota (2008), parece existir um limite biomecânico, relacionado à intensidade de nado caracterizada por limiar anaeróbio, além do qual, a DC torna-se comprometida. Para a manutenção da VN em intensidades superiores a MLSS, nadadores costumam aumentar de forma compensatória a FG, uma vez que ocorre redução na DC (SCHNITZLER, SEIFERT e CHOLLET, 2009).

Já Alberty et al. (2008) avaliaram se o controle da FG poderia provocar alterações na técnica de nado e no tempo até a ocorrência de exaustão (TTE). Foram avaliados dez nadadores ($20,3 \pm 1,7$ anos; oito homens e duas mulheres) de nível nacional, que realizaram três testes até a ocorrência de exaustão nas intensidades relativas aos percentuais de 95, 100 e 110% da V400, com um TTE nas situações de FG livre de (670 ± 117 s; 238 ± 43 ; 68 ± 14 s, respectivamente aos percentuais de 95, 100 e 110% da V400) e FG controlada (333 ± 54 ; 177 ± 58 ; 47 ± 10 s, respectivamente aos percentuais de 95, 100 e 110% da V400) para cada percentual da V400. Na primeira situação, os nadadores mantinham a velocidade até a exaustão com uma FG que julgassem ser a mais eficiente e que foi adotada de forma livre. Na segunda situação, eles tiveram que manter a velocidade até a exaustão com uma FG controlada individualmente. A FG controlada foi determinada pela média da FG adotada pelo nadador na condição livre. Foi verificado que, para todas as intensidades na condição de FG livre, os testes até a ocorrência da exaustão apresentaram maior duração quando comparados aos testes na condição de FG controlada, o que pode ser explicado por um menor estresse fisiológico na condição de FG livre. Ainda, na condição de FG livre, os nadadores, junto com aumento da FG, reduziram a DC para manter a velocidade. Já com a condição

de FG controlada, a DC apresentou estabilidade no seu comportamento para manter a velocidade.

Em outro estudo, Alberty et al. (2011) investigaram as alterações agudas na técnica com a redução da FG em 10 nadadores bem treinados que nadaram três vezes até ocorrência da exaustão nas velocidades correspondentes aos percentuais de 95, 100 e 110% da V_{400} no nado *crawl* em três condições de comportamento da FG: FG livre, FG controlada e FG reduzida. A duração dos testes foi menor na condição de FG reduzida. Os nadadores aumentaram a duração das fases não-propulsivas (entrada+apoio e recuperação) da braçada na condição de FG reduzida. Os autores afirmaram que a diminuição estatística da duração do exercício pode ter sido causada por uma solicitação muscular não usual. Mudanças na técnica durante os testes exigiram maior aplicação de força propulsiva e da eficiência dos nadadores, minimizando o arrasto, porém não diferiu no tempo das ações propulsivas da braçada.

4.1.1 Eficiência propulsiva

A η_p tem sido um dos temas mais importantes para os pesquisadores na área da investigação em natação, já que tem uma relação direta com o comportamento biofísico e com o desempenho do nadador (BARBOSA, KESKINEN e VILAS-BOAS, 2006). Estima-se que a η_p na técnica de nado *crawl*, seja aproximadamente até 40% (ZAMPARO et al., 2005; FIGUEIREDO et al., 2013b; FIGUEIREDO et al., 2014; SILVEIRA et al., 2017). Na natação, a W_{tot} é composta por componentes úteis e não úteis, produzindo uma cascata de eficiências, como a eficiência hidráulica, a eficiência de Froude, a eficiência propulsiva e a eficiência da braçada (ZAMPARO et al., 2002; SILVEIRA et al., 2017).

Uma das técnicas muito utilizadas para avaliação da η_p , são o MAD system (*Measure Active Drag – system*) desenvolvido por Hollander et al. (1986). Este sistema permite que o nadador se desloque na água tendo como pontos de aplicação de força uma sucessão de apoios fixos que transferem a força aplicada a uma célula de carga. Outra técnica envolve sistema tridimensional de análise da cinemática segmentar, desenvolvido por Cappaert,

Bone e Troup (1992). Ainda, o modelo teórico de Martin, Yeater e White (1981), e anos mais tarde desenvolvido por Zamparo et al. (2005), foi uma simplificação de sua aplicação. Neste modelo, o membro superior é considerado como um segmento rígido que efetua uma ação completa, em que metade dessa ação é executada com o segmento imerso (ação propulsiva) e a outra metade da ação com o segmento emerso (fase da recuperação), conforme demonstrado na Figura 1.

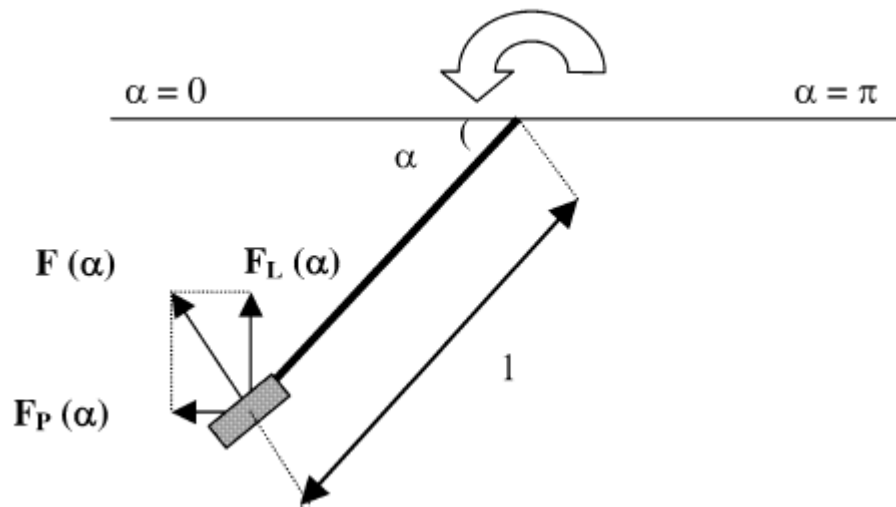


Figura 1 - Diagrama de corpo livre das forças atuantes sobre um segmento rígido durante o movimento, contendo a força de arrasto propulsivo (F_P), a força ascensional propulsiva (F_L), a resultante da soma da F_P e da F_L (F) em cada posição angular (α) e o comprimento do membro superior (l) (modificado de Zamparo et al., 2005).

Se a posição angular do membro superior varia entre 0 e π , com uma dada frequência gestual (FG), a velocidade angular (ω) é dada por:

Equação 6

$$\omega = a(t) = 2.\pi.FG$$

O trabalho mecânico útil é definido como:

Equação 7

$$F_p(a)v = F(a)\text{sen}av$$

De acordo com a segunda lei de Newton, esta força deve ser igual e oposta a força de arrasto (F_D), considerando a massa (m) e a aceleração (a). Logo:

Equação 8

$$F_p(v) - F_D(v) = m.a$$

Se o movimento for uniforme:

Equação 9

$$F_p(v) = F_D(v)$$

O trabalho mecânico total é calculado com base no momento da articulação escápulo-umeral, onde l é o comprimento do membro superior:

Equação 10

$$F(a)l\omega = 1.2\pi.FG$$

Como a contribuição dos membros superiores para a propulsão é de aproximadamente 90% (HOLLANDER et al., 1986):

Equação 11

$$\eta_p = (v.0,9 / 2\pi.FG.l).2 / \pi$$

A Equação 11 consiste na estimativa da eficiência de Froude (η_f). A diferença entre a eficiência de Froude e a η_p consiste da primeira não levar em consideração o efeito do trabalho mecânico interno para o trabalho mecânico total produzido. Porém, dada a amplitude de velocidades que os nadadores de melhor nível atingem, o trabalho mecânico interno pode ser considerado como negligenciável (ZAMPARO et al., 2005). Portanto, nesta circunstância, a η_p apresenta um valor próximo da eficiência de Froude.

A eficiência da braçada na natação foi geralmente representada pela fração do trabalho mecânico que se converte em força propulsiva útil (ou seja, eficiência de Froude; η_T) e relatado como um dos principais determinantes do desempenho da natação (ZAMPARO et al., 2014). Assim, a compreensão e o desenvolvimento de métodos que são viáveis e compatíveis com treinadores é uma grande preocupação na pesquisa de natação.

Figueiredo et al. (2013b) verificaram as relações entre alguns parâmetros de eficiência (VIV e eficiência de Froude, η_T), custo energético e IdC ao longo da prova dos 200 m em nado estilo crawl em máxima intensidade. Foram avaliados dez nadadores de nível internacional do sexo masculino e calculados a VIV nos eixos x,y e z e a eficiência de Froude, η_T . Os nadadores apresentaram valores similares de VIV (x, y e z), uma vez que o desenvolvimento da fadiga ao longo dos 200 m induziu a uma diminuição da velocidade, da DC, da FG, da η_T , o que pode ser explicado pela ocorrência de fadiga, e aumento do IdC. De acordo com Figueiredo et al. (2013b), a estabilidade nos valores da VIV (x, y e z) ao longo da realização dos 200 m nado crawl em máxima intensidade, está de acordo com achados anteriores (PSYCHARAKIS et al., 2010). O aumento da VIV poderia aumentar o trabalho, conforme já relatado teoricamente e experimentalmente em protocolos de natação incremental (BARBOSA, KESKINEN e VILAS-BOAS, 2006).

Os autores (FIGUEIREDO et al., 2013b) afirmaram que a redução na capacidade de gerar força propulsiva de forma efetiva pelo aumento da FG é compensada pelo aumento da velocidade da trajetória da mão e, conseqüentemente, os valores da DC diminuíram. Este fato pode explicar porque a DC é considerada um Indicador de eficiência propulsiva (TOUSSAINT e BEEK, 1992; FIGUEIREDO et al., 2011).

Uma das principais questões sobre a avaliação da eficiência propulsiva (ou Froude) na natação é o fato de que a abordagem mais utilizada relatada na literatura refere-se apenas aos movimentos de ambos os braços, o qual não considera a contribuição da movimentação das pernas na propulsão do nado crawl, utilizando a velocidade da mão ($\eta_T = \text{velocidade de nado} / \text{velocidade das mãos}$) e pode ser avaliada por um modelo em 2D simplificado (ZAMPARO et al., 2005; SILVEIRA et al., 2017), ou por um modelo em 3D, no qual a eficiência

da trajetória do braço é considerado como a relação entre a velocidade horizontal do centro de massa e o 3D resultante Velocidade da mão ($\eta_T = \text{velocidade do centro de massa} / \text{velocidade em 3D da mão}$) (FIGUEIREDO et al., 2013b).

4.1.2 Parâmetros coordenativos e duração das fases da braçada

Após análises iniciais referentes ao padrão motor da braçada por Chatard, Lavoie e Lacour (1990), para avaliar a coordenação de nado, Costill, Maglischo e Richardson (1992) propuseram, a partir da relação temporal das quatro fases de cada braçada: entrada da mão na água + apoio, puxada, empurrada e recuperação. As fases de puxada e de empurrada podem ser responsáveis pela propulsão do nadador, já as fases de entrada da mão + apoio e de recuperação são consideradas as não-propulsivas da braçada.

Desta relação temporal das quatro fases de cada braçada, pode-se identificar a cada ciclo de braçada, três modelos de coordenação: (1) modelo de oposição: aquele em que um braço inicia a fase de puxada quando o outro braço finaliza a fase de empurrada; (2) modelo de captura: apresenta um intervalo sem propulsão, entre o final da fase de empurrada de um braço e o início da fase de puxada do outro braço e (3) modelo de sobreposição: descrito como aquele no qual o início da fase de puxada de um braço ocorre antes do final da fase de empurrada do outro braço (COSTILL, MAGLISCHO e RICHARDSON, 1992; MAGLISCHO, 2003).

Com a iniciativa de estabelecer um índice para quantificar a coordenação e a ação dos braços direito e esquerdo no nado *crawl*, Chollet, Chalies e Chatard (2000) propuseram o índice de coordenação (IdC), o qual pode ser considerado como o tempo de atraso entre as fases propulsivas e não-propulsivas que influenciam a aceleração e a desaceleração do centro de massa do corpo. Sugere-se que esses padrões de adaptação do movimento surjam como uma função de propensão do organismo em conservar a energia metabólica das demandas decorrentes das restrições ambientais (SPARROW e NEWELL, 1998). O IdC adotado por um nadador é calculado a partir de dados de posição e tempo obtidos de imagens capturadas por meio da técnica de cinemática subaquática do nado no plano sagital dos atletas (CHOLLET,

CHALIES e CHATARD, 2000). Nesta técnica, identifica-se, visualmente, o momento em que se inicia cada uma das três fases subaquáticas da braçada: (1) entrada, (2) puxada e (3) empurrada, em cada um dos braços. Assim, o IdC é o tempo decorrido entre o final da fase de empurrada de um braço e o início da fase de puxada do outro braço, expresso em percentual da duração total do ciclo da braçada (CHOLLET, CHALIES e CHATARD, 2000). Além disso, o tempo propulsivo estima o tempo previsto para a propulsão por cada trecho de nado (T_{prop}), que foi recentemente proposto por Albery et al. (2009).

A medida que se aumenta a VN, o IdC e a duração das fases da braçada relativas à duração total da braçada sofrem alterações, incrementando tanto o IdC, quanto a duração das fases propulsivas (puxada e empurrada), aumentando, assim, o tempo de aplicação de força propulsiva, com uma diminuição da duração da fase de entrada + apoio da braçada (CHOLLET, CHALIES e CHATARD, 2000; SEIFERT, BOULESTEIX e CHOLLET, 2004a; SEIFERT, CHOLLET e BARDY, 2004b; SEIFERT, CHOLLET e CHATARD, 2007). Ou seja, conforme se aumenta a VN, o comportamento do IdC sofre modificações, passando de um valor negativo para positivo, em menores VN, para um modelo de coordenação em sobreposição, em maiores VN (CHOLLET, CHALIES e CHATARD, 2000; SEIFERT e CHOLLET, 2009). Ainda, a variação da velocidade que ocorre em cada ciclo gestual é determinada pela aceleração positiva e negativa do centro de massa, ocasionadas pelas forças propulsivas e resistivas aplicadas sobre o nadador em cada instante do ciclo (BARBOSA et al., 2010).

Durante um ciclo gestual, a intensidade de ambas as forças é alterada constantemente, uma vez que as ações motoras levam sempre a alguma descontinuidade, sendo que a posição relativa dos segmentos corporais também se altera constantemente (SEIFERT e CHOLLET, 2009). Dessa forma, durante o ciclo gestual, a velocidade de deslocamento do nadador sofre modificações devido às acelerações positivas e negativas resultantes da variação contínua dos impulsos resultantes, ou seja, a variação intracíclica da velocidade (VIV) horizontal de deslocamento do centro de massa. No sentido de otimizar o desempenho, o nadador deverá ser capaz de atingir elevadas velocidades médias de deslocamento, porém, em conjunto, apresentar uma

variação mínima dessa velocidade ao longo do ciclo gestual (BARBOSA et al., 2010).

Barden, Kell e Kobsar (2011) verificaram os efeitos das intensidades abaixo, similar e acima da VC nas respostas agudas da FG, da DC, da VN e na duração das fases da braçada nos 200 m nado *crawl*. Neste estudo, foram avaliados oito nadadores (seis mulheres -17,3 ± 1,9 anos e dois homens - 20,0 ± 2,8 anos) de nível nacional, que realizaram quatro repetições de 200 m, com intervalos de repouso passivo de 60 segundos, nos seguintes percentuais: 91%, 96%, 100% e 110% relativos à VC, que foi determinada nas distâncias de 200, 400 e 1000 m. Ocorreu aumento nos valores da FG e diminuição da DC conforme o aumento da intensidade, exceto entre a primeira e a segunda repetição, nas quais os valores da FG e da DC foram similares. A velocidade apresentou aumento em todas as intensidades. As durações das fases da braçada diminuíram conforme aumentou a intensidade, exceto entre a primeira e a segunda repetições na fase de recuperação.

Alberty et al. (2008) avaliaram se o controle da FG e da velocidade até a ocorrência de exaustão poderia provocar alterações no IdC e na duração das fases da braçada. Foram avaliados dez nadadores (oito homens e duas mulheres) de nível nacional, que realizaram três testes até a ocorrência de exaustão nos percentuais de 95, 100 e 110% da V400 com o tempo na performance de 400 m de homens (280,23 ± 13,73 s) e mulheres (322,73 ± 12,47 s) em duas situações de nado (FG livre e FG controlada), para cada percentual da V400. Na condição de FG controlada, ocorreu estabilização do IdC e da duração das fases da braçada. Já na condição de FG livre, houve diminuição da duração das fases não-propulsivas da braçada a favor do aumento da duração das fases propulsivas da braçada. Os autores afirmaram que o aumento da duração das fases propulsivas de puxada e de empurrada da braçada em condição de FG livre pode ser explicado por uma adaptação da técnica da braçada em resposta à diminuição da DC, como um mecanismo compensatório da redução da força para superar a resistência ao avanço. Os nadadores adaptaram a coordenação da braçada para um tipo mais próximo do modelo de oposição.

Já Pelarigo, Denadai e Greco (2011) analisaram a duração das fases da braçada e o IdC durante o exercício realizado de forma contínua nas

velocidades controladas relativas aos percentuais de 100 e 102,5% da MLSS ($88,6 \pm 1,1\%$; $91,3 \pm 1,1\%$ da V400, respectivamente) e condição de FG livre em ambas as situações. Participaram deste estudo 12 nadadores de meio-fundo e fundo, que realizaram duas a quatro tentativas de até 30 minutos para a determinação da MLSS contínua. Foi identificado aumento apenas da duração da fase de puxada da braçada do décimo para o trigésimo minuto na intensidade relativa ao percentual de 102,5% da MLSS. Em relação ao comportamento do IdC, não houve efeito do tempo de exercício em ambas as intensidades. Em vista que a duração da fase de puxada da braçada é relacionada com a aplicação de força propulsiva por parte do nadador, seu comprometimento pode demonstrar uma braçada menos eficiente, visto que para manter a mesma velocidade o nadador deveria aumentar a proporção de pelo menos uma fase propulsiva. Ainda, Figueiredo et al. (2014) avaliaram parâmetros cinemáticos e coordenativos na intensidade relativa a MLSS em cinco momentos do teste de 30 minutos: 0, 25, 50, 75 e 100% com velocidade controlada. Ocorreu aumento no valor da FG e diminuição da DC apenas do primeiro para o último momento do teste ($p < 0,05$). Também houve diminuição nos valores de forma significativa na variação da velocidade intracíclica e na eficiência propulsiva, porém, o IdC e o tempo propulsivo mostraram comportamentos similares durante o teste na MLSS. Figueiredo et al. (2014) concluíram que a intensidade na MLSS além de ser mantida com estabilidade da concentração de lactato sanguíneo, também pode com uma estabilidade concomitante de alguns parâmetros biomecânicos (após uma adaptação inicial).

No estudo de Alberty et al. (2009) 10 nadadores treinados nadaram três vezes até ocorrência da exaustão nas velocidades correspondentes aos percentuais de 95, 100 e 110% da velocidade média de 400 m (V400). Foram mensuradas as variáveis de FG, DC, duração das fases da braçada, IdC e o Tprop. Foram encontrados, em todas as intensidades de nado, aumento da FG e concomitante diminuição da DC, bem como aumento no IdC e no Tprop. Com relação à duração das fases propulsivas da braçada (puxada e empurrada), ocorreu aumento da fase de empurrada apenas no percentual de 100% da V400 desde o início até ao final do teste (exaustão). Ainda, a FG apresentou forte correlação negativa com a duração da fase de entrada + apoio

(correlações entre -0,80 e -0,97) em todos os percentuais da V400 analisados, e também com a duração da fase de recuperação (correlações entre -0,77 e -0,81), exceto no percentual de 95% da V400. Em vista que, para se manter a VN em situação de fadiga, o aumento da FG foi compensado pela diminuição da DC, Alberty et al. (2009) afirmaram que não foi surpresa as semelhantes correlações que foram encontradas entre a DC com as durações das fases de entrada + apoio e recuperação (correlações entre 0,76 e 0,86) nos percentuais de 100 e 110% da V400. Os autores concluíram que o desenvolvimento da fadiga induz à aumento da FG para compensar a redução da DC, para a manutenção da velocidade. Além disso, a FG, o IdC e o Tprop aumentaram de forma progressiva, o que pode ser explicado pelo aumento do tempo de aplicação de força propulsiva em determinada distância, com uma consequente redução da capacidade de aplicação de força para a manutenção da velocidade.

Em outro estudo, Alberty et al. (2011) investigaram 10 nadadores bem treinados que nadaram três vezes até ocorrência da exaustão nas velocidades correspondentes aos percentuais de 95, 100 e 110% da V400 no nado *crawl* em três condições de comportamento da FG: FG livre, FG fixa e FG reduzida. Foram mensuradas as variáveis FG, DC, duração das fases da braçada e IdC. Os autores (ALBERTY et al., 2011), verificaram que o TTE dos testes foi menor na condição de FG reduzida. Os nadadores aumentaram a duração das fases não-propulsivas (entrada + apoio e recuperação) na condição de FG reduzida quando comparada à condição de FG fixa. As fases propulsivas (puxada e empurrada) não apresentaram diferenças em ambas as situações. A FG apresentou forte correlação negativa com a duração da fase de entrada + apoio em todos os testes (correlações entre -0,89 e -0,96, $p < 0,01$) em todos os percentuais da V400 analisados. Os autores (ALBERTY et al., 2011) afirmaram que a diminuição significativa do TTE pode ter sido causada por uma solicitação muscular não usual. Mudanças na técnica como a redução da FG durante os testes exigiram uma maior aplicação de força propulsiva e da eficiência dos nadadores, minimizando o arrasto, porém não diferiu no tempo das ações propulsivas da braçada.

De acordo com Craig e Pendergast (1979), na condição de redução da FG para manter a mesma velocidade, os tempos de propulsão realizados a

cada ciclo de braços deveriam aumentar com uma maior aplicação de força. Assim, podemos considerar a relação entre a trajetória da mão e do rolamento do corpo na execução da braçada (SEIFERT et al., 2004b; ALBERTY et al., 2011), que poderia ser explicada de duas maneiras: 1) a ocorrência de um maior alongamento da trajetória da mão, que pode implicar em um maior ângulo de rolamento de corpo. No estudo de Alberty et al. (2011), a duração das fases propulsivas (puxada e empurrada) não se alteraram com a redução da FG, o que poderia explicado por uma maior velocidade da trajetória da mão, e conseqüentemente, um aumento da magnitude da força aplicada; 2) melhor posicionamento da área da superfície dos segmentos do corpo útil para a propulsão, o que implica em maior duração da fase não-propulsiva (entrada e apoio da mão), possibilitando um maior tempo para o posicionamento dos segmentos de forma mais adequada para a propulsão.

Seifert et al. (2010) analisaram a eficiência propulsiva e o IdC em dois grupos com níveis diferentes de desempenho e descobriram que, entre vários parâmetros, a eficiência de Froude avaliada no MADsystem estava diretamente relacionada ao IdC. Seifert et al. (2010), avaliaram em oito repetições de 25 m com velocidades progressivas de 60 a 100% com incrementos de $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, relativos a 5% do máximo em dois grupos (sete de nível nacional e sete de nível regional) e avaliaram o arrasto, a potência mecânica, a eficiência propulsiva por meio da velocidade tangencial da mão ao quadrado, o IdC, a VIV foi obtido da direção do nado (eixo horizontal), a partir de um ponto fixo do ponto anatômico do quadril, a VN, a FG, a DC, o índice de nado e as durações relativas das fases de entrada + apoio, puxada, empurrada e recuperação. Ambos os grupos aumentaram o IdC, a velocidade da mão, e aplicaram uma maior potência mecânica para superar o arrasto ativo com o aumento da velocidade ($p < 0,05$). De acordo com os autores (SEIFERT et al., 2010), estas adaptações motoras na ação dos braços foram adequadas porque o índice de nado, a VIV e a velocidade da mão não foram alterados. Os nadadores de nível nacional pareceram serem mais eficientes, com maior IdC e potência mecânica para atingir maior velocidade quando comparados aos nadadores de nível regional. Os nadadores de nível regional apresentaram maiores valores de VIV e de velocidade da mão com menor índice de nado quando comparados aos nadadores de nível nacional, o que indicou menor

eficiência para gerar propulsão, sugerindo que a técnica é o principal determinante para o desempenho na natação.

4.2 Energética da natação

Na natação, o gasto energético está relacionado à velocidade de nado, as variações intra-cíclicas da velocidade do centro de massa, à eficiência bruta, à eficiência propulsiva e ao arrasto (TOUSSAINT e HOLLANDER, 1994). Segundo esses autores, a energia, para eventos em natação, é gerada tanto por processos aeróbios, quanto por anaeróbios e um balanço deveria existir entre a energia necessária para nadar uma distância em determinado tempo e o total de energia disponível neste tempo a partir dos sistemas metabólicos (CHATARD, LAVOIE e LACOUR, 1991a; CHATARD et al., 1991b; GASTIN, 2001; CASTRO et al., 2010). Especificamente em relação aos nadadores e suas habilidades, a capacidade aeróbica é um dos principais determinantes do desempenho, e é definida como a capacidade do indivíduo em conseguir manter um elevado percentual de consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$) por um longo período de tempo (DI PRAMPERO, PENDERGAST e ZAMPARO, 2011; ZACCA e CASTRO, 2012).

Além disso, a capacidade aeróbica é influenciada pelo $\dot{V}O_{2max}$, pela economia de nado (definido como o gasto energético total necessário para mover o corpo a uma determinada distância e velocidade) e pela capacidade anaeróbica (DEKERLE e PELAYO, 2011). Em um grupo de nadadores com valores distintos de economia de nado e similares de $\dot{V}O_{2max}$, aqueles que possuem maior capacidade anaeróbica serão os mais rápidos em distâncias de 400 m e/ou maiores. Fernandes et al. (2003) encontraram que o tempo-limite para os nadadores atingirem a velocidade relativa ao $\dot{V}O_{2max}$ ($v\dot{V}O_{2max}$) apresenta semelhança com a duração da prova dos 400 m em nado crawl ($\dot{V}O_{2max}$ atingido entre três e cinco minutos para nadadores de alto nível). Portanto, a distância da prova de 400 m no nado crawl seria a distância-limite para o nadador atingir o $\dot{V}O_{2max}$.

Já o tempo-limite de permanência do nadador em $v\dot{V}O_{2max}$ pode ser definido como o tempo máximo em que a $v\dot{V}O_{2max}$ é mantida até a exaustão ($t_{lim-v\dot{V}O_{2max}}$) (BILLAT e KORALSZTEIN, 1996). A determinação do $\dot{V}O_{2max}$ na

natação é sempre um grande desafio, devido ao fato das técnicas de coleta de gases convencionais influenciarem na técnica do nado (PELAYO et al., 2007; BARBOSA et al., 2010), pela impossibilidade de execução dos movimentos respiratórios, alterações na posição hidrodinâmica e, pela impossibilidade de execução da virada olímpica, devido a utilização de máscara.

Pelo fato da prova dos 400 m nado livre ser nadada a uma velocidade média mínima para se atingir o $\dot{V}O_{2max}$, a zona bioenergética relativa a esta intensidade é a potência aeróbica (RODRIGUEZ, 2000). A potência aeróbica pode ser conceituada pela velocidade de síntese de energia de origem oxidativa (máxima velocidade aeróbica ou potência máxima em que o sistema oxidativo está em funcionamento), disponível para o trabalho muscular e pode ser avaliada pelo $\dot{V}O_{2max}$. A capacidade aeróbica refere-se à capacidade do atleta manter um alto percentual do $\dot{V}O_{2max}$ por um longo tempo, sendo determinada pela energia química total disponível para gerar trabalho aeróbico, geralmente podendo ser avaliada em séries de velocidades submáximas (DEKERLE e PELAYO, 2011).

Assim, em provas de maiores distâncias na natação (800 m, 1500 m e águas abertas), o metabolismo energético predominante é o aeróbico, quando a intensidade será menor quanto maior for a distância. Por exemplo, em uma prova de maratona de 25 km em águas abertas, os atletas atingem 60-65% do $\dot{V}O_{2max}$ (ZAMPARO et al., 2005). Neste sentido, um dos objetivos do treinamento de natação é aumentar a capacidade aeróbica. Por outro lado, mesmo que provas mais curtas, como 50 e 100 m ocorram com forte dependência dos processos anaeróbios (RODRIGUEZ, 2000), a recuperação entre esforços competitivos e entre esforços de treinamento exige que nadadores especialistas em menores distâncias também tenham certo nível de capacidade aeróbica desenvolvido (CASTRO et al., 2010).

4.2.1 Domínios de intensidade

De acordo com a Quadro 1, o exercício pode ser realizado em três domínios de intensidade diferentes, resultando em efeitos fisiológicos distintos para cada domínio (GAESSER e POOLE, 1996; GRECO, CAPUTO e DENADAI, 2008).

Quadro 1 - Três domínios de intensidade e os seus efeitos fisiológicos (GAESSER e POOLE, 1996; GRECO, CAPUTO e DENADAI, 2008; BARON et al., 2008).

