

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

**EFEITOS DO MODELO INSPIRATÓRIO, DA VELOCIDADE DE NADO E DO
NÍVEL DE DESEMPENHO SOBRE A TÉCNICA DO NADO BORBOLETA**

Ricardo Peterson Silveira

Porto Alegre, 2011

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

EFEITOS DO MODELO INSPIRATÓRIO, DA VELOCIDADE DE NADO E DO
NÍVEL DE DESEMPENHO SOBRE A TÉCNICA DO NADO BORBOLETA

Dissertação de mestrado submetida ao
Programa de Pós-Graduação em Ciências
do Movimento Humano da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, sob
orientação do Prof. Dr. Carlos Bolli Mota.

Ricardo Peterson Silveira

Porto Alegre, outubro de 2011

Agradecimentos

À minha família: meus pais, minhas irmãs e meus avós, pelo apoio incondicional, que me fez chegar até aqui;

Ao meu orientador, Prof. Carlos Bolli Mota, pela oportunidade e pela confiança depositada em mim.

Ao Prof. Marco Vaz, por sempre estender a mão aos alunos que o procuram, pelos conselhos, ensinamentos e inúmeras discussões em seminários do GPBiC e por toda a ajuda nos meus processos de aplicação para estudo no exterior.

Ao Prof. Flávio Castro, pelos incontáveis ensinamentos, desde a criação do GENC, no início de 2006, com as reuniões de um pequeno e interessado grupo na salinha da piscina. Aos poucos o grupo foi crescendo e, hoje, pode-se dizer que a nossa universidade é referência, também, no ensino e pesquisa em esportes aquáticos. Também, pela oportunidade que tive de representar a UFRGS em diversos Jogos Universitários, desde 2006, sendo duas vezes como treinador da delegação nos OJJUBs de 2009, em Fortaleza, e de 2010, em Blumenau.

Ao Prof. Jefferson Loss, pela paciência em sempre me receber para esclarecer dúvidas e, muitas vezes, achando a solução de muitos dos problemas com os quais eu chegava na sala 218. Obrigado por ser um incentivador da pesquisa em biomecânica dos esportes aquáticos e pelos inúmeros ensinamentos, desde as disciplinas da graduação até as disciplinas do mestrado, as quais foram fundamentais para se chegar ao desenvolvimento deste trabalho.

À Lara Gomes, parceira no desenvolvimento deste projeto, sempre paciente durante a elaboração de rotinas no Matlab, quando eu não tinha noção nenhuma para que servia e o que seria possível fazer com este programa.

Ao Felipe Moré, por ter me dado a primeira oportunidade de participação em um projeto de pesquisa, durante o seu mestrado acadêmico. A partir dessa porta que se abriu, eu pude construir o caminho que me fez chegar até este

momento. Pela parceria de sempre e colaboração no empréstimo de parte do equipamentos utilizados neste estudo, também.

Aos técnicos administrativos da piscina, do Lapex e do PPGCMH: Carlos, Ivete, Adriano, Aninha, Luciano, Dani, Luís, Ana e André.

À Capes e ao governo Brasileiro, pela bolsa de mestrado, ajuda indispensável para os alunos de pós-graduação poderem executar os seus trabalhos com maior tranqüilidade.

Ao Cnpq, pelo investimento para aquisição dos equipamentos de dois projetos de mestrado do PPGCMH relacionados a pesquisa em desportos aquáticos. Aos autores desses projetos, Prof. Jefferson Loss, Lara Gomes, Flávio Castro e Marcos Franken, por cederem esses equipamentos para o uso neste trabalho.

Aos meus bolsistas: Aline, Joanna e Ramiro, que ajudaram em todo o intenso processo de coleta de dados e pela incansável ajuda na análise dos vídeos, mesmo durante o período em que estive no Canadá.

Às pessoas que ajudaram gratuita e incondicionalmente durante todo o período das coletas de dados: Eduardo Onzi, Matias Fröhlich, Matias Noll, Cristiano Matos e Marcos Franken, Felipe Moré, Rodrigo Zacca, Diana Perin, Luana Maciel, Eduardo Marques, Victor Tremea e demais bolsistas da Lara.

Aos clubes (Grêmio Náutico União, Grêmio Náutico Gaúcho, Caixeiros Viajantes, Clube Brilhante, SC Natação), treinadores e atletas que colaboraram para que este projeto saísse do papel.

Aos grupos de pesquisa nos quais estive envolvido, fundamentais para o desenvolvimento deste projeto: GPEA, GPBiC e Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento (BIOMECH).

Ao governo do Canadá, por ter me concedido o prêmio do *Emerging Leaders in the Americas Program*, que possibilitou uma das melhores fases da minha vida até o momento, vivendo naquele país durante seis meses e convivendo com alguns dos maiores nomes da biomecânica do mundo, na

Universidade de Calgary, bem como poder prestar serviços para muitos dos melhores nadadores canadenses e alguns dos melhores nadadores do mundo.

Ao meu orientador canadense, Prof. Darren Stefanyshyn, pela confiança e oportunidade em fazer parte do seu grupo, que me ajudou muito no desenvolvimento do meu projeto canadense e com o qual aprendi muito sobre diferentes áreas da biomecânica.

Ao MSc. Pro Stergiou, *Sports Technology Research Laboratory* e *Canadian Sport Centre Calgary*, pela co-orientação e pelo incansável interesse em desenvolver um programa de avaliação de nadadores.

Aos treinadores do time de natação da Universidade de Calgary, Kevin, Rick Peletier, Mike Blondal e seus respectivos atletas, por contribuírem e acreditarem nos benefícios do desenvolvimento do projeto de avaliação biomecânica de saídas para a otimização do desempenho.

Aos amigos Rafael Fortuna e Rudnei Palhano, pela parceria de todas as horas e por toda a ajuda em Calgary. Um foi essencial para o aperfeiçoamento do meu inglês e o outro ajudava a me sentir mais perto do Brasil com as conversas em português.

Aos amigos que fiz em Calgary, pessoas com as quais vivi momentos fantásticos e inesquecíveis.

E, claro, aos amigos da sala 212 do Lapex, doidos varridos com os quais muito aprendi e muito me diverti no convívio diário, dentro e fora da universidade, durante todo esse período: Bruno Baroni, Caroline Pieta, Cleiton Correa, Eduardo Onzi, Fábio Lanferdini, Felipe Carpes, Felipe Moré, Fernando de Aguiar Lemos, Fernando Diefenthaler, Frederico Dagnese, Gustavo Balbinot, Jean Geremia, Julio César, Marcos Franken, Matheus Wiest, Matias Fröhlich, Monica Melo, Natália Goulart, Raquel Lupion, Rodrigo Bini.

RESUMO

EFEITOS DO MODELO INSPIRATÓRIO, DA VELOCIDADE E DO NÍVEL DE DESEMPENHO SOBRE A TÉCNICA DO NADO BOTBOLETA

Autor: Ricardo Peterson Silveira

Orientador: Prof. Dr. Carlos Bolli Mota

O objetivo deste estudo foi comparar variáveis cinemáticas e coordenativas do nado borboleta sob diferentes modelos inspiratórios, velocidades de nado e níveis de desempenho. Participaram 23 nadadores competitivos, divididos em grupo de nível iniciante (n = 9) e grupo de nível avançado (n = 14). Foram mensuradas as durações das fases da braçada (entrada e apoio, puxada, empurrada e recuperação) e da pernada (descendente 1, ascendente 1, descendente 2, ascendente 2), bem como a duração relativa das duas fases propulsivas principais DP1 (do início ao final da fase descendente 1 da pernada) e DP2 (do início da puxada ao final da fase descendente da segunda pernada). Os ângulos de ataque do tronco foram avaliados nos pontos-chave de entrada das mãos, início da puxada, início da empurrada e saída das mãos da água. Com relação à coordenação de membros, foram avaliadas as diferenças temporais entre pontos-chave da braçada e da pernada, sendo: T1 (entrada das mãos – início da fase descendente da primeira pernada), T2 (final da fase descendente da primeira pernada – início da puxada), T3 (início da empurrada – início da fase descendente da segunda pernada), T4 (final da fase descendente da segunda pernada – saída das mãos da água) e TTG (diferença de tempo total). Foi realizado, ainda, o estudo de um dos casos por meio de videogrametria tridimensional, por meio da qual foi possível mensurar as amplitudes de oscilação vertical do vértex e do ombro. Os principais resultados mostram que: (1) O grupo de nível avançado, comparado ao de nível iniciante, apresentou maior velocidade de nado, maior frequência de ciclos e maior índice de nado. Este maior índice de nado foi acompanhado de menores ângulos de ataque do tronco nos pontos-chave de

entrada das mãos, início da puxada e saída das mãos da água. Nadadores de nível avançado apresentaram, ainda, menor duração relativa na fase de entrada e apoio, maior duração relativa na fase de recuperação. Considerando as fases propulsivas principais do nado, a duração relativa de DP2 foi maior no grupo avançado. Com relação à coordenação de membros, estes nadadores apresentaram menor diferença de tempo entre pontos-chave da braçada e da pernada para T2, T3, T4 e TTG. (2) Ao se executar ciclos não-inspiratórios, houve uma menor DC, comparado ao modelo de inspiração lateral, e um maior índice de nado, com relação aos modelos de inspiração frontal e lateral. Ainda, ciclos não-inspiratórios acarretaram em menores ângulos de ataque do que os demais modelos nos pontos-chave de entrada das mãos, início da puxada, início da empurrada e saída das mãos da água. O modelo de inspiração lateral apresentou um menor ângulo de ataque do que o modelo frontal somente no ponto-chave de entrada das mãos na água. Analisando a coordenação de nado, o modelo de inspiração lateral apresentou uma maior diferença de tempo para T1 e T3, quando comparado ao modelo de ciclos não-inspiratórios. (3) Com o aumento da velocidade imposta, os nadadores aumentaram a frequência de ciclos, reduziram a distância percorrida por ciclo e aumentaram o índice de nado. Esse comportamento foi acompanhado por uma redução do ângulo de ataque do tronco nos pontos-chave de entrada das mãos na água, início da puxada e saída das mãos da água. Ainda, houve aumento na duração relativa das fases propulsivas e redução das fases não-propulsivas da braçada. Da mesma forma a duração relativa das fases propulsivas da pernada aumentou e a duração relativa da fase não-propulsiva A1 reduziu. Com relação à coordenação de membros, as diferenças de tempo para T1, T2, T4 e TTG reduziram com o aumento da velocidade.