Domínios de intensidades	Efeitos fisiológicos
Severo	<ul style="list-style-type: none"> • Sem estabilização metabólica de nenhuma variável; • Acumulação e aumento da relação lactato/piruvato e aumento da concentração de prótons [H⁺]; • $\dot{V}O_2$ aumenta até atingir o máximo; • Amplitude do componente lento é mais elevada, do que a intensidade de exercício pesado, o que reduz a tolerância ao exercício; • Em intensidade constante acima do LL ou LV, a resposta fisiológica ao exercício torna-se mais complexa, tanto para [La-] quanto $\dot{V}O_2$. O aumento exponencial na fase primária não é suficiente para atingir estado estacionário e o $\dot{V}O_2$ tende a ser maior do que seria previsível com base na relação submáxima entre o $\dot{V}O_2$ e a intensidade do exercício. Após 90 a 150 s de exercício tem origem o aumento mais pronunciado do $\dot{V}O_2$ mas a uma velocidade mais lenta.
Pesado	<ul style="list-style-type: none"> • A [La] estabiliza em valores mais elevados de concentração, devido a alta demanda metabólica; • A eficiência parece ser menor; • Maiores valores de $\dot{V}O_2$ (desenvolvimento de um componente lento); o aumento é também exponencial, mas a fase de estabilização não é atingida até os três minutos de exercício. Após a fase 2 verifica-se o aparecimento de um pequeno aumento do $\dot{V}O_2$ que se vai desenvolvendo ao longo do tempo ($ci\dot{V}O_2$) e atrasa a ocorrência do estado de equilíbrio; • É ainda possível manter um estado fisiológico estável e realizar o exercício por um longo período; • O exercício realizado na intensidade de MLSS, ocorre um esgotamento da capacidade de reserva fisiológica ainda existente, associado com o aumento do EP, como previsto pelo modelo de regulação central. O encerramento do exercício poderia então ser induzido por um controle homeostático de integração do sistema fisiológico periférico para a manutenção da homeostase.
Moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilização rápida da [La] e ajuste rápido do $\dot{V}O_2$ até a estabilização; • Podem ser identificadas três fases da cinética do $\dot{V}O_2$: • Fase 1: imediatamente após o aumento da intensidade de exercício, com uma duração de 15 a 25 segundos, em que o $\dot{V}O_2$ aumenta rapidamente. Nesta fase, dado que ainda não existiu tempo suficiente para que o sangue venoso proveniente dos músculos ativos tenha chegado aos pulmões, o aumento do $\dot{V}O_2$ deve-se principalmente ao aumento do débito sanguíneo pulmonar; • Fase 2: chegada aos pulmões de sangue proveniente dos músculos ativos e, portanto, com menor conteúdo em O₂. O $\dot{V}O_2$ começa a refletir, também, o O₂ do metabolismo muscular, pelo que o seu aumento resulta do produto de um maior débito sanguíneo pulmonar por um aumento progressivo da (a-v)O₂. Nesta fase, o aumento do $\dot{V}O_2$ é progressivamente mais lento e a cinética assume um comportamento monoexponencial, tendendo assintoticamente para um valor de estabilidade; • Fase 3: fase de equilíbrio em que o $\dot{V}O_2$ se mantém aproximadamente constante ao longo do tempo. O equilíbrio é atingido após três minutos e as reservas locais de O₂ encontram-se estáveis, embora reduzidas em relação aos valores de repouso. O indivíduo pode manter nesta intensidade por um longo período, sem exaustão; • Ocorrência de exaustão: esgotamento dos substratos energéticos (glicogênio muscular e hepático), alterações relacionadas a hidratação e eletrólitos ou problemas de termoregulação.

O LL foi originalmente definido como o primeiro aumento da [La] acima dos valores do estado de repouso a partir da curva a ser obtida da velocidade do lactato sanguíneo em um teste incremental (WASSERMAN et al., 1973). Na natação, o LL tem sido comumente determinado com o protocolo de 7 x 200 m (PYNE, LEE e SWANWICK, 2001). Durante este protocolo, a velocidade é aumentada no valor de $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, para cada repetição de 200 m até a máxima velocidade na sétima repetição de 200 m.

Uma forma de estimativa indireta da velocidade associada com o $\dot{V}O_{2\text{max}}$, pode ser por meio da utilização de percentuais relativos as intensidades do desempenho da V400, que são frequentemente aplicados com o LL e a MLSS expressos em percentuais da V400 (LAVOIE e MONTPETIT, 1986; LIBICZ, ROELS e MILLET, 2005; RIBEIRO, LIMA e GOBATTO, 2010; DEKERLE et al., 2010; GRECO et al., 2013; FRANKEN et al., 2014).

Portanto, de acordo com Greco et al. (2013), a intensidade relativa ao LL ocorre a um percentual muito elevado da V400 em nadadores de fundo (aproximadamente 83% da V400) e, a MLSS (88% da V400). Portanto, o intervalo das velocidades submáximas relativas entre o LL e a MLSS (domínio de intensidade pesado) e, entre a MLSS e a V400 (domínio de intensidade severo) são muito estreitas na natação.

4.2.2. Respostas fisiológicas a intensidades controladas pela V400 na natação

Ribeiro, Lima e Gobatto (2010) avaliaram doze nadadores competitivos ($16,5 \pm 1,2$ anos de idade) que realizaram série de treinamento intervalado de cinco repetições de 400 m, no nado crawl, com intervalo de 90 s de recuperação passiva, na intensidade correspondente a velocidade crítica (VC) ($1,28 \pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), que correspondeu ao valor de $93,7 \pm 1,6\%$ da V400. Foram encontrados aumentos na [La] (de $5,7 \pm 0,8$ para $7,9 \pm 2,4$, $p < 0,05$), no EP (de $13,3 \pm 1,6$ para $16,3 \pm 2,6$, $p < 0,05$) e na FC (de 169 ± 11 para 181 ± 8 , $p < 0,05$).

Ainda, Dekerle et al. (2002) avaliaram nadadores competitivos nas intensidades correspondentes a VC e a velocidade média obtida do teste com a duração de 30 min e não observaram diferenças significativas no

comportamento da FG. Dekerle et al. (2005) avaliaram a cinemática (VN, FG e DC) de 11 nadadores bem treinados em diferentes intensidades (75, 80, 85 e 90% da máxima velocidade aeróbica estimada a partir do teste 400 m em nado crawl) e observou-se aumento na FG e uma diminuição na DC em intensidades maiores que a MLSS. A diminuição na DC pode estar associada à ocorrência de fadiga muscular, o que pode ter reduzido a aplicação de força propulsiva e, conseqüentemente, a VN. Ao tentar manter a VN em intensidades acima da MLSS, nadadores normalmente aumentam a FG devido a diminuição da DC (SCHNITZLER, SEIFERT e CHOLLET, 2009).

Dekerle et al. (2010) avaliaram a VC, que foi determinada nas distâncias de 100, 200, 400 e 800 m, em nove nadadores competitivos do sexo masculino ($21,2 \pm 2,6$ anos), com valores médios dos tempos nas distâncias de 100, 200, 400 e 800 m de $61,2 \pm 2,3$; $136,1 \pm 5,7$; $294,5 \pm 13,4$; e $619,4 \pm 28,4$ s, respectivamente que realizaram três esforços de forma contínua até a exaustão nos percentuais de 95, 100 e 105% da VC, com obtenção dos valores da [La], do $\dot{V}O_2$, do EP e da FC no décimo minuto de exercício e na exaustão e um esforço de forma intervalada, de dez repetições de 400 m a 100% da VC com um intervalo de 40 s de repouso passivo. Nos 95% da VC, a [La], o $\dot{V}O_2$ e o EP não apresentaram diferenças ao longo da série e o TTE foi de $48,9 \pm 14,1$ minutos. Na série contínua a 100% da VC, a [La] e o EP foram similares e o TTE ($24,3 \pm 7,7$ minutos). Já, a 105% da VC, a [La], o $\dot{V}O_2$ e o EP apresentaram aumento e o TTE ($8,6 \pm 3,1$ minutos) diminuiu quando comparado às demais séries. Na série intervalada a 100% da VC, o EP apresentou aumento, porém a [La] manteve-se similar ao longo das dez repetições de 400 m e o TTE ($24,3 \pm 7,7$ minutos).

Greco et al. (2013) identificaram o limite das zonas de velocidade submáxima de exercício (domínios de intensidade) entre a velocidade relativa ao limiar de lactato e a V400 na natação em 12 nadadores fundistas (idade: $24,5 \pm 9,6$ anos; massa corporal: $71,3 \pm 9,8$ kg). Além do teste de 400 m (V400: $1,30 \pm 0,09$ m.s⁻¹), foi realizado um teste incremental de sete repetições de 200 m (velocidade de $1,08 \pm 0,02$ m.s⁻¹ equivalente a $83,1 \pm 2,2\%$ da V400), e quatro testes submáximos de 30 minutos para determinar a MLSS ($1,14 \pm 0,02$ m.s⁻¹ e; $87,5 \pm 1,9\%$ da V400). Os autores (GRECO et al., 2013) afirmaram que o intervalo das zonas de intensidade entre o limiar de lactato e a MLSS (domínio

pesado) e entre a MLSS e a V400 (domínio severo) são muito estreitos. Portanto, a precisão e a sensibilidade da medição destas intensidades devem ser consideradas para a aplicação no treinamento de natação.

Oliveira et al. (2012) avaliaram 13 nadadores do sexo masculino (23 ± 9 anos de idade) que realizaram os seguintes testes: 1) 400 m em nado crawl em máxima intensidade (V400); 2) série de treinamento contínuo sub-máxima de 30 minutos, para determinar a MLSS contínua, e; 3) série de treinamento intervalado de 12 repetições de 150 segundos de duração cada sub-máximas, para determinar a MLSS intermitente. Foram avaliadas FG, DC e índice de nado (IN) nos percentuais de 100% da MLSS e acima (102,5%) de forma contínua e intermitente. A velocidade média da MLSS intermitente ($1,17 \pm 0,09$ m.s⁻¹) foi maior do que a da MLSS contínua ($1,13 \pm 0,08$ m.s⁻¹), enquanto a [La] foi similar entre as duas condições ($4,3 \pm 1,1$ e $4,4 \pm 1,5$ mmol.l⁻¹, respectivamente). Ocorreu aumento da FG e diminuição da DC e do IN no percentual de 102,5% da MLSS (contínua e intermitente). Porém, no percentual de 100% da MLSS (contínua e intermitente), apenas a DC e o IN tiveram diminuição nos valores independente da condição, e a FG teve aumento apenas no protocolo intermitente.

De modo mais específico, os estudos (RIBEIRO, LIMA e GOBATTO, 2010; ALBERTY et al., 2011) que trataram da verificação das adaptações da técnica às demandas da intensidade, apresentaram aumento nas respostas da FB, do IdC, das durações das fases B e C da braçada com concomitante redução da DC na tentativa de manter a velocidade similar e/ou acima da velocidade crítica em séries de longa duração. Porém, em velocidade similar a máxima fase estável de lactato (intensidade abaixo da velocidade crítica) não apresentou diferenças (OLIVEIRA et al., 2012; FIGUEIREDO et al., 2013a) nos valores da FB e da DC, bem como no IdC e na duração das fases da braçada, assim, não ocorreram adaptações na técnica de nado nessa condição metabólica.

Conforme a intensidade e a duração do exercício que for imposta ao indivíduo, diferentes respostas fisiológicas podem ocorrer. Nas atividades cíclicas (corrida e natação), a pessoa escolhe a combinação do comprimento e do ritmo da passada e/ou da braçada, respectivamente, que minimiza o $\dot{V}O_2$ em uma determinada velocidade (CAVANAGH e WILLIAMS,

1982; ZARRUGH e RADCLIFFE, 1978; McLEAN et al., 2010). O desvio da combinação ótima da FG e da DC em uma determinada velocidade resulta em um aumento acentuado do $\dot{V}O_2$, sugerindo que a minimização do custo da energia pode ser um fator importante que contribui para a determinação da cadência em diferentes formas cíclicas de locomoção (McLEAN et al., 2010).

Por exemplo, ciclistas treinados apresentam menores valores de $\dot{V}O_2$ em uma cadência de aproximadamente 60 rpm, porém, ciclistas preferem escolher uma cadência que é de um valor maior aproximado de 50% (90 rpm) do que a cadência em que $\dot{V}O_2$ é minimizado, para minimizar o estresse muscular (MARSH e MARTIN, 1993). Portanto, a escolha da FG na condição livre para realizar determinada tarefa não é determinada simplesmente pela tentativa de minimizar os custos energéticos. No ciclismo, como a resposta do $\dot{V}O_2$ e das alterações da cadência se dão em forma de “U” para uma velocidade constante, é razoável esperar que essa relação possa acontecer na natação.

Na natação, foi encontrado o estudo de McLean et al. (2010) que avaliaram o comportamento do EP, da FC, do $\dot{V}O_2$ e da frequência de pernada ao nadarem na velocidade controlada de $1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ em *swim flume* nos valores de FG em cinco esforços até o estado-estável do $\dot{V}O_2$ no minuto final nos seguintes valores de condições de FG em ordem randomizada: livre, aumentada em 10 e 20% e reduzida em 10 e 20%. Foram avaliados 10 nadadores competitivos (média \pm DP: idade = $33,3 \pm 13,6$ anos; estatura = $175,3 \pm 8,6$ cm; massa corporal = $74,9 \pm 12,2$ kg). Foram encontrados nos valores do $\dot{V}O_2$, FC e EP aumentos significativos (de 11 a 16%, de 4 a 6% e de 15 a 30%, respectivamente) nas duas condições de FG reduzida. Nas condições de FG aumentada os valores das respostas fisiológicas foram similares. Segundo os autores (McLEAN, et al., 2010), estes resultados sugerem que os nadadores preferiram nadar nas condições que não reduzem os valores da FG, o que implica em estabilidade do comportamento das variáveis fisiológicas nesta velocidade.

Pawelczyk et al. (1993) apresentaram, em dados preliminares, que nadadores, para manter uma velocidade controlada no valor de $1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ em *swim flume*, tanto nas condições de aumento de 10% e de redução de 10% no valor da FG, não encontraram alterações na [La] e no $\dot{V}O_2$. Considerando as diferenças mecânicas da técnica na natação para outras formas de locomoção

de forma cíclica, ainda são poucos os estudos que avaliaram o controle de diferentes valores de FG impostas em respostas fisiológicas. Os resultados desses estudos (PAWELCZYK et al., 1993; McLEAN et al., 2010) ainda não estão bem claros e foram realizados apenas em velocidades baixas (próximas ao LL), em *swim flume*.

Morris et al. (2016) compararam valores de potência aeróbica ($\dot{V}O_2$), o custo energético, a [La], o EP, a FC, a DC e a frequência de pernada em três condições de controle de valores de FG (FG baixa: 22-26 ciclos.min⁻¹; FG moderada: 30-34 ciclos.min⁻¹; e FG alta: 38-42 ciclos.min⁻¹) e a velocidade não foi controlada. Foram avaliados 20 nadadores australianos de nível nacional, de ambos os sexos, em seis esforços de 200 m no nado crawl, com intervalos de cinco minutos de repouso passivo entre cada esforço, nadando sob duas condições: somente com os braços e com o corpo inteiro. Foi encontrado aumento nos valores do $\dot{V}O_2$, da [La], do EP e da FC e diminuição da DC de acordo com o aumento do valor da FG e da velocidade. As alterações encontradas no estudo de Morris et al. (2016) são explicadas pelo aumento da FG e também da velocidade. Por outro lado, quanto menor for a VN e a FG, maior será o tempo da duração da fase de entrada até o apoio da braçada (não-propulsiva, Fase A). Independentemente da condição de nado e o sexo, a velocidade foi menor ao nadar somente com os braços quando comparado a nadar com o corpo inteiro em 11,0% ($p < 0,01$). O $\dot{V}O_2$ foi menor ao nadar somente com os braços quando comparado a nadar com o corpo inteiro em todas as condições de FG nas nadadoras ($p < 0,01$). O custo energético foi similar entre as condições de nado e de FG e entre os sexos ($p > 0,01$). Somente quando o custo energético foi calculado em função da velocidade, das condições de nado por meio de equações de regressão, foi diferente nos homens ($p = 0,01$), mas não entre as mulheres ($p = 0,087$). A frequência de pernada aumentou de acordo com o aumento da velocidade e da FG ($p < 0,01$).

Alterações no custo energético na natação poderiam explicar a diminuição observada no TTE na condição de FG reduzida (ALBERTY et al., 2011). No entanto, as tentativas de interpretar estas observações analisando as respostas metabólicas na variação da FG em conjunto com a manutenção da velocidade ainda não estão bem claros.

4.2.3 Cinética do Consumo de Oxigênio

A magnitude das alterações no $\dot{V}O_2$ no início de qualquer exercício físico depende fortemente da intensidade em que o esforço é realizado (JONES e BURNLEY, 2009; SOUSA et al., 2013). Segundo Poole et al. (2008), o estudo da cinética do $\dot{V}O_2$ proporciona a compreensão do controle metabólico do exercício. Durante a transição para o exercício, o consumo de O_2 por parte dos músculos é elevado e até que um novo estado de equilíbrio seja atingido, os músculos dependem das fontes anaeróbias disponíveis, tal fenômeno é chamado déficit de O_2 , e até que o estado de equilíbrio seja alcançado, os substratos energéticos são obtidos por meio das reservas de O_2 do sangue venoso, dos músculos e da reação acelerada da creatina quinase (CK) e da taxa glicolítica que resulta, respectivamente, na diminuição da fosfocreatina, aumento de íons hidrogênio (H^+) e da produção de lactato (JONES e BURNLEY, 2009). A cinética do $\dot{V}O_2$ é considerado uma medida útil e não invasiva da capacidade integrada do organismo em transportar e utilizar O_2 , a fim de suportar o aumento da taxa de demanda de energia muscular. Ele fornece uma avaliação importante da resposta fisiológica do atleta (JONES e CARTER, 2000; BURNLEY e JONES, 2007; REIS et al., 2017).

Com isso, em intensidades moderadas de exercício (abaixo do limiar anaeróbio), o $\dot{V}O_2$ atinge um rápido estado de equilíbrio após uma única fase de crescimento, denominada componente rápida (BURNLEY e JONES, 2001). Em intensidade moderada, a magnitude do déficit de O_2 é uma função da amplitude da resposta e da constante temporal (WHIPP et al., 2002; JONES e BURNLEY, 2009). Ocorre uma rápida adaptação a um aumento da necessidade metabólica, o que minimiza o déficit de O_2 e, conseqüentemente, a contribuição do sistema anaeróbio, que é um dos principais contribuintes para o processo de fadiga (JONES e KOPPO, 2005).

Já em intensidade acima do limiar anaeróbio, a cinética do $\dot{V}O_2$ demonstra a existência de uma nova fase, denominada componente lento (CL), que, ao surgir após a componente rápida, atrasa o aparecimento do estado de equilíbrio do $\dot{V}O_2$. Ainda, para o mesmo aumento na intensidade de exercício (e, conseqüentemente, para uma taxa metabólica similar), os indivíduos com

uma cinética lenta vão depender, em maior medida, das vias metabólicas não-oxidativas para alcançar as necessidades energéticas associadas à intensidade do exercício, atingindo a fadiga precoce (BAILEY et al., 2009). Em intensidades severas, nas quais o exercício é realizado acima da intensidade de limiar anaeróbio, os valores de $\dot{V}O_2$ e de [La] não conseguem estabilizar e, por conseguinte, a cinética do $\dot{V}O_2$ exibe duas componentes (rápida e lenta), terminando o exercício antes que seja possível a obtenção de um estado de equilíbrio (GAESSER e POOLE, 1996). No que concerne à intensidade severa e extrema, ajustes monoexponenciais foram definidas anteriormente como sendo mais vantajosas para estes domínios de intensidade (SOUSA et al., 2011; SOUSA et al., 2013).

Ao analisar a interferência da utilização de diferentes valores de controle da FG na cinética do $\dot{V}O_2$, foram encontrados estudos apenas no ciclismo, os quais verificaram que a seleção da cadência de pedalada é um importante componente, uma vez que esse fator interfere diretamente na cinética do $\dot{V}O_2$ durante o exercício de *endurance* (VERCRUYSSSEN, MISSENERD e BRISSWALTER, 2009; HIRAI et al., 2010). Além disso, tem sido indicado que a cadência de pedalada pode influenciar no nível de fadiga neuromuscular dos músculos utilizados durante o exercício (TAKAISHI et al., 1996), alterar níveis de ativação e os padrões de recrutamento de fibras musculares (MACINTOSH, NEPTUNE e HORTON, 2000). Dessa forma, baseado nestas respostas, a seleção de uma cadência livre para ciclistas bem treinados parece estar baseada no aperfeiçoamento da performance e não na demanda energética. Por exemplo, para realizar altas velocidades ($> 50 \text{ km.h}^{-1}$), as quais são comuns em provas de ciclismo, só é possível por meio de cadências acima de 85 rpm (ANSLEY e CANGLEY, 2009). Assim, uma possível explicação para essa observação, é que ciclistas treinados podem selecionar cadências mais elevadas para minimizar a fadiga muscular local (McNAUGHTON e THOMAS, 1996).

Ainda, no comportamento do $\dot{V}O_2$ tem sido observada uma curva característica em forma de “J” (Figura 2) obtida em função do efeito da cadência de pedalada em diferentes intensidades de exercício (COAST e WELCH, 1985; BRISSWALTER et al., 2000; HANSEN et al., 2002).

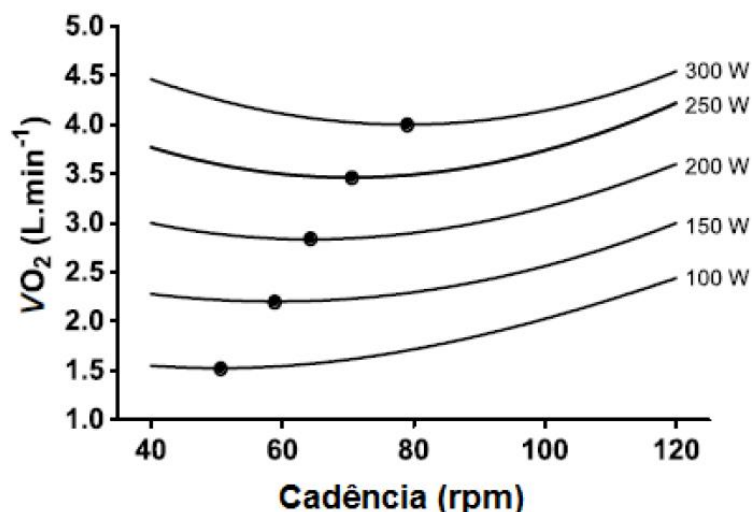


Figura 2 - Efeito da cadência na resposta do $\dot{V}O_2$ em diferentes intensidades de exercício (modificado de Coast e Welch, 1985).

Segundo Coast e Welch (1985), uma notável característica da resposta do $\dot{V}O_2$ observada nesta curva em forma de “J” obtida em função de alterações na cadência é o seu comportamento de “inclinação” para a esquerda quando a intensidade diminui, a qual resulta em uma cadência mais econômica em valores menores. Por outro lado, com o aumento da intensidade, ocorre um deslocamento da cadência mais econômica para a direita da curva, demonstrando dessa forma que a cadência que demanda um menor gasto energético é dependente da intensidade de exercício (FOSS e HALLÉN, 2004).

No exercício conduzido até a exaustão no domínio severo de intensidade, acima da potência crítica (PC), tem sido demonstrado que o $\dot{V}O_2$ aumenta progressivamente em direção ao $\dot{V}O_{2max}$ (GAESSER e POOLE, 1996; CAPUTO e DENADAI, 2004; GRECO, CAPUTO e DENADAI, 2008; JONES et al., 2010). Este comportamento foi verificado durante o exercício realizado a 105% da PC nas cadências de forma livre e aumentada em 25%, com o $\dot{V}O_2$ no momento da exaustão não diferindo do $\dot{V}O_{2max}$. De modo similar, estudo na natação (DEKERLE et al., 2010) também confirma estes resultados, visto que em exercício realizado até a exaustão em 5-10% acima da PC ou velocidade crítica (VC) o $\dot{V}O_{2max}$ foi atingido.

Qualquer alteração no fluxo sanguíneo interfere diretamente na oferta, e conseqüentemente, no $\dot{V}O_2$ dos membros inferiores. Mecanismos como a bomba muscular e a pressão intramuscular, fenômenos mais evidentes em

altas e em baixas cadências, respectivamente, têm usualmente sido propostos para explicar alterações no fluxo sanguíneo em diferentes cadências (ANSLEY e CANGLEY, 2009). Alguns resultados contraditórios têm sido encontrados em relação aos efeitos da utilização de diferentes cadências de pedalada sobre o $\dot{V}O_2$. A maioria dos estudos tem apresentado efeitos da cadência no $\dot{V}O_2$, sendo as maiores amplitudes do $\dot{V}O_2$ encontradas nas mais altas cadências (NESI et al., 2004; VERCRUYSSSEN, MISSENARD e BRISSWALTER, 2009; HIRAI et al., 2010). Este fenômeno pode ser explicado pelo fato de que o recrutamento de fibras do tipo II é aumentado com o incremento da cadência de pedalada para uma mesma intensidade de exercício, em vista que este tipo de fibra possui uma cinética do $\dot{V}O_2$ mais lenta e é menos eficiente que a fibra do tipo I (NESI et al., 2004; VERCRUYSSSEN, MISSENARD e BRISSWALTER, 2009; HIRAI et al., 2010).

A cinética do $\dot{V}O_2$ e a amplitude reduzida do componente lento foram altamente correlacionadas com uma maior capacidade de ventilação, melhor nível de treinamento e uma melhor tolerância à fadiga (POWERS, DODD e BEADLE, 1985; BAILEY et al., 2009).

Alguns estudos (PRINGLE et al., 2003; SOUSA et al., 2013) encontraram diferenças entre os valores da amplitude da cinética do $\dot{V}O_2$ entre os domínios de intensidade moderado e extremo. Também, à medida que a intensidade de exercício aumenta, os valores da constante temporal diminuem (PRINGLE et al., 2003; SOUSA et al., 2013).

Espada et al. (2015) realizaram um estudo com 12 nadadores competitivos com o objetivo de compreender as respostas ventilatórias e fisiológicas imediatamente abaixo e acima da intensidade de MLSS e determinar a relação dos parâmetros da cinética do $\dot{V}O_2$ com o desempenho. Os nadadores (N = 12) realizaram em ordem aleatória e em dias diferentes, um teste de 400 m e de 800 m em máxima intensidade, um teste incremental que compreende cinco repetições de 250 m e dois esforços na distância de 500 m, 2,5% abaixo e acima da MLSS (equivalentes a 97,5 e 102,5% da MLSS, respectivamente) foram realizados para avaliar a cinética do $\dot{V}O_2$, os quais representaram no valor médio do $\dot{V}O_2$, 81 e 97% do $\dot{V}O_{2max}$. O desempenho do teste de 400 m (T400) foi correlacionado de forma positiva com os valores da constante temporal da fase primária da cinética do $\dot{V}O_2$ de 97,5% da MLSS, e

T800 foi correlacionado com a constante temporal de 97,5 e 102,5% da MLSS. Estes resultados estão relacionados com os obtidos em outros tipos de exercício (KILDING, WINTER e FYSH, 2006) e na natação (REIS et al., 2012), reforçando a idéia de que a fase primária da cinética do $\dot{V}O_2$ e, é um determinante importante do desempenho. A velocidade associada a MLSS também teve correlação inversa com a constante temporal. A cinética mais rápida parece estar associada a menor contribuição do sistema anaeróbio por meio de um menor déficit de O_2 e a menor acumulação de metabólitos da fadiga (BURNLEY e JONES, 2007; ESPADA et al., 2015).

Ainda, no domínio de intensidade extremo na natação, Ribeiro et al. (2015) avaliaram a cinética do $\dot{V}O_2$ e o custo energético ao nadar com o corpo inteiro e somente com os braços na distância de 100 m em máxima intensidade em 17 nadadores competitivos. Os autores (RIBEIRO et al., 2015) encontraram um aumento do $\dot{V}O_2$ do início do exercício até o final (tempo: $63,82 \pm 3,38$ s; $\dot{V}O_{2\text{pico}}$: $56,07 \pm 5,19$ ml.min⁻¹.kg⁻¹; Amplitude do $\dot{V}O_2$: $41,88 \pm 4,74$ ml.min⁻¹.kg⁻¹; constante temporal: $12,73 \pm 3,09$ s). As vias aeróbica, anaeróbica láctica e aláctica foram estimadas e representaram 43,4, 33,1 e 23,5% da contribuição de energia, respectivamente e $1,16 \pm 0,10$ kJ.m⁻¹ foi o custo energético. A ausência dos membros inferiores levou a um tempo maior para completar os 100 m ($71,96 \pm 5,13$ s), a cinética do $\dot{V}O_2$ mais lenta, as vias aeróbica e anaeróbica (láctica e aláctica) mais baixas e menor custo de energia. De acordo com os autores (RIBEIRO et al., 2015), apesar da curta duração do esforço avaliado de 100 m, a contribuição de energia aeróbica foi aproximadamente 50% da energia metabólica total. A ação dos membros inferiores proporcionou uma contribuição importante na disponibilidade de energia para os músculos em atividade.

4.3 Análise crítica da literatura

A variação da FG, para o nadador manter determinada velocidade no treinamento de natação, pode influenciar a organização motora da braçada por meio de modificações na duração das fases e de parâmetros coordenativos e no custo energético (McLEAN et al., 2010; ALBERTY et al., 2011; MORRIS et al., 2016). A manutenção de uma velocidade alvo depende da ação dos

impulsos propulsivos e da sua frequência de aplicação, ou seja, o valor da FG, pois o deslocamento na água induz impulso resistivo (integral entre arrasto e tempo), no qual a magnitude do arrasto depende da velocidade ao quadrado. Quando o nadador executa o nado com o intuito de manter velocidades acima da MLSS, ocorrem alterações na relação entre a FG e a DC (aumento da FG e diminuição da DC) com a instalação do processo de fadiga (VILAS-BOAS et al., 2001; DEKERLE et al., 2005; RIBEIRO, LIMA e GOBATTO, 2010; PELARIGO, DENADAI e GRECO, 2011; FRANKEN et al., 2013; FIGUEIREDO et al., 2014).

Em relação aos fatores aqui revisados, cabe frisar e apresentar questões relativas às variáveis empregadas, à relativa falta de estudos que buscaram as inter-relações das adaptações entre as variáveis biomecânicas, coordenativas e energéticas e, à escolha dos parâmetros que, a partir da revisão, parecem ser, em resposta ao treinamento, os mais relevantes para o estudo das adaptações da técnica e das respostas fisiológicas a variações da frequência gestual na natação.

De modo mais específico, os estudos que trataram das adaptações da técnica pelo nadador ao manter a velocidade sob condição de variação da FG, apresentaram que, quanto maior o valor da FG, maior seria o tempo gasto nas fases propulsivas da braçada, independentemente da mudança da velocidade (ALBERTY et al., 2011). Por outro lado, quanto menor for a FG, maior será o tempo da duração da fase de entrada+apoio da braçada (não-propulsiva) e menor será o tempo total até a exaustão para a mesma velocidade. Assim, em uma VN constante, uma diminuição na FG levaria a maior duração das fases não-propulsivas e, assim, a um maior intervalo de tempo entre os dois impulsos consecutivos de propulsão de ambos os braços (ALBERTY et al., 2011). Estas alterações na técnica durante os testes exigiriam maior aplicação de força propulsiva e da eficiência dos nadadores, minimizando o arrasto, porém não diferiu no tempo das ações propulsivas da braçada. Ainda, de acordo com Craig e Pendergast (1979), na condição de redução da FG para manter a mesma velocidade, por exemplo, os tempos de propulsão realizados a cada ciclo de braços deveriam aumentar com maior aplicação de força.

Conforme a intensidade e a duração do exercício, o desvio da combinação ótima da FG e da DC em uma determinada velocidade resulta em um aumento acentuado do $\dot{V}O_2$, sugerindo que a minimização do custo da

energia pode ser um fator importante que contribui para a determinação da cadência em diferentes formas cíclicas de locomoção (McLEAN et al., 2010). Considerando as diferenças mecânicas da natação para outras formas de locomoção de forma cíclica, são poucos os estudos que avaliaram a variação da FG na economia de nado, e os resultados desses estudos, apenas em velocidades próximas ao LL (PAWELCZYK et al., 1993; McLEAN et al., 2010), encontraram pequenas variações na $[La]$ e no $\dot{V}O_2$, em *swim flume*, não estão bem claros quanto a existência de uma possível relação entre o $\dot{V}O_2$ e a FG ou DC para manter a velocidade na natação.

Estudos no ciclismo afirmam que as maiores amplitudes da $c\dot{V}O_2$ foram encontradas nas mais altas cadências de pedalada (NESI et al., 2004; VERCRUYSSSEN, MISSENARD e BRISSWALTER, 2009; HIRAI et al., 2010). Alterações no custo energético na natação poderiam explicar a diminuição observada no TTE na condição de FG reduzida (ALBERTY et al., 2011). No entanto, as tentativas de interpretar estas observações analisando as respostas metabólicas na variação da FG em conjunto com a manutenção da velocidade ainda não estão claros. Há necessidade de se verificar as respostas fisiológicas a variações da FG em série de treinamento em natação, em intensidade acima da MLSS, usuais no treinamento para incremento da capacidade aeróbia e da potência aeróbia (OLBRECHT, 2000).

A velocidade de 95% da V400 representa alta intensidade de exercício na natação e pode ser utilizada em séries de treinamento na modalidade para o desenvolvimento da potência e da capacidade aeróbica e da técnica de nado. Portanto, os efeitos que podem gerar a aplicação da variação da FG (reduzida e aumentada) em conjunto com a velocidade nesta intensidade irão influenciar, por exemplo, a DC a ser adotada pelo nadador, a np e a cinética do $\dot{V}O_2$. O conhecimento dos impactos nas variáveis biomecânicas, coordenativas e fisiológicas de se manter a velocidade até a exaustão com variações na FG em nadadores nesta intensidade (95% da V400, domínio de intensidade severo), são uma lacuna na literatura e torna clara a necessidade da investigação para poder oferecer informações importantes para melhor compreender e poder aplicar no treinamento de natação.

5 HIPÓTESES

Em série de natação realizada na intensidade de 95% da V400 no nado crawl até a exaustão:

1. A condição de FG reduzida aumenta a duração das fases não-propulsivas da braçada (entrada + apoio e recuperação) e a eficiência de Froude e reduz a variação intra-cíclica da velocidade na intensidade de 95% da V400 no nado crawl até a exaustão;
2. A condição de FG aumentada incrementa a duração das fases propulsivas da braçada (puxada e empurrada) e a eficiência de Froude na intensidade de 95% da V400 no nado crawl até a exaustão;
3. As condições de FG reduzida e aumentada incrementam as respostas da concentração de lactato sanguíneo, do consumo de oxigênio, do esforço percebido e da frequência cardíaca;
4. A condição de FG reduzida não altera a amplitude, o tempo de atraso e a constante temporal da componente primária da cinética do consumo de oxigênio;
5. A condição de FG aumentada aumentam a amplitude, o tempo de atraso e a constante temporal da componente primária da cinética do consumo de oxigênio;
6. As condições de FG reduzida e aumentada diminuem o tempo total até a exaustão.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

São descritos, neste capítulo, todos os materiais e métodos utilizados no presente estudo, desde as informações relativas aos participantes, até as análises prévias relativas à qualidade dos dados dos métodos de identificação e de calibração tridimensional.

6.1 Caracterização do Estudo

Este estudo caracteriza-se por ser do tipo ex-post-facto, de corte transversal, no qual foram descritas e comparadas variáveis quantitativas.

6.2 Participantes

A amostra, intencional, foi formada por 12 nadadores competitivos, com no mínimo quatro anos de experiência competitiva, que treinavam pelo menos 12 horas semanais na respectiva modalidade e que tinham uma idade mínima de 17 anos. Os participantes foram selecionados após fixação de cartazes (que continham informações a respeito do estudo) colocados nos principais clubes da cidade de Porto Alegre, cujos atletas atendiam aos critérios de inclusão. Os participantes não podiam possuir histórico de afastamento dos treinos por motivos de lesão nos seis meses que antecederam as datas das coletas. Os testes foram realizados no horário de treino dos sujeitos. Foi recomendado aos sujeitos que reduzissem os níveis de exercício físico por um período mínimo de 12 horas antes de todas as avaliações que foram realizadas.

6.3 Procedimentos Éticos

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (Anexo I). Foram respeitadas todas as diretrizes da resolução 466/2012 do Conselho nacional de Saúde sobre ética em pesquisa com seres humanos. Aos participantes foram explicados todos os procedimentos e os mesmos receberam um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE, Anexo II) o qual, ao concordarem participar deste estudo, os mesmos o assinaram.

6.4 Design explicativo do estudo

Afim da visualização da sequência dos procedimentos de coleta, processamento e análise dos dados, as Figuras 3 (primeira etapa) e 4, 5 e 6 (segunda etapa) apresentam o *design* temporal explicativo do estudo.

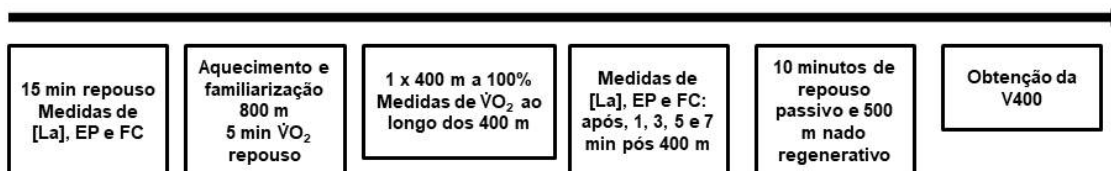


Figura 3 - *Design* temporal explicativo da primeira etapa do estudo.

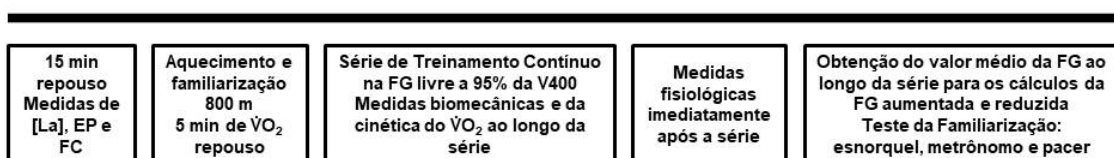


Figura 4 - *Design* temporal explicativo da etapa da condição de FG livre.

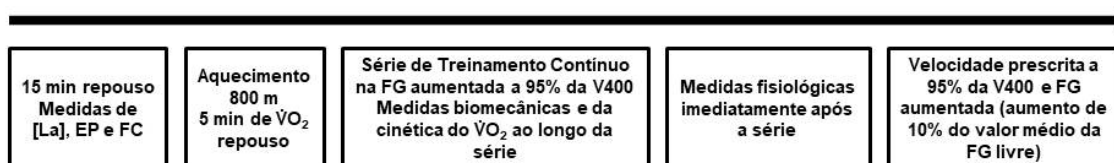


Figura 5 - *Design* temporal explicativo da etapa da condição de FG aumentada.

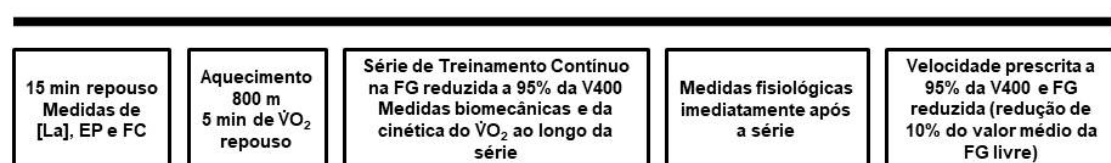


Figura 6 - *Design* temporal explicativo da etapa da condição de FG reduzida.

6.5 Variáveis do estudo

As variáveis deste estudo foram:

Independentes

As variáveis independentes do projeto foram as condições de variação da FG (livre, aumentada e reduzida) e os momentos selecionados para a análise dos dados biomecânicos e fisiológicos.

Dependentes

As variáveis biomecânicas dependentes do projeto foram a FG (apenas em série de nado contínuo de FG livre), a DC, a VN, a duração das fases da braçada (entrada + apoio; puxada; empurada; e recuperação), a FP, a FNP, o T_{ciclo} , o IdC, o T_{prop} , a η_T e a VIV. Já, as variáveis fisiológicas dependentes do projeto foram a [La], o EP, a FC, o $\dot{V}O_2$, a amplitude da primeira fase da cinética do consumo de oxigênio (Ap), o tempo de atraso da fase primária do consumo de oxigênio (Td), a constante temporal da fase primária do consumo de oxigênio (τ) e o TTE.

Controle

Foram definidas como variáveis de controle, deste projeto, a velocidade de nado relativa à 95% da velocidade média de um teste de 400 m nado crawl realizado em máxima intensidade; a temperatura da água da piscina onde foram realizados os testes (entre 28 e 29°C) e a hora do dia de realização dos mesmos, todos no turno da tarde, entre 12h e 16h.

Intervenientes

Foram definidas como variáveis intervenientes a V400 individual, a técnica a ser apresentada pelos atletas, o nível de condicionamento dos participantes, relacionado aos treinamentos realizados à época das coletas de dados e o nível de motivação dos mesmos em realizar esforços sub-máximos de longa duração até a exaustão e máximo. Para evitar que fossem variáveis intervenientes do estudo, foram convidados a participarem do estudo apenas os nadadores que estivessem em período de treinamento em suas equipes na época de coletas de dados, bem como, foram muito incentivados a apresentarem um desempenho na distância de 400 m, em nado crawl, de, no máximo, 310 segundos.

6.6 Materiais utilizados

- a) Para obtenção dos dados antropométricos:
 - ✓ Balança portátil eletrônica (modelo UP-150, Urano, São Paulo, Brasil) com resolução de 100 g;
 - ✓ Fita métrica (Trena de Fibra Simples, Sanny, São Bernardo do Campo, Brasil) com resolução de 1 mm;

- ✓ Plicômetro (Modelo Harpenden Científico, Cescorf, Porto Alegre, Brasil) com resolução de 1 mm.
- b) Para controle da FG:
- ✓ Metrônomo aquático (Finis Tempo Trainer, Finis USA, Livermore, Estados Unidos da América);
- c) Para controle da VN:
- ✓ Pacer visual sub-aquático (Technical Instrument for Cycle Observation, Porto Alegre, Brasil) com flashes luminosos, controlados por software específico (resolução de $0,01 \text{ m.s}^{-1}$; variação possível entre $0,00$ e $5,00 \text{ m.s}^{-1}$) e projetados de um tubo de plástico transparente de 24 m de comprimento que foi fixado por pesos ao fundo da piscina.
- d) Para obtenção das variáveis biomecânicas:
- ✓ Volume de calibração (4,5 m no eixo x – longitudinal; 1,5 m no eixo y – vertical; 1,0 m no eixo z – médio-lateral), com de $6,3 \text{ m}^3$ e 88 esferas de isopor de 3 cm de diâmetro cujas coordenadas foram previamente identificadas (Figura 7), similar ao descrito por Psycharakis et al. (2005); o calibrador possui oito hastes de alumínio (de aproximadamente 1 m de comprimento) presas às extremidades para fixação do mesmo ao chão da piscina;

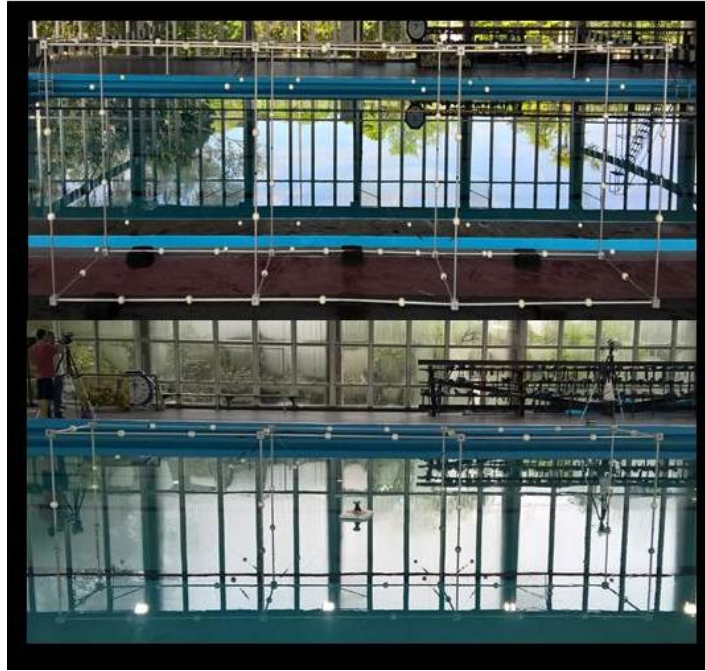


Figura 7 - Volume de calibração utilizado para as análises 3D similar ao descrito por Psycharakis, Sanders e Mill (2005).

- ✓ Seis câmeras (SONY HDR-CX220) ajustadas em frequência de amostragem de 60 Hz (resolução de 0,016 s);
- ✓ Seis tripés para fixação das câmeras;
- ✓ Quatro caixas estanque (SONY SPK-hce);
- ✓ Módulo eletrônico de sincronização, flutuante, com duas lâmpadas de LED, uma acima da superfície da água e outra abaixo (Figura 8), disparadas simultaneamente e visíveis pelas seis câmeras também simultaneamente;



Figura 8 – Módulo eletrônico de sincronização utilizado para a sincronização das câmeras.

- ✓ Três cronômetros digitais (CR20 Kikos);
 - ✓ Programas VIDEOPAD editor, Virtual Dub 1.10.4, Ariel Performance Analyse (APAS) e MatLab R2009b.
- e) Para obtenção das variáveis fisiológicas:
- ✓ Lancetas; álcool; papel-toalha; luvas cirúrgicas; seringas; tubos marca EDTA, com capacidade para 5 ml;
 - ✓ Centrífuga (Centrifuge ALC modelo PK120R) para microtubos marca Eppendorf, para a separação do plasma;
 - ✓ Analisador automático (Cobas C111, Roche, Suíça), utilizando kits específicos conforme recomendações do fabricante para mensuração da [La];
 - ✓ Ergoespirômetro portátil K5 (Cosmed K5, Rome, Italy), esnorquel Aquatrainer (Cosmed K5, Rome, Italy), *nose-clip* e programa MatLab R2009b para cálculos a respeito da cinética do $\dot{V}O_2$;
 - ✓ Frequencímetro marca Polar modelo S810 (Polar Electro Oy, Finlândia) para monitorar a FC;
 - ✓ Cartaz com escala de percepção de esforço de 15 pontos (6 a 20 pontos) de Borg (BORG, 2000), para o relato do EP.

6.7 Procedimentos de aquisição dos dados

Nesta seção estão descritos os procedimentos de coleta que foram utilizados para todas as variáveis deste estudo.

6.7.1 Avaliação antropométrica

Os nadadores estavam com roupas de natação e sem calçado para estas medidas, que foram obtidas em um local reservado, ao lado da piscina. Todas as medidas seguiram os padrões da Sociedade Internacional para o Avanço da Cineantropometria (ISAK, 2006). Para massa corporal, o participante se posicionava sobre a balança, de frente para o indicador da mesma e imóvel, quando estabilizado, a massa era verificada. Para a estatura, o nadador se posicionava, sobre a balança, mas de costas para o estadiômetro, em posição ortostática. Após uma inspiração máxima e uma expiração, a estatura era verificada.

A envergadura foi mensurada com a trena, enquanto o participante permanecia deitado em decúbito dorsal com abdução dos ombros em 90° sobre colchonetes rígidos. Foi considerada a distância entre os pontos extremos distais dos dedos médios das duas mãos. Cada dobra cutânea foi mensurada três vezes e foi retido o valor intermediário. Se o mesmo valor fosse obtido duas vezes, a terceira medida não era realizada. As dobras e suas respectivas referências anatômicas utilizados no presente estudo foram:

- 1) Subescapular: medida oblíqua em relação ao eixo longitudinal, seguindo a orientação dos arcos costais, sendo localizada a 2 cm abaixo do ângulo inferior da escápula;
- 2) Tríceps: face posterior do braço direito, paralelo ao eixo longitudinal, no ponto que compreende a distância média entre o acrômio e o processo do olécrano da ulna;
- 3) Suprailíaca: medida oblíqua em relação ao eixo longitudinal na metade da distância entre o último arco costal e a crista ilíaca sobre a linha axilar média. O avaliado afasta o braço para trás para permitir uma boa execução e leitura da medida;

4) Perna: ponto medial da perna no maior perímetro da panturrilha. O avaliado deve estar sentado com a articulação do joelho em flexão de 90°, o tornozelo em posição anatômica.

6.7.2 Protocolos em natação

Após a avaliação antropométrica, foram aplicados os protocolos específicos para aquisição das variáveis do estudo. Seguiram-se as seguintes etapas:

1) Familiarização ao esnorquel, metrônomo, *pacer* e escala de 15 pontos de Borg. Os nadadores passaram por cinco sessões de familiarização (Figura 9) com o esnorquel, *pacer*, metrônomo aquático, *pacer* e escala de 15 pontos de Borg (BORG, 2000) (Anexo III), durante seus treinamentos.



Figura 9 – Sessões de familiarização com o esnorquel, metrônomo aquático, *pacer* e escala de 15 pontos de Borg.

As sessões de familiarização com os participantes foram realizadas ao longo das sessões de treino, em exercícios de diferentes intensidades, quando os nadadores nadaram com o esnorquel, o *pacer* visual sub-aquático e o metrônomo. Assim, tiveram determinados valores de velocidade e de FG prescritos e ainda atribuíram um valor numérico na escala correspondente ao seu EP a cada momento em que fosse solicitado. Durante cada sessão, os atletas foram orientados e encorajados a executar as tarefas da melhor maneira possível. Como a escala possui atributos verbais ao lado dos

números, isso facilitou a escolha, pois a relação entre os atributos verbais e os valores numéricos aprimora o hábito do indivíduo em usar a escala. Cabe ressaltar que não foi alterada a rotina das sessões de treino nesta fase do estudo.

Em todos os testes descritos a seguir, os nadadores utilizaram esnorquel e *nose-clip*.

2) Determinação da V400: previamente à determinação da V400, foi identificado (questionado e registrado) o melhor tempo realizado em prova de 400 m nado livre em piscina de 25 m (DES400) dos nadadores durante a temporada corrente. Após aquecimento na distância de 800 m, que foi realizado livremente pelos participantes, foi registrado o tempo para a realização de um teste de 400 m (T400) na máxima intensidade em piscina de 25 m. O teste foi realizado com saída de dentro da piscina e com viradas abertas. O tempo do T400 foi mensurado por dois cronometristas experientes. Para cada sujeito, a velocidade média foi calculada pelo quociente entre 400 m e o tempo (em segundos) para realizar o teste. Ainda, foi utilizado o tempo do T400 para o cálculo do desempenho em pontos da Federação Internacional de Natação - FINA (DESFINA) disponível no site <http://www.fina.org/content/fina-points>. Após a determinação da V400, também foi calculada a velocidade correspondente a 95% da V400. Após 48 horas da realização do T400, os participantes realizaram as séries de nado contínuo até a exaustão com variações da FG na velocidade de 95% da V400, com intervalo mínimo de 24 horas entre elas.

3) Séries de nado contínuo a 95% da V400 em (a) FG livre, (b) FG aumentada (110% da FG média da série de FG livre) e (c) FG reduzida (90% da FG média da série de FG livre). O aquecimento foi realizado livremente pelos participantes na distância de 800 m anteriormente às séries de nado contínuo. Em todas as condições de variação da FG foi solicitado para os participantes que nadassem a maior distância possível na velocidade pré-estabelecida. O início de cada teste se deu de dentro da piscina e o nadador executava viradas abertas. A condição de FG livre foi realizada primeiramente, a fim de se determinar a FG média da condição. As condições de FG

aumentada e reduzida, foram realizadas de maneira aleatória, com sorteio após a realização da FG livre.

A velocidade de nado foi controlada por meio do *pacemaker* visual subaquático. Foi adotado como critério de ocorrência da exaustão, e consequente suspensão do teste, quando o nadador não conseguisse mais acompanhar os flashes luminosos. Esse critério foi adotado para que não ocorresse variação na velocidade ao longo da série em cada condição de restrição da tarefa pelo controle da FG. Em cada série, o tempo total até a ocorrência da exaustão (TTE) foi obtido pelo tempo de esforço realizado no nado crawl entre o início e o final da série por dois cronometristas experientes.

A FG foi controlada em cada condição por meio do metrônomo aquático acoplado à cabeça do nadador próximo ao ouvido, por baixo da touca. Para as séries de nado nas condições de 90% e 110% da FG livre foram comparadas as possíveis diferenças das médias entre a FG prescrita e a FG real, com uma tolerância de erro de 2,5%, tanto acima como para baixo, em cada condição. Esse critério foi adotado para que não ocorresse variação da FG prescrita em cada condição, a qual poderia comprometer a análise dos dados.

- a) *Primeira condição: (FG livre)*. Nesta série os nadadores adotaram a FG que julgaram ser a mais eficiente para manter a velocidade, de forma inconsciente e livre. A FG foi coletada em todos os trechos de cada 25 m executados pelo nadador até a exaustão. Para os valores que foram obtidos em cada trecho da FG, foi calculado o valor da FG média ($\text{ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$) da condição livre. A FG foi obtida pelo quociente entre o três de ciclos de braçada executados e o tempo de execução dos três ciclos. Os valores médios da FG que foram obtidos desta série foram utilizados para definir a segunda e a terceira condição de variação da FG.
- b) *Segunda e (c) Terceira condições: (FG aumentada e reduzida)*. As FG foram determinadas em (i) reduzida em 10% do valor igual a média obtida da série realizada na condição de FG livre e (ii) aumentada em 10%. Os nadadores foram orientados a manter as FG e a VN pelo maior tempo possível.

4) Teste de familiarização ao metrônomo e ao *pacemaker*. Para o nadador executar a segunda e a terceira séries de nado contínuo nas condições de controle da FG, após a série de FG livre, cada nadador realizou um teste de 100 m com a FG e a velocidade prescritas de $30,0 \text{ ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$ e 95% da V400, respectivamente. Também foram utilizados o *pacemaker* e escala de 15 pontos de Borg. O teste de familiarização foi realizado sempre 30 minutos após a série de nado contínuo executada na condição de FG livre para verificar se os nadadores estavam aptos a nadar com o metrônomo aquático, o *pacemaker* e o esnorquel nas condições de FG aumentada e reduzida subsequentes no estudo.

6.7.3 Marcações anatômicas

Anteriormente a realização das séries de nado contínuo, foram pintados 19 marcadores sobre a pele dos nadadores marcadores de referência utilizados na digitalização: cabeça, mandíbula e queixo, vértices do ombro, cotovelo, punho, processo xifóide, trocânteres femorais, articulações metafalangianas medial dos dedos da mão e dos pés, joelho, tornozelo, em ambos os lados, direito e esquerdo, do nadador (Figura 10). Essas marcações foram necessárias para digitalização das imagens.

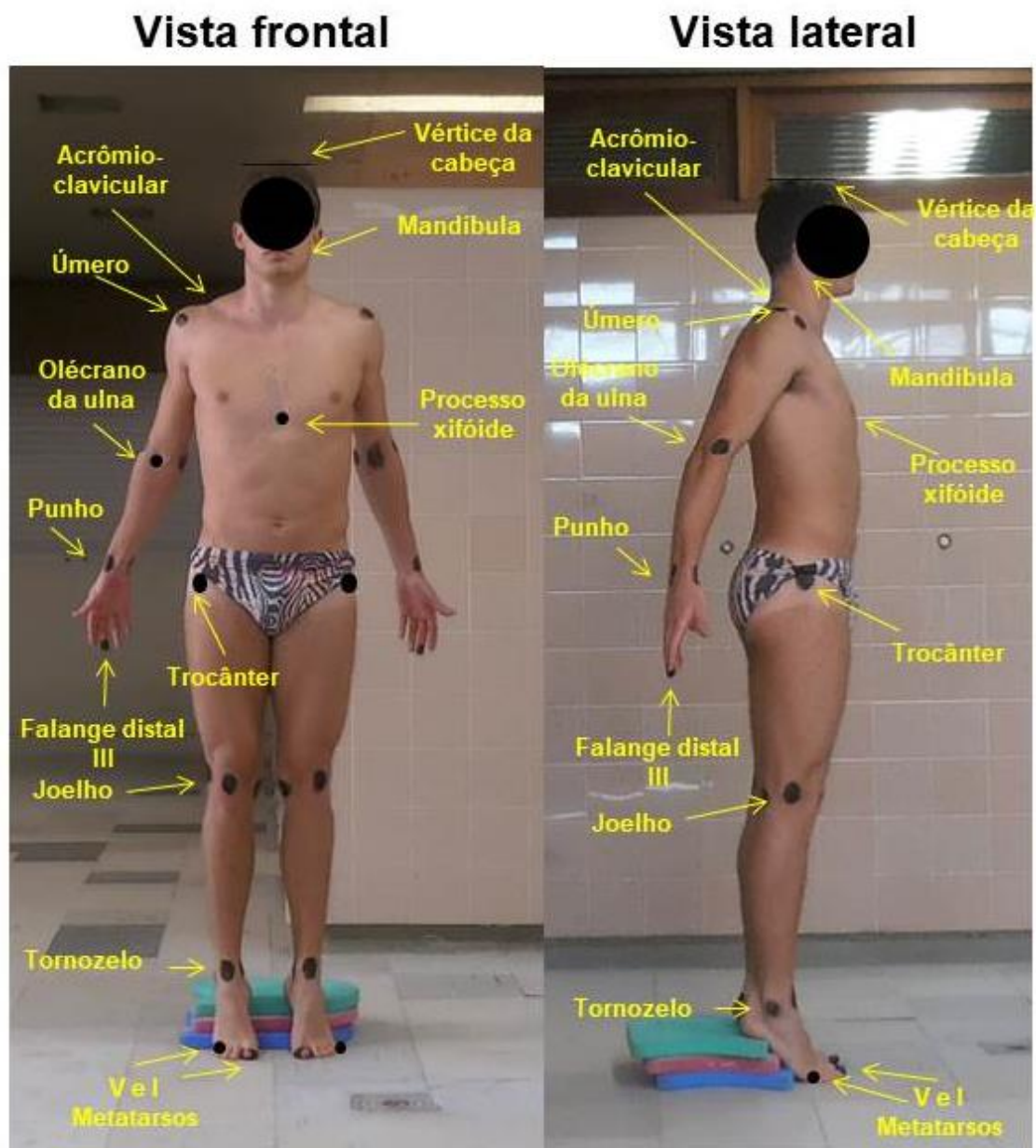


Figura 10 – Marcações anatômicas que foram utilizadas para a digitalização dos dados.

6.8 Procedimentos para obtenção das variáveis biomecânicas

Antes dos testes em natação o volume de calibração foi colocado exatamente sobre a raia 3, orientado longitudinalmente (eixo x como direção do deslocamento do nadador), equidistante das duas cabeceiras da piscina. Foi gravado, a cada coleta de dados, simultaneamente pelas seis câmeras, todas operando a uma frequência de amostragem de 60 Hz (quatro colocadas abaixo da superfície e duas colocadas acima, de acordo com a Figura 11). Um sinal luminoso (Figura 8) foi emitido abaixo e acima da superfície da água

simultaneamente, para as seis câmeras, indicando o quadro inicial de referência para as análises posteriores. Consta-se que pequenos volumes calibrados aumentam a possibilidade de erros e a maiores imprecisões que podem ser causadas pela extrapolação para além destes volumes. Assim, o grande volume do espaço calibrado a ser utilizado no projeto minimiza a possibilidade de extrapolação para além deste espaço, aumentando ainda mais a precisão das medições (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008; FIGUEIREDO et al., 2011; de JESUS et al., 2015).