Palavras-chave: *Nado borboleta, cinemática, coordenação, modelos inspiratórios.*

ABSTRACT

BREATHING PATTERN, PACE AND EXPERTISE EFFECTS ON BUTTERFLY STROKE TECHNIQUE.

Author: Ricardo Peterson Silveira

Advisor: Prof. Dr. Carlos Bolli Mota

The aim of this study was to compare the kinematical and coordinative parameters of the butterfly stroke under different breathing patterns, paces and expertise levels. Volunteered to this study 23 competitive swimmers, divide in beginner level group (n=9) and advanced level group (n = 14). Arm (entry and catch, pull, push and recovery) and leg (downward 1, upward 1, downward 2, upward 2) stroke phases relative duration, the main propulsive phases durations DP1 (from the beginning to the end of the downward 1 leg stroke phase) and DP2 (from the beginning of the pull phase to the end of the upward 2 leg stroke phase). The trunk angle of attack was measured at the hands entry, pull beginning, push beginning and hands exit key points. Regarding the inter-limb coordination, we analyzed the time gap between arm and leg propulsive actions, being: T1 (hands entry – beginning of the downward 1 phase), T2 (end of the downward 1 phase – beginning of the pull phase), T3 (beginning of the push phase –beginning of the downward 2 phase), T4 (end of the downward 2 phase – hands exit) and TTG (total time gap). In parallel a tridimensional analysis case study was developed for measuring the vertex and shoulder's vertical amplitude of oscillation. The main results includes: (1) The advanced level group presented higher stroke rate and stroke index when compared to the beginner level group. This higher stroke index was due to lower angle of attack at the hands entry pull beginning and hands exit key point. Advanced level swimmers presented also a shorter entry and catch phase and a longer recovery phase. Regarding the main propulsive phases of the butterfly stroke, advanced level swimmers had a longer DP2. Considering the inter-limb coordination the advanced level group also presented shorter time gaps for

T2, T3, T4 and TTG; (2) Performing the non-breathing condition swimmers had shorter stroke length, compared to de lateral breathing pattern, and a higher stroke index, compared to both frontal and lateral breathing conditions. Regarding the trunk angle of attack it was smaller at the hands entry, beginning of the pull phase, beginning of the push phase and hands release key points when performing non-breathing cycles. Compared to frontal breathing pattern, the trunk angle of attack was smaller at the hands entry performing lateral breathing. Compared to non-breathing pattern, T1 and T3 time gaps were longer performing lateral breathing; (3) Increasing the imposed pace, stroke rate and stroke index increased while stroke length decreased. Trunk angle of attack also reduced at the hands entry, beginning of pull phase and hands release key points. Relative duration for arm and leg stroke propulsive phases relative duration increased and non-propulsive phases relative duration decreased, except for the upward 2 phase. Regarding the inter-limb coordination T1, T2, T4 and TTG reduced when increasing the imposed pace.

Key-words: *butterfly stroke, kinematics, inter-limb coordination, breathing pattern.*

Lista de figuras

Figura 1. Cronograma da evolução histórica da técnica de borboleta (Mariposa). 22	
Figura 2. Organização dos pontos-chave para identificação das fases da braçada. Adaptado de Maglischo (2003). 27	
Figura 3. Organização das fases da braçada de borboleta, segundo Chollet et al. (2006)..... 28	
Figura 4. Organização das fases da pernada da técnica de borboleta. 30	
Figura 5. Identificação dos pontos-chave para determinação da coordenação entre membros na técnica de borboleta. Adaptado de Chollet et al. (2006)..... 31	
Figura 6. Modelo de inspiração frontal da técnica de borboleta (Fonte: http://www.bestswimming.com.br)..... 35	
Figura 7. Ciclo de braçadas não-inspiratório. Crédito: Satiro Sodré (http://www.bestswimming.com.br). 35	
Figura 8. Modelo de inspiração lateral da técnica de borboleta. Crédito: Satiro Sodré (http://www.bestswimming.com.br). 36	
Figura 9. Trilhos e carrinho com suporte para câmera sub-aquática posicionados na borda lateral da piscina, utilizados para a análise da duração das fases e coordenação braçada-pernada. 53	
Figura 10. Posicionamento das câmeras e do volume de calibração para análise tridimensional do nado. Câmeras 1 e 2 posicionadas fora d'água e câmeras 3 e 4 posicionadas dentro d'água. 54	
Figura 11. Volume de calibração tridimensional proposto por Psycharakis et al. (2005)..... 55	
Figura 12. Volume de calibração posicionado dentro da piscina no momento da coleta dos vídeos de calibração 56	
Figura 13. Ângulo de ataque do tronco nos diferentes pontos-chave para os dois grupos de nadadores avaliados (média \pm erro-padrão)..... 65	
Figura 14. Diferença temporal relativa entre pontos-chave do movimento de braços e pernas para os dois grupos avaliados (média \pm erro-padrão). 67	
Figura 15. Duração das duas fases de propulsivas gerais do nado borboleta para os dois grupos avaliados. (média \pm erro-padrão) 68	

Figura 16. Ângulo de ataque do tronco nos diferentes pontos-chave da braçada para os modelos inspiratórios avaliados (média \pm erro-padrão). Símbolos iguais indicam diferença entre modelos inspiratórios, para $p < 0,05$ 75

Figura 17. Duração das duas fases de propulsão do nado borboleta para as diferentes velocidades de nado avaliadas (média \pm erro-padrão). Símbolos iguais indicam diferença entre as velocidades, para $p < 0,05$ 84

Lista de Tabelas

Tabela 1. Características dos participantes deste estudo	49
Tabela 2. Resultados das variáveis cinemáticas de percurso VN, FC, DC e IN para os dois grupos de nadadores avaliados (média ± erro-padrão).	64
Tabela 3. Duração relativa das fases da braçada para os dois grupos avaliados. (média ± erro-padrão).	66
Tabela 4. Duração relativa das fases da pernada para os dois grupos avaliados (média ± erro-padrão).	66
Tabela 5. Cinemática de percurso para os modelos de inspiração frontal, lateral e ciclos não-inspiratórios (média ± erro-padrão).	74
Tabela 6. Duração relativa das fases da braçada para os modelos de inspiração frontal, lateral e ciclos não-inspiratórios (média ± erro-padrão).	75
Tabela 7. Duração relativa das fases da pernada para os modelos de inspiração frontal, inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios (média ± erro-padrão). ...	76
Tabela 8. Diferença temporal relativa entre pontos-chave da braçada e da pernada para os modelos de inspiração frontal, inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios (média ± erro-padrão).	76
Tabela 9. Duração das duas fases de propulsão do nado borboleta para os modelos de inspiração frontal, inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios (média ± erro-padrão).	77
Tabela 10. Variáveis cinemáticas de percurso para as diferentes velocidades avaliadas (média ± erro-padrão).	81
Tabela 11. Ângulos de ataque do tronco nos diferentes pontos-chave da braçada para as velocidades de nado avaliadas (média ± erro-padrão).	82
Tabela 12. Duração relativa das fases da braçada nas diferentes velocidades de nado (média ± erro-padrão).	82
Tabela 13. Duração relativa das fases da pernada nas diferentes velocidades de nado avaliadas (média ± erro-padrão).	83

Tabela 14. Diferença temporal relativa entre pontos-chave da braçada e da pernada nas diferentes velocidades de nado avaliadas (média \pm erro-padrão).	83
Tabela 15. Características do sujeito avaliado no estudo de caso.....	90
Tabela 16. Amplitude média da oscilação vertical de H1 e H2 para os marcadores do vértex, ombro, quadril, joelho e tornozelo.	90

SUMÁRIO

1 Introdução	16
2 Revisão de literatura	19
2.1 Técnicas de nado	19
2.1.1 Técnica do nado borboleta.....	20
2.2 Cinemática de nado.....	23
2.2.1 Variáveis cinemáticas de percurso	23
2.2.2 Fases da Braçada	24
2.2.3 Fases da Pernada.....	29
2.2.4 Coordenação Braçada-pernada	30
2.2.5 Durações propulsivas principais.....	34
2.3 Respiração.....	34
2.4 Movimento rítmicos no nado borboleta	37
2.5 Análise do movimento por meio de vídeo	39
3 Objetivos	43
3.1 Objetivo geral.....	43
3.2 Objetivos específicos	43
4 Materiais e métodos	45
4.1 Hipóteses.....	45
4.3 Definição operacional das variáveis	46
4.4 Participantes do estudo	48
4.5 Aspecto ético	49
4.6 Instrumentos de coleta de dados.....	50
4.7 Procedimentos metodológicos.....	52
4.7.1 Obtenção, calibração e análise das imagens.....	52
4.7.2 Variáveis cinemáticas de percurso.....	56
4.7.3 Duração das fases da braçada	58

4.7.4 Duração das fases da pernada	58
4.7.5 Coordenação braçada-pernada	59
4.7.6 Ângulo de ataque do tronco	60
4.7.7 Oscilação do vértex e do ombro.....	60
4.8 Análise estatística	61
5 Resultados e discussão.....	63
5.1 Análise bidimensional	63
5.1.1 Resultados dos efeitos do nível de desempenho.....	63
5.1.2 Discussão dos efeitos do nível de desempenho	68
5.1.3 Resultados dos efeitos do modelo inspiratório.....	74
5.1.4 Discussão dos efeitos do modelo inspiratório	77
5.1.5 Resultados dos efeitos da velocidade de nado	81
5.1.6 Discussão dos efeitos da velocidade de nado	84
5.2 Análise tridimensional.....	90
5.2.1 Resultados análise tridimensional.....	90
5.2.2 Discussão dos resultados da análise tridimensional	92
6. Conclusões	94
7 Limitações e perspectivas.....	96
Referencias.....	97
Anexo 1	102
Anexo 2	105

1 Introdução

A natação competitiva apresenta uma alta complexidade nas relações entre as variáveis que determinam o desempenho. Nesse contexto, o estudo da cinemática e da cinética da modalidade assume um papel de fundamental importância nesse esporte em crescente desenvolvimento. Nadadores competitivos de diversos níveis vêm apresentando diferentes ritmos e modelos inspiratórios no nado borboleta, e, com isso, surge a necessidade de se analisar biomecanicamente cada um desses modelos, para uma melhor compreensão desta técnica de nado, na busca por um melhor desempenho.