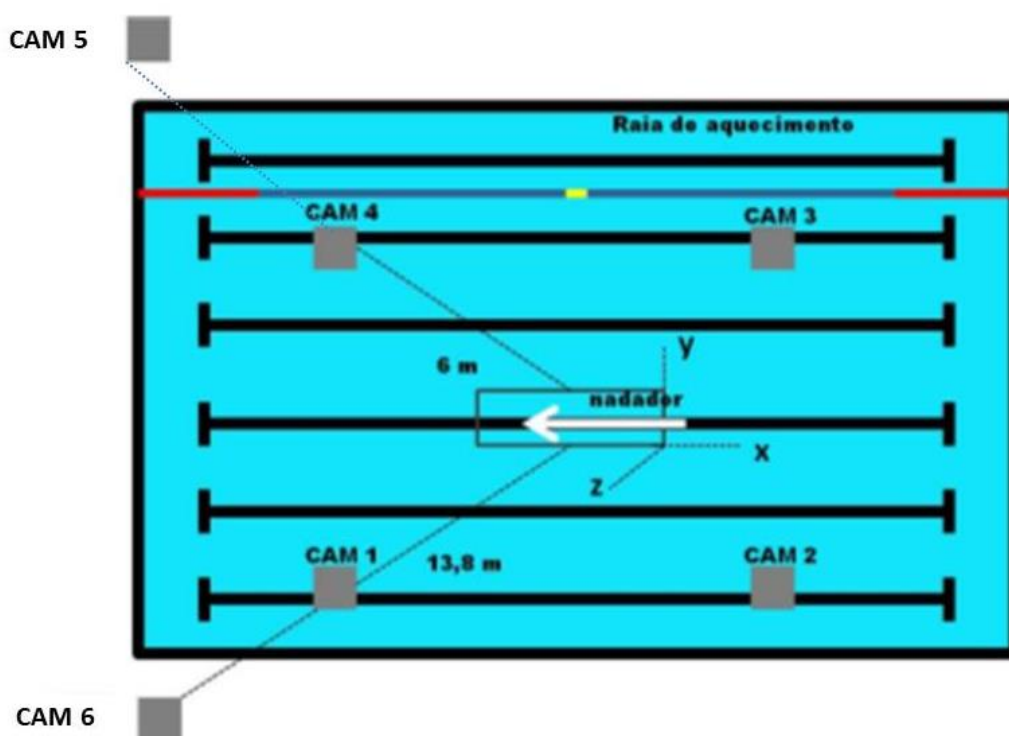


Figura 11 – Desenho esquemático do posicionamento das câmeras para as análises 3D. Em cinza, o posicionamento das seis câmeras (quatro subaquáticas e duas fora da água, adaptado de Correia, 2016).

As seis câmeras utilizadas no presente estudo foram ajustadas em altura aproximada de 1,70 m do solo. Isto foi possível devido a piscina desnível que pudessem interferir nas medidas. As câmeras subaquáticas ficaram nas distâncias de 6 m e as externas de 13,8 m do centro do volume de calibração tridimensional, posicionadas de modo a gravar cada passagem do nadador no espaço calibrado. Essas distâncias foram previamente testadas e foram as

mais adequadas para o registro de melhor qualidade das imagens (minimizando possíveis erros de distorção de imagem devido à aproximação das câmeras ao calibrador e ao nadador). O posicionamento das câmeras era tal que todo o espaço calibrado era visualizado, ocupando toda a tela do monitor.

Para obtenção das variáveis biomecânicas, foram seguidas as seguintes etapas:

- 1) as imagens obtidas pelas câmeras foram convertidas em formato AVI com resolução de imagem de 1024 x 768 pixels;
- 2) as imagens foram recortadas no software Virtual Dub 1.10.04 em cada trecho do espaço calibrado do percurso do nadador nos referentes momentos (inicial, intermediário e final) das séries de nado contínuo nas condições de FG;
- 3) Os recortes respectivos a um ciclo de braçada no espaço calibrado foram determinados em cada trecho de 25 m de cada série de nado contínuo conforme a distância nadada até a ocorrência da exaustão. Como o tempo de exaustão varia de um nadador para o outro, a duração de cada TTE foi normalizada em 100%, assim, foram determinados:
 - a) *momento inicial (0%)*: um ciclo de braçada no espaço calibrado dos 25 aos 50 m (segundo trecho de 25 m) de cada TTE;
 - b) *momento intermediário (50%)*: um ciclo de braçada no espaço calibrado do trecho de 25 m relativo a 50% de cada TTE;
 - c) *momento final*: um ciclo de braçada no espaço calibrado no último trecho de 25 m relativo a 100% de cada TTE;

Após os recortes, as imagens foram transferidas para o software APAS (Ariel Performance Analysis System, Ariel Dynamics, Inc., San Diego, EUA) por meio da função *trimming*, onde foram processadas para obtenção das variáveis biomecânicas e coordenativas de um ciclo de braçada realizado pelo nadador no espaço calibrado;

- 4) Dados de estatura e de massa corporal foram inseridos no APAS, antes da digitalização das imagens;
- 5) Foram digitalizados, manualmente, a cada quadro, 19 marcadores do corpo do nadador (pontos anatômicos de vértice da cabeça; lados direito e esquerdo de: dedo médio, punho, cotovelo, ombro, quadril, joelho, calcânhar e primeira falange do metatarso) e um marcador fixo, no mesmo local em todos os

quadros (modelo de Zatsiorsky, adaptado por DeLeva, 1996) - definindo a posição tridimensional e orientação da cabeça, dorso, braço, antebraço, mãos, coxas, pernas e pés;

6) Ao fim de cada digitalização de cada momento (um ciclo completo de braçadas), 24 marcadores de controle do volume de calibração foram digitalizados. Este procedimento de digitalização dos pontos de controle foi utilizado para a transformação pelo método DLT (Direct Linear Transformation), que possibilitou a reconstrução das imagens de coordenadas bidimensionais do nadador para coordenadas tridimensionais (ABDEL-AZIZ e KARARA, 1971);

7) Por fim, a última função *display* revela os resultados de deslocamento de todos os pontos digitalizados para os cálculos das variáveis biomecânicas. Os dados foram suavizados por um filtro Butterworth com frequência de corte de 4 Hz passada baixa de segunda ordem (WINTER, 1990). Os resultados foram salvos em arquivos no formato txt e, após, analisados em Microsoft Excel para os cálculos das variáveis relacionadas.

6.8.1 Frequência gestual, distância média percorrida por ciclo de braçada e velocidade média de nado

FG, DC e VN foram mensurados por meio das imagens obtidas durante um ciclo de braçada nos diferentes momentos (inicial, intermediário e final) em cada condição de FG (livre, aumentada e reduzida). A FG foi calculada pelo quociente entre um ciclo e a duração do ciclo de braçadas multiplicado por 60 (ciclos.min⁻¹). FG: foi identificado o tempo médio para realização de um ciclo em cada trecho de 25 m e foi calculado a FG pela Equação 12:

Equação 12

$$FG = \frac{1}{tc}$$

Em que FG é frequência média de ciclos e tc o tempo médio de realização de cada ciclo. A DC (m) foi calculada pelo deslocamento horizontal do centro de massa a cada ciclo de braçada realizado, para cada trecho

avaliado. A VN (m.s⁻¹) foi obtida pelo quociente entre o deslocamento horizontal do centro de massa (eixo x) e o tempo para completar um ciclo de braçada para cada trecho avaliado.

6.8.2 Índice de coordenação, tempo propulsivo, eficiência propulsiva e variação intra-cíclica da velocidade

Os pontos chaves de cada fase do ciclo de braçada foram identificados: a) fase de entrada e apoio da mão na água; b) fase de puxada; c) fase da empurrada e d) fase de recuperação já descritas anteriormente. Desse modo, o IdC foi calculado pelas Equações 13, 14 e 15, conforme o modelo proposto por Chollet, Chalies e Chatard (2000):

Equação 13

$$IdC_1 = \frac{(tf_{d1} - ti_{b2}) \cdot 100}{t_{CB}(s)}$$

Equação 14

$$IdC_2 = \frac{(tf_{d2} - ti_{b1}) \cdot 100}{t_{CB}(s)}$$

Equação 15

$$IdC = \frac{IdC_1 + IdC_2}{2}$$

Onde o IdC₁ corresponde a ação da primeira braçada e o IdC₂ da segunda braçada; t_{CB} corresponde ao tempo do ciclo de braçada total. A média dos valores resultou no IdC. As fases de cada braçada foram identificadas a partir das posições dos eixos x e z dos nadadores do quadro da terceira falange distal do dedo em relação e do quadro de referência do acrômio do ombro (CHOLLET, CHALIES e CHATARD, 2000; McCABE e SANDERS, 2012; de JESUS et al., 2016) conforme descrito a seguir:

- Entrada + apoio da mão: entre o primeiro z negativo até as primeiras coordenadas negativas do dedo;
- Puxada: entre as coordenadas negativas do dedo até quando a posição do dedo é zero em relação ao acrômio do ombro;
- Empurrada: entre a posição zero do dedo em relação ao ombro até a primeira coordenada positiva do dedo;
- Recuperação: determinada pela primeira coordenada z negativa do dedo, entre a saída da mão da água e a entrada da mesma mão na água.

A Figura 12, adaptada de de Jesus et al. (2016) exemplifica a localização espacial para determinação do início de cada fase do ciclo de braçada.

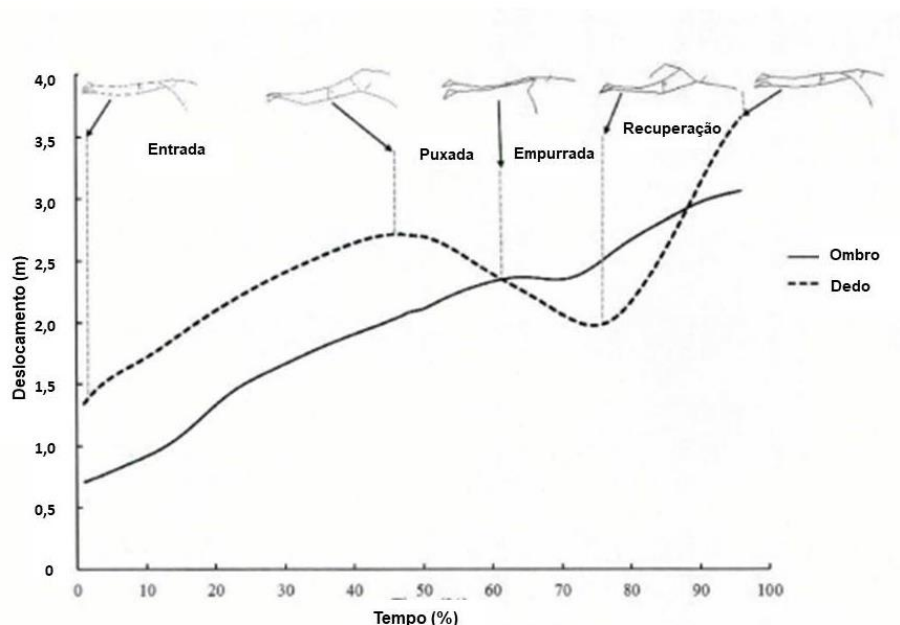


Figura 12 – Definição de cada fase do ciclo de braçada no nado crawl. O tempo foi expresso em percentual do tempo para a realização do ciclo de braçada (adaptado de de Jesus et al., 2016).

A duração da fase propulsiva foi obtida pela soma das durações das fases de puxada e empurrada e a duração da fase não-propulsiva foi considerada como a soma das durações das fases de entrada+apoio e recuperação. A duração da braçada completa foi dada pela soma das fases propulsivas e não-propulsivas.

O tempo propulsivo (T_{prop}) foi calculado conforme a equação 16, descrito previamente por Alberty et al. (2009):

Equação 16

$$T_{prop} = T_{ciclo} (100\% + 2IdC) D / DC$$

Em que o T_{prop} representa o tempo utilizado pelo nadador para à propulsão em cada trecho, o T_{ciclo} representa a duração total do ciclo de braçada (s) e a D/DC , representa a fração entre a distância total do trecho e o valor da DC respectiva a cada trecho a ser avaliado.

O cálculo da VIV foi realizado pelo coeficiente de variação da VN (desvio padrão da VN/média da VN durante o ciclo analisado). Esse procedimento foi realizado nos três eixos (x, y e z).

Para o cálculo da η_T , a velocidade tridimensional da mão foi calculada como a soma da velocidade tridimensional instantânea da mão direita e esquerda durante a fase subaquática ($3Du$). Da razão entre a velocidade do centro de massa e $3Du$, uma vez que essa relação representa a eficiência teórica da mecânica dos fluídos (FOX e MCDONALD, 1992) e em animais que executam os movimentos semelhantes a de remada (ALEXANDER, 1983), leva em consideração a potência mecânica interna necessária para mover os membros em relação ao centro de massa (SILVEIRA et al., 2017) conforme a equação 17:

Equação 17

$$\eta_T = v / 3Du$$

Onde η_T é a eficiência média ao longo de um ciclo de braçada, v é a velocidade média de nado e $3Du$ é a velocidade média da mão tridimensional nas fases propulsivas dos braços. Os valores de eficiência calculados são valores de Froude / Eficiência teórica (aonde o trabalho interno não é considerado e calculado) e sim do movimento propulsivo dos braços apenas (ZAMPARO, CAPELLI e PENDERGAST, 2011; FIGUEIREDO et al., 2013).

Após a coleta das medidas antropométricas, foram pintados, sobre a pele dos nadadores, os marcadores anatômicos de referência a serem

digitalizados. Foram pintados 19 marcadores para as digitalizações das imagens de nado): cabeça, mandíbula e queixo, vértices do ombro, cotovelo, punho, processo xifóide, trocânteres femorais, articulações metafalangianas medial dos dedos da mão e dos pés, joelho, tornozelo, em ambos os lados, direito e esquerdo, do nadador. Essas marcações foram necessárias para digitalização nas análises cinemáticas.

6.8.3 Erro RMS da digitalização do volume de calibração

Para avaliar a acurácia das medidas dos parâmetros biomecânicos foi realizado o cálculo do erro RMS (Root Mean Square) dos três eixos (x, y e z), de acordo com Psycharakis e Sanders (2008), conforme as Equações 18, 19, 20 e 21:

Equação 18

$$X_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_a - X_b)^2}$$

Equação 19

$$Y_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_a - Y_b)^2}$$

Equação 20

$$Z_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_a - Z_b)^2}$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(X_a - X_b)^2 + (Y_a - Y_b)^2 + (Z_a - Z_b)^2]}$$

Por meio das equações 18, 19, 20 e 21 foram calculados os erros de reconstrução (Root Mean Square) referentes à digitalização de dez quadros, sendo escolhidos dez pontos válidos da calibração que não serviram de pontos controle. Para o eixo x (longitudinal) foi encontrado erro de 1,92 mm; para o eixo y (vertical) 1,34 mm; para o eixo z (médio-lateral) 0,29 mm para as câmeras subaquáticas e externas.

6.9 Procedimentos para obtenção das variáveis fisiológicas

São descritos, nesta seção, os procedimentos para obtenção e análise variáveis fisiológicas.

6.9.1 Determinação de [La], FC e EP

A coleta dos dados para aquisição de [La], FC e EP deste estudo ocorreu em duas etapas: 1) T400 para determinação da intensidade de 95% da V400; 2) séries de nado contínuo nas condições de FG. Ambas as etapas da coleta ocorreram em dois momentos;

- 1) No T400, a coleta ocorreu em dois momentos: a) em estado de repouso, após permanecer 15 min em repouso na posição de decúbito dorsal, sobre um colchonete, à borda de piscina, antes do aquecimento; e b) imediatamente e 1, 3, 5 e 7 min após o T400;
- 2) Nas séries de nado contínuo das condições de FG livre, aumentada e reduzida a coleta ocorreu em dois momentos: a) em estado de repouso, foi utilizado o mesmo procedimento da etapa do T400; e b) imediatamente após o término de cada série de nado contínuo;

Foram coletados 5 ml de sangue em cada momento para a verificação da [La] da região antecubital por um profissional habilitado, utilizando materiais esterilizados e descartáveis. Para preparação das amostras foi utilizado tubos do tipo vacutainer da marca EDTA contendo as amostras sanguíneas que foram centrifugadas para obtenção do plasma e armazenadas a -80°C para posterior análise. Após isso, o plasma foi utilizado para a realização da técnica de mensuração da [La] pelo método enzimático, onde a análise consistiu na reconversão do lactato em piruvato por meio da enzima lactato desidrogenase. As análises foram realizadas em analisador automático, utilizando *kits* específicos conforme recomendações do fabricante. Os valores foram expressos em mmol.l^{-1} . A FC foi monitorada e o EP foi reportado de forma geral imediatamente após cada momento em ambas as etapas do estudo nas séries de nado contínuo nas condições de FG.

6.9.2 Determinação do $\dot{V}\text{O}_2$

Antes de cada coleta, o ergoespirômetro portátil foi calibrado de acordo com as recomendações do fabricante, com a utilização de concentrações previamente conhecidas de gases. Após esses procedimentos iniciais, o nadador permanecia no mínimo 5 min em repouso (dentro da água, em pé sobre um redutor de profundidade) já conectado ao esnorquel e este ao ergoespirômetro. O K5 ficava suspenso em um suporte em cabo de aço fixo sobre a raia 3 (Figura 13), onde o nadador executava o aquecimento, a familiarização, o T400 e as séries de nado contínuo. Ao longo do repouso, registravam-se, a cada respiração, os valores do $\dot{V}\text{O}_2$ e do quociente respiratório. Quando este, após no mínimo 5 min, ficasse abaixo de 0,9, iniciava-se o teste. Os atletas foram orientados no sentido de realizar as viradas de forma lateral, sempre para o mesmo lado relativamente à borda da piscina e sem imersão do corpo posteriormente ao impulso contra a borda. Todos os nadadores executaram as séries de nado contínuo em cada condição da FG até a exaustão para determinação do $\dot{V}\text{O}_{2\text{pico}}$ (BENTLEY et al., 2005).

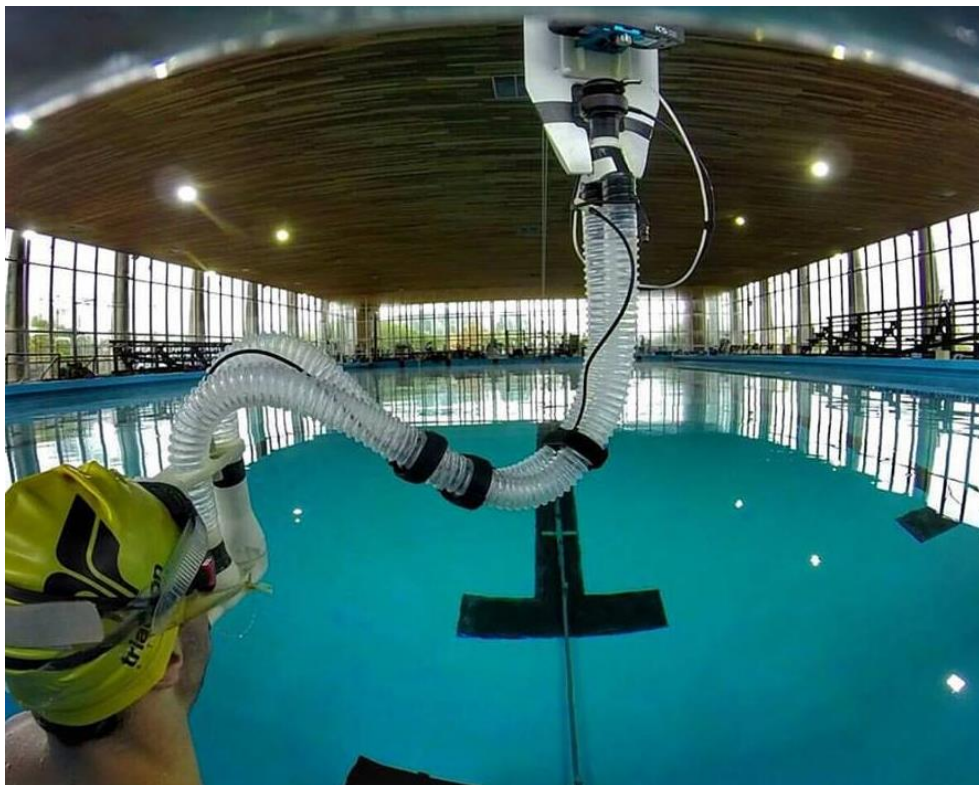


Figura 13 – Nadador conectado ao Esnorquel Aquatrainer e este ao ergoespirômetro K5 (Cosmed).

A fim de sincronizar os momentos de cada série de nado contínuo de FG livre, aumentada e reduzida (inicial, intermediário e pico) com os valores de $\dot{V}O_2$ obtidos durante as séries, um cronômetro era acionado no instante que se acionava o registro dos dados espirométricos no tablet, que se comunicava por sistema de telemetria com o ergoespirômetro. Dois pesquisadores, um em cada lateral da piscina, acompanhavam o deslocamento do ergoespirômetro, nas mesmas velocidades do nadador, com duas cordas. Os dados ergoespirométricos foram registrados ao longo de todo o T400 e das séries de nado contínuo (Figura 14).

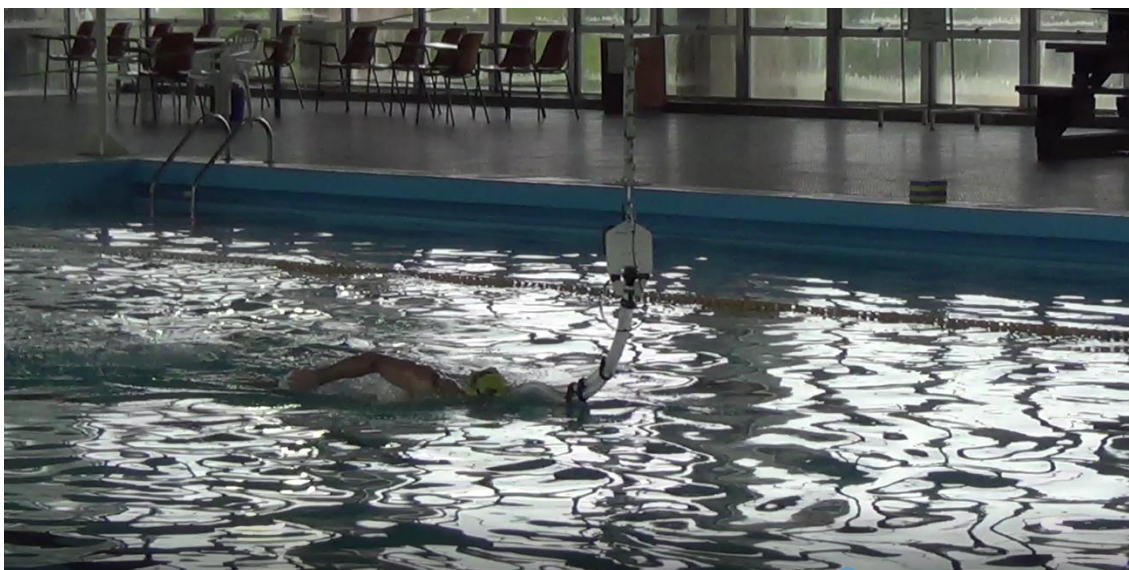


Figura 14– Nadador executando série de nado contínuo de FG reduzida com o esnorquel e o ergoespirômetro.

Os procedimentos das análises do consumo consistiram, primeiramente, em salvar o resultado do teste em planilha do Microsoft Excel. O valor do consumo de oxigênio normalizado pela massa corporal ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) foi plotado em função do tempo tanto na etapa do T400 como na etapa das séries de nado contínuo. Com os dados temporais da sincronização, foram identificados os períodos de repouso e exercício em ambas as etapas do estudo. Posteriormente os dados foram suavizados, seguindo os procedimentos para os valores de consumo obtidos respiração por respiração (ÖZYENER et al., 2001; BALDARI et al., 2013; de JESUS et al., 2014): retirada de respirações irregulares causadas por possíveis deglutições ou tosses; interrupção dos sinais foram retiradas dos dados e foram analisados apenas aqueles valores dentro dos limites de média ± 4 desvios-padrão. Assim foi necessário:

1. Identificação visual das fases rápida e lenta do consumo de oxigênio;
2. Exclusão dos valores altos e baixos (considerando média ± 4 desviospadrão de cada fase);
3. Aplicação de média móvel com janelamento de 10 s.

O $\dot{V}O_2$ de repouso foi determinado pelo valor médio do $\dot{V}O_2$ dos primeiros 30 s do último minuto antes do início do exercício. Os valores do $\dot{V}O_2$ em cada momento (inicial e intermediário) foram determinados como sendo a média de cada trecho de 25 metros no espaço calibrado em que foi analisado o

ciclo de braçada para a determinação das variáveis biomecânicas ao longo das séries de nado contínuo. Após este processo, os valores de consumo de oxigênio: repouso e pico no T400; repouso, inicial, intermediário, final e pico de cada série de nado contínuo foram identificados. Os momentos de identificação de $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ para o T400 e para cada série também foram identificados. Além disso, os valores de $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ de cada condição foram transformados em valores relativos ao $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ identificado no T400, assumindo-se este como 100%.

6.9.3 Determinação da cinética do $\dot{V}O_2$

Em primeiro lugar, os valores de respiração por respiração de cada série de nado contínuo nas condições de FG livre, aumentada e reduzida foram primeiro limpos para exclusão de valores que apresentaram mais do que quatro valores do desvio-padrão da média. Após a verificação dos dados, as respostas individuais do $\dot{V}O_2$ respiração-por-respiração foram apagadas por uma diferença de tempo-respiração e média de 5s (FERNANDES et al., 2012). Para a análise da cinética do $\dot{V}O_2$, os primeiros 20 s dos dados após o início do exercício (fase cardiodinâmica) não foram considerados para a análise do modelo, para não influenciar na resposta subsequente ao nível do $\dot{V}O_2$ (BORRANI et al., 2001; SOUSA, VILAS-BOAS e FERNANDES, 2014; ESPADA et al., 2015). Para isso, utilizou-se uma equação em que um método de mínimos quadrados não linear foi minimizado no software MatLab para ajustar os dados de $\dot{V}O_2$ com o modelo:

A cinética do $\dot{V}O_2$ foi modelada de acordo com a Equação 22:

Equação 22

$$\dot{V}O_2(t) = \begin{cases} \dot{V}O_{2\text{base}} & \text{for } t < t_{d_p} \\ \dot{V}O_{2\text{base}} + A_p (1 - e^{-(t-t_{d_p})/\tau_p}) & \text{for } t_{d_p} < t < t_{d_{sc}} \text{ (primeira componente)} \\ \dot{V}O_{2\text{base}} + A_p (1 - e^{-(t-t_{d_{sc}}-t_{d_p})/\tau_p}) + A_{sc} (1 - e^{-(t-t_{d_{sc}})/\tau_{sc}}) & \text{for } t > t_{d_{sc}} \\ & \text{(componente lento)} \end{cases}$$

Em que $\dot{V}O_2(t)$ representa o $\dot{V}O_2$ relativo num dado momento, $\dot{V}O_{2base}$ representa o $\dot{V}O_2$ de repouso (valor médio do $\dot{V}O_2$ dos primeiros 30 s do último minuto antes do início do exercício), τ_{dp} , τ_p , A_p representam o tempo de atraso, a constante de tempo e a amplitude da fase primária e τ_{dsc} , τ_{sc} , A_{psc} , representam os equivalentes dos parâmetros para a componente lenta [em inglês, *slow component (sc)*]. Os parâmetros da cinética do $\dot{V}O_2$ foram calculados por meio de um processo direto, minimizando a soma da média dos quadrados das diferenças entre os valores modelados e os valores que foram mensurados. Para análise da cinética do $\dot{V}O_2$, as curvas consideradas (das séries de nado contínuo nas condições de FG até a exaustão) foram modeladas considerando uma aproximação monoexponencial (componente primária) da Equação 22. O componente lento não foi considerado, uma vez que o modelo monoexponencial foi o melhor ajustado em todos os indivíduos (SOUSA, VILAS-BOAS e FERNANDES, 2014; ESPADA et al., 2015; REIS et al., 2017).

6.10 Análise estatística

A distribuição dos dados foi verificada com aplicação do teste de Shapiro-Wilk. Após, foram calculadas as médias, os desvios-padrão e os intervalos de confiança das médias, como estatística descritiva. Foram realizados procedimentos de comparação e de verificação de tamanho de efeito. As comparações foram realizadas em três modelos:

1. As variáveis de FG real, DC e VN real foram comparadas entre os quatro momentos do teste de familiarização com ANOVA de medidas repetidas. Após, foi aplicado teste t simples entre todos os valores de FG real e VN real (esta transformada em % da V400), e, respectivamente, 30 ciclos.min⁻¹ e 95%;
2. Nas variáveis de FG, DC, VN, VIV, VIVx, VIVy, VIVz, IdC, Tprop, η_T , fases de entrada+apoio, puxada, empurrada e recuperação, FP, FNP e T_{ciclo} sob a ação de dois fatores (três condições e três momentos), [La], EP e FC (três condições e dois momentos) e $\dot{V}O_2$ (três condições e quatro momentos), foi aplicada ANOVA de dois fatores, com análise dos

efeitos principais de condição e de momento e análise das possíveis interações. Esfericidade foi verificada com teste de Mauchly e fator de correção épsilon de Greenhouse-Geisser foi aplicado quando necessário. Quando interação era significativa, procedia-se o desdobramento com análises separadas com ANOVA de medidas repetidas dentro de cada fator. específicos;

3. Para as comparações entre a FG prescrita e a FG real, foi aplicado teste *t* de Student simples;
4. Para a comparação dos dados de cinética do consumo de oxigênio, do $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ e do TTE nas condições de FG livre, aumentada e reduzida (variável em função da duração das condições da FG), foi aplicado ANOVA para medidas repetidas;
5. Tamanho de efeito foi calculado pela estatística η^2 de acordo com as comparações realizadas, com categorização proposta por Cohen (1988): <0,13: pequeno; 0,14-0,26: médio; >0,26: grande.

Foram observados, para todos os cálculos, $\alpha = 0,05$ e utilizado o pacote estatístico SPSS, v.23.0.

7 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes às (i) características antropométricas dos participantes do estudo, (ii) desempenho no T400 e melhor desempenho na prova de 400 m na do livre, (iii) comparação entre FG prescrita e real e (iv) comparações das respostas às condições de FG e momentos de avaliação das variáveis biomecânicas (FG, DC, VN, VIV, η_t , T_{ciclo} , IdC, duração das fases de entrada + apoio, puxada, empurrada e recuperação, FP, FNP, Tprop e das (v) variáveis fisiológicas ([La], EP, FC, $\dot{V}O_2$ e cinética do $\dot{V}O_2$).

7.1 Características da amostra

A Tabela 1 apresenta as características antropométricas (idade, massa corporal, estatura, envergadura e somatório de quatro dobras cutâneas) dos nadadores.

Tabela 1 - Valores médios, desvios-padrão (DP) e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média (IC) das características antropométricas dos indivíduos; n = 12.

	Idade (anos)	Massa corporal (kg)	Estatura (cm)	Envergadura (cm)	$\sum 4\text{Dobras}$ (mm)
Média e DP	23,6 ± 6,0	74,4 ± 8,9	178,2 ± 4,5	185,2 ± 4,9	42,2 ± 10,5
IC	]19,8; 27,5[	]68,7; 80,1[	]175,3; 181,1[	]182,0; 188,3[	]36,7; 47,4[

A Tabela 2 apresenta os anos de experiência competitiva em natação (EXP NAT), o tempo do T400, o melhor tempo realizado em prova de 400 m nado livre em piscina de 25 m (DES400) e o desempenho do T400 em pontos da FINA (DESFINA).

Tabela 2 - Valores médios, desvios-padrão (DP) e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média (IC) dos anos de experiência competitiva em natação (EXP NAT), do tempo realizado no teste de 400 m em máxima intensidade com snorkel (T400), do melhor tempo realizado em prova de 400 m nado livre em piscina de 25 m (DES400) e do desempenho em pontos da FINA (DESFINA) dos indivíduos; n = 12.

	EXP NAT (anos)	T400 (s)	DES400 (s)	DESFINA (pontos)
Média e DP	11,1 ± 6,7	311,1 ± 11,3	275,5 ± 16,2	459,7 ± 29,3
IC	]5,3; 16,2[	]297,0; 320,4[	]255,4; 289,3[	]428,6; 491,7[

A Tabela 3 apresenta os valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média de [La], EP e FC e do $\dot{V}O_2$ do T400.

Tabela 3 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da concentração de lactato sanguíneo ([La]), do esforço percebido (EP), da frequência cardíaca (FC) e do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) dos indivíduos em repouso e relativo ao T400; n = 12.

	Repouso	Pico
[La] (mmol.l ⁻¹)	3,80 ± 1,77]1,44; 6,84[	12,32 ± 2,38]10,05; 14,89[
EP (pontos)	6,50 ± 0,52]6,0; 7,0[	18,25 ± 0,96]17,0; 20[
FC (bpm)	65,8 ± 10,0]52,0; 82,0[	184,1 ± 5,1]173,0; 190,0[
$\dot{V}O_2$ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	8,1 ± 1,9]5,7; 10,0[	66,4 ± 6,2]51,5; 75,3[

O $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ foi atingido, no T400, em 278,4 ± 83,1 s. Na Tabela 4 estão apresentados os valores reais (em média, desvios-padrão e limites inferior e superior - 95% - dos intervalos de confiança da média) de FG, DC e VN do teste de familiarização.

Tabela 4 - Valores médios \pm desvios-padrão (DP) e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da frequência gestual (FG) real, DC e VN (%da V400) no teste de familiarização de 100 m nos momentos (25 m, 50 m, 75 m e 100 m) $n = 12$.

	25 m	50 m	75 m	100 m
FG (ciclos.min ⁻¹)	30,08 \pm 0,80]29,57;30,59[	29,75 \pm 0,97]29,13;30,37[	29,99 \pm 0,87]29,43;30,55[	30,03 \pm 0,72]29,57;30,49[
DC (m)	2,34 \pm 0,11]2,27;2,41[	2,33 \pm 0,10]2,27;2,40[	2,33 \pm 0,11]2,26;2,41[	2,33 \pm 0,12]2,25;2,40[
VN (%)	95,1 \pm 0,7]94,6;95,5[	94,6 \pm 0,7]94,1;95,0[	94,8 \pm 0,8]94,5;95,2[	94,8 \pm 0,8]94,3;95,4[

Em média, a velocidade absoluta a 95% da V400, realizada no teste de familiarização, foi de $1,22 \pm 0,04 \text{ m.s}^{-1}$. Ao longo deste teste não houve mudanças estatísticas em nenhuma das variáveis analisadas (FG: $F_{1,11}=0,005$; $p=0,946$; DC: $F_{1,11}=0,762$; $p=0,524$; VN: $F_{1,11}=1,035$; $p=0,390$). Também não houve diferenças entre todos os valores de FG real ($29,9 \pm 0,8 \text{ ciclos.min}^{-1}$) e a FG prescrita de $30 \text{ ciclos.min}^{-1}$ ($t_{47}=-0,266$; $p=0,792$), nem entre a VN real ($94,8 \pm 0,72\%$) e VN prescrita a 95% da V400 ($t_{47}=-1,283$; $p=0,206$). Esses resultados indicaram que os nadadores conseguiam realizar nado contínuo com controle tanto da FG, quanto da VN (Tabela 4).

7.2 Variáveis biomecânicas

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados dos valores percentuais da FG prescrita e a FG real nas condições aumentada (110%) e reduzida (90%) e em cada momento (inicial, intermediário e final) ao longo de cada série de nado contínuo, em média, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média. Pode-se observar, na Tabela 5, que não houve diferenças estatísticas entre a FG prescrita e real nas duas condições de FG controlada (aumentada e reduzida) em cada momento.

Tabela 5 - Valores médios, desvios-padrão, limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média e resultados estatísticos das comparações entre a frequência gestual (FG) prescrita e real nas condições de FG aumentada (110%) e reduzida (90%) nos momentos (inicial, intermediário e final); n = 12.

	FG aumentada	t; p	FG reduzida	t; p
FG real inicial (%)	109,93 ± 4,28]107,54;112,40[	$t_{11}=-0,111; 0,914$	90,39 ± 0,38]89,83;90,96[	$t_{11}=1,555; 0,148$
FG real intermediário (%)	108,82 ± 2,37]107,57;110,97[	$t_{11}=-1,321; 0,213$	90,35 ± 0,77]89,85;90,84[	$t_{11}=1,575; 0,143$
FG real final (%)	109,94 ± 1,92]108,71;111,16[	$t_{11}=-0,109; 0,915$	91,01 ± 1,66]89,95;92,07[	$t_{11}=2,109; 0,059$

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados de FG ($\text{ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$), DC (m) e VN ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), em cada condição (FG livre, FG aumentada e FG reduzida) e, em cada momento (inicial, intermediário e final) ao longo de cada série de nado contínuo, em média, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 6 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média de frequência gestual (FG), distância média percorrida por ciclo de braçada (DC) e velocidade média de nado (VN) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida, nos momentos inicial, intermediário e final; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição; números sobrescritos diferentes indicam diferenças entre as condições no mesmo momento.

Momentos	FG livre	FG aumentada	FG reduzida
FG inicial (ciclos.min ⁻¹)	28,90 ± 1,38 ^{a,1}]28,02;29,78[	33,68 ± 2,61 ²]31,72;35,04[	27,64 ± 2,14 ¹]26,28;29,01[
FG intermediário (ciclos.min ⁻¹)	30,77 ± 2,56 ^{b,4}]29,13;32,40[	33,05 ± 2,82 ⁴]31,60;34,50[	27,87 ± 2,34 ⁵]26,38;29,36[
FG final (ciclos.min ⁻¹)	32,39 ± 2,88 ^{e,7}]30,55;34,22[	33,41 ± 2,45 ⁷]31,85;34,97[	27,81 ± 2,29 ⁸]26,35;29,26[
DC inicial (m)	2,40 ± 0,09 ^{e,1}]2,34;2,46[	2,22 ± 0,17 ²]2,11;2,32[	2,49 ± 0,13 ¹]2,40;2,58[
DC intermediário (m)	2,35 ± 0,14 ^{e,4}]2,26;2,44[	2,20 ± 0,13 ⁵]2,11;2,28[	2,47 ± 0,13 ⁴]2,39;2,56[
DC final (m)	2,22 ± 0,11 ^{f,7}]2,15;2,29[	2,13 ± 0,11 ⁷]2,05;2,21[	2,49 ± 0,10 ⁸]2,42;2,55[
VN inicial (m.s ⁻¹)	1,22 ± 0,04]1,19;1,25[	1,21 ± 0,04]1,18;1,24[	1,21 ± 0,04]1,18;1,24[
VN intermediário (m.s ⁻¹)	1,22 ± 0,04]1,19;1,25[	1,22 ± 0,04]1,19;1,24[	1,21 ± 0,04]1,18;1,24[
VN final (m.s ⁻¹)	1,21 ± 0,04]1,19;1,24[	1,21 ± 0,04]1,18;1,24[	1,21 ± 0,04]1,18;1,24[

a,b,c: diferença ($p < 0,05$) entre os momentos inicial, intermediário e final na FG livre para a FG.
e,f: diferença significativa entre os momentos inicial e intermediário em relação ao final na FG livre para a DC. ^{1,2}: diferença entre as condições livre e aumentada em relação a condição reduzida no momento inicial. ^{4,5}: diferença entre as condições livre e aumentada em relação a condição reduzida no momento intermediário. ^{7,8}: diferença entre as condições livre e aumentada em relação a condição reduzida no momento final.

Na Tabela 6, para FG, pode-se observar efeito estatístico das condições ($F_{2,22}=18,73$; $p<0,001$; $\eta^2=0,630$), ao passo que FG foi prescrita em aumentada e reduzida, tais condições ficaram claras nos valores de FG. Também houve efeito significativo dos momentos ($F_{2,22}=242,72$; $p<0,001$; $\eta^2=0,957$), com aumento dos valores ao longo da tarefa de FG livre. Interação foi significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=15,34$; $p<0,001$; $\eta^2=0,582$). Assim, os resultados dos desdobramentos foram (valores de F, graus de liberdade e p dos desdobramentos são apresentados no ANEXO IV):

1) entre os momentos em cada condição de FG: na condição de FG livre, a FG no momento final foi maior quando comparada à FG dos momentos inicial e intermediário, e no momento intermediário foi maior que no momento inicial na mesma condição ($\eta^2=0,704$). Nas demais condições de FG (aumentada e reduzida), os valores de FG foram similares entre os momentos ($\eta^2=0,055$ e $\eta^2=0,101$, respectivamente);

2) entre as condições de FG em cada momento: no momento inicial a FG foi maior na condição aumentada quando comparado a FG livre e reduzida, e na FG reduzida foi menor que na FG livre ($\eta^2=0,889$). No momento intermediário, a FG foi maior na condição aumentada quando comparado às FG livre e reduzida, e na FG reduzida foi menor que na FG livre ($\eta^2=0,917$). No momento final, a FG foi maior na condição aumentada quando comparada às FG livre e reduzida e na FG reduzida foi menor que na FG livre ($\eta^2=0,927$).

Para os valores de DC houve efeito estatístico das condições ($F_{2,22}=58,07$; $p<0,001$; $\eta^2=0,841$): menores valores de DC na FG aumentada. Também houve efeito estatístico dos momentos de análise sobre os valores da DC ($F_{2,22}=13,32$; $p<0,001$; $\eta^2=0,548$) com diminuição dos valores ao longo da tarefa de FG livre e interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=8,81$; $p<0,001$; $\eta^2=0,445$). Assim, os resultados dos desdobramentos (valores de F, graus de liberdade e p dos desdobramentos são apresentados no ANEXO IV) foram:

1) entre os momentos em cada condição de FG: pode-se identificar entre os momentos na FG livre, que a DC no momento final foi menor quando comparada à DC dos momentos inicial e intermediário ($\eta^2=0,638$). Nas demais condições de FG (aumentada e reduzida), os valores da DC foram similares entre os momentos ($\eta^2=0,304$ e $\eta^2=0,042$, respectivamente);

2) entre as condições de FG em cada momento: no momento inicial, a DC foi menor na condição aumentada quando comparada à FG livre e reduzida ($\eta^2=0,716$), na FG reduzida foi similar quando comparada a FG livre. No momento intermediário, a DC foi menor na condição aumentada quando comparada à DC das condições de FG livre e reduzida. Na FG reduzida a DC foi maior que na FG livre ($\eta^2=0,750$). No momento final, a DC foi menor na

condição aumentada quando comparada à DC das FG livre e reduzida. Na FG reduzida, a DC foi maior que na FG livre ($\eta^2=0,880$).

Ao passo que a velocidade foi prescrita sempre de forma controlada a 95% da V400 não houve efeito estatístico das condições ($F_{2,22}=1,34$; $p=0,281$; $\eta^2=0,109$), dos momentos ($F_{2,22}=0,47$; $p=0,628$; $\eta^2=0,041$) e nem interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=1,05$; $p=0,389$; $\eta^2=0,088$).

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados da VIV (coeficiente de variação intra-cíclica da velocidade do centro de massa), VIVx (coeficiente de variação intra-cíclica da velocidade no eixo x), VIVy (coeficiente de variação intra-cíclica da velocidade no eixo y) e VIVz (coeficiente de variação intra-cíclica da velocidade no eixo z) em cada condição (FG livre, FG aumentada e FG reduzida) e, em cada momento (inicial, intermediário e final) ao longo de cada série, em média, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 7 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média do coeficiente de variação intra-cíclica da velocidade do centro de massa (VIV) geral e nos três eixos (VIVx, VIVy, VIVz) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida e momentos (inicial, intermediário e final) a 95% da V400 dos indivíduos; n = 12.

Momentos	FG livre	FG aumentada	FG reduzida
VIV inicial	0,19 ± 0,01	0,16 ± 0,03	0,20 ± 0,03
	]0,18;0,20[	]0,14;0,19[	]0,18;0,22[
VIV intermediário	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,02	0,17 ± 0,05
	]0,14;0,19[	]0,14;0,18[	]0,13;0,20[
VIV final	0,16 ± 0,04	0,12 ± 0,03	0,14 ± 0,03
	]0,14;0,19[	]0,10;0,14[	]0,11;0,16[
VIVx inicial	0,19 ± 0,02	0,17 ± 0,03	0,21 ± 0,04
	]0,18;0,21[	]0,14;0,19[	]0,18;0,23[
VIVx intermediário	0,17 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,17 ± 0,05
	]0,14;0,19[	]0,15;0,18[	]0,14;0,21[
VIVx final	0,17 ± 0,04	0,13 ± 0,03	0,15 ± 0,04
	]0,14;0,20[	]0,10;0,15[	]0,12;0,17[
VIVy inicial	0,68 ± 0,12	0,73 ± 0,09	0,68 ± 0,10
	]0,60;0,76[	]0,67;0,79[	]0,62;0,75[
VIVy intermediário	0,70 ± 0,11	0,72 ± 0,10	0,69 ± 0,08
	]0,62;0,77[	]0,66;0,79[	]0,64;0,74[
VIVy final	0,71 ± 0,06	0,75 ± 0,07	0,65 ± 0,10
	]0,67;0,76[	]0,70;0,80[	]0,58;0,71[
VIVz inicial	0,92 ± 0,12	0,92 ± 0,08	0,90 ± 0,11
	]0,84;1,00[	]0,87;0,98[	]0,82;0,98[
VIVz intermediário	0,86 ± 0,13	0,82 ± 0,11	0,89 ± 0,13
	]0,78;0,95[	]0,75;0,89[	]0,80;0,98[
VIVz final	0,75 ± 0,14	0,82 ± 0,14	0,78 ± 0,12
	]0,66;0,84[	]0,73;0,91[	]0,70;0,86[

Em relação à VIV, pode-se observar que não houve efeito das condições ($F_{2,22}=2,10$; $p=0,145$; $\eta^2=0,161$), porém houve efeito estatístico dos momentos ($F_{2,22}=21,48$; $p<0,001$; $\eta^2=0,661$). Mas, não houve interação entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=2,29$; $p=0,074$; $\eta^2=0,173$). Assim, pode-se identificar que independente da condição, os valores da VIV diminuíram ao longo de todas as condições de FG, pois o efeito dos momentos é o mesmo.

Para VIVx não houve efeito das condições ($F_{2,22}=2,06$; $p=0,151$; $\eta^2=0,158$) porém houve efeito significativo dos momentos ($F_{2,22}=16,17$;

$p < 0,001$; $\eta^2 = 0,595$) e não houve interação entre as condições e os momentos ($F_{4,44} = 1,96$; $p = 0,116$; $\eta^2 = 0,152$). Assim, pode-se identificar que independente da condição, os valores da VIVx diminuíram ao longo de todas as condições de FG.

Já, para VIVy não houve efeito das condições ($F_{2,22} = 1,91$; $p = 0,171$; $\eta^2 = 0,148$) e nem dos momentos ($F_{2,22} = 0,07$; $p = 0,928$; $\eta^2 = 0,007$). Ainda, pode-se identificar que não houve interação entre as condições e os momentos ($F_{4,44} = 0,94$; $p = 0,450$; $\eta^2 = 0,079$). Pode-se identificar que os valores da VIVy não apresentaram diferenças quando comparados entre os momentos e entre as condições de FG ($p > 0,05$).

Para VIVz não houve efeito das condições ($F_{2,22} = 0,08$; $p = 0,923$; $\eta^2 = 0,007$). Porém, houve efeito significativo dos momentos na ($F_{2,22} = 10,79$; $p < 0,01$; $\eta^2 = 0,495$) e não houve interação entre as condições e os momentos ($F_{4,44} = 1,43$; $p = 0,238$; $\eta^2 = 0,115$). Assim, pode-se identificar que independente da condição, os valores da VIVz diminuíram ao longo de todas as condições de FG ($p < 0,05$).

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados de IdC (índice de coordenação), Tprop (tempo propulsivo) e eficiência de Froude (η_r) em cada condição (FG livre, FG aumentada e FG reduzida) e, em cada momento (inicial, intermediário e final) ao longo de cada série, em média, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 8 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média de IdC, de Tprop e de η_T nas condições de FG livre, aumentada e reduzida e momentos (inicial, intermediário e final) a 95% da V400 dos indivíduos; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição; números sobrescritos diferentes indicam diferenças entre as condições no mesmo momento.

Momentos	FG livre	FG aumentada	FG reduzida
IdC inicial	-20,99 ± 3,86 ¹	-19,13 ± 3,93 ²	-21,59 ± 2,66 ^{9,1}
(%)	]-18,53;-23,45[	]-16,63;-21,63[	]-19,90;-23,29[
IdC intermediário	-19,98 ± 3,11 ⁴	-19,89 ± 3,92 ⁴	-22,98 ± 2,79 ^{9,5}
(%)	]-18,00;-21,96[	]-16,39;-21,38[	]-21,20;-24,75[
IdC final	-19,07 ± 3,24 ⁷	-17,24 ± 4,22 ⁷	-23,40 ± 2,25 ^{h,8}
(%)	]-17,01;-21,13[	]-14,55;-19,92[	]-21,96;-24,83[
Tprop inicial	12,69 ± 1,34	11,57 ± 0,99 ^d	12,56 ± 1,10
(s)	]11,83;13,54[	]10,93;12,20[	]11,86;13,26[
Tprop intermediário	12,89 ± 1,84	12,48 ± 1,56 ^d	12,46 ± 1,14
(s)	]11,72;14,06[	]11,48;13,47[	]11,73;13,19[
Tprop final	12,73 ± 1,33	12,99 ± 1,20 ^e	12,67 ± 1,05
(s)	]11,88;13,58[	]12,20;13,75[	]12,00;13,34[
η_T inicial	0,34 ± 0,02 ^a	0,34 ± 0,01	0,33 ± 0,02 ^j
	]0,33;0,35[	]0,33;0,34[	]0,32;0,35[
η_T intermediário	0,33 ± 0,02 ^a	0,34 ± 0,01	0,33 ± 0,01 ^j
	]0,32;0,34[	]0,33;0,34[	]0,32;0,34[
η_T final	0,31 ± 0,01 ^{b,7}	0,33 ± 0,01 ⁸	0,35 ± 0,01 ^{k,9}
	]0,30;0,33[	]0,32;0,34[	]0,34;0,36[

a,b: diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos inicial e intermediário em relação ao final na FG livre. d,e: diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos inicial e final na FG aumentada. g,h: diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos inicial e final na FG reduzida. i,k: diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos inicial e intermediário em relação ao final na FG reduzida. 1,2: diferença significativa ($p < 0,05$) entre as condições livre e reduzida em relação a condição aumentada no momento inicial. 4,5: diferença significativa ($p < 0,05$) entre as condições livre e aumentada em relação a condição reduzida no momento intermediário. 7,8: diferença significativa ($p < 0,05$) entre as condições livre e aumentada em relação a condição reduzida no momento final. 7,8,9: diferença significativa ($p < 0,05$) entre as condições livre, aumentada e reduzida no momento final.

Na Tabela 8 pode-se observar que houve efeito significativo das condições sobre os valores do IdC ($F_{2,22}=13,60$; $p<0,001$; $\eta^2=0,553$) ao passo que o IdC foi menor quando houve diminuição da FG. Porém, não houve efeito dos momentos sobre o IdC ($F_{2,22}=0,66$; $p=0,525$; $\eta^2=0,057$), com manutenção dos valores ao longo das tarefas de FG. Identificou-se interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=4,80$; $p<0,01$; $\eta^2=0,304$). Assim os

resultados dos desdobramentos (valores de F, graus de liberdade e p dos desdobramentos são apresentados no ANEXO IV) foram:

1) entre os momentos em cada condição de FG: pode-se identificar que na FG reduzida o IdC no momento final foi maior quando comparado ao momento inicial ($\eta^2=0,253$). Nas demais condições de FG (livre e aumentada), os valores do IdC foram similares entre os momentos ($\eta^2=0,187$ $\eta^2=0,180$, respectivamente);

2) entre as condições de FG em cada momento: no momento inicial, os valores do IdC foram similares entre as condições ($\eta^2=0,185$). No momento intermediário, o IdC foi menor na condição FG reduzida quando comparado ao IdC das FG livre e aumentada ($\eta^2=0,454$). No momento final, o IdC foi menor na condição reduzida quando comparado à FG livre e aumentada ($\eta^2=0,715$). Entre as condições FG livre e aumentada, os valores do IdC foram similares nos momentos intermediário e final.

Sobre T_{prop} não houve efeito das condições ($F_{2,22}=1,05$; $p=0,365$; $\eta^2=0,088$) e nem dos momentos ($F_{2,22}=1,75$; $p=0,197$; $\eta^2=0,137$). Porém, houve interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=2,78$; $p<0,05$; $\eta^2=0,202$), com aumento dos valores ao longo da tarefa de FG aumentada. Os valores dos desdobramentos (valores de F, graus de liberdade e p dos desdobramentos são apresentados no ANEXO IV) foram:

1) entre os momentos em cada condição de FG: pode-se identificar na FG aumentada, que o T_{prop} no momento final foi maior quando comparado ao momento inicial ($\eta^2=0,299$). Nas demais condições de FG (livre e reduzida), os valores do T_{prop} foram similares entre os momentos ($\eta^2=0,012$; $0,022$, respectivamente);

2) entre as condições de FG em cada momento: os valores do T_{prop} foram similares em todos os momentos inicial, intermediário e final ($\eta^2=0,359$; $0,037$; $0,054$, respectivamente).

Já, para η_T não houve efeito das condições ($F_{2,22}=2,55$; $p=0,100$; $\eta^2=0,189$) e nem dos momentos ($F_{2,22}=0,60$; $p=0,553$; $\eta^2=0,052$). Porém, houve interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=14,33$; $p<0,001$; $\eta^2=0,566$). A η_T aumentou ao longo do nado contínuo na FG reduzida e diminuiu ao final da FG livre. Os valores dos desdobramentos (valores de F,

graus de liberdade e p dos desdobramentos são apresentados no ANEXO IV) foram:

1) entre os momentos em cada condição de FG: pode-se identificar que a η_T no momento final foi menor quando comparado ao momento inicial na condição de FG livre ($\eta^2=0,518$). Já entre os momentos inicial e intermediário os valores da η_T foram similares na FG livre. Na condição de FG aumentada, os valores da η_T foram similares entre os momentos analisados ($\eta^2=0,009$). Já, na condição de FG reduzida, os valores da η_T foram maiores no momento final quando comparados valores dos momentos inicial e intermediário ($\eta^2=0,584$). Entre os momentos inicial e intermediário, os valores da η_T foram similares na FG reduzida;

2) entre as condições de FG em cada momento: os valores da η_T foram similares nos momentos inicial e intermediário ($\eta^2=0,063$ e $\eta^2=0,031$, respectivamente). No momento final, a η_T foi menor na FG livre quando comparado à η_T das FG aumentada e reduzida ($\eta^2=0,582$). A η_T não apresentou diferenças entre a FG aumentada e reduzida no momento final.

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados da duração das fases da braçada (entrada + apoio, puxada, empurrada e recuperação) em cada condição (FG livre, FG aumentada e FG reduzida) e, em cada momento (inicial, intermediário e final) ao longo de cada série, em média, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 9 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da duração das fases da braçada (entrada + apoio, puxada, empurrada e recuperação) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida e momentos (inicial, intermediário e final) a 95% da V400 dos indivíduos; n = 12.

Momentos	FG livre	FG aumentada	FG reduzida
Entrada + apoio	46,87 ± 4,49	43,95 ± 5,98	46,27 ± 4,09
inicial (%)	]44,01;49,73[	]40,15;47,75[	]43,67;48,87[
Entrada + apoio	45,15 ± 3,95	45,20 ± 6,52	46,20 ± 5,25
intermediário (%)	]42,64;47,67[	]41,06;49,35[	]42,86;49,53[
Entrada + apoio	45,03 ± 5,14	42,95 ± 6,86	46,62 ± 6,13
final (%)	]41,76;48,29[	]38,59;47,31[	]42,72;50,52[
Puxada inicial	14,15 ± 3,21	15,69 ± 2,47	13,70 ± 3,19
(%)	]12,11;16,20[	]14,11;17,26[	]11,66;15,73[
Puxada	15,04 ± 2,69	16,15 ± 2,60	14,03 ± 2,96
intermediário (%)	]13,32;16,75[	]14,50;17,81[	]12,15;15,91[
Puxada final (%)	16,23 ± 2,73	17,72 ± 2,95	14,54 ± 3,27
	]14,49;17,97[	]15,84;19,60[	]12,45;16,62[
Empurrada	14,69 ± 3,91	15,98 ± 3,97	14,32 ± 3,28
inicial (%)	]12,20;17,18[	]13,83;18,12[	]12,24;16,40[
Empurrada	15,45 ± 2,91	15,89 ± 4,19	12,87 ± 2,86
intermediário (%)	]13,60;17,29[	]13,22;18,55[	]11,05;14,69[
Empurrada final	14,26 ± 3,25	16,35 ± 4,28	14,02 ± 3,53
(%)	]12,19;16,33[	]13,63;19,07[	]11,77;16,27[
Recuperação	24,26 ± 4,88	24,35 ± 4,11	25,70 ± 3,72
inicial (%)	]21,16;27,36[	]21,74;26,97[	]23,34;28,07[
Recuperação	24,35 ± 5,11	22,72 ± 5,02	26,92 ± 5,75
intermediário (%)	]21,11;27,60[	]19,53;25,91[	]23,27;30,57[
Recuperação	24,47 ± 4,45	22,94 ± 5,42	24,80 ± 5,10
final (%)	]21,64;27,30[	]19,49;26,38[	]21,55;28,04[

Na Tabela 9 pode-se observar que não houve efeito significativo das condições sobre os valores da duração da fase de entrada + apoio da braçada ($F_{2,22}=2,27$; $p=126$; $\eta^2=0,172$), nem dos momentos ($F_{2,22}=0,77$; $p=0,474$; $\eta^2=0,066$) e não houve interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=1,56$; $p=0,201$; $\eta^2=0,124$).

Sobre a duração da fase de puxada houve efeito das condições ($F_{2,22}=6,41$; $p<0,01$; $\eta^2=0,368$) e dos momentos ($F_{2,22}=7,99$; $p<0,01$; $\eta^2=0,421$). Porém, não houve interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=0,37$; $p=0,826$; $\eta^2=0,033$). Assim, pode-se identificar que

independentemente da condição, os valores da duração da fase de puxada aumentaram ao longo de todas as condições de FG e de acordo com o aumento do valor das condições de FG, pois o efeito dos momentos e das condições é o mesmo ($p < 0,05$).

Sobre a duração da fase de empurrada houve efeito das condições ($F_{2,22}=3,93$; $p<0,05$; $\eta^2=0,263$). Porém, não houve efeito significativo dos momentos ($F_{2,22}=0,09$; $p=0,907$; $\eta^2=0,009$) e nem interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=1,18$; $p=0,329$; $\eta^2=0,098$). Assim, pode-se identificar que independente do momento, os valores da duração da fase de empurrada aumentaram entre as condições de acordo com o aumento do valor da FG, pois o efeito das condições é o mesmo ($p < 0,05$).

Para duração da fase de recuperação houve efeito estatístico das condições ($F_{2,22}=4,22$; $p<0,05$; $\eta^2=0,269$). Porém não houve efeito dos momentos ($F_{2,22}=0,80$; $p=0,460$; $\eta^2=0,068$) e nem interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=1,87$; $p=0,132$; $\eta^2=0,145$). Assim, pode-se identificar que independente do momento, os valores da duração da fase de recuperação aumentaram entre as condições de acordo com a diminuição do valor da FG, pois o efeito das condições é o mesmo ($p < 0,05$).

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados do somatório da duração das fases propulsivas (FP) e das fases não-propulsivas (FNP) em dados relativos ao tempo total de ciclo de braçada absoluto (T_{ciclo}) em cada condição (FG livre, FG aumentada e FG reduzida) e, em cada momento (inicial, intermediário e final) ao longo de cada série, em média, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 10 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da FP e FNP e o T_{ciclo} nas condições de FG livre, aumentada e reduzida e momentos (inicial, intermediário e final) a 95% da V400 dos indivíduos; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição; números sobrescritos diferentes indicam diferenças entre as condições no mesmo momento

Momentos	FG livre	FG aumentada	FG reduzida
FP inicial (%)	28,86 ± 4,07	31,68 ± 4,40	28,02 ± 3,99
	]26,27;31,45[	]28,88;34,48[	]25,48;30,56[
FP intermediário (%)	30,48 ± 3,47	32,05 ± 3,91	26,88 ± 3,32
	]28,27;32,69[	]29,57;34,54[	]24,77;28,99[
FP final (%)	30,47 ± 3,46	34,07 ± 4,66	28,55 ± 3,93
	]28,27;32,67[	]31,11;37,03[	]26,05;31,05[
FNP inicial (%)	71,13 ± 4,07	68,31 ± 4,40	71,97 ± 3,99
	]68,54;73,72[	]65,51;71,11[	]69,43;74,51[
FNP intermediário (%)	69,51 ± 3,47	67,94 ± 3,91	73,11 ± 3,32
	]67,30;71,72[	]65,45;70,42[	]71,00;75,23[
FNP final (%)	69,52 ± 3,46	65,92 ± 4,66	71,44 ± 3,93
	]67,32;71,72[	]62,96;68,88[	]68,94;73,94[
T_{ciclo} inicial (s)	2,09 ± 0,10 ^{a,1}	1,79 ± 0,14 ²	2,16 ± 0,16 ¹
	]2,02;2,15[	]1,70;1,89[	]2,05;2,26[
T_{ciclo} intermediário (s)	1,96 ± 0,18 ^{b,4}	1,84 ± 0,17 ⁴	2,11 ± 0,18 ⁵
	]1,84;2,07[	]1,73;1,95[	]1,99;2,23[
T_{ciclo} final (s)	1,83 ± 0,14 ^{c,7}	1,78 ± 0,12 ⁷	2,11 ± 0,19 ⁸
	]1,74;1,92[	]1,70;1,86[	]1,99;2,24[

a,b,c: diferença ($p < 0,05$) entre os momentos inicial, intermediário e final na FG livre. ^{1,2:} diferença significativa ($p < 0,05$) entre as condições livre e reduzida em relação a condição aumentada no momento inicial. ^{4,5:} diferença significativa ($p < 0,05$) entre as condições aumentada e reduzida no momento intermediário. ^{7,8:} diferença significativa ($p < 0,05$) entre as condições livre e aumentada em relação a condição reduzida no momento final.