O objetivo deste estudo foi descrever e comparar o comportamento da cinemática e coordenação do nado borboleta, em resposta à velocidade de nado imposta e ao nível de desempenho, sob condição de diferentes modelos inspiratórios. Por meio do presente estudo foi possível verificar a repercussão direta desses fatores sobre a duração das fases e coordenação braçada-pernada, o ângulo de ataque do tronco no nado borboleta realizado com inspiração frontal, inspiração lateral e ciclos não inspiratórios. Na busca por uma maior eficiência e economia de movimento, será possível, além de uma melhor compreensão dos parâmetros espaço-temporais e coordenativos da técnica de borboleta, auxiliar treinadores e atletas na escolha de um modelo e estratégia de execução das ações inspiratórias adequados para os eventos competitivos desta técnica de nado.

Em natação, os determinantes de desempenho não são somente as variáveis fisiológicas que englobam o fornecimento de energia, mas também as biomecânicas, buscando habilidade técnica que acarreta em uma maior economia de movimento. O aprendizado da técnica apropriada, a fim de uma melhora da sua eficiência motora, é indispensável para o sucesso. Da mesma maneira, parâmetros biomecânicos, que interferem sobre as forças resistivas e/ou propulsivas, podem influenciar no desempenho tanto quanto a própria capacidade de produção e liberação de energia para o deslocamento (1985).

Pode-se afirmar, então, que a natação é um esporte altamente dependente da economia de movimento se comparado a esportes terrestres, devido à diferença da dinâmica nos fluidos desses dois meios. O meio líquido, sendo aproximadamente mil vezes mais denso do que o ar, oferece maior resistência ao avanço, além de oferecer menor resistência propulsiva se comparado a esportes terrestres como a corrida, no qual as forças propulsivas são aplicadas sobre o solo. Assim, em natação, a propulsão final ocorre por meio da diferença entre as forças propulsivas e as forças resistivas (ZAMPARO et al., 2009).

Incrementos na força propulsiva exigem uma mecânica mais apropriada e um treinamento para aumentar a potência de nado (MAGLISCHO, 2003). Este incremento de potência possibilita aumento da velocidade de nado (VN), que é dependente da relação entre a frequência média de ciclos (FC) e a distância média percorrida por ciclo (DC). Habitualmente a FC é um valor expresso pelo número de ciclos de braçadas efetuadas pelo nadador em um determinado tempo. Já a DC é obtida pela distância que o corpo do nadador se desloca à frente ao realizar cada ciclo de braçadas (m/ciclo de braçada). Um ciclo de braçadas é definido pela entrada de uma mão até a próxima entrada da mesma na água (CRAIG e PENDERGAST, 1979; CRAIG et al., 1985; CASTRO et al., 2005). Sendo as adaptações na velocidade do nado (VN) dependentes da DC e da FC, o aumento da VN pode ocorrer por uma maior frequência de ciclos, maior distância percorrida por ciclo, o aumento nessas duas variáveis, ou, ainda, diferentes combinações entre as mesmas (CRAIG e PENDERGAST, 1979; CRAIG et al., 1985; COLWIN, 2002; MAGLISCHO, 2003).

A necessidade de economia está relacionada não somente à otimização dos parâmetros cinemáticos de percurso (FC, DC e VN), mas também com a coordenação entre as ações propulsivas durante o nado, principalmente nos nados simultâneos, como a técnica do nado borboleta, o qual é dependente da coordenação entre as ações dos membros superiores e membros inferiores. No nado borboleta, a coordenação pode ser determinada por meio da diferença temporal entre pontos-chave da braçada e da pernada. A diferença temporal total (TTG), obtida pela soma de quatro tempos relativos pode ser utilizada como um

índice global da coordenação entre membros (CHOLLET et al., 2006; SEIFERT, DELIGNIERES et al., 2007; SEIFERT, BOULESTEIX et al., 2008).

O nado, quando executado sob coordenação adequada, parece apresentar uma menor variação de velocidade intracíclica de nado, o que está relacionado com um menor custo energético, ou seja, uma maior economia de movimento que, em natação, se reflete em um melhor desempenho (BARBOSA et al., 2005).

No nado borboleta, a inspiração é realizada, de modo mais comum, por meio de uma extensão cervical, todavia há um outro modelo, similar ao da respiração no nado *crawl*, que já foi e ainda é muito utilizado por alguns nadadores: a respiração lateral. Acredita-se que com a utilização da respiração lateral no nado borboleta, realizando a inspiração por meio de uma rotação cervical, a área frontal projetada seja menor, e com isso, o o arrasto seja reduzido. Isto se as forças propulsivas permanecerem, no mínimo, inalteradas (BARBOSA, 2002).

Esta dissertação de mestrado foi dividida em cinco partes. A primeira referente à revisão de literatura, seguida pela descrição dos materiais e métodos, descrição dos resultados, discussão e, por fim, as conclusões do estudo. Assim, o presente estudo teve por **objetivos gerais** comparar o comportamento das variáveis cinemáticas e coordenativas do nado borboleta em grupos que possuam diferentes níveis e sob diferentes modelos inspiratórios em resposta à velocidade de nado imposta. Os **objetivos específicos** foram comparar as adaptações na cinemática de percurso, ângulo de ataque do tronco, duração das fases e coordenação braçada-pernada sob condição de ciclos de inspiração frontal, inspiração lateral e ciclos não inspiratórios em resposta à variação da velocidade imposta e ao nível de desempenho.

2 Revisão de literatura

Esta revisão de literatura aborda as técnicas de nado, com foco no nado borboleta, a cinemática do nado, descrição das fases da braçada, fases da pernada, coordenação de membros e respiração, bem como dos métodos obtenção de imagens por meio de vídeo.

2.1 Técnicas de nado

Hay e Guimarães (1983) propuseram a divisão dos eventos competitivos em natação em três componentes: saída, virada e nado puro. Maglischo (2003) ainda inclui um quarto momento, o da chegada ao finalizar a prova. As técnicas de nado existentes na natação competitiva, atualmente, são a técnica de *crawl*, a técnica de costas, a técnica de peito e a técnica de borboleta.

Barbosa (2004) classifica as técnicas de nado de acordo com a posição do corpo, a ação dos membros superiores (MS) e membros inferiores (MI) e a relação de tempo entre as ações para produção de força propulsiva pelos MS e MI. Segundo o autor, levando-se em consideração a posição do corpo, as técnicas dividem-se em ventrais ou dorsais, dependendo do decúbito do nadador no momento do nado. Outra classificação divide em técnicas simultâneas e técnicas

alternadas, segundo a ação dos MS e MI. Por fim, as técnicas de nado podem ser classificadas, de acordo com a relação de tempo entre as ações para produção de força propulsiva por meio dos MS e MI, em contínuas ou descontínuas. Para o referido autor, existem técnicas que se caracterizam por manter a produção de forças propulsivas ao longo de todo ciclo gestual, e outras que se caracterizam por haver, em um determinado momento do ciclo, um momento passivo, sem propulsão. Como será descrito adiante, na parte de revisão sobre a coordenação de nado, as quatro técnicas de nado podem apresentar descontinuidade nas ações propulsivas, sendo a técnica de *crawl* a única possível de se executar em continuidade propulsiva. Um maior ou menor grau de continuidade é dependente das restrições impostas pelo organismo, pelo ambiente e pela tarefa (SEIFERT, CHOLLET e ROUARD, 2007).

Desta forma, a técnica de costas é uma técnica dorsal, ao passo que as demais técnicas são técnicas ventrais. As técnicas de *crawl* e de costas são técnicas alternadas, enquanto as técnicas de peito e borboleta são técnicas simultâneas. Já o grau de continuidade entre as ações propulsivas pode ser mensurado por meio da análise da coordenação de nado, a qual determinará o modelo de coordenação executado (CHOLLET et al., 2000; CHOLLET et al., 2004; CHOLLET et al., 2006; CHOLLET et al., 2008).

2.1.1 Técnica do nado borboleta

A técnica do nado borboleta é classificada como ventral, simultânea, e descontínua. Conforme descrito no estudo de Barbosa (2004), a linha evolutiva da técnica de borboleta deriva da técnica do nado peito, quando alguns nadadores perceberam a vantagem da recuperação aérea da braçada, pois, no ano de 1926, o regulamento da Federação Internacional de Natação Amadora (FINA) obrigava, apenas, à simultaneidade das ações dos MS e dos MI, num mesmo plano nas provas de peito. Essa era a técnica de peito-borboleta. Na década de 1930, surge o movimento ondulatório do corpo, semelhante ao que utiliza o golfinho, um dos

mamíferos de maior eficiência aquática. Daí esta técnica ser conhecida como “Borboleta-Delfim de Sieg”, em homenagem ao seu precursor, Jack Sieg.

“Em 1946, a Federação Internacional de Natação Amadora (FINA) distingue o Peito-Borboleta do nado peito tradicional. Ao longo de toda a prova de peito, o nadador utilizaria apenas ou o peito-borboleta, ou o nado peito tradicional, não permitindo o uso de diferentes técnicas numa mesma prova, como era usual até então”. (Oppenheim, 1977 apud BARBOSA, 2004).

A partir da década de 1950, com a proibição da recuperação aérea da braçada no nado peito, surgiu um novo estilo competitivo, separando as provas de peito e borboleta, sendo o nado borboleta com os movimentos de MS e MI como conhecemos nos dias de hoje, com duas pernadas para cada ciclo de braçadas. A primeira na entrada da braçada; e a segunda, que é menos propulsiva, mas importante para dar estabilidade ao nadador, executada na finalização da braçada (BARBOSA, 2004). A Figura 1 apresenta a linha evolutiva do nado borboleta, que em língua portuguesa também pode ser chamado de mariposa.

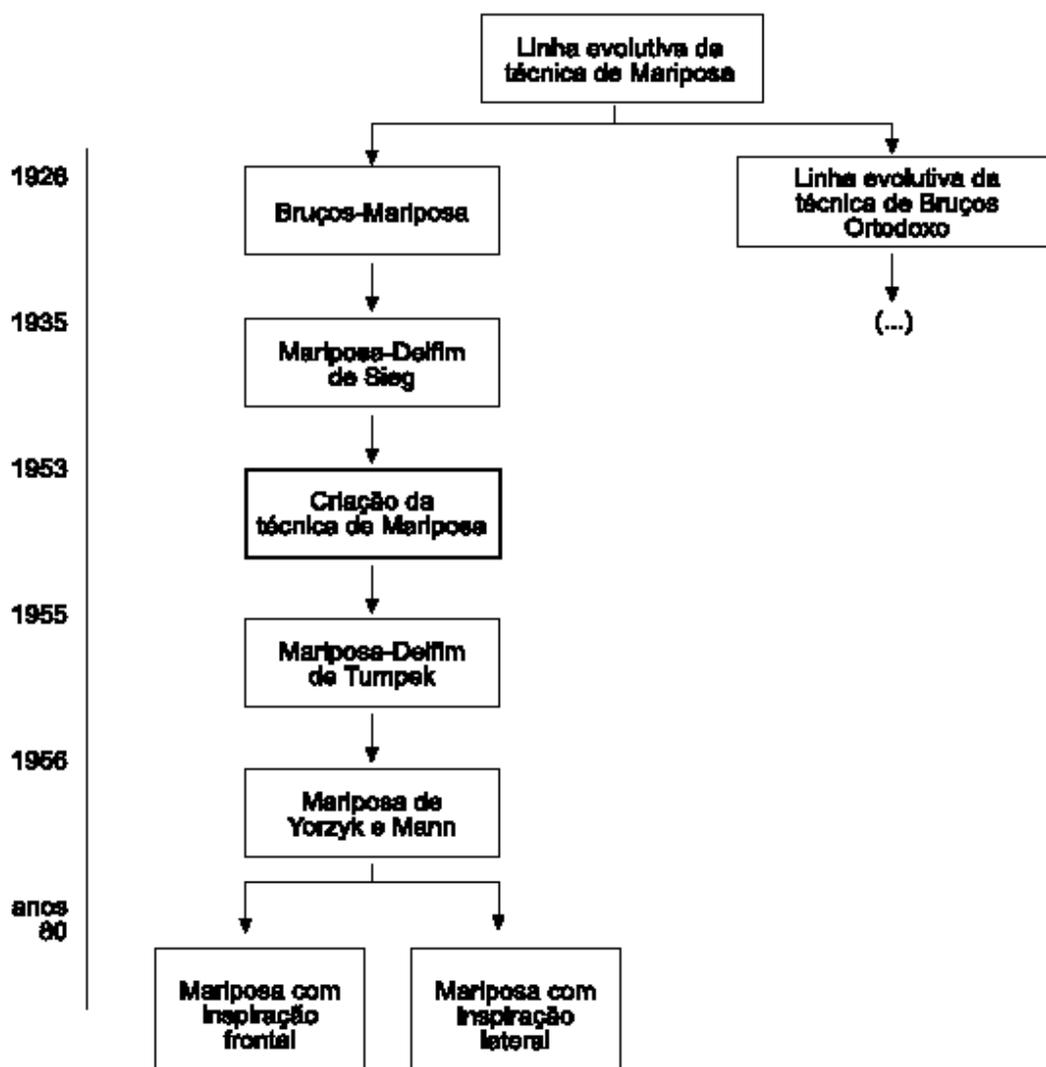


Figura 1. Cronograma da evolução histórica da técnica de borboleta (Mariposa).

(BARBOSA, 2004).

Os aspectos mais recentes na evolução do nado borboleta são referentes à frequência e aos modelos inspiratórios. Tradicionalmente, o nado borboleta é realizado com ciclos de inspiração frontal, ou ciclos de braçadas não-inspiratórios, entretanto alguns nadadores de destaque nas décadas de 1980-1990, como o norte-americano Melvin Stewart e o russo Denis Pankratov, inovaram o nado borboleta com inspiração lateral.

2.2 Cinemática de nado

Cinemática é a área da física que se ocupa com a descrição do movimento (MCGINNIS, 2002). Segundo Sanders (2006), os métodos de análise do movimento vêm evoluindo nos últimos anos, juntamente com os avanços das ciências e tecnologias. A utilização de sistemas de vídeo assume um papel importante como ferramenta para análise da cinemática.

Por meio da videogrametria é possível mensurar com precisão os dados cinemáticos, com a utilização de instrumentos de calibração, que normalizam as distâncias obtidas dentro do campo de visão da câmera, podendo-se analisar a técnica de nado quantitativa e qualitativamente, fornecendo de imediato o *feedback* ao atleta.

Na natação, a cinemática pode ser aplicada na descrição das variáveis relacionadas ao percurso, por meio de uma análise bidimensional, ou ainda, na descrição do movimento dos segmentos corporais e do centro de massa, por meio de análises tridimensionais.

2.2.1 Variáveis cinemáticas de percurso

Dentre as variáveis correspondentes à cinemática do percurso, destacam-se a velocidade média de nado (VN), a frequência média de ciclos (FC), a distância média percorrida por ciclo (DC) e o índice de nado (IN).

A VN é dependente da FC e DC, de modo que a sua variação ocorre pela combinação do aumento e/ou diminuição nos valores dessas variáveis, as quais estão inversamente relacionadas, ou seja, quando uma aumenta, a outra tende a diminuir, e vice-versa (CRAIG e PENDERGAST, 1979; CRAIG et al., 1985). Valores máximos ou mínimos de FC ou DC irão gerar velocidades mais lentas,

sendo que as velocidades máximas são resultado de uma combinação ideal entre ambas (CAPUTO et al., 2000).

Como adaptação técnica ao aumento agudo na VN, há um aumento na FC e conseqüente redução na DC (CASTRO et al., 2005; CASTRO e GUIMARAES, 2006). Entretanto, adaptações crônicas na técnica de nado, proporcionadas pelo treinamento, levam a maiores valores de DC (TOUSSAINT e BEEK, 1992). Por exemplo, Wakayoshi et al. (1993) observaram uma maior VN devido a um aumento na DC após seis meses de treinamento aeróbico, já Gorgoulis et al. (2008) apresentaram uma relação positiva e significativa entre DC e a aplicação de forças propulsivas. Esses achados confirmam os resultados apresentados no estudo de Barbosa et al. (2005), que mostram a relação existente entre economia de nado e DC, o que se reflete um melhor desempenho.

O índice de nado é dependente da relação entre DC e VN, de modo que, para uma determinada velocidade de nado, quanto maior a distância percorrida por braçada, maior é o índice de nado. Esta variável tem sido apontado como um indicador da capacidade técnica em natação (REFERENCIA). REFERENCIA (ANO) observaram uma relação positiva e significativa entre o IN e economia de nado bem como entre IN e máxima produção de força na água em nado estacionário.

2.2.2 Fases da Braçada

Maglischo (2003) classifica a braçada do nado borboleta em cinco fases: (1) entrada das mãos na água e alongamento, (2) varredura para fora e apoio, (3) varredura para dentro, (4) movimento ascendente e (5) saída e recuperação da braçada.

Maglischo (2003) e Barbosa (2004) descrevem a fase de entrada e alongamento, em que as mãos entram na água à frente da cabeça e no prolongamento da linha dos ombros ou ligeiramente ao lado. Nesta fase,

teoricamente, não há propulsão gerada pelos membros superiores e as palmas das mãos devem estar orientadas para fora e para baixo. A turbulência e o arrasto de onda provocada pela entrada das mãos na água devem ser mínimos, ao passo que as mãos devem ser posicionadas de modo a permitir a execução ótima das fases seguintes da braçada.

Durante a segunda fase, denominada varredura para fora, as mãos deslizam à frente e dirigem-se para fora e para baixo, num trajeto curvilíneo, até atingirem aproximadamente a largura dos ombros. Este é o momento imediatamente anterior ao início da aplicação de forças propulsivas pelos membros superiores, chamado de “apoio”. Neste momento, as mãos passam a deslocar-se para fora, para trás e para baixo (BARBOSA, 2004).

A fase de varredura para dentro tem início quando as mãos se aproximam do ponto mais profundo da trajetória, realizando um movimento de adução dos ombros (MAGLISCHO, 2003; BARBOSA, 2004). A palma das mãos, que estavam voltadas para fora, mudam de direção, voltando-se para dentro, mas somente porque os braços mudam de direção de fora para dentro (MAGLISCHO, 2003).

O mesmo autor descreve a fase seguinte da braçada, em que a transição da varredura para dentro para a fase ascendente inicia quando as mãos vão juntas abaixo do corpo do nadador. Nesse ponto, a direção das mãos e dos braços devem rapidamente mudar de dentro para fora, depois que o nadador deve pressioná-las para fora, para trás e para cima, em direção à superfície. Durante essa fase, a palma das mãos e os antebraços devem ser usados como remos, empurrando a água para trás, por meio da resultante dos movimentos para fora, para trás e para cima.

Os braços são estendidos durante a recuperação da braçada. Durante a fase ascendente, os cotovelos devem permanecer flexionados para que possa ser mantida uma orientação da braçada para trás com os antebraços, até o momento em que perder pressão com a água. A fase ascendente deve terminar quando as mãos atingem a altura da coxa.

Assim que as mãos chegam ao nível da coxa, não é mais possível manter uma orientação dos antebraços para trás. Esse é o momento em que o nadador precisa parar de empurrar a água para trás e iniciar a recuperação dos braços. Os cotovelos e os braços devem deixar a água antes dos antebraços e das mãos, estendendo os cotovelos assim que os braços deixam a água, a fim de encontrar a menor resistência para a realização da recuperação da braçada, já que essa é uma fase não propulsiva da braçada (MAGLISCHO, 2003). Barbosa (2004) afirma que para a realização da saída, as mãos diminuem a pressão sobre a água, através de uma rotação externa dos membros superiores, orientando a palma das mãos para as coxas. Os cotovelos, que durante a fase ascendente se estenderam progressivamente, após a saída passam a estender-se rapidamente e dirigem-se sobre a água para cima, para frente e para fora. Este movimento mantém-se até que os membros superiores se encontrem à frente dos ombros, onde se iniciará um novo ciclo.

A fase de recuperação é a fase que apresenta menor velocidade de deslocamento, já que os dois membros superiores realizam a recuperação simultaneamente (SCHLEIHAUF, 1979; MAGLISCHO, 2003). A Figura 2 ilustra a organização tridimensional das fases da braçada.