Pode-se observar houve efeito das condições sobre a FP ($F_{2,22}=16,16$; $p < 0,001$; $\eta^2=0,595$): incremento de FP com FG aumentada. Porém, não houve efeito estatístico dos momentos ($F_{2,22}=2,81$; $p=0,082$; $\eta^2=0,204$) e nem interação estatística entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=1,28$; $p=0,292$; $\eta^2=0,104$). Assim, pode-se identificar que, independente do momento, os valores da FP aumentaram entre as condições de acordo com o aumento do valor da FG, pois o efeito das condições é o mesmo ($p < 0,05$).

Já, em relação à FNP, houve efeito estatístico das condições ($F_{2,22}=16,16$; $p < 0,001$; $\eta^2=0,595$): redução da FNP com incremento da FG. Não houve efeito significativo dos momentos ($F_{2,22}=2,81$; $p=0,082$; $\eta^2=0,204$) e nem

interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=1,28$; $p=0,292$; $\eta^2=0,104$). Assim, pode-se identificar que independente do momento, os valores da FNP diminuíram entre as condições de acordo com o aumento do valor da FG, pois o efeito das condições é o mesmo ($p < 0,05$).

No T_{ciclo} em dados absolutos houve efeito significativo das condições ($F_{2,22}=56,76$; $p<0,001$; $\eta^2=0,838$), ao passo que FG foi prescrita em aumentada e reduzida, tais condições ficaram claras nos valores do T_{ciclo} . Também, houve efeito significativo dos momentos ($F_{2,22}=12,38$; $p<0,001$; $\eta^2=0,530$), com diminuição do T_{ciclo} ao longo da tarefa de FG livre. Interação foi significativa entre as condições e os momentos ($F_{4,44}=7,67$; $p<0,001$; $\eta^2=0,411$). Assim, os resultados dos desdobramentos do T_{ciclo} foram (valores de F, graus de liberdade e p dos desdobramentos são apresentados no ANEXO IV):

1) entre os momentos em cada condição de FG: pode-se identificar entre os momentos na FG livre, que o T_{ciclo} no momento final foi menor quando comparado aos momentos inicial e intermediário ($\eta^2=0,621$). O T_{ciclo} no momento intermediário foi similar quando comparado ao momento inicial na condição de FG livre ($p > 0,05$). Nas demais condições de FG (aumentada e reduzida), os valores do T_{ciclo} foram similares entre os momentos ($\eta^2=0,091$; 0,229, respectivamente);

2) entre as condições de FG em cada momento: entre as condições de FG, no momento inicial o T_{ciclo} foi menor na condição aumentada quando comparado a FG livre e reduzida ($\eta^2=0,790$). O T_{ciclo} na FG livre foi similar quando comparado a FG reduzida no momento inicial ($p > 0,05$). No momento intermediário, o T_{ciclo} foi maior na condição reduzida quando comparado a FG livre e aumentada ($\eta^2=0,597$). O T_{ciclo} na FG livre foi similar quando comparado a FG aumentada no momento intermediário ($p > 0,05$). E, no momento final, a o T_{ciclo} foi maior na condição reduzida quando comparado a FG livre e aumentada ($\eta^2=0,824$). O T_{ciclo} na FG livre foi similar quando comparado a FG aumentada no momento final ($p > 0,05$).

7.3 Variáveis fisiológicas

Na Tabela 11 estão apresentados os resultados de [La] (mmol.l^{-1}), EP (pontos) e FC (bpm), em cada condição (FG livre, FG aumentada e FG reduzida) e, em cada momento (repouso e exaustão) ao longo de cada série, em média, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 11 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média da concentração de lactato sanguíneo ([La]), do esforço percebido (EP) e da frequência cardíaca (FC) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida a 95% da V400 nos momentos de repouso e exaustão dos indivíduos; n = 12.

	FG livre	FG aumentada	FG reduzida
[La] repouso (mmol.l^{-1})	3,20 ± 1,58]2,20;4,21[	2,96 ± 1,01]2,31;3,60[	3,23 ± 1,30]2,40;4,05[
[La] exaustão (mmol.l^{-1})	9,85 ± 2,21]8,44;11,21[	9,17 ± 2,91]7,32;11,02[	8,99 ± 2,27]7,54;10,44[
EP repouso (pontos)	6,66 ± 0,98]6,04;7,29[	7,00 ± 1,34]6,14;7,85[	7,16 ± 1,02]6,51;7,82[
EP exaustão (pontos)	18,00 ± 0,60]17,61;18,38[	18,5 ± 0,90]17,92;19,07[	18,00 ± 0,95]17,39;18,60[
FC repouso (bpm)	60,75 ± 6,35]56,71;64,78[	61,58 ± 9,12]55,78;67,38[	63,33 ± 10,44]56,69;69,97[
FC exaustão (bpm)	180,66 ± 4,75]177,64;183,68[	183,33 ± 3,24]181,77;185,89[	181,50 ± 6,55]177,33;185,66[

Na Tabela 11 pode-se observar que sobre [La], EP e FC não houve efeito estatístico das condições (respectivamente: $F_{2,22}=0,49$; $p=0,618$; $\eta^2=0,043$; $F_{2,22}=1,46$; $p=0,254$; $\eta^2=0,117$; $F_{2,22}=0,92$; $p=0,382$; $\eta^2=0,077$). Identificou-se efeito óbvio dos momentos (repouso e pico): maiores valores de [La], EP e FC ao fim de cada série em relação ao repouso (respectivamente: $F_{1,11}=157,87$; $p<0,001$; $\eta^2=0,935$; $F_{1,11}=2550,25$; $p<0,001$; $\eta^2=0,996$; $F_{1,11}=2391,47$; $p<0,001$; $\eta^2=0,995$). Para as três variáveis, não houve interação significativa entre as condições e os momentos (respectivamente: $F_{2,22}=0,49$; $p=0,616$; $\eta^2=0,043$; $F_{2,22}=0,88$; $p=0,426$; $\eta^2=0,075$; $F_{2,22}=1,13$; $p=0,340$; $\eta^2=0,093$)

Na Tabela 12 estão apresentados os resultados de $\dot{V}O_2$ ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) em cada condição (FG livre, FG aumentada e FG reduzida) e, em cada momento (repouso, inicial, intermediário e final), em média, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 12 - Valores médios, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) nas condições de FG livre, aumentada e reduzida a 95% da V400 em quatro momentos de repouso, inicial, intermediário e final de cada série dos indivíduos; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição; números sobrescritos diferentes indicam diferenças entre as condições no mesmo momento.

	FG livre	FG aumentada	FG reduzida
$\dot{V}O_2$ repouso ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	10,37 ± 2,86 ^a]8,55;12,19[	8,22 ± 2,51 ^e]6,62;9,81[	7,82 ± 1,43 ⁱ]6,91;8,74[
$\dot{V}O_2$ inicial ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	26,27 ± 5,11 ^{b,1}]23,02;29,51[	29,41 ± 6,39 ^{f,1}]25,35;33,48[	20,92 ± 8,28 ^{j,2}]15,66;26,18[
$\dot{V}O_2$ intermediário ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	48,83 ± 8,58 ^c]43,37;54,28[	46,36 ± 6,38 ^g]42,30;50,42[	43,82 ± 9,79 ^k]37,60;50,05[
$\dot{V}O_2$ final ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	53,31 ± 7,72 ^d]48,41;58,22[	49,11 ± 5,55 ^g]45,44;52,79[	48,99 ± 6,61 ^l]44,78;53,19[

a,b,c,d: diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos repouso, inicial, intermediário e final na FG livre. e,f,g: diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos repouso e inicial em relação ao intermediário e final na FG aumentada. e,f: diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos repouso e inicial na FG aumentada. i,j,k,l: diferença significativa ($p < 0,05$) entre os momentos repouso, inicial, intermediário e final na FG reduzida. ^{1,2}: diferença significativa ($p < 0,05$) entre as condições livre e aumentada em relação a condição reduzida no momento inicial.

Na Tabela 12 pode-se observar que houve efeito estatístico das condições ($F_{2,22}=3,69$; $p<0,05$; $\eta^2=0,251$) e dos momentos ($F_{3,33}=374,53$; $p<0,001$; $\eta^2=0,971$) sobre os valores do $\dot{V}O_2$, com aumento do $\dot{V}O_2$ ao longo das tarefas de FG livre, aumentada e reduzida. Ainda, houve interação significativa entre as condições e os momentos ($F_{6,66}=2,45$; $p<0,05$; $\eta^2=0,182$). Assim, os resultados dos desdobramentos do $\dot{V}O_2$ foram (valores de F, graus de liberdade e p dos desdobramentos são apresentados no ANEXO IV):

1) entre os momentos em cada condição de FG: pode-se identificar que o $\dot{V}O_2$ no momento final foi maior quando comparado aos momentos repouso, inicial e intermediário. Ainda, o $\dot{V}O_2$ no momento intermediário foi maior quando comparado aos momentos repouso e inicial, e no momento inicial foi maior que no repouso ($\eta^2=0,945$). Já, na FG aumentada pode-se identificar que o $\dot{V}O_2$

nos momentos final e intermediário foram maiores quando comparados aos momentos repouso e inicial. Ainda, o $\dot{V}O_2$ no momento inicial foi maior que no repouso ($\eta^2=0,938$). Quando comparados os momentos final e intermediário, os valores do $\dot{V}O_2$ foram similares na FG aumentada ($p > 0,05$). Na FG reduzida, o $\dot{V}O_2$ no momento final foi maior quando comparado aos momentos repouso, inicial e intermediário. Ainda, o $\dot{V}O_2$ no momento intermediário foi maior quando comparado aos momentos repouso e inicial, e no momento inicial foi maior que no repouso ($\eta^2=0,932$);

2) entre as condições de FG em cada momento: os valores do $\dot{V}O_2$ foram similares nos momentos repouso, intermediário e final (respectivamente: $\eta^2=0,272$; $\eta^2=0,104$; $\eta^2=0,156$). No momento inicial, o $\dot{V}O_2$ foi menor na condição reduzida quando comparado a FG livre e aumentada ($\eta^2=0,419$). O $\dot{V}O_2$ no momento inicial foi similar na FG livre quando comparado a FG aumentada e reduzida ($p > 0,05$).

Na Tabela 13 estão apresentados os resultados da cinética do $\dot{V}O_2$ (Pico, A_p , τ_d e τ), tempo total até a exaustão (TTE) em cada condição (FG livre, FG aumentada e FG reduzida), em média, desvios-padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 13 - Valores médios \pm desvios-padrão (DP), limites do intervalo de confiança da média (95%) e resultados estatísticos do $\dot{V}O_{2\text{pico}}$, da A_p , do τ_d , da τ e do TTE nas condições de FG livre, aumentada e reduzida a 95% da V400 dos indivíduos; n = 12. Letras sobrescritas diferentes indicam diferenças entre os momentos na mesma condição.

	FG livre	FG aumentada	FG reduzida
$\dot{V}O_{2\text{pico}}$ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	54,21 \pm 8,22]48,77;59,10[	50,40 \pm 5,02]46,02;52,88[	49,66 \pm 6,55]45,17;53,81[
A_p (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	41,43 \pm 7,08]36,93;45,93[	39,51 \pm 6,44]35,41;43,60[	41,50 \pm 8,81]35,90;47,10[
τ_d (s)	12,34 \pm 4,82]9,27;15,40[	9,72 \pm 4,02]7,16;12,28[	9,67 \pm 2,87]7,84;11,50[
τ (s)	21,58 \pm 5,03 ^a]18,38;24,79[	13,39 \pm 4,28 ^b]10,67;16,11[	19,55 \pm 2,68 ^a]17,84;21,25[
TTE (s)	583,08 \pm 184,25]466,01;700,15[	743,08 \pm 340,01]527,04;959,11[	599,16 \pm 306,13]404,65;793,67[

^{a,b}: diferença significativa ($p < 0,05$) entre a condição aumentada quando comparado as condições livre e reduzida.

Nas condições de FG livre, aumentada e reduzida o $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ foi atingido, respectivamente, aos $533,2 \pm 118,1$ s; $619,7 \pm 213,2$ e $518,6 \pm 22,5$ s. Em termos relativos ao $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ do T400, os valores de $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ de cada condição, foram 80,2%, 75,5% e 73,7%, respectivamente para as condições de FG livre, aumentada e reduzida. Na Tabela 13 pode-se observar que não houve efeito estatístico das condições sobre os valores de A_p , do τ_d , e TTE (respectivamente: $F_{2,22}=0,47$; $p=0,528$; $\eta^2=0,042$; $F_{2,22}=1,72$; $p=0,201$; $\eta^2=0,136$; $F_{2,22}=1,93$; $p=0,168$; $\eta^2=0,150$; $F_{2,22}=2,15$; $p=0,140$; $\eta^2=0,164$). Porém, para os valores da τ houve efeito significativo das condições ($F_{2,22}=15,13$; $p<0,001$; $\eta^2=0,579$). Pode-se identificar entre as condições, que a τ na tarefa de FG aumentada foi menor quando comparado às tarefas de FG livre e reduzida ($p < 0,001$). Os valores da τ na condição FG livre foi similar quando comparado a condição de FG reduzida ($p > 0,05$).

8 DISCUSSÃO

Este estudo apresentou como objetivo geral descrever e analisar as respostas agudas a diferentes frequências gestuais controladas do nado crawl em parâmetros biomecânicos, coordenativos e fisiológicos em intensidade relativa à velocidade de 95% da V400 na natação até a exaustão. Para tal foi necessário quantificar variáveis biomecânicas, coordenativas e fisiológicas ao longo do tempo de execução das séries de nado contínuo em diferentes condições de controle da FG (livre, aumentada e reduzida). Deste modo, os resultados obtidos são discutidos, respectivamente, nesta ordem.

Os achados deste estudo indicaram que:

- 1) entre as condições de FG, ao manter a velocidade de 95% da V400 até a exaustão, nadadores incrementam a VIV e a η_T com a FG controlada. Ainda, ao nadar com a FG aumentada, o IdC, a duração das fases de puxada e de empurrada e a FP aumentam e a constante temporal (τ) da cinética do consumo de oxigênio diminui. Já, ao nadar com a FG reduzida os valores do IdC, da duração da fase de recuperação e da FNP diminuem. Alterar a condição de controle da FG não altera as respostas das demais variáveis fisiológicas e do tempo total até a exaustão (TTE) investigados no presente estudo;
- 2) entre os momentos da FG livre, os nadadores aumentaram os valores da FG, da [La], do EP, da FC e do consumo de oxigênio e diminuíram os valores da DC, da η_T e da VIVz;
- 3) entre os momentos da condição FG aumentada, os nadadores diminuíram a VIV e a VIVx e aumentaram o Tprop, a [La], o EP, a FC e o consumo de oxigênio;
- 4) entre os momentos da condição FG reduzida, os nadadores diminuíram os valores do IdC, da VIV, da VIVx e da VIVz ao passo que aumentaram a η_T , a [La], o EP, a FC e o consumo de oxigênio.

8.1 Familiarização ao metrônomo e pacer

Os resultados da Tabela 04 (ver pág. 80) indicam que o processo de familiarização ao metrônomo e ao pacer foram suficientes para que os

nadadores estivessem aptos a realizar os testes de nado contínuo com controle tanto da FG, quanto da VN. Ainda, pode-se observar, na Tabela 5 (ver pág. 81), que não houve diferenças estatísticas entre a FG prescrita e real nas duas condições de FG controlada (aumentada e reduzida) em cada momento das séries de nado contínuo até a exaustão. Até o momento, o presente estudo é o primeiro a demonstrar a aptidão dos nadadores a utilizarem, simultaneamente, metrônomo e pacer visual, especialmente após o processo de familiarização aos mesmos.

8.2 Variáveis biomecânicas

Aumento da FG e diminuição da DC e do T_{ciclo} , entre os momentos da série de nado contínuo na condição de FG livre (ver Tabelas 06 e 10, págs. 82 e 92), estão de acordo com o estudo de Alberty et al. (2008) e Alberty et al. (2009) que reportaram, na condição de FG livre, que os nadadores, junto com aumento da FG, reduziram a DC para manter a velocidade nos percentuais de 95, 100 e 110% da V_{400} . Sendo que a FG foi prescrita em aumentada e reduzida, os valores de FG e DC possuem uma relação inversamente proporcional quando o nadador deve manter a velocidade em nado contínuo.

Comportamentos similares, porém, em séries de nado intervalado, foram encontrados por Ribeiro, Lima e Gobatto (2010) que encontraram aumento nas respostas da FG (de $29,6 \pm 3,2$ para $32,1 \pm 4,1$ ciclos.min⁻¹) com concomitante redução da DC (de $2,48 \pm 0,22$ para $2,31 \pm 0,24$ m) na tentativa de manter a VN correspondente à VC ($1,28 \pm 0,05$ m.s⁻¹), o que correspondeu a 93% da V_{400} , durante série de cinco repetições de 400 m em nado *crawl* com repouso passivo de 90 segundos. Segundo os autores (RIBEIRO, LIMA e GOBATTO, 2010), os nadadores adotaram essa estratégia para manter a velocidade ao longo da série. A diminuição na DC pode ser atribuída à ocorrência de fadiga muscular, diminuindo, dessa forma, a aplicação de força propulsiva, aumentando a FG de forma compensatória para manter a VN.

A diminuição da η_T e da VIV_z e as respostas similares da VIV , VIV_x , VIV_y , do IdC e da duração das fases da braçada na série entre os momentos da FG livre (ver Tabelas 07 e 08, págs. 85 e 87) não estão de acordo com o estudo de Alberty et al. (2009). Esses encontraram em todas as intensidades

de nado contínuo (95, 100 e 110% da V400) aumento da FG, do IdC, do Tprop e concomitante diminuição da DC. Com relação à duração das fases propulsivas da braçada (puxada e empurrada), ocorreu aumento da fase de empurrada apenas no percentual de 100% da V400 desde o início até ao final do teste (exaustão).

Os autores (ALBERTY et al., 2009) concluíram que a FG, o IdC e o Tprop aumentaram de forma progressiva, o que pode ser explicado pelo aumento do tempo destinado para a aplicação de força propulsiva em determinada distância, com uma conseqüente redução da capacidade de aplicação de força para a manutenção da velocidade. Com relação a manutenção da duração das fases da braçada, ao manter a velocidade relativa de 95% da V400 no presente estudo (ver Tabela 09, pág. 90), os resultados estão de acordo com os achados de Alberty et al. (2009), que encontraram alterações na duração da fase de empurrada apenas na intensidade de 100% da V400. Portanto, pode-se notar que em velocidades relativas maiores, em uma série de nado no estilo crawl, ocorre o aumento das fases propulsivas da braçada, ou seja, os nadadores destinam maior tempo para a execução destas fases na braçada.

Ainda, entre os momentos da FG livre, os resultados encontrados no presente estudo (ver Tabelas 07 e 08, págs. 85 e 87) estão de acordo com os reportados por Figueiredo et al. (2014) que encontraram diminuição da eficiência propulsiva e manutenção do IdC e do Tprop, porém, em intensidade relativa a MLSS (intensidade abaixo da série de nado contínuo a 95% da V400 do presente estudo). Com relação a VIV, os resultados do presente estudo não corroboraram com os encontrados por Figueiredo et al. (2014) que encontraram diminuição na VIV. A manutenção da VIV e da VIV nos eixos x e y no presente estudo pode ser explicada pela maior velocidade utilizada no presente estudo (95% da V400) que os nadadores tiveram que manter até a exaustão. Isso parece importante, já que o aumento da VIV aumenta o trabalho, conforme relatado teoricamente e experimentalmente em protocolos de natação incremental (BARBOSA, KESKINEN e VILAS-BOAS, 2006) e em situação de desempenho nos 200 m em nado crawl (FIGUEIREDO et al., 2013b).

Entre os momentos da condição FG aumentada, os nadadores do presente estudo diminuíram a VIV e a VIVx e aumentaram o Tprop e a duração da fase de puxada da braçada (ver Tabelas 07, 08 e 09, págs. 85, 87 e 90). Esses resultados estão de acordo com os achados por Alberty et al. (2009) que encontraram em todas as intensidades (95, 100 e 110% da V400), aumento da FG e concomitante diminuição da DC, bem como aumento no IdC e no Tprop, e de Figueiredo et al. (2014) que encontraram diminuição da VIV, porém, em intensidade de MLSS. Para o nosso conhecimento, o presente estudo é o primeiro que investigou as respostas da VIV nos três eixos, x,y e z, e da η_T na intensidade de nado de 95% da V400 até a exaustão em diferentes valores de condição da FG.

Entre os momentos da condição FG reduzida, os nadadores diminuíram os valores do IdC, da VIV, da VIVx e da VIVz ao passo que aumentaram a η_T no presente estudo (ver Tabelas 07 e 08, págs. 85 e 87). Não foram encontrados estudos que tenham investigado essas variáveis (IdC, VIV, VIVx, VIVz e η_T) em séries de nado contínuo com controle da FG. Porém, em situação de análise do desempenho nos 200 m nado crawl, Figueiredo et al. (2013b) verificaram as relações entre parâmetros de eficiência (VIV e eficiência de Froude, η_T), e IdC em dez nadadores de nível internacional do sexo masculino. Os nadadores apresentaram valores similares de VIV (x, y e z), uma vez que o desenvolvimento da fadiga ao longo dos 200 m induziu diminuição da velocidade, da DC, da FG e da η_T , o que poderia ser explicado pela ocorrência de fadiga, e aumento do IdC. O aumento da VIV poderia incrementar o trabalho, conforme já relatado teoricamente e experimentalmente em protocolos de natação incremental (BARBOSA, KESKINEN e VILAS-BOAS, 2006).

Figueiredo et al. (2013b) afirmaram que a redução na capacidade de gerar força propulsiva de forma efetiva pelo aumento da FG é compensada pelo aumento da velocidade da trajetória da mão e, conseqüentemente, os valores da DC diminuíram. Este fato pode explicar porque a DC é considerada indicador de eficiência propulsiva (TOUSSAINT e BEEK, 1992; FIGUEIREDO et al., 2011). Isso pode explicar porque, quando os nadadores do presente

estudo nadaram na condição de FG reduzida, os valores da DC e da η_T , aumentaram mesmo com velocidade constante.

Como a magnitude do arrasto que o nadador encontra depende da velocidade de nado, a realização e a manutenção de velocidade dependem das características dos impulsos propulsivos a serem produzidos e da taxa de aplicação deles (ou seja, a FG e a DC que pode ser usual, de forma livre e espontânea) (PELAYO et al., 2007; ALBERTY et al., 2011). As mudanças nesta combinação usual requerem modulação de impulsos propulsivos e resistivos e da forma como são coordenados. Para cumprir um aumento agudo da DC, a estratégia para modificar os impulsos propulsivos pode corresponder às mudanças no tempo em que as forças agem e/ou na intensidade dessas forças (CRAIG e PENDERGAST, 1979; ALBERTY et al., 2011), o que pode acarretar em aumento da FG para manter a velocidade. À medida que as mudanças mencionadas anteriormente ocorreram no presente estudo na condição de redução de 10% da FG, a coordenação de nado foi adaptada, como um mecanismo de otimização para adotar uma maior DC e η_T , diminuindo o IdC.

Entre as condições de FG no presente estudo, ao manter a velocidade constante com FG controlada, os nadadores aumentaram a VIV e a η_T (ver Tabelas 07 e 08, págs. 85 e 87). Ainda, ao nadar com a FG aumentada o IdC, a duração das fases propulsivas de puxada e de empurrada e a FP aumentaram, ou seja, os nadadores destinaram maior tempo nas fases propulsivas ao passo que ao nadar com a FG reduzida os valores do IdC, da duração da fase de recuperação e da FNP, diminuiram. Estes resultados estão de acordo com os reportados por Alberty et al. (2011) que encontraram aumento na duração das fases não-propulsivas da braçada somente na condição de FG reduzida quando comparada à condição de FG fixa (equivalente à média da condição de FG livre). Porém, não estão de acordo com os resultados encontrados pelos mesmos autores em relação à duração das fases propulsivas, as quais não apresentaram diferenças em ambas as situações. De acordo com Craig e Pendergast (1979), na condição de redução da FG, para manter a mesma velocidade, os tempos de propulsão realizados a cada ciclo de braços deveriam aumentar com uma maior aplicação de força. Morris et al. (2016), ao analisar esforços de 200 m em três condições de

controle de valores de FG (FG baixa: 22-26 ciclos.min⁻¹; FG moderada: 30-34 ciclos.min⁻¹; e FG alta: 38-42 ciclos.min⁻¹) sem controle da velocidade, encontraram diminuição da DC de acordo com o aumento da FG e da velocidade. As alterações encontradas no estudo de Morris et al. (2016) corroboraram com os achados do presente estudo quando nas condições em que a FG foi controlada, de acordo com o aumento da mesma houve diminuição dos valores da DC.

Em relação aos tamanhos de efeito das condições de FG, principal variável independente deste estudo, cabe ressaltar que tamanhos de efeito grandes (>0,26; COHEN, 1988) foram identificadas para as variáveis biomecânicas DC, IdC, duração das fases de puxada, empurrada e de recuperação, FP e FNP. Isso significa que essas variáveis foram as mais sensíveis, dentre as biomecânicas, às condições analisadas de FG.

Com as diferenças encontradas na eficiência de Froude e na FNP ao nadar na condição de FG reduzida, quando comparado às condições de FG livre e aumentada, confirmou-se parcialmente a hipótese 1 deste estudo (*a condição de FG reduzida aumenta a duração das fases não-propulsivas da braçada (entrada + apoio e recuperação) e a eficiência de Froude e reduz a variação intra-cíclica da velocidade na intensidade de 95% da V400 no nado crawl até a exaustão*). A eficiência de Froude foi maior apenas no momento final da condição FG reduzida e a FNP foi maior independente dos momentos entre as condições de FG para manter a velocidade na intensidade de 95% da V400 em nado contínuo até a exaustão. O fato da hipótese não ser confirmada totalmente pode ser explicada pelo fato de, na condição de FG reduzida os nadadores não alteraram a VIV para não aumentar o trabalho, possibilitando o aumento de tempo entre a ação dos braços no nado crawl (diminuindo o IdC e a velocidade da trajetória da mão) (FIGUEIREDO et al., 2013b). No entanto, se o valor da velocidade a ser mantida fosse maior, poderia-se encontrar aumento da VIV no presente estudo.

As diferenças encontradas nas fases de puxada e de empurrada e na eficiência de Froude ao nadar na condição de FG aumentada quando comparado às condições de FG livre e reduzida confirmaram parcialmente a hipótese 2 deste estudo (*a condição de FG aumentada incrementa a duração das fases propulsivas da braçada (puxada e empurrada) e a eficiência de*

Froude na intensidade de 95% da V400 no nado crawl até a exaustão). A eficiência de Froude foi maior na FG aumentada quando comparado a FG livre e as fases de puxada e de empurrada da braçada foram maiores de modo independente dos momentos entre as condições de FG. A hipótese não ser confirmada totalmente pode estar relacionada ao fato de, na condição de FG reduzida, os nadadores não alteraram a VIV, o que aumentaria o trabalho, tal comportamento possibilitou o aumento do intervalo de tempo entre a ação dos braços no nado crawl (diminuindo o IdC e a velocidade da trajetória da mão) e aumentando a eficiência de froude (FIGUEIREDO et al., 2013b).

Os treinadores podem, nas sessões de treinamento, procurar orientar para que o nadador se concentre no tempo para a realização das ações propulsivas ao longo ciclo de braçada no nado crawl, focando a atenção principalmente nas fases propulsivas, bem como na orientação da trajetória da mão. Os treinadores podem aplicar um dos fatores antes mencionados para melhorar a eficiência com que a força é aplicada na água, ao longo do período de treinamento. Diminuição do tempo da ação propulsiva pode orientar os nadadores a melhorar a eficiência com a qual a força é aplicada em cada braçada, focando no aumento da duração da fase entrada + apoio da braçada e no aumento da contribuição da ação do movimento das pernas para a propulsão, por exemplo. Tais restrições de tarefas podem, portanto, ser úteis para melhorar a sensibilidade em um sentido cinestésico e tátil com a água, o que é essencial para transferir a força muscular geral para a força a ser aplicada na água. Estas adaptações na técnica de nado devem ser realizadas pelo tempo em que cada nadador consegue manter-se consciente também da posição adequada do corpo em equilíbrio para evitar o aumento do arrasto.

Acima de tudo, recomenda-se conciliar a restrição de tarefa de aumento da duração das fases não-propulsivas da braçada com outras tarefas de aprendizagem e desenvolvimento da técnica em que a restrição pela FG seja aumentada também. Quando a FG é reduzida, a carga de treinamento também é alterada pelo possível aumento da contribuição dos membros inferiores na propulsão. Por outro lado, a FG é aumentada, isso pode ser utilizado como estratégia de recuperação durante as séries de nado no treino de natação. Cabe ressaltar que, conforme os resultados do presente estudo, sugere-se, também, que as alterações das restrições da tarefa pela FG no treino sejam

realizadas entre a faixa de aumento de 10% e de redução de 10% do valor médio da FG livre para velocidades próximas a utilizada no presente estudo. Valores maiores que estes podem provocar aumento da demanda fisiológica, por exemplo, influenciando na organização e no planejamento do treinamento.