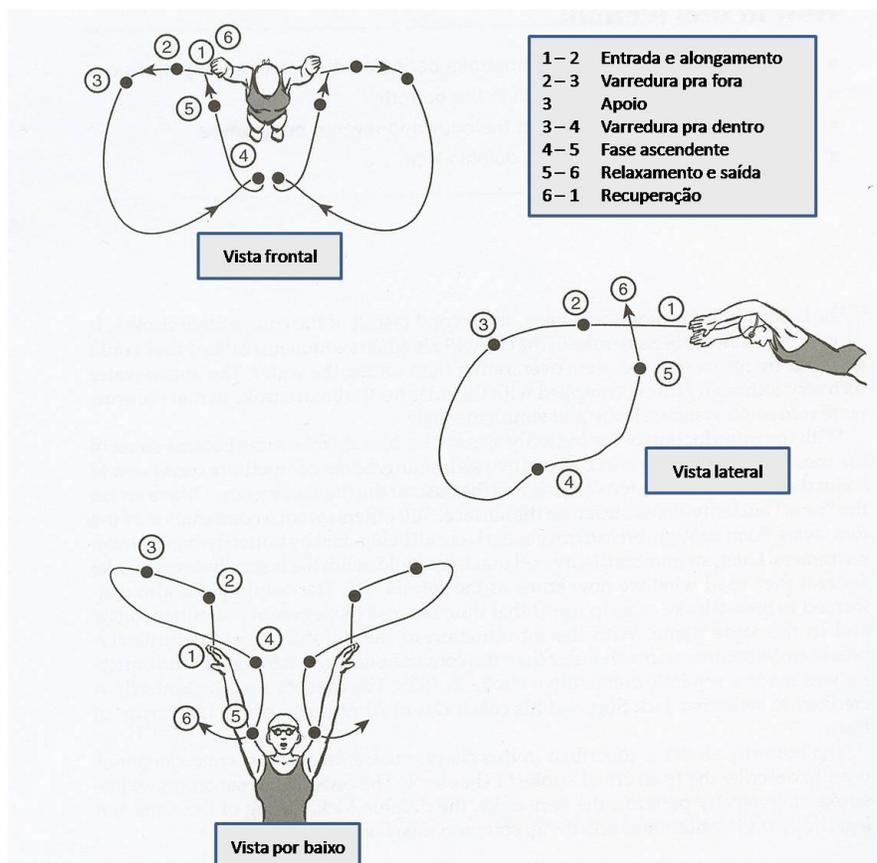


Figura 2. Organização dos pontos-chave para identificação das fases da braçada. Adaptado de Maglischo (2003).

No estudo da coordenação de nado, Chollet, Chalies et al. (2000) e Chollet, Seifert et al. (2006) analisaram a duração das fases da braçada no nado *crawl* e borboleta por meio da identificação de cinco pontos-chave, organizando a braçada em apenas quatro fases:

Entrada e apoio: tempo decorrido entre o ponto de entrada das mãos na água até o ponto imediatamente anterior ao movimento das mãos para trás.

Puxada: tempo decorrido entre o ponto imediatamente anterior ao movimento das mãos para trás até o ponto em que as mãos estejam posicionadas verticalmente em relação ao ombro.

Empurrada: tempo decorrido entre o ponto em que as mãos estejam posicionadas verticalmente em relação aos ombros até o ponto de saída das mãos da água.

Recuperação: tempo decorrido entre o ponto de saída até o ponto de entrada das mãos novamente na água.

As fases de puxada e empurrada são consideradas fases propulsivas, ao passo que as fases de entrada e apoio e de recuperação são consideradas fases não-propulsivas da braçada. A organização destas fases da braçada está ilustrada na Figura 3.

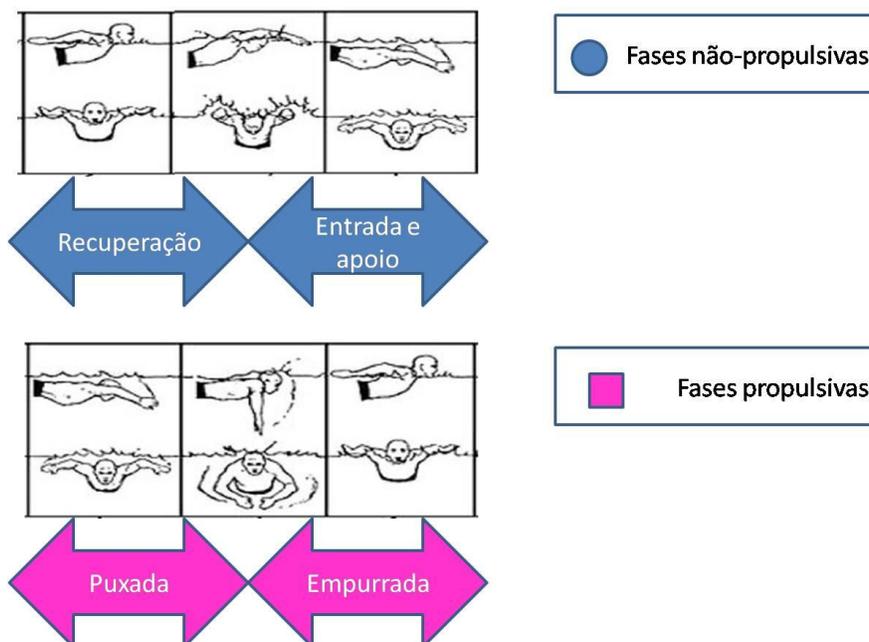


Figura 3. Organização das fases da braçada de borboleta, segundo Chollet et al. (2006).

Chollet, Seifert et al. (2006) e Schnitzler, Seifert et al. (2008) verificaram o efeito da VN e do nível de desempenho sobre a duração das fases da braçada. Os resultados encontrados mostram um aumento na duração relativa das fases propulsivas tanto pelo incremento da VN quanto pelo incremento no nível de desempenho analisado, ao passo que ocorre uma diminuição na duração relativa das fases não propulsivas, ocasionada principalmente pela diminuição na duração relativa da fase de entrada e apoio.

2.2.3 Fases da Pernada

O batimento de pernas no nado borboleta é comumente chamado de golfinhada, já que as pernas se movimentam juntas, como uma cauda de um golfinho. O movimento de uma golfinhada consiste em uma fase ascendente e outra descendente. Durante um ciclo de braçada o nadador executa duas golfinhadas, a primeira durante a entrada das mãos na água e a segunda, mais curta e menos propulsiva, é responsável por dar melhor estabilidade e melhor posição para o deslocamento (MAGLISCHO, 2003).

A pernada do nado borboleta pode ser dividida em quatro fases: fase descendente da primeira pernada (D1), fase ascendente da primeira pernada (A1), fase descendente da segunda pernada (D2) e fase ascendente da segunda pernada (A2). A duração relativa das fases da pernada, descritas por Chollet et al. (2006), correspondem aos tempos relativos entre os seguintes pontos-chave:

Fase descendente 1 (D1): tempo decorrido entre o ponto de mudança de direção superior e o ponto de mudança de direção inferior da primeira pernada.

Fase ascendente 1 (A1): tempo decorrido entre o ponto de mudança de direção inferior e o ponto de mudança de direção superior da primeira pernada.

Fase descendente 2 (D2): tempo decorrido entre o ponto de mudança de direção superior e o ponto de mudança de direção inferior da segunda pernada.

Fase ascendente 2 (A2): tempo decorrido entre o ponto de mudança de direção inferior e o ponto de mudança de direção superior da segunda pernada

D1 e D2 são consideradas fases propulsivas da pernada, ao passo que A1 e A2 são consideradas fases não-propulsivas da pernada. Estas fases são ilustradas na Figura 4.

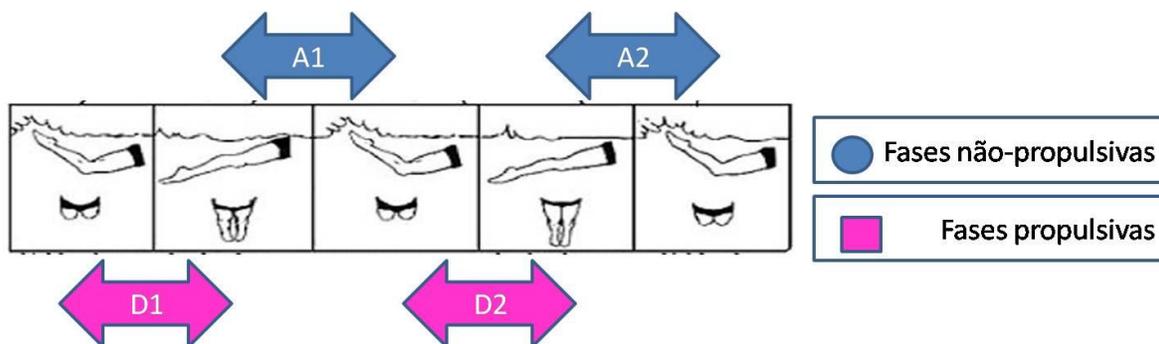


Figura 4. Organização das fases da pernada da técnica de borboleta.

Em resposta ao incremento da VN e do nível de desempenho, ocorre um aumento na duração relativa das fases propulsivas da pernada, principalmente na duração relativa de D1 (CHOLLET et al., 2006).

2.2.4 Coordenação Braçada-pernada

Chollet, Seifert et al. (2006) propuseram um método de mensuração da coordenação no nado borboleta, por meio da análise visual de vídeo, quadro a quadro, para identificação dos pontos-chave da braçada e da pernada, verificando, assim, o grau de sincronismo entre as ações propulsivas da braçada e da pernada.

O sincronismo entre os movimentos de membros superiores e inferiores é quantificado por meio de quatro tempos relativos, obtidos pela diferença temporal entre pontos-chave da braçada e da pernada:

T1: diferença temporal entre o ponto-chave da entrada das mãos na água e o ponto-chave de início de D1;

T2: diferença temporal entre o ponto-chave do fim de D1 e o ponto-chave de início da puxada;

T3: diferença temporal entre o ponto-chave do início da empurrada e o ponto-chave do início de D2;

T4: diferença temporal entre o ponto-chave do fim de D2 e o ponto-chave de saída das mãos da água.

A soma dos módulos destes quatro tempos relativos pode ser utilizada como um índice global da coordenação braçada-fernada no nado borboleta, representando a diferença temporal total entre os pontos-chave da braçada e da fernada, denominado TTG. A identificação dos pontos-chave e a coordenação braçada-fernada são ilustradas na Figura 5.

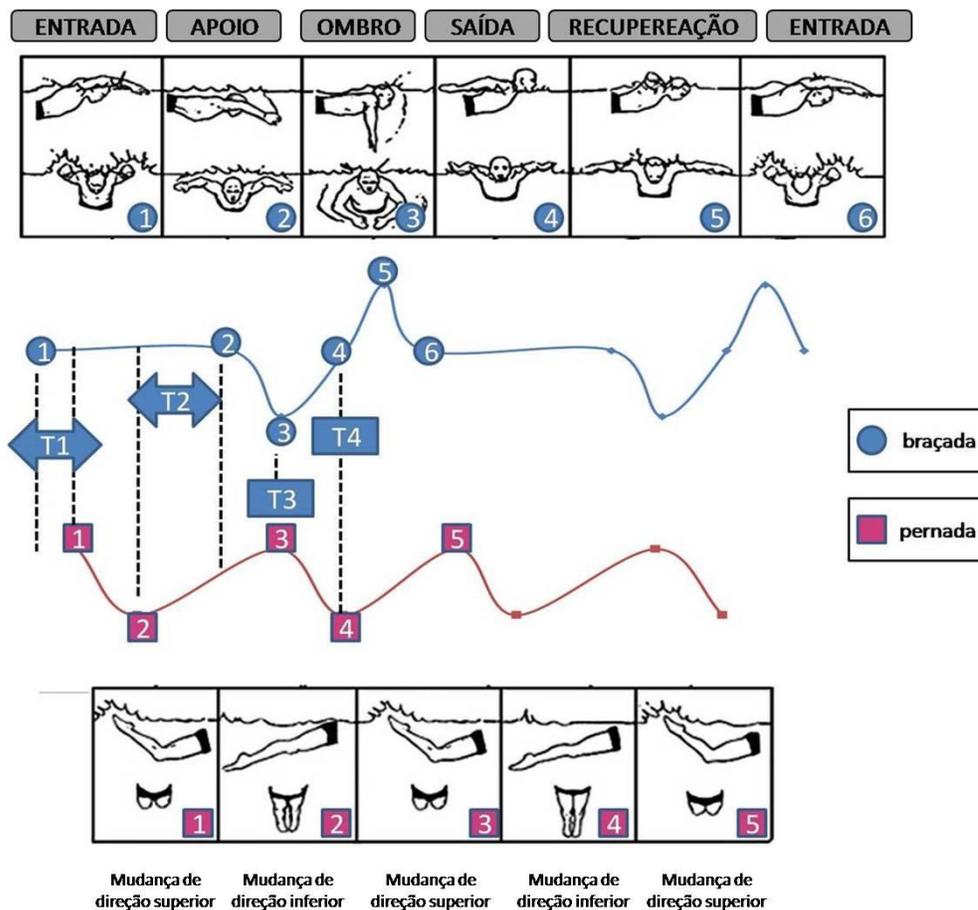


Figura 5. Identificação dos pontos-chave para determinação da coordenação entre membros na técnica de borboleta. Adaptado de Chollet et al. (2006).

Quando T1 é menor que 0%, significa que a propulsão da fernada inicia antes da entrada da mão na água, o que representa uma sobreposição negativa, pois o atleta estará executando uma fase propulsiva da fernada em um momento

de maior área frontal projetada, o que significa maior arrasto hidrodinâmico, gerando assim um maior custo energético. Quando T1 é maior que 0% significa que há um tempo de deslize, antes do início da propulsão gerada pela pernada, visto que o movimento descendente dos pés ocorrerá após a entrada das mãos. Por outro lado, quando T1 é igual a 0% há um sincronismo entre os pontos-chave de entrada das mãos e o início de D1.

Quando T2 é menor que 0%, ocorre um período em deslize, sem gerar propulsão, após o final de D1. Se for maior que 0%, significa que existe uma sobreposição de D1 sobre a fase de puxada da braçada. T2 é igual 0% quando há um acoplamento entre os pontos-chave do final de D1 e o início da fase de puxada.

T3 sendo menor que 0%, a fase de empurrada da braçada inicia após o início de D2. Quando T3 é maior que 0% significa que a fase de empurrada inicia antes do início de D2. T3 é igual a 0% quando há um sincronismo entre os pontos-chave de início da empurrada e início de D2.

Quando T4 é menor que 0%, D2 termina antes da saída das mãos. T4 sendo maior que 0% significa que a saída das mãos ocorre durante D2, havendo duas ações contraditórias, visto que o nadador estará executando uma fase propulsiva da pernada sob condição de maior área frontal projetada, o que gera um maior arrasto hidrodinâmico e, por conseqüência, um maior custo energético. T4 é igual a 0% quando ocorre um acoplamento entre o ponto-chave do final de D2 e o ponto-chave de saída das mãos da água.

Seifert, Boulesteix et al. (2008) verificaram os efeitos da velocidade de nado, nível de desempenho no nado borboleta, executado em ritmo imposto de 400 m, 200 m, 100 m e 50 m, ao longo de 25 m. Com o incremento da VN, houve uma redução no TTG, devido à diminuição de T1 e T2. Nadadores de elite apresentaram um menor TTG do que os nadadores de menor nível técnico, sugerindo um elevado sincronismo global entre os pontos-chave da braçada e da pernada. Os nadadores de menor nível técnico apresentaram valores de T2 mais elevados do que os de nadadores de elite, indicando um tempo de deslize entre o

final de D1 e o início da fase de puxada da braçada. Os nadadores de menor nível ainda apresentaram valores absolutos de T3 mais elevados, o que indica que as fases D2 (da pernada) e de puxada (da braçada) não iniciaram simultaneamente neste grupo de atletas.

2.2.5 Durações propulsivas principais

Considerando as ações propulsivas de membros superiores e inferiores, o nado borboleta pode ser dividido em duas fases propulsivas principais. Chollet et al. (2006) identificam essas fases propulsivas em uma das suas figuras, porém eles não descrevem ou analisam o comportamento das mesmas. No presente estudo estas variáveis são denominadas duração propulsiva 1 (DP1) e duração propulsiva 2 (DP2), sendo:

DP1: tempo decorrido entre o início e o final da fase D1 da pernada. É o equivalente à duração relativa da fase D1 da pernada.

DP2: tempo decorrido entre o início da puxada e o final da fase D2 da pernada.

2.3 Respiração

Tradicionalmente, na técnica de borboleta, a inspiração é realizada por meio de uma elevação da cabeça, a partir de uma extensão cervical. Porém, alguns nadadores utilizam um movimento similar ao do nado *crawl* durante a inspiração, com ação inspiratória realizada por meio de uma rotação cervical durante a fase de empurrada da braçada, prolongando-se, aproximadamente, até a metade da fase de recuperação aérea dos membros superiores. A face retorna à posição neutra durante a segunda parte da recuperação dos membros superiores, iniciando-se a expiração imediatamente após a imersão da face (BARBOSA, 2000b apud BARBOSA, 2004).

De acordo com Barbosa (2004), na inspiração frontal (Figura 6), a face encontra-se voltada para baixo no momento de entrada da braçada na água, sendo que o movimento de extensão cervical inicia durante a varredura para fora, se aproximando da superfície durante a varredura para dentro. A face emerge para inspiração durante a fase ascendente da braçada até a metade da fase de recuperação, imergindo, por meio de uma flexão cervical, durante a segunda metade da fase de recuperação da braçada.



Figura 6. Modelo de inspiração frontal da técnica de borboleta (Fonte: <http://www.bestswimming.com.br>).

Em cada ciclo que não se inspire (Figura 7), a cabeça poderá romper a superfície da água assim como se inspirasse, mas com a face voltada para a água e a cabeça em flexão cervical. Isso facilitaria a recuperação da braçada, especialmente para os nadadores com menor flexibilidade na articulação escápulo-umeral (BARBOSA, 2004).



Figura 7. Ciclo de braçadas não-inspiratório. Crédito: Satiro Sodré (<http://www.bestswimming.com.br>).

Dentre os nadadores de elite que fizeram ou fazem uso da técnica de inspiração lateral no borboleta (Figura 8), é possível citar o norte-americano Melvin Stewart, o russo Denis Pankratov, o francês Frank Esposito, finalistas e medalhistas em Campeonatos Europeus, Campeonatos Mundiais ou em Jogos Olímpicos, além de nomes como Robert Margalis, Pat On'Neil, Guilherme Roth dos Santos, César Cielo, Matt Jaukovic, Cristine Magnuson, Daynara de Paula e Kaio Márcio Almeida.



Figura 8. Modelo de inspiração lateral da técnica de borboleta. Crédito: Satiro Sodré (<http://www.bestswimming.com.br>).

Em estudos sobre as ações inspiratórias no nado borboleta, Rushall (1996), Avdeienko (1997), Kolmogorov (1997), Barbosa et. al (1999) e Barbosa (2000) (apud BARBOSA, 2002) afirmam que a técnica de borboleta com inspiração lateral é mais plana e menos ondulatória, o que implicaria em uma menor arrasto, mas em contrapartida, uma menor propulsão decorrente da ondulação.

Segundo Barbosa (1999), nesta técnica lateral de inspiração, ocorre uma menor elevação da cabeça e dos ombros, acarretando em uma resistência ao

avanço inferior uma menor rotação no plano sagital, implicando em uma menor elevação do tronco, o que levaria a um menor arrasto hidrodinâmico.

Em estudos realizados por Barbosa (2000a; 2001a) foram encontrados valores significativamente inferiores de distância por ciclo e índice de nado na técnica de borboleta com inspiração lateral. No entanto após a aplicação de um programa de treino específico, Barbosa (2001) verificou ser possível aumentar a eficiência (DC, e IN) e o desempenho (VN) ao inspirar lateralmente. Haljand (1997), em estudo com nadadores de elite, encontrou maiores valores de DC e de IN, o que significa que eles obtiveram uma maior eficiência técnica com a inspiração lateral. Barbosa et al. (1999b), encontraram menores valores de amplitude de deslocamento vertical da cabeça. Segundo Barbosa (2002), as divergências encontradas entre os estudos podem ser explicadas pela experiência e pelo nível competitivo dos nadadores avaliados, assim como as características específicas de cada nadador (BARBOSA, 2002).

Para Maglischo (2003), é um erro acreditar que ao realizar a inspiração por meio de uma rotação da face para o lado, ocorrerá um melhor alinhamento horizontal e uma maior economia de nado, já que há uma importante diferença entre a técnica do nado borboleta e a técnica do nado crawl. No nado crawl, o nadador pode realizar o rolamento do corpo para deslocar a face para a superfície. O autor afirma que respirando lateralmente, há uma elevação do tronco e da cabeça, tanto quanto ou maior do que ao se executar ciclos de inspiração frontal, podendo haver, ainda, uma assimetria entre os braços.

2.4 Movimento rítmicos no nado borboleta

A técnica de borboleta apresenta deslocamentos verticais dos segmentos corporais ao longo da execução de um ciclo. Segundo Ungherechts (1982), essas oscilações atuam como uma onda céfalo-caudal percorrendo o corpo do nadador, como também pode ser observado nos movimentos de peixes e golfinhos (VIEDELER, 1981). Sanders et al. (1995) estudaram os movimentos rítmicos na técnica de borboleta, por meio da aplicação de uma Análise de Fourier. Esta

análise permite que o movimento vertical de qualquer ponto do corpo seja expresso em termos de contribuição sobre a “onda fundamental”, cuja frequência é equivalente à frequência do ciclo de braçadas e seus harmônicos. Segundo o autor, os movimentos em forma de onda poderiam reduzir o requerimento de energia proveniente de fontes musculares, já que as ondas tendem a ser auto-sustentáveis. Desta forma, a transmissão dos principais componentes de frequência de oscilação, em velocidades consistentes, deve ser evidência de movimentos em forma de onda e possível conservação de energia mecânica.