8.3 Variáveis fisiológicas

Entre as condições de FG, ao nadar com a FG aumentada os valores da constante temporal (τ) da cinética do consumo de oxigênio diminuíram (ver Tabela 13, pág. 96). Ainda, alterar a condição de controle da FG não altera as respostas das demais variáveis fisiológicas e do TTE (ver Tabelas 11 e 12, págs. 94 e 95). Os resultados do presente estudo não estão de acordo com os reportados por McLean et al. (2010) que encontraram aumentos estatísticos nos valores do $\dot{V}O_2$, da FC e do EP (de 11 a 16%, de 4 a 6% e de 15 a 30%, respectivamente) nas duas condições de FG reduzida (redução de 10 e de 20% do valor médio da FG livre).

Já os resultados encontrados no presente estudo com a FG aumentada corroboraram os reportados por McLean et al. (2010) que encontraram, nas duas condições de FG aumentada (aumento de 10 e de 20% do valor médio da FG livre), valores similares das respostas fisiológicas. De acordo com os autores (McLEAN, et al., 2010), estes resultados sugerem que os nadadores preferiram nadar nas condições que não reduzem os valores da FG, o que implica em estabilidade do comportamento das variáveis fisiológicas nesta velocidade. Cabe ressaltar que no estudo de McLean et al. (2010), a velocidade foi controlada a $1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ em *swim flume*, o que equivaleu ao valor de intensidade aproximada relativa a 60% do $\dot{V}O_{2\text{max}}$, intensidade plenamente aeróbica (próximas ao LL). Como a velocidade foi baixa no estudo de McLean et al. (2010), provavelmente demandou diminuição na velocidade dos gestos dos membros superiores e inferiores, quando reduziu os valores da FG controlada em 10 e 20%, isso pode ter exigido aumento da contribuição dos membros inferiores às custas de manter a velocidade, o que explica o aumento das respostas das variáveis fisiológicas nesta intensidade.

Os resultados das variáveis fisiológicas do presente estudo apontam que as alterações do controle da FG utilizadas (aumento e redução de 10% do valor

médio da FG livre) parecem ser adequadas por representar um limite de variação de controle da FG para respostas fisiológicas não alterarem entre as condições e possibilitarem o desenvolvimento da técnica nas sessões de treino na natação como já foi descrito anteriormente. Este achado pode ser útil para a prática, pois valores acima dessas alterações de controle pela FG podem aumentar a demanda fisiológica e, conseqüentemente, a carga de treino implicando de forma negativa no planejamento do treino dos nadadores.

Pawelczyk et al. (1993) apresentaram, em dados preliminares, que nadadores, para manter velocidade controlada no valor de $1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ em *swim flume*, tanto nas condições de aumento de 10%, quanto de redução de 10% no valor da FG, não encontraram alterações na $[\text{La}]$ e no $\dot{V}\text{O}_2$. Esses achados (PAWELCZYK et al., 1993) estão de acordo com os encontrados no presente estudo que utilizaram as mesmas variações de controle da FG, porém, em velocidades mais altas.

Ainda, Morris et al. (2016) encontraram aumento nos valores do $\dot{V}\text{O}_2$, da $[\text{La}]$, do EP e da FC e diminuição da DC de acordo com o aumento do valor da FG e da velocidade. Os resultados do presente estudo, que encontraram respostas similares nas variáveis fisiológicas entre os valores de FG, não corroboraram com as alterações encontradas no estudo de Morris et al. (2016). Isso pode ser explicado pela maior variação dos valores de FG nas condições utilizados por Morris et al. (2016), aproximadamente 20%, e pelo aumento da FG e da velocidade entre as condições. Considerando as diferenças mecânicas da técnica na natação para outras formas de locomoção de forma cíclica, ainda são poucos os estudos que avaliaram o controle de diferentes valores de FG impostas em respostas fisiológicas (McLEAN et al., 2010).

Entre as condições de FG, ao nadar com a FG aumentada, os valores da constante temporal (τ) da cinética do consumo de oxigênio diminuíram quando comparado as condições de FG livre e reduzida no presente estudo (ver Tabela 13, pág. 96). Esse resultado está de acordo com o reportado por Sousa et al. (2013), que encontraram diminuição do valor da constante temporal (τ) da cinética do consumo de oxigênio, porém a medida que a intensidade de exercício aumentou. Uma vez que o valor da constante temporal descreve o perfil de adaptação dos sistemas cardiovascular e muscular à intensidade de esforço realizado, a necessidade súbita e exponencial de

oxigênio a intensidades superiores poderão explicar os valores inferiores deste parâmetro (MARKOVITZ et al., 2004; SOUSA et al., 2013).

Espada et al. (2015) verificaram que o resultado do desempenho do teste de 400 m (T400) teve correlação significativa e positiva com os valores da constante temporal (τ) da fase primária da cinética do $\dot{V}O_2$ de 97,5% da MLSS, e T800 foi correlacionado com a constante temporal (τ) de 97,5 e 102,5% da MLSS. A cinética mais rápida parece estar associada a menor contribuição do sistema anaeróbio por meio de menor déficit de O_2 e a menor acumulação de metabólitos da fadiga (BURNLEY e JONES, 2007; ESPADA et al., 2015).

Os resultados destes estudos (BURNLEY e JONES, 2007; ESPADA et al., 2015) podem explicar porque a constante temporal (τ) da cinética no presente estudo diminui quando os nadadores executaram a série de nado contínuo na condição de FG aumentada. Mesmo que os resultados do TTE não apresentassem diferença estatística entre as condições de FG, os nadadores tiveram um comportamento de aumentar o TTE na condição de FG aumentada. Como a variável TTE é indicador de desempenho, isso poderia explicar o porque a constante temporal (τ) foi mais rápida na FG aumentada. Além disso, na condição de FG reduzida, o percentual atingido do $\dot{V}O_2$ do T400 foi relativamente menor (73,7%) em comparação às condições livre (80,2%) e aumentada (75,5%). Embora do ponto de vista estatística não tenham sido encontradas diferenças entre os valores de $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ entre as condições, para o treinamento, esses resultados podem significar importante diferença de intensidade.

Ainda, no domínio de intensidade extremo na natação, Ribeiro et al. (2015) avaliaram a cinética do $\dot{V}O_2$ e o custo energético ao nadar com o corpo inteiro e somente com os braços na distância de 100 m em máxima intensidade em 17 nadadores competitivos. Os autores (RIBEIRO et al., 2015) encontraram aumento do $\dot{V}O_2$ do início do exercício até o final (tempo: $63,82 \pm 3,38$ s; $\dot{V}O_{2\text{pico}}$: $56,07 \pm 5,19$ ml.min⁻¹.kg⁻¹; Amplitude do $\dot{V}O_2$: $41,88 \pm 4,74$ ml.min⁻¹.kg⁻¹; constante temporal: $12,73 \pm 3,09$ s) valores estes bem similares aos encontrados no presente estudo (ver Tabelas 12 e 13, págs. 95 e 96).

Entre os momentos de repouso e de pico da FG livre, os nadadores aumentaram os valores da [La], do EP, da FC e do consumo de oxigênio (ver Tabelas 11 e 12, págs. 94 e 95) no presente estudo. Esses resultados estão de

acordo com os reportados em alguns estudos que encontraram aumento das respostas fisiológicas em intensidades similares ou muito próximas aos 95% da V400 em séries de nado contínuo e intervalado (RIBEIRO, LIMA e GOBATTO, 2010; DEKERLE et al., 2010).

Entre os momentos de repouso e de pico das condições controladas de FG aumentada e reduzida, os nadadores aumentaram a [La], o EP, a FC e o consumo de oxigênio (ver Tabelas 11 e 12, págs. 94 e 95). Esses resultados corroboram com os reportados por Morris et al. (2016) que encontraram aumento nos valores do $\dot{V}O_2$, da [La], do EP e da FC e diminuição da DC de acordo com o aumento do valor da FG e da velocidade. Tais resultados indicam que a velocidade de nado a 95% da V400 situa-se no domínio de intensidade severo.

Os valores do TTE não apresentaram diferença estatística entre as condições de FG livre, aumentada e reduzida no presente estudo (ver Tabela 13, pág. 96). Embora os nadadores tenham conseguido permanecer mais tempo na condição de FG aumentada (sem diferença estatística). Possivelmente por que, nesta condição, reduziram a força aplicada a cada ciclo de braçadas (DC reduziu e FP foram sensivelmente maiores do que nas condições livre e reduzida de FG). Alberty et al. (2008) avaliaram as intensidades de 95, 100 e 110% da V400 e observaram diferenças no TTE nas situações de FG livre de (670 ± 117 s; 238 ± 43 ; 68 ± 14 s, respectivamente aos percentuais de 95, 100 e 110% da V400) e FG controlada (333 ± 54 ; 177 ± 58 ; 47 ± 10 s, respectivamente aos percentuais de 95, 100 e 110% da V400). Em estudo similar (ALBERTY et al., 2011), nas intensidades de 95 e 100% da V400, foram observadas diferenças no TTE nas situações de FG fixa (333 ± 54 ; 177 ± 58 s, respectivamente aos percentuais de 95 e 100% da V400) e FG reduzida (262 ± 80 ; 111 ± 46 s, respectivamente aos percentuais de 95 e 100% da V400). Os resultados encontrados no presente estudo relacionados à variável de TTE não estão de acordo com os achados de Alberty et al. (2008, 2011). Talvez a inclusão de uma série de nado contínuo com FG fixa possa alterar os valores do TTE quando comparado ao aumento e à redução do valor da FG.

A amplitude e o tempo de atraso da cinética do consumo de oxigênio não se alteraram entre as condições de FG (ver Tabela 13, pág. 96). Os

valores similares do tempo de atraso corroboraram com os reportados nos domínios de intensidade moderado e severo no ciclismo (CLEUZIQU et al., 2005). Os resultados da variável de amplitude da cinética do consumo de oxigênio estão próximos aos reportados em estudos com intensidades nos domínios de intensidade moderado e severo na natação (SOUSA et al., 2013; ESPADA et al., 2015).

Em relação aos tamanhos de efeito das condições de FG, principal variável independente deste estudo, cabe ressaltar que tamanhos de efeito grandes ($>0,26$; COHEN, 1988) foram identificadas para as variáveis fisiológicas $\dot{V}O_2$ e τ (constante temporal da cinética do $\dot{V}O_2$). Isso significa que essas variáveis foram as mais sensíveis, dentre as fisiológicas, às condições analisadas de FG.

Os valores similares da [La], do EP, da FC e do consumo de oxigênio entre as condições de FG livre, aumentada e reduzida não confirmaram a hipótese 3 deste estudo (*as condições de FG reduzida e aumentada incrementam as respostas da concentração de lactato sanguíneo, do consumo de oxigênio, do esforço percebido e da frequência cardíaca*). Ainda, a condição de FG reduzida não alterou as variáveis de amplitude, tempo de atraso e constante temporal da cinética do consumo de oxigênio. Este resultado confirmou a hipótese 4 deste estudo (*a condição de FG reduzida não altera a amplitude, o tempo de atraso e a constante temporal da componente primária da cinética do consumo de oxigênio*).

Já a condição de FG aumentada diminuiu apenas a variável da constante temporal da cinética do consumo de oxigênio, não confirmando a hipótese 5 deste estudo (*a condição de FG aumentada aumentam a amplitude, o tempo de atraso e a constante temporal da componente primária da cinética do consumo de oxigênio*). A diminuição da constante temporal (τ) da cinética do consumo de oxigênio, quando os nadadores do presente estudo nadaram na condição de FG aumentada, pode ser explicada pela possível diminuição na frequência de pernada para manter a velocidade diminuindo a contribuição energética do sistema anaeróbio e o menor acúmulo de metabólitos de fadiga nesta intensidade. A manutenção da amplitude e do tempo de atraso entre as condições de FG podem ser explicadas pelos valores de controle da FG utilizados para manter esta intensidade até a exaustão. Ou seja, maiores

valores de FG em relação aos utilizados no presente estudos poderiam acarretar em uma maior contribuição dos membros inferiores na propulsão a fim de manter a velocidade, o que implicaria no aumento das respostas fisiológicas. Pensando nisso, treinadores poderiam prescrever as séries de nado com aumento de 10% da FG em intensidades próximas a 95% da V400.

As condições controladas de FG reduzida e aumentada não alteraram o TTE, o que refutou a hipótese 6 deste estudo (*as condições de FG reduzida e aumentada diminuem o tempo total até a exaustão*). As possíveis alterações na energética descritas anteriormente explicariam alterações no TTE nas condições em que foram controladas pela FG. No entanto, o TTE não se alterou no presente estudo e isso pode ser explicado por: i) nível da amostra dos nadadores; e ii) ausência da série de nado contínuo na velocidade relativa a 95% da V400 com FG controlada de forma fixa (valor a ser obtido pela média da condição de FG livre), o qual sendo comparada com a FG aumentada e reduzida, o que poderia alterar o TTE. Menor variabilidade do desempenho e melhor nível de treinamento dos nadadores do presente estudo poderiam ter levado a valores mais equilibrados de consumo de oxigênio e de amplitude da cinética do consumo em cada condição de controle da FG. A avaliação da cinética do consumo de oxigênio na natação pode auxiliar os treinadores a controlar o treinamento de acordo com a resposta fisiológica individual do nadador.

Assim, para a prescrição do treinamento em natação, os diferentes valores de FG do presente estudo podem ser utilizadas também em conjunto com outras velocidades tanto abaixo como acima dos 95% da V400 para se verificar as adaptações que ocorrem em outras intensidades de nado com controle da FG em conjunto.

Limitações neste estudo foram identificadas:

- (i) Série de nado contínuo, utilizada no presente estudo, pode levar a valores fisiológicos distintos em relação a séries de nado intervalado, assim esta escolha também pode ser identificada como limitação, ao passo que muitos treinadores optam por treinamento em séries de nado intervalado, nas intensidades similares àquelas escolhidas para controle da frequência gestual

- (ii) A utilização da análise da série de nado contínuo na condição de FG fixa, a ser obtida pelo valor médio da condição de FG livre e da frequência de pernada, poderia trazer mais informações aos processos de treinamento à melhora do desempenho em natação e a comparação com as demais condições de FG aumentada e reduzida.
- (iii) Os resultados encontrados foram analisados à luz da estatística inferencial. Porém, tal método pode não ser suficientemente sensível a pequenas alterações de desempenho esportivo. Deste modo, outros métodos, como a análise dos tamanhos de efeito, parecem ser mais adequados em estudos com desempenho esportivo.

9 CONCLUSÕES E DIREÇÕES

Os resultados do presente estudo demonstram que o controle da FG (com aumento de 10% e redução de 10%) durante o nado com velocidade controlada a 95% da V400 altera a magnitude de parâmetros de braçada em ambas as situações. Enquanto a FG e a velocidade forem mantidas, as propriedades temporais do ciclo do braçada alteram características importantes para o desenvolvimento da técnica, da energética e conseqüentemente a melhora do desempenho dos nadadores.

Os achados deste estudo indicam que:

- 1) entre as condições de FG, nadadores incrementam a VIV e a η_T ao nadar com a FG controlada a fim de manter a velocidade de 95% da V400 até a exaustão. Ainda, ao nadar com a FG aumentada o IdC, a duração das fases de puxada e de empurrada e a FP aumentam e a constante temporal (τ) da cinética do consumo de oxigênio diminui ao passo que ao nadar com a FG reduzida os valores do IdC, da duração da fase de recuperação e a FNP diminuem. Alterar a condição de controle da FG não altera as respostas das variáveis fisiológicas investigadas no presente estudo;
- 2) entre os momentos da FG livre, os nadadores aumentaram os valores da FG, da [La], do EP, da FC e do consumo de oxigênio e diminuíram os valores da DC, da η_T , da VIVz;
- 3) entre os momentos da condição FG aumentada, os nadadores diminuíram a VIV, a VIVx e o Tprop e aumentaram a [La], o EP, a FC e o consumo de oxigênio; 4) entre os momentos da condição FG reduzida, os nadadores diminuíram os valores do IdC, da VIV, da VIVx e da VIVz ao passo que aumentaram a η_T , a [La], o EP, a FC e o consumo de oxigênio.

O presente estudo observou que uma redução na FG para a mesma velocidade relativa a 95% da V400, induziu a uma diminuição da duração das fases não-propulsivas e um aumento da eficiência de Froude, enquanto que as fases de puxada e de empurrada aumentaram, na condição em que aumentou a FG. Essa restrição de tarefa dupla de controle (FG e velocidade) pode oferecer informações bem importantes no que concerne a utilização da mesma para o treinamento crônico objetivando a melhora de parâmetros como a eficiência e a VIV para a melhora do desempenho de nadadores.

Ambas as séries de nado contínuo nas condições de FG estudadas foram bem descritas por aproximações monoexponenciais, tendo-se verificadas diferenças significativas entre as mesmas no que concerne à constante temporal da cinética do consumo de oxigênio. Assim, foi obtido menor valor deste parâmetro cinético quando os nadadores realizaram a série de nado contínuo na condição de FG aumentada.

Estudos com atletas do sexo feminino, utilização de série progressiva para estimar consumo máximo de oxigênio e velocidade de nado relacionada a tal intensidade, análise da condição de FG fixa pelo valor médio da condição livre, obtenção do custo energético e da frequência de pernada devem, também, ser realizados a fim de trazer mais informações ao processo de treinamento e à melhora do desempenho em natação.

REFERÊNCIAS

- Abdel-Aziz, Y.; Karara, H. Direct linear transformation: from comparator coordinates into object coordinates in close range photogrammetry. In: **Proceedings of the symposium on closerange photogrammetry**. Church Falls, Illinois, p.1–18, 1971.
- Alberty, M.; Potdevin, F.; Dekerle, J.; Pelayo, P.; Gorce, P.; Sidney, M. Swimming technique changes during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rate. **Journal of Sports Sciences**. v.26, p.1191-200, 2008.
- Alberty, M.; Sidney, M.; Pelayo, P.; Toussaint, H.M. Stroking characteristics during time to exhaustion tests. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.41(3), p.637-644, 2009.
- Alberty, M.R.; Potdevin, F.P.; Dekerle, J.; Pelayo, P.P.; Sidney, M.C. Effect of stroke rate reduction on swimming technique during paced exercise. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v.25(2), p.392-397, 2011.
- Alexander, M. C. N. **Motion in fluids**. In: Animal mechanics, Blackwell Scientific Publications, Oxford, p.183–233, 1983.
- Ansley, L.; Cangle, P. Determinants of “optimal” cadence during cycling. **European Journal of Sport Science**. v.9, p.61-85, 2009.
- Arellano, R.; Brown, P.; Cappaert, J.; Nelson, R.C. Analysis of 50-, 100-, and 200-m Freestyle Swimmers at the 1992 Olympic Games. **Journal of Applied Biomechanics**. v.10, p.189-199, 1994.
- Bailey, S.J.; Wilkerson, D.P.; DiMenna, F.J.; Jones, A.M. Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. **Journal of Applied Physiology**. v.106, p.1875-1887, 2009.
- Baldari, C.; Fernandes, R.; Meucci, M.; Ribeiro, J.; Vilas-Boas, J.P.; Guidetti, L. Is the new Aqua Trainer® valid for VO₂ assessment in swimming? **International Journal of Sports Medicine**. v.34, p.336-344, 2013.
- Barbosa, T.M.; Keskinen, K.L.; Fernandes, R.J.; Colaço, C.; Carmo, C.; Vilas-Boas, J.P. Relationship between energetic stroke determinants and velocity in butterfly stroke. **International Journal of Sports Medicine**. v.21, p.841-846, 2005.
- Barbosa, T.M.; Keskinen, K.L.; Vilas-Boas, J.P. Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva. **Motricidade**. v.2(4), p.201-213, 2006.
- Barbosa, T.M.; Fernandes, R.J.; Keskinen, K.L.; Vilas-Boas, J.P. The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. **European Journal of Applied Physiology**. v.103, p.139-149, 2008.
- Barbosa, T.; Silva, A.J.; Reis, A.M.; Costa, M.; Garrido, N.; Policarpo, F.; Reis, V.M. Kinematical changes in swimming front Crawl and Breaststroke with the AquaTrainer® snorkel. **European Journal of Applied Physiology**. v.109(6), p.1155-62, 2010.

Barden, J.M.; Kell, R.T.; Kobsar, D. The effect of critical speed and exercise intensity on stroke phase duration and bilateral asymmetry in 200-m front crawl swimming. **Journal of Sports Sciences**. v.29(5), p.517-526, 2011.

Baron, B.; Noakes, T.D.; Dekerle, J.; Moullan, F.; Robin, S.; Matran, R.; Pelayo, P. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? **British Journal of Sports Medicine**. v.42, p.828–833, 2008.

Beneke, R.; Leithauser, R.M.; Hutler, M. Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. **British Journal of Sports Medicine**. v.35, p.192–196, 2001.

Bentley, D.J.; Roels, B.; Hellard, P.; Fauquet, C.; Libicz, S.; Millet, G.P. Physiological responses during submaximal interval swimming training: effects of interval duration. **Journal of Science and Medicine in Sport**. v.8(4), p.392-402, 2005.

Billat, V.; Koralsztein, J.P. Significance of the velocity at $\dot{V}O_{2max}$ and time to exhaustion at this velocity. **Sports Medicine**. v.22(2), p.90-108, 1996.

Borg, G.A.V. **Escalas de Borg para a dor e esforço percebido**. São Paulo: Manole, 2000.

Borrani, F.; Candau, R.; Millet, G.Y.; Perrey, S.; Fuchslocher, J.; Rouillon, J.D. Is the $\dot{V}O_2$ slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners? **Journal of Applied Physiology**. v.90(6), p.2212-2220, 2001.

Brisswalter, J.; Hausswirth, C.; Smith, D.; Vercruyssen, F.; Vallier, J.M. Energetically optimal cadence vs. freely-chosen cadence during cycling: effect of exercise duration. **International Journal of Sports Medicine**. v.20, p.60-64, 2000.

Burnley, M.; Jones, A. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Sciences**. v.7, p.63-79, 2001.

Burnley, M.; Jones, A.M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Sciences**. v.7, p.63–79, 2007.

Cappaert, J.; Bone, J.; Troup, J. Intensity and performance related differences in propelling and mechanical efficiencies. In D. Maclaren, T. Reilly, & A. Lees (Eds.), **Biomechanics and Medicine in Swimming VI**. London: E & FN Spon, p.49-52, 1992.

Caputo, F.; Denadai, B.S. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. **European Journal of Applied Physiology**. v.93(1-2), p.87-95, 2004.

Castro, F.A.S.; Mota, C.B. Desempenho em 200 m nado crawl sob máxima intensidade e parâmetros cinemáticos do nado. **Revista Brasileira de Biomecânica**. v.17, p.116-123, 2008.

Castro, F.A.S.; Franken, M.; Silveira, R.P.; Mota, C.B. Consumo de oxigênio na natação: diferentes metodologias e possibilidades de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**. v.18(3), p.88-93, 2010.

Cavanagh, P.R.; Williams, K.R. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.14, p.30-5, 1982.

Cavanagh, P.R.; Kram, R. The efficiency of human movement—a statement of the problem. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.17, p.304-308, 1985.

Chatard, J.C.; Lavoie, J.M.; Lacour, J.R. Analysis of determinants of swimming economy in front *crawl*. **European Journal of Applied Physiology**. v.61, p.88-92, 1990.

Chatard, J.C.; Lavoie, J.M.; Lacour, J.R. Energy cost of front-*crawl* swimming in women. **European Journal of Applied Physiology**. v.63, p.12-16, 1991a.

Chatard, J.C.; Agel, A.M.; Lacoste, L.; Millet, C.; Paulin, M.; Lacour, J.R. Coût énergétique du *crawl* chez les nageuses de compétition. Comparaison avec les garçons. **Science and Sports**. v.6, p.245-251, 1991b.

Chollet, D.; Pelayo, P.; Delaplace, C.; Tourny, C.; Sidney, M. Stroking characteristic variations in the 100-M freestyle for male swimmers of differing skill. **Perceptual and Motor Skills**. v.85, p.167-177, 1997.

Chollet, D.; Chaliès, S.; Chatard, J.C. A new index of coordination for the *crawl*: description and usefulness. **International Journal of Sports Medicine**. v.21, p.54-59, 2000.

Cleuziou, C.; Perrey, S.; Borrani, F.; Lecoq, A.M.; Courteix, D.; Germain, P.; Obert, P. VO₂ and EMG activity kinetics during moderate and severe constant work rate exercise in trained cyclists. **Canadian Journal of Applied Physiology**. 29(6):758-72, 2005.

Coast, J.R.; Welch, H.G. Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**. v.53, p.339-342, 1985.

Correia, R.A. **Parâmetros antropométricos, fisiológicos e biomecânicos de nadadores em teste de 400 m nado crawl: comparações e correlações**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança, UFRGS, Porto Alegre, 2016.

COHEN J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**, 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. Associates Publishers, p. 281-285. 1988.

Costill, D.L.; Maglischo, E.D.; Richardson, A.B. Handbook of sports medicine and science swimming. Oxford: **Blackwell Scientific Publications**, 1992.

Craig Jr, A.B.; Pendergast, D.R. Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. **Medicine and Science in Sports**. v.11(3), p.278-283, 1979.

Craig Jr, A.B.; Skehan, P.L.; Pawelczyk, J.A.; Boomer, W.L. Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.17(6), p.625-634, 1985.

Daniel. T.L. Efficiency in aquatic locomotion: limitations from single cells to animals. In: Blake RW (ed) **Efficiency and economy in animal physiology**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 83-96, 1991.

de Jesus, K. et al. Which are the best $\dot{V}O_2$ sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? **International Journal of Sports Medicine**. v.35(12), p.1030–1036, 2014.

de Jesus, K.; de Jesus, K.; Figueiredo, P.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R.J.; Machado, R.J. Reconstruction accuracy assessment of surface and underwater 3D motion analysis: a new approach. **Computational Mathematical Methods in Medicine**. v.1, p.1-8, 2015.

de Jesus, K.; Sanders, R.; de Jesus, K.; Ribeiro, J.; Figueiredo, P.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R.J. The Effect of Intensity on 3-Dimensional Kinematics and Coordination in Front-Crawl Swimming. **International Journal of Sports Physiology and Performance**. v.11, p.768-775, 2016.

Dekerle, J.; Sidney, M.; Hespel, J.M.; Pelayo, P. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. **International Journal of Sports Medicine**. v.23, p.93-8, 2002.

Dekerle, J.; Nesi, X.; Lefevre, T.; Depretz, S.; Sidney, M.; Marchand, F.H.; Pelayo, P. Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. **International Journal of Sports Medicine**. v.26, p.53-58, 2005.

Dekerle, J.; Pelayo, P.; Sidney, M.; Brickley, G. Challenges of using critical swimming velocity. From scientists to coaches. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A. (Eds). **Biomechanics and medicine in swimming X: proceedings of the Xth International Symposium on Biomechanics and medicine in swimming; Portuguese Journal of Sports Sciences**, v.6, p.296-299, 2006.

Dekerle, J.; Brickley, G.; Alberty, M.; Pelayo, P. Characterising the slope of the distance–time relationship in swimming. **Journal of Science and Medicine in Sport**. v.13, p.365-370, 2010.

Dekerle, J.; Pelayo, P. Assessing aerobic endurance in swimming. **World book of swimming: from science to performance**. Editors, Ludovic Seifert and Didier Chollet: p.276-93, 2011.

De Leva, P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. **Journal of Biomechanics**. v.29(9), p.1223–1230, 1996.

Di Prampero, P.E.; Pendergast, D.; Zamparo, P. Swimming Economy (Energy Cost) And Efficiency. **World book of swimming: from science to performance**. Editors, Ludovic Seifert and Didier Chollet. p.297-312, 2011.

Espada, M.C.; Reis, J.F.; Almeida, T.F.; Bruno, P.M.; Vleck, V.E.; Alves, F.B. Ventilatory and physiological responses in swimmers below and above their maximal lactate steady state. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v.29(10), p.2836-2843, 2015.

Fernandes, R.J.; Cardoso, C.S.; Soares, S.M.; Ascensão, A.A.; Colaço, P.J.; Vilas-Boas, J.P. Time limit and $\dot{V}O_2$ slow component at intensities corresponding to $\dot{V}O_{2max}$ in swimmers. **International Journal of Sports Medicine**. v.24, p.576-81, 2003.

Fernandes, R.J.; de Jesus, K.; Baldari, C.; de Jesus, K.; Souza, A.C.; Vilas-Boas, J.P.; Guidetti, L. "Different $\dot{V}O_{2max}$ time-averaging intervals in

swimming". **International Journal of Sports Medicine**. v.33(12), p.1010–1015, 2012.

Figueiredo, P.; Machado, L.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R. "Reconstruction error of calibration volume's coordinates for 3D swimming kinematics," **Journal of Human Kinetics**. v. 29(1), p.35–40, 2011.

Figueiredo, P.; Morais, P.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R. Changes in arm coordination and stroke parameters on transition through the lactate threshold. **European Journal of Applied Physiology**. v.113, p.1957-1964, 2013a.

Figueiredo, P.; Toussaint, H.M.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R.J. Relation between efficiency and energy cost with coordination in aquatic locomotion. **European Journal of Applied Physiology**. v.113, p.651-659, 2013b.

Figueiredo, P.; Nazario, R.; Sousa, M.; Pelarigo, J.G.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R. Kinematical Analysis along Maximal Lactate Steady State Swimming Intensity. **Journal of Sports Science and Medicine**. v.1;13(3), p.610-5, 2014.

Foss, O.; Hallén, J. The most economical cadence increases with increasing workload. **European Journal of Applied Physiology**. v.92, p.443-451, 2004.

Fox, R. W; McDonald, A. T. **Fluid machines**. In: Introduction to fluid mechanics. John Wiley, New York, p. 544–625, 1992.