Os resultados apresentados por Sanders (1995) indicam que um percentual elevado da potência total da onda está contido na frequência fundamental dos movimentos do vértex e dos ombros, ou seja, os movimentos verticais desses pontos são fases de uma oscilação senóide. As oscilações dos quadris, dos joelhos e dos tornozelos foram compostas quase inteiramente por uma frequência fundamental (H1) e um segundo harmônico (H2), o que reflete a introdução de um padrão de dois movimentos associado aos dois batimentos de pernada, de modo que H2 estavam sobrepostas nas ondas H1. Um detalhe a ser considerado é que a contribuição das duas frequências sobre o poder total da onda, nos pontos do quadril, joelho e tornozelo, varia entre diferentes indivíduos, sendo observados casos em que há uma dominância de H1 e casos em que há dominância de H2.

Quanto às amplitudes da onda fundamental, os autores observaram que o ponto anatômico de maior amplitude de oscilação na técnica de borboleta é o vértex, ao passo que os quadris apresentam a menor amplitude. No entanto, do ponto dos quadris aos tornozelos há um aumento progressivo na amplitude de oscilação no sentido céfalo-caudal, sugerindo que haja um movimento em forma de “chicotada” realizada pelos membros inferiores.

Por meio da diferença no ângulo de fase, Sanders et al. (1995) puderam verificar quando a onda fundamental se desloca ao longo do corpo de maneira consistente, observando uma seqüência céfalo-caudal de propagação de onda evidente em todos os sujeitos avaliados. Nesse sentido, a cabeça apresenta um papel importante na condução da seqüência de oscilações, de modo que os

autores sugerem que a cabeça aja de maneira independente para conduzir o movimento ondulatório ao invés de ser uma extensão rígida do tronco. Da mesma forma, observou-se que a ondulação dos ombros precede a ondulação dos quadris, a ondulação dos quadris precede a ondulação dos joelhos e que a ondulação dos joelhos precede a ondulação dos tornozelos.

Analisando a velocidade de deslocamento da onda fundamental ao longo do corpo dos nadadores, observou-se que o período de menor velocidade ocorre dos ombros aos quadris, o que reflete o efeito da grande massa do tronco em comparação aos demais segmentos. Foi observada ainda uma correlação positiva e significativa entre a velocidade de deslocamento de onda do vértex aos tornozelos e a velocidade de deslocamento do centro de massa, sendo a velocidade média de H1 ligeiramente maior à velocidade de deslocamento do nadador (diferença entre a velocidade de H1 e velocidade do centro de massa: homens = $0,34 \pm 0,22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, mulheres = $0,17 \pm 0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

2.5 Análise do movimento por meio de vídeo

Segundo Bartlett (1997), existem duas principais técnicas aplicadas na coleta de imagens para análise do gesto esportivo, o filme e o vídeo, podendo ser utilizados não só em laboratório, mas também em situação de treino ou competição, de modo que ambas as técnicas devam minimizar a interferência com o sujeito avaliado (BRANDÃO, 2009). Por muitas décadas, o filme foi a técnica mais popular na análise do movimento humano, sendo tradicionalmente considerada superior ao vídeo devido à maior resolução das imagens e à maior frequência de amostragem (PAYTON, 2008). Mais recentemente, a utilização de câmeras de vídeo tem se tornado uma alternativa atrativa ao filme, com os grandes avanços tecnológicos do vídeo. As câmeras modernas possuem uma excelente qualidade nas imagens, sendo que os modelos de alta velocidade possuem frequência de amostragem no mínimo comparáveis às de filme de alta velocidade. Ainda, a utilização de câmeras de vídeo não demanda tempo de

processamento, de modo que as imagens gravadas ficam disponíveis para imediata visualização e análise.

Segundo Bartlett (2007), existem dois principais métodos de análise do movimento humano no esporte: a análise qualitativa e a análise quantitativa. Uma terceira classificação se encaixa entre esses dois métodos, sendo comumente denominada análise semi-quantitativa.

A análise qualitativa envolve uma observação detalhada, sistemática e estruturada do padrão de movimento. A imagem pode ser observada em tempo-real, em câmera lenta ou quadro a quadro por meio de um monitor televisão ou na tela de um computador. Ainda, múltiplas imagens simultâneas podem ser obtidas, a fim de realizar uma análise mais completa e detalhada do gesto esportivo (PAYTON, 2008). A proposta desse tipo de análise é avaliar a qualidade do movimento executado e fornecer um *feedback* ao indivíduo avaliado. Pode ser realizado como um meio de identificação dos parâmetros de desempenho que devem ser quantificados e monitorados em análises futuras.

Desde o princípio, a análise qualitativa do movimento deve envolver o treinador, ou quem solicitou a análise, mantendo-os envolvidos em todos os estágios. A análise qualitativa requer a aplicação de princípios biomecânicos básicos ao movimento, sendo necessário saber o quê observar. Desta forma, o avaliador precisa de uma excelente compreensão da técnica esportiva analisada (BARTLETT, 2007). Por meio da análise qualitativa do movimento, é possível descobrir as principais falhas em um desempenho mal-sucedido, de modo que este é, efetivamente, o método utilizado por treinadores e professores.

A análise semi-quantitativa pode ser descrita como um procedimento mais criterioso para a descrição do movimento, envolvendo a análise visual dos pontos de interesse do gesto executado, como por exemplo, a identificação visual dos pontos-chave da braçada, duração das fases da braçada, amplitudes de movimento, ângulos articulares em pontos-chave ou, ainda, a análise de variáveis cinemáticas de percurso, como DC e FC (BARTLETT, 2007).

A análise quantitativa envolve a obtenção de medidas detalhadas das imagens capturadas, permitindo a quantificação das variáveis cinemáticas relacionadas ao desempenho. Este tipo de análise requer a utilização de instrumentos mais sofisticados para a obtenção e análise dos vídeos, demandando um tempo maior nos procedimentos de análise, que envolvem a calibração das imagens e a digitalização manual de um grande número de marcadores corporais ao longo de um grande número de quadros (PAYTON, 2008). Segundo Bartlett (2007), assim como na análise qualitativa, um bom avaliador necessita de uma sólida compreensão das técnicas ou conjunto de movimentos envolvidos na atividade específica. No entanto, nem sempre esse princípio é levado em consideração, o que pode fazer com que o trabalho se torne duvidoso em um contexto prático. Deve ser dada atenção especial à determinação do que mensurar, ao desenho experimental, análise de dados, validade e confiabilidade da medida.

Os estudos cinemáticos, por meio da análise quantitativa, podem ser realizados por meio de videogrametria bidimensional ou tridimensional. Resumidamente, os estudos bidimensionais caracterizam-se pelo registro do gesto técnico em um dado plano, por sua vez, as análises tridimensionais incluem a utilização de no mínimo duas câmeras, que registram simultaneamente planos distintos de um mesmo gesto técnico, transformando as coordenadas das imagens obtidas em coordenadas espaciais por meio da aplicação do algoritmo de DLT (*Direct Linear Transformation*) proposto por Abdel-Aziz e Karara (1971).

Uma decisão prioritária que deve ser tomada em qualquer análise quantitativa do movimento esportivo, segundo Bartlett (2007), é quando se torna necessário utilizar videogrametria bidimensional ou tridimensional. Ambas possuem vantagens e desvantagens e são descritas pelo mesmo autor a seguir:

Videogrametria bidimensional

- Mais simples e econômica, com necessidade de menos câmeras e equipamentos.

- Necessidade de execução do movimento em um plano de movimento pré-selecionado. O resultado pode ser aceitável para movimentos essencialmente planares, mas ignora movimentos realizados fora do plano escolhido. Pode ser importante, principalmente, em gestos realizados essencialmente bidimensionais, como salto em distância.
- Conceitos mais fáceis de serem aplicados.
- Necessidade de menos tempo para digitalização e menos problemas metodológicos, como a transformação das coordenadas do vídeo em coordenadas espaciais.

Videogrametria tridimensional

- Possui procedimentos experimentais mais complexos.
- Pode apresentar os movimentos corporais “reais”, tridimensionalmente.
- Necessidade de mais equipamentos e, portanto, mais dispendioso. Embora seja possível a utilização de espelhos para gravar várias imagens em uma única câmera, isso é raramente utilizado na prática.
- Maior complexidade associada à reconstrução tridimensional das coordenadas espaciais, a partir das imagens de vídeo.
- Requer o sincronismo das câmeras, as quais não estão fisicamente sincronizadas, como na maioria das câmeras de vídeo digitais.
- Permite o cálculo dos ângulos entre os segmentos corporais de forma acurada, permitindo ainda, o cálculo de ângulos que, em muitos casos, não poderiam ser obtidos com as imagens de uma única câmera.
- Possibilita a reconstrução de visões simuladas do desempenho para análise e avaliação do movimento.

3 Objetivos

3.1 Objetivo geral

- Comparar variáveis cinemáticas e coordenativas do nado borboleta sob diferentes modelos inspiratórios, velocidades de nado e níveis de desempenho.

3.2 Objetivos específicos

- Fornecer informações aos treinadores e atletas avaliados, que sejam de valor na sua preparação e desempenho competitivo;
- Comparar as adaptações nas variáveis cinemáticas de percurso (VN, FC, DC, IN), na duração relativa das fases da braçada (entrada e apoio, puxada, empurrada, recuperação e duração propulsiva) e da pernada (descendente 1, ascendente 1, descendente 2 e ascendente 2), coordenação de membros (T1, T2, T3, T4 e TTG), duração relativa das fases de propulsão principais (DP1 e DP2) e ângulo de ataque do tronco, sob as seguintes condições:
 - 1) Ciclos de inspiração frontal
 - 2) Ciclos de inspiração lateral
 - 3) Ciclos não inspiratórios
 - 4) Em resposta à velocidade imposta (80%, 90%, 100% e 110%).
 - 5) Em resposta ao nível de desempenho (níveis iniciante e avançado).

- Realizar um estudo de caso, avaliando a amplitude das oscilações vertical dos marcadores do vértex e dos ombros nas condições de inspiração frontal, inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios.