Franken, M.; Diefenthaler, F.; Moré, F.C.; Silveira, R.P.; Castro, F.A.S. Critical stroke rate as a parameter for evaluation in swimming. **Revista Motriz**. v.19(4), p.724-729, 2013.

Franken, M.; Lima, F.C.A.; Mazzola, P.N.; Martins, J.B.; Dutra-Filho, C.S.; Castro, F.A.S. Respostas de lactato, esforço percebido, frequência cardíaca, triptofano, prolactina e ácidos graxos à série de natação na velocidade crítica. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**. v.36(2), p.353-368, 2014.

Gaesser, G.A.; Poole, D.C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exercise Sport Science Review**. v.24, p.35-71, 1996.

Gastin, P.B. Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. **Sports Medicine**. v.31(10), p.725 – 741, 2001.

Greco, C.C.; Caputo, F.; Denadai, B.S. Puissance critique et consommation maximale d'oxygène: estimation de la limite haute du domaine d'intensité severe, un nouveau challenge? **Science & Sports**, v.23, p.216-222, 2008.

Greco, C.C.; Oliveira, M.F.M.; Caputo, F.; Denadai, B.S.; Dekerle, J. How narrow is the spectrum of submaximal speeds in swimming? **Journal of Strength and Conditioning Research**. v.27(5), p.1450–1454, 2013.

Hansen, E.A.; Andersen, J.L.; Nielsen, J.S.; Sjogaard, G. Muscle fibre type, efficiency, and mechanical optima affect freely chosen pedal rate during cycling. **Acta Physiologica Scandinavica**. v.176, p.185-194, 2002.

Hay, J.G.; Guimarães, A.C.S. A Quantitative Look at Swimming Biomechanics. **Swimming Technique**. v.20(2), p.11-17, 1983.

Hirai, D.M.; Roseguini, B.T.; Diefenthaler, F.; Carpes, F.P.; Vaz, M.A.; Ferlin, E.L.; Ribeiro, J.P.; Nakamura, F.Y. Effects of altering pedal frequency on the

slow component of pulmonary $\dot{V}O_2$ kinetics and EMG activity. **International Journal of Sports Medicine**. v.31, p.529-536, 2010.

Hollander, P.; de Groot, G.; Van Ingen Schenau, G.; Toussaint, H.M.; De Best, W.; Peeters, W.; Meulemans, A.; Schreurs, A.W. Measurement of active drag during crawl stroke swimming. **Journal of Sports Sciences**. v.4, p.21-30, 1986.

ISAK. International Society for the Advancement of Kinanthropometryinternational Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK). **International standards for anthropometric assessment: A manual for teaching materials for accreditation**. 2nd. Ed., 2006.

Jones, A.M.; Carter, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. **Sports Medicine**. v.29, p.373–386, 2000.

Jones, A.M.; Koppo, K. Effect of training on $\dot{V}O_2$ kinetics and performance. In: Jones, A.M. e Poole, D.C. (eds.), **Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine**. p. 373-98, Oxon, Routledge, 2005.

Jones, A.; Burnley, M. Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**. v.4, p.524-32, 2009.

Jones, A.M.; Vanhatalo, A.; Burnley, M.; Morton, R.H.; Poole, D.C. Critical power: Implications for determination of $\dot{V}O_{2max}$ and exercise tolerance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.42, p.1876-1890, 2010.

Keskinen, K.L.; Tilli, L.J.; Komi, P.V. Maximum velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. **Scandinavian Journal of Sports Sciences**. v.11(2), p.87-92, 1989.

Kilding, A.E.; Winter, E.M.; Fysh, M. Moderate-domain pulmonary oxygen uptake kinetics and endurance running performance. **Journal of Sports Sciences**. v.24, p.1013–1022, 2006.

Lavoie, J.M.; Montpetit, R.R. Applied Physiology of Swimming. **Sports Medicine**. v.3, p.165-189, 1986.

Maglischo, E.W. **Swimming Fastest**. Champaign: Human Kinetics, 2003.

Libicz, S.; Roels, B.; Millet, G.P. $\dot{V}O_2$ responses to intermittent swimming sets at velocity associated with $\dot{V}O_{2max}$. **Canadian Journal of Applied Physiology**. v.30, p.543–553, 2005.

Macintosh, B.R.; Neptune, R.R.; Horton, J.F. Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. **Medicine and Science in Sports Exercise**. v.32, p.1281-1287, 2000.

Marinho, D.A.; Vilas-Boas, J.P.; Keskinen, K.L.; Rodriguez, F.A.; Soares, S.M.; Carmo, C.M.; Vilar, S.O.; Fernandes, R.J. The behaviour of kinematic parameters during a time to exhaustion test at $\dot{V}O_{2max}$ in elite swimmers. **Journal of Movement Studies**. v.51, p.001-010, 2006.

Markovitz, G. ; Sayre, J.; Storer, T. ; Cooper, C. On issues of confidence in determining the time constant for oxygen uptake kinetics. **British Journal of Sports Medicine**. v.38, p.553-60, 2004.

Marsh, A.P.; Martin, P.E. The association between cycling experience and preferred and most economical cadences. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.25(11), p.1269-74, 1993.

Martin, R.B.; Yeater, R.A.; White, M.K. A simple analytical model for the crawl stroke. **Journal of Biomechanics**. v.14, p.539-548, 1981.

McCabe, C.B.; Sanders, R.H. Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at distance pace. **Journal of Sports Sciences**. v.30(6), p.601-608, 2012.

McLean, S.P.; Palmer, D.; Ice, G.; Truijens, M.; Smith, J.C. Oxygen Uptake Response to Stroke Rate Manipulation in Freestyle Swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.42(10), p. 1909-1913, 2010.

McNaughton, L.; Thomas, D. Effects of differing pedaling speeds on the power-duration relationship of high intensity cycle ergometry. **International Journal of Sports Medicine**. v.17, p.287-292, 1996.

Morris, K.S.; Osborne, M.A.; Shephard, M.E.; Skinner, T.L.; Jenkins, D.G. Velocity, aerobic power and metabolic cost of whole body and arms only front crawl swimming at various stroke rates. **European Journal of Applied Physiology**. v. 116, p.1075–1085, 2016.

Mujika, I.; Padilla, S.; Pyne, D. Swimming Performance Changes During the Final 3 Weeks of Training Leading to the Sydney 2000 Olympic Games. **International Journal of Sports Medicine**. v.23, p.582-587, 2002.

Nesi, X.; Bosquet, L.; Berthoin, S.; Dekerle, J.; Pelayo, P. Effect of a 15% increase in preferred pedal rate on time to exhaustion during heavy exercise. **Canadian Journal of Applied Physiology**. v.29, p.146-156, 2004.

Olbrecht, J. The Science of Winning. Planning, periodization and optimizing swim training. Luton: **Swimshop**. 2000.

Oliveira, M.F.M.; Caputo, F.; Dekerle, J.; Denadai, B.S.; Greco, C.C. Stroking Parameters during Continuous and Intermittent Exercise in Regional-Level Competitive Swimmers. **International Journal of Sports Medicine**. v.33, p.696–701, 2012.

Özyener, F.; Rossiter, H.; Ward, S.; Whipp, B. Influence of exercise intensity on the on-and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **The Journal of Physiology**. v.533(3), p.891–902, 2001.

Pawelczyk, J.A.; McMinn, S.; Murchison, B.; Jacoby, A.C. Swimming economy is optimized at a freely chosen distance per stroke. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.25(5), p.S94, 1993.

Pelarigo, J.G.; Denadai, B.S.; Greco, C.C. Stroke phases responses around maximal lactate steady state in front crawl. **Journal of Science and Medicine in Sport**. v.14, p.168.e1-168.e5, 2011.

Pelayo, P.; Alberty, M.; Sidney, M.; Potdevin, F.; Dekerle, J. Aerobic potential, stroke parameters, and coordination in swimming Front-crawl performance.

International Journal of Sports Physiology and Performance. v.2, p.347-359, 2007.

Poole, D.C.; Ward, S.A.; Gardner, G.; Whipp, B.J. A metabolic and respiratory profile for prolonged exercise in man. **Ergonomics.** v.31, p.1265-1279, 1988.

Poole, D.C.; Barstow, T.J.; McDonough, P.; Jones, A.M. Control of Oxygen Uptake during Exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise.** v.40(3), p.462-474, 2008.

Powers, S.K.; Dodd, S.; Beadle, R.E. Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in VO₂ max. **European Journal of Applied Physiology.** v.54, p.306–308, 1985.

Pringle, J.; Doust, J.; Carter, H.; Tolfrey, K.; Campbell, I.; Jones, A. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity “submaximal” exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. **European Journal of Applied Physiology.** v.89, p.289-300, 2003.

Psycharakis, S.G.; Sanders, R.; Mill, F. A calibration frame for 3D swimming analysis. In: Wang, Q. (Ed.), **Proceedings of XVII International Symposium on Biomechanics in Sports.** The China Institute of Sports Sciences, Beijing, p. 901–905, 2005.

Psycharakis, S.G.; Sanders, R.H. Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise.** v.40, p.2129–2136, 2008.

Psycharakis, S.G.; Naemi, R.; Connaboy, C.; McCabe, C.; Sanders, R.H. Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. **Scandinavian Journal Medicine and Science Sports.** v.20(1), p.128–135, 2010.

Pyne, B.D.; Lee, H.E.; Swanwick, K.M. Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. **Medicine and Science in Sports and Exercise.** v.33, p.291-297, 2001.

Reis, J.F.; Alves, F.B.; Bruno, P.M.; Vleck, V.; Millet, G.P. Oxygen uptake kinetics and middle distance swimming performance. **Journal of Science and Medicine in Sport.** v.15, p.58–63, 2012.

Reis, J.F.; Millet, G.P.; Bruno, P.M.; Vleck, V.; Alves, F.B. Sex and exercise intensity do not influence oxygen uptake kinetics in submaximal swimming. **Frontiers in Physiology.** v.8, p.1-8, 2017.

Ribeiro, L.F.P.R.; Lima, M.C.S.; Gobatto, C.A. Changes in physiological and stroking parameters during interval swims at the slope of the d-t relationship. **Journal of Science and Medicine in Sport.** v.13(1), p.141-145, 2010.

Ribeiro, J.; Figueiredo, P.; Sousa, A.; Monteiro, J.; Pelarigo, J.; Vilas-Boas, J.P.; Toussaint, H.M.; Fernandes, R.F. VO₂ kinetics and metabolic contributions during full and upper body extreme swimming intensity. **European Journal of Applied Physiology.** v.115, p.1117–1124, 2015.

Rodriguez, F.A. Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running tests in competitive swimmers. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.** v.40, p.87-95, 2000.

- Sanders, R. New analysis procedures for giving feedback to swimming coaching and swimmers. In: **Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports Swimming**. p. 1–14, 2002.
- Schnitzler, C.; Seifert, L.; Chollet, D. Variability of coordination parameters at 400-m front crawl swimming pace. **Journal of Sport Sciences and Medicine**. v.8, p.203-210, 2009.
- Seifert, L.L.; Boulesteix, D.; Chollet, D. Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. **International Journal of Sports Medicine**. v.25(3), p.217-23, 2004a.
- Seifert, L.; Chollet, D.; Bardy, B.G. Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. **Journal of Sports Sciences**. v.22, p.651-660, 2004b.
- Seifert, L.D.; Chollet, J.C.; Chatard, J.C. Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.39(10), p.1784-93, 2007.
- Seifert, L.; Chollet, D. Modelling spatial-temporal and coordinative parameters in swimming. **Journal of Science and Medicine in Sport**. v.12(1), p.495-499, 2009.
- Seifert, L.; Toussaint, H.M.; Albery, M.; Schnitzler, C.; Chollet, D. Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. **Human Movement Science**. v.29, p.426–439, 2010.
- Silveira, R.P.; Castro, F.A.S.; Figueiredo, P.; Vilas-Boas, J.P.; Zamparo, P. The Effects of Leg Kick on Swimming Speed and Arm-Stroke Efficiency in the Front Crawl. **International Journal of Sports Physiology and Performance**. v.12(6), p.728-735, 2017.
- Smith, D.; Norris, S.; Hogg, J. Performance Evaluation of Swimmers. Scientific Tools. **Sports Medicine**. v.32(9), p.539-554, 2002.
- Sousa, A.; Figueiredo, P.; Keskinen, K.L.; Rodríguez, F.A.; Machado, L.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R. J. VO₂ off transient kinetics in extreme intensity swimming. **Journal of Sports Science and Medicine**. v.10, p.546–552, 2011.
- Sousa, A.; Jesus, K.; Figueiredo, P.; Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R.J. Cinética do consumo de oxigênio a intensidades de nado moderada e extrema. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. v.19(3), p.186-190, 2013.
- Sousa, A.; Vilas Boas, J. P.; Fernandes, R. J. $\dot{V}O_2$ kinetics and metabolic contributions whilst swimming at 95, 100, and 105 % of the velocity at $\dot{V}O_{2max}$. **BioMed Research International**. 2014.
- Sparrow, W.A.; Newell, K.M. Metabolic energy expenditure and the regulation of movement economy. **Psychonomic Bulletin & Review**. v.5(2), p.173-196, 1998.
- Takaishi, T.; Yasuda, Y.; Ono, T.; Moritani, T. Optimal pedaling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.28, p.1492-1497, 1996.

Termin, B.; Pendergast, D.R. Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. **Journal of Swimming Research**. v.14, p.9-17, 2000.

Toussaint, H. Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v.22, p.409-415, 1990.

Toussaint, H.M.; Beek, P.J. Biomechanics of competitive front *crawl* swimming. **Sports Medicine**. v.13(1), p.8-24, 1992.

Toussaint, H.M.; Hollander, A.P. Energetics of competitive swimming, Implications for training programmes. **Sports Medicine**. v.18(6), p.384-405, 1994.

Vercruyssen, F.; Missenard, O.; Brisswalter, J. Relationship between oxygen uptake slow component and surface EMG during heavy exercise in humans: influence of pedal rate. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. v.19, p.676-684, 2009.

Vilas-Boas, J.P.; Souto, S.; Pinto, J.; Ferreira, M.I.; Duarte, M.; Silva, J.V.S.; Fernandes, R.; Sousa, F. Estudo cinemático 3D da afecção da técnica de nado pela fadiga específica da prova de 200 m livres. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Gramado, 2001, p. 31-41.

Vilas-Boas, J.P.; Fernandes, R.J.; Barbosa, T.M. Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. In: Seifert L, Chollet D, Mujika I (eds) **World book of swimming: from science to performance**, Nova Science Publishers Inc., New York, p.120–140, 2010.

Wakayoshi, K.; Yoshida, T.; Ikuto, Y.; Mutoh, Y.; Miyashita, M. Adaptations to Six Months of Aerobic Swim Training, Changes in Velocity, Stroke Rate, Stroke Length and Blood Lactate. **International Journal of Sports Medicine**. v.14, p.268-372, 1993.

Wasserman, K.; Whipp, B.J.; Koyal, S.N.; Beaver, W.L. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. **Journal of Applied Physiology**. v.35, p.236–243, 1973.

Whipp, B.J.; Rossiter, H.B.; Ward, S.A. Exertional oxygen uptake kinetics: a stamen of stamina? **Biochemical Society Transactions**. v.30(2), p.237-247, 2002.

Winter, D. **Biomechanic and motor control of human movement**. Chichester: John Wiley and sons, 1990.

Yanai, T. Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in nonpropulsive directions. **Journal of Biomechanics**. v. 36(1), p.53-62, 2003.

Zacca, R.; Castro, F.A.S. In: Bioenergetics Applied to Swimming: An Ecological Method to Monitor and Prescribe Training, **Bioenergetics**. Dr Kevin Clark (Ed.), 2012.

Zamparo, P.; Pendergast, D.R.; Termin, B.; Minetti, A.E. How fins affect the economy and efficiency of human swimming. **Journal of Experimental Biology**. v.205(17), p.2665-2676, 2002.

Zamparo, P.; Pendergast, D.R.; Mollendorf, J.; Termin, A.; Minetti, A.E. An energy balance of front crawl. **European Journal of Applied Physiology**. v.94, p.134-144, 2005.

Zamparo, P. Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. **European Journal of Applied Physiology**. v.97, p.52–58, 2006.

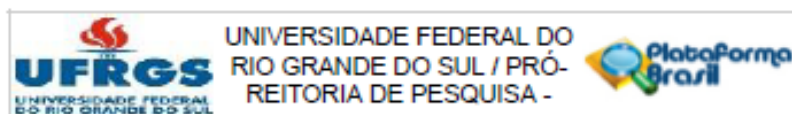
Zamparo, P.; Capelli, C.; Pendergast, D.R. Energetics of swimming: a historical perspective. **European Journal of Applied Physiology**. v.111(5), p.367-378, 2011.

Zamparo, P.; Turri, E.; Silveira, R.P.; Poli, A. The interplay between arms-only propelling efficiency, power output and speed in master swimmers. **European Journal of Applied Physiology**. v.114, p.1259–1268, 2014.

Zarrugh, M.Y.; Radcliffe, C.W. Predicting metabolic cost of level walking. **European Journal of Applied Physiology**. v.38, p.215-23, 1978.

Anexo I

Documento de aprovação por Comitê de Ética



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: RESPOSTAS BIOMECÂNICAS E FISIOLÓGICAS A DIFERENTES FREQUÊNCIAS GESTUAIS CONTROLADAS NA NATAÇÃO ATÉ A EXAUSTÃO

Pesquisador: Flávio Antônio de Souza Castro

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 43544515.7.0000.5347

Instituição Proponente: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.084.583

Data da Relatoria: 28/05/2015

Apresentação do Projeto:

Adequadamente apresentado: Projeto de Tese de Doutorado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Objetivo da Pesquisa:

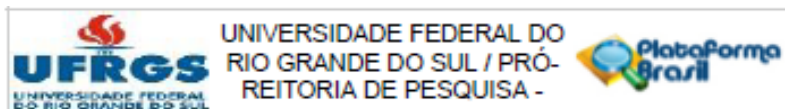
Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é verificar as respostas agudas a diferentes frequências gestuais controladas do nado crawl em parâmetros biomecânicos, coordenativos e fisiológicos em intensidade de 95% da V400 na natação até a exaustão.

3.2 Objetivos Específicos Entre as condições de controle de diferentes valores da FG:

1. Comparar a concentração de lactato sanguíneo ([La]), o consumo de oxigênio (VO₂), a amplitude da primeira fase da cinética do consumo de oxigênio (Ap), o tempo de atraso da fase primária do consumo de oxigênio (Tdp), o tempo de atraso da componente lenta do consumo de oxigênio, a constante temporal da fase primária do consumo de oxigênio (p), a constante temporal da componente lenta do consumo de oxigênio (cl), o esforço percebido (EP) e a frequência cardíaca (FC); 2. Comparar o tempo total até exaustão (TTE); 3. Testar as correlações entre [La], VO₂, a Ap, o Tdp, o p, a cl, EP e FC em cada condição de variação da FG. Ao longo das séries de treinamento

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
 Bairro: Farcopilha CEP: 90.040-060
 UF: RS Município: PONTO ALEGRE
 Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-4085 E-mail: etica@propeq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 1.064.503

em cada condição de variação da FG (livre-preferida, fixa, reduzida e aumentada):

4. Comparar FG, DC, VN, Índice de coordenação (IdC), duração das fases da braçada, variação intra-cíclica da velocidade (VIV), tempo propulsivo (Tpro) e eficiência propulsiva (np); 5. Testar as correlações entre FG, DC, VN, IdC, duração das fases da braçada, VIV, Tpro e np em cada condição de variação da FG; 6. Comparar o ângulo de rolamento do ombro e do quadril na condição de FG reduzida; 7. Comparar o ângulo de rolamento do ombro e do quadril na condição de FG aumentada; 8. Testar as correlações entre os ângulos de rolamento do ombro e do quadril e DC e duração das fases da braçada em cada condição de variação da FG.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Adequadamente apresentados e incorporados no protocolo completo.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Caracterização do Estudo

Este estudo caracteriza-se por ser do tipo ex-post-facto, de corte transversal, no qual serão descritas, comparadas e correlacionadas variáveis quantitativas. Participantes: amostra, intencional, será formada por 15 nadadores competitivos,

com no mínimo dois anos de experiência competitiva, que treinam pelo menos 12 horas semanais na respectiva modalidade e que tenham uma idade mínima de 17 anos. Os participantes serão selecionados após fixação de cartazes que irão conter informações a respeito do estudo que serão colocados nos principais clubes da cidade de Porto Alegre, cujos atletas atendam aos critérios de inclusão. Os participantes não poderão possuir histórico de afastamento dos treinos por motivos de lesão nos seis meses antecedentes a data da coleta. Os testes serão realizados no horário de treino dos sujeitos. Será recomendado aos sujeitos que reduzam os níveis de exercício físico por um período mínimo de 12 horas antes de todas as avaliações a serem realizadas. A metodologia está adequada para a avaliação dos objetivos propostos.

Cálculo amostral: presente.

Metodologia estatística: adequadamente apresentada.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

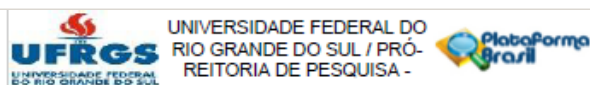
TCLE: adequadamente apresentado. Em caso de participantes menores de 18 anos está previsto que o seu responsável deverá assiná-lo conjuntamente.

Cronograma: adequado.

Orçamento: adequado.

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
 Bairro: Farpupilha CEP: 90.040-060
 UF: RS Município: PORTO ALEGRE
 Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-4085 E-mail: etica@propesq.ufrgs.br

Página 02 de 03



Continuação do Parecer: 1.064.503

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

A nova versão do projeto contempla todas as questões éticas levantadas em pareceres anteriores do CEP.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Aprovação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Aprovado.

PORTO ALEGRE, 28 de Maio de 2015

Assinado por:
 José Artur Bogo Chies
 (Coordenador)

Anexo II

Termo de consentimento livre e esclarecido

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA
LABORATÓRIO DE PESQUISA DO EXERCÍCIO

Título do Projeto: RESPOSTAS BIOMECÂNICAS E FISIOLÓGICAS A DIFERENTES FREQUÊNCIAS GESTUAIS CONTROLADAS NA NATAÇÃO ATÉ A EXAUSTÃO

- ✓ **Objetivo:** Configura-se, como objetivo geral deste projeto, verificar as respostas agudas a diferentes frequências gestuais controladas do nado crawl em parâmetros biomecânicos, coordenativos e fisiológicos em intensidade de 95% da V400 na natação até a exaustão.

Pesquisadores: Flávio Antônio de Souza Castro (responsável) e Marcos Franken

Termo de Consentimento do Participante e Sumário Informativo

Prezado colaborador

Esse termo é parte de um processo de consentimento informado. Ele deve lhe dar uma idéia do que se trata esse projeto. Se você quiser mais detalhes sobre algo mencionado, ou informação não incluída aqui, sinta-se livre para solicitar. Por favor, leia atentamente, a fim de que você entenda plenamente o objetivo e o seu envolvimento nesse estudo. O pesquisador tem o direito de encerrar o seu envolvimento, caso isso se faça necessário. De igual forma, você pode retirar o seu consentimento em participar no mesmo a qualquer momento.

A seguir, seguem-se as informações a respeito do estudo:

Dos pontos de vista biomecânico e fisiológico, as variações da frequência gestual na natação, a fim de manter determinada velocidade, podem interferir, respectivamente na organização motora da braçada e no custo energético. A manutenção de uma velocidade alvo depende dos impulsos propulsivos e de suas frequências de aplicação, ou seja, o valor da frequência gestual. Você está sendo convidado para participar de um projeto de doutorado, cujo objetivo é verificar as respostas agudas a diferentes valores de frequências gestuais do nado crawl em parâmetros biomecânicos, coordenativos e fisiológicos na natação. Serão anotados os seus dados pessoais, com as seguintes informações: nome, telefone, idade e dados antropométricos (massa corporal, envergadura, estatura e composição corporal). Serão realizados dois protocolos de testes. Um para determinar a sua velocidade dos 400 metros (V400) e outro para avaliar seu esforço percebido, sua concentração de lactato sanguíneo, seu consumo de oxigênio, sua frequência cardíaca, sua distância percorrida a cada ciclo de braçada, sua frequência gestual média de ciclos de braçadas, sua coordenação de nado, sua duração das fases da braçada, seu impulso propulsivo, os seus ângulos de rolamento de ombros e de quadril e a sua eficiência propulsiva. No primeiro teste, você será convidado a nadar crawl, na máxima intensidade, na distância de 400 m, após um aquecimento de 800 metros nadando livre. O segundo protocolo conta com quatro séries de nado contínuo

até a exaustão, na intensidade de 95% da V400, cada uma nas condições de controle da frequência gestual (livre, fixa, reduzida e aumentada), com intervalo de no mínimo 24 horas entre cada série. O segundo protocolo contará com coleta de 5 ml de sangue após 15 minutos de repouso, após aquecimento na distância de 800 metros nadando livre sob baixa intensidade, auto-determinada, 1, 3, 5, 7 e 9 min após os 400 m (realizar-se-à coletas até que a concentração reduza) em máxima intensidade para determinação da V400 e, após a exaustão em cada série de nado contínuo em cada condição de variação da frequência gestual.

Riscos e benefícios: Participando deste projeto, você estará nos ajudando a melhor compreender sua adequação da técnica às respostas da demanda da frequência gestual em série de nado contínuo em natação e, assim, possibilitará o auxílio a você e a outros atletas de alto nível. Você poderá sentir dor muscular após os testes, assim como após qualquer treino mais intenso ou competição.

Acompanhamento e ressarcimento: Todos os testes serão realizados por profissionais qualificados. O serviço de emergência e profissionais treinados estarão disponíveis para lidar com situações incomuns. Qualquer despesa eventual necessária para sua participação neste projeto será ressarcida e, no caso da ocorrência de qualquer dano pessoal, a indenização está garantida.

Confidencialidade: Será garantida a privacidade dos seus dados pessoais. Os resultados dos testes serão divulgados por meio de artigos científicos, porém, em nenhum momento serão divulgados o seu nome, imagem e dados pessoais.

A sua assinatura indica que você entendeu a informação relativa à sua participação e que você concorda em participar. Esse consentimento não lhe faz renunciar aos seus direitos legais, e nem libera os investigadores de suas responsabilidades pessoais ou profissionais. A sua participação continuada deve ser tão bem informada quanto o seu consentimento inicial, assim você deve se sentir à vontade para solicitar esclarecimentos ou novas informações. Em caso de dúvida, favor entrar em contato com Marcos Franken (fone 99102-8285), Flávio Castro (fone 98122-3436) ou diretamente com o Comitê de Ética em pesquisa da UFRGS (fone 3308-3629) Este termo foi elaborado em duas vias. Uma delas ficará em seu poder e a outra com o pesquisador.

Nome e assinatura pesquisador

Nome e assinatura do colaborador

Nome e assinatura do responsável do colaborador

Data ___/___/___

Anexo III**Escala RPE de 15 pontos de Borg (BORG, 2000)**

- 6 Sem nenhum esforço**
- 7**
- Extremamente leve**
- 8**
- 9 Muito leve**
- 10**
- 11 Leve**
- 12**
- 13 Um pouco intenso**
- 14**
- 15 Intenso (pesado)**
- 16**
- 17 Muito intenso**
- 18**
- 19 Extremamente intenso**
- 20 Máximo esforço**

Anexo IV

Resultados das análises dos desdobramentos (valores de F, graus de liberdade e p) dos dados obtidos neste estudo entre os momentos em cada condição de FG.

Variável e condição	F	ANOVA	
		Graus de liberdade	Sig.
FG – livre	26,19	2,22	<0,001
FG - aumentada	0,64	2,22	0,537
FG – reduzida	1,23	2,22	0,310
DC – livre	19,37	2,22	<0,001
DC - aumentada	4,79	2,22	0,145
DC – reduzida	0,48	2,22	0,622
IdC – livre	1,69	2,22	0,207
IdC - aumentada	2,41	2,22	0,112
IdC – reduzida	3,72	2,22	0,040
Tprop – livre	0,13	2,22	0,877
Tprop - aumentada	4,69	2,22	0,020
Tprop - reduzida	0,24	2,22	0,781
η_T - livre	11,81	2,22	<0,001
η_T - aumentada	0,10	2,22	0,902
η_T - reduzida	15,44	2,22	<0,001
T _{ciclo} - livre	18,02	2,22	<0,001
T _{ciclo} - aumentada	1,09	2,22	0,352
T _{ciclo} - reduzida	3,26	2,22	0,058
$\dot{V}O_2$ - livre	189,13	3,33	<0,001
$\dot{V}O_2$ - aumentada	166,32	3,33	<0,001
$\dot{V}O_2$ - reduzida	150,66	3,33	<0,001

Resultados das análises dos desdobramentos (valores de F, graus de liberdade e p) dos dados obtidos neste estudo entre as condições em cada momento.

Variável e momento	ANOVA		
	F	Graus de liberdade	Sig.
FG - inicial	88,37	2,22	<0,001
FG - intermediário	121,83	2,22	<0,001
FG - final	140,22	2,22	<0,001
DC - inicial	27,76	2,22	<0,001
DC - intermediário	32,91	2,22	<0,001
DC - final	80,99	2,22	<0,001
IdC - inicial	2,50	2,22	0,105
IdC - intermediário	53,75	2,22	<0,001
IdC - final	27,65	2,22	<0,001
Tprop - inicial	6,15	2,22	0,051
Tprop - intermediário	0,42	2,22	0,662
Tprop - final	0,62	2,22	0,544
η_T - inicial	0,74	2,22	0,488
η_T - intermediário	0,35	2,22	0,705
η_T - final	15,34	2,22	<0,001
T _{ciclo} - inicial	41,32	2,22	<0,001
T _{ciclo} - intermediário	16,32	2,22	<0,001
T _{ciclo} - final	51,36	2,22	<0,001
$\dot{V}O_2$ - repouso	4,10	2,22	0,053
$\dot{V}O_2$ - inicial	7,94	2,22	0,003
$\dot{V}O_2$ - intermediário	1,27	2,22	0,298
$\dot{V}O_2$ - pico	2,04	2,22	0,154