4 Materiais e métodos

4.1 Hipóteses

- Ciclos não-inspiratórios e ciclos de inspiração lateral apresentam:
 - 1) Maior distância percorrida por ciclo e índice de nado
 - 2) Maior duração das fases propulsivas da braçada e da pernada
 - 3) Maior continuidade entre as ações propulsivas de braçada e pernada
 - 4) Menor inclinação do tronco

- Nadadores de nível avançado apresentam:
 - 1) Menor frequência de ciclos
 - 2) Maior distância percorrida e índice de nado
 - 3) Maior duração das fases propulsivas da braçada e da pernada
 - 4) Maior continuidade entre as ações propulsivas de braçada e pernada
 - 5) Menor inclinação do tronco

- Com o aumento da velocidade de nado imposta ocorre:
 - 1) Aumento na frequência de ciclos
 - 2) Redução da distância percorrida por ciclo
 - 3) Aumento na duração das fases propulsivas da braçada e da pernada
 - 4) Maior continuidade entre as ações propulsivas de braçada e pernada
 - 5) Redução do ângulo de ataque do tronco

4.3 Definição das variáveis

Variáveis Independentes:

- a) Modelo inspiratório: classificação das ações inspiratórias, de acordo com o movimento realizado. No modelo frontal, as ações inspiratórias são realizadas por meio de uma extensão cervical, ao passo que, no modelo lateral, as ações inspiratórias são realizadas por meio de uma rotação cervical. A execução de ciclos não-inspiratórios ocorre por meio da manutenção da face imersa na água, podendo haver uma flexão cervical.
- b) Nível de desempenho: classificação dos nadadores que compõem a amostra deste estudo, conforme o nível de desempenho. A amostra foi dividida em dois grupos, sendo (1) nadadores competitivos de nível avançado e (2) nadadores competitivos iniciantes.
- c) Velocidade imposta: velocidades a que os sujeitos foram submetidos em cada trecho de 25 m, para a obtenção das variáveis cinemáticas e coordenativas da técnica de borboleta. Estas foram relativas a 85%, 90%, 100% e 110% da velocidade obtida em um teste de 100 m.

Variáveis Dependentes:

- a) Variáveis cinemáticas de percurso: variáveis obtidas por meio de videogrametria externa. A DC representa distância média percorrida por ciclo de braçada (m) e FC representa a frequência média de ciclos de braçadas (ciclos/min).

- b) Duração das fases da braçada: variáveis obtidas por meio da análise visual dos pontos-chave da braçada, dividida nas fases de entrada e apoio, puxada, empurrada e recuperação. A duração de cada fase é relativa à duração total de um ciclo de braçadas (%).

- c) Duração das fases da pernada: variáveis obtidas por meio da análise visual dos pontos-chave da pernada, dividida nas fases descendente 1 (D1), ascendente 1 (A1), descendente 2 (D2) e ascendente 2 (A2). Da mesma forma que as fases da braçada, as durações são relativas à duração total de um ciclo de pernadas (%).

- d) Coordenação braçada-pernada: tempos relativos referentes à diferença de tempo entre pontos-chave da braçada e da pernada. As variáveis T1, T2, T3 e T4 indicam o nível de sincronismo entre pontos-chave específicos e TTG representa um índice de coordenação global entre as ações propulsivas da braçada e da pernada.

- e) Ângulo de ataque do tronco (α): ângulo entre o segmento formado pelos marcadores do ombro e do quadril com a horizontal.

- f) Movimentos oscilatórios: variáveis obtidas por meio dos dados de oscilação vertical dos marcadores corporais. Assim, foram mensurados os valores de amplitude de oscilação do vértex e dos ombros ao longo de um ciclo de braçadas.

Variáveis Intervenientes:

- a) Ambientação com os diferentes modelos inspiratórios, a qual foi a mesma para todos os sujeitos avaliados.

4.4 Participantes do estudo

A população estudada foi composta por nadadores competitivos federados, entre 12 e 25 anos. O estudo foi realizado com atletas vinculados à Federação Gaúcha de Desportos Aquáticos, sendo que os nadadores do grupo de nível avançado deveriam estar realizando, no mínimo, seis sessões de treino na água por semana. O tamanho da amostra foi de 23 sujeitos, sendo 14 pertencentes ao grupo avançado e nove pertencentes ao grupo iniciante. Estes números foram baseados na quantidade de atletas disponível para este estudo no Estado do Rio Grande do Sul, estando de acordo com o encontrado na literatura, em estudos com procedimentos metodológicos semelhantes às do presente estudo, conforme descrito no quadro 1.

Variável	Estudo fonte	n utilizado
Cinemática de percurso, duração das fases e coordenação braçada-pernada	(CHOLLET et al., 2006)	14
Inclinação do tronco e área frontal projetada	(ZAMPARO et al., 2009)	25

Quadro 1. Variável, estudo fonte dos dados e n utilizado

As características da amostra, para ambos os grupos, com idade, desempenho expresso em percentual do recorde mundial na prova dos 100 m borboleta (%RM), massa, estatura e envergadura, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos participantes deste estudo

Grupo	Idade (anos)	Desempenho (%RM)	Massa (kg)	Estatura (cm)	Envergadura (cm)
Iniciante (n= 14)	14,0 ± 4,2	61,1 ± 7,6	51,6 ± 12,3	158,1 ± 11,4	161,7 ± 12,6
Avançado (n = 9)	18,6 ± 3,5	78,4 ± 3,7	65,0 ± 9,9	173,0 ± 7,7	180,3 ± 8,5

4.5 Aspecto ético

Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob o número de 19719 (Anexo 1). O mesmo procurou evitar atividades de risco, de modo que fosse realizado um protocolo experimental procurando não diferir do que os participantes estivessem habituados em seus programas de treinamento. Os sujeitos avaliados manifestaram o seu consentimento em participar do presente estudo por meio de um termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo 2), o qual foi assinado por um responsável, caso o participante fosse menor de idade.

4.6 Instrumentos de coleta de dados

- O desempenho nos 100 m borboleta foi mensurado por meio de cronometragem manual do tempo para a percorrer esta distância sob máxima velocidade de nado, utilizando para isso um cronômetro da marca CASIO, modelo HS-70W-1DF;
- As variáveis cinemáticas de percurso foram mensuradas por meio da análise das imagens obtidas com uma câmera de vídeo digital (JVC, modelo GR-DVL9800), operando a uma frequência de 50 quadros por segundo. Esta câmera foi fixada a um tripé, posicionado com o eixo óptico da câmera perpendicularmente ao plano de deslocamento horizontal dos nadadores. A calibração das imagens foi realizada por meio da digitalização de distâncias conhecidas sobre a raia posicionada sobre o local em que os participantes eram posicionados para a execução dos testes. A análise dos vídeos foi realizada no *software* Dartfish operado em um microcomputador portátil (Itautec, processador Intel ® Pentium ® Dual CPU T2390 1.87 GHz; 2 Gigabytes de memória RAM);
- Para a análise da duração das fases da braçada e da pernada, bem como da coordenação de membros, foram obtidas imagens de vídeo por meio de uma câmera de vídeo digital à prova d'água (SANYO VPC-WH1), operando a uma frequência de 60 Hz. Esta câmera foi deslocada, acompanhando o nadador, por meio trilhos e de um carrinho no qual a mesma era fixada.
- A mensuração dos ângulos de ataque do tronco foi realizada por meio do *software* Kinovea.;
- A videogrametria tridimensional foi realizada utilizando-se quatro câmeras de vídeo digital (SANYO VPC-WH1), operando a uma frequência de 60 Hz. Cada uma das câmeras foi fixada a um tripé, para posterior organização das mesmas. Para o procedimento de

calibração, foram gravadas imagens de um volume de calibração 3-D especialmente construído para este estudo. A análise dos vídeos obtidos foi realizada no *software* Dvideow;

4.7 Procedimentos metodológicos

A coleta de dados foi realizada em duas etapas, sendo:

Etapa 1: execução de um teste de 100 m nado borboleta sob máxima velocidade de nado e sem restrições com relação aos modelos e frequência inspiratória para determinar as velocidades impostas na etapa seguinte.

Etapa 2: os sujeitos executaram quatro repetições de 25 m borboleta, em velocidades relativas a 85%, 90%, 100% e 110% da velocidade média no teste de 100 m, com um intervalo mínimo de 2 minutos entre cada repetição, nas condições de ciclos de inspiração frontal, ciclos de inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios. Para cada repetição, foram obtidos os valores das variáveis cinemáticas de percurso, duração relativa das fases da braçada e da pernada, coordenação de membros, inclinação do tronco e movimentos rítmicos do nado borboleta (este último apenas em um estudo de caso separado).

4.7.1 Obtenção, calibração e análise das imagens

As variáveis cinemáticas VN, DC, FC foram obtidas por meio de videogrametria bidimensional com a gravação do nado borboleta executado pelo nadador, no plano sagital, a uma frequência de 50 campos/s.

Foi utilizado o espaço entre as raias 3 e 4 da piscina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a realização deste protocolo. A câmera de vídeo foi posicionada na borda lateral da piscina, com o centro da raia em um plano perpendicular ao eixo óptico da câmera ficando à, aproximadamente, 11,7 m de distância e a uma altura de, aproximadamente, 2,35 m da superfície da água. Essas distâncias permitiram um campo de visão de 11 m no plano de deslocamento do nadador, em relação ao ponto central entre as marcações do fundo da piscina correspondentes às raias 3 e 4.

Foram obtidas imagens de uma régua de calibração na posição horizontal (módulos de 1,5 m), a partir da superfície da água, em todas as coletas, colocadas em cada um dos extremos e no centro do campo visual, a fim de se identificar os erros associados às distâncias adotadas.

As imagens para mensuração da coordenação e duração das fases da braçada e da pernada foram obtidas por meio de videogrametria subaquática. Para isso, foi utilizada uma câmera de vídeo à prova d'água (SANYO, VPC-WH1) operando a uma frequência de amostragem de 60 Hz, a qual foi deslocada manualmente por meio de carrinhos e trilhos, na borda lateral da piscina, conforme ilustrado na Figura 9. A análise quadro a quadro dos vídeos foi realizada de maneira independente por três avaliadores experientes, utilizando o software VirtualDub versão 1.8.7. Quando houvesse diferenças superiores a 0,04 s entre os avaliadores, uma nova análise era realizada.



Figura 9. Trilhos e carrinho com suporte para câmera sub-aquática posicionados na borda lateral da piscina, utilizados para a análise da duração das fases e coordenação braçada-pernada.

Para a coleta das variáveis de oscilação vertical do vértex e do ombro, foi realizado um estudo de caso utilizando cinemática tridimensional, utilizando-se quatro câmeras previamente sincronizadas por meio de um sinal luminoso, operando a uma frequência de amostragem de 60 Hz (SANYO, VPC-WH1). Duas câmeras foram posicionadas dentro da piscina, abaixo da superfície e duas colocadas fora da piscina, conforme descrito por Psycharakis et al. (2010) e ilustrado na Figura 10.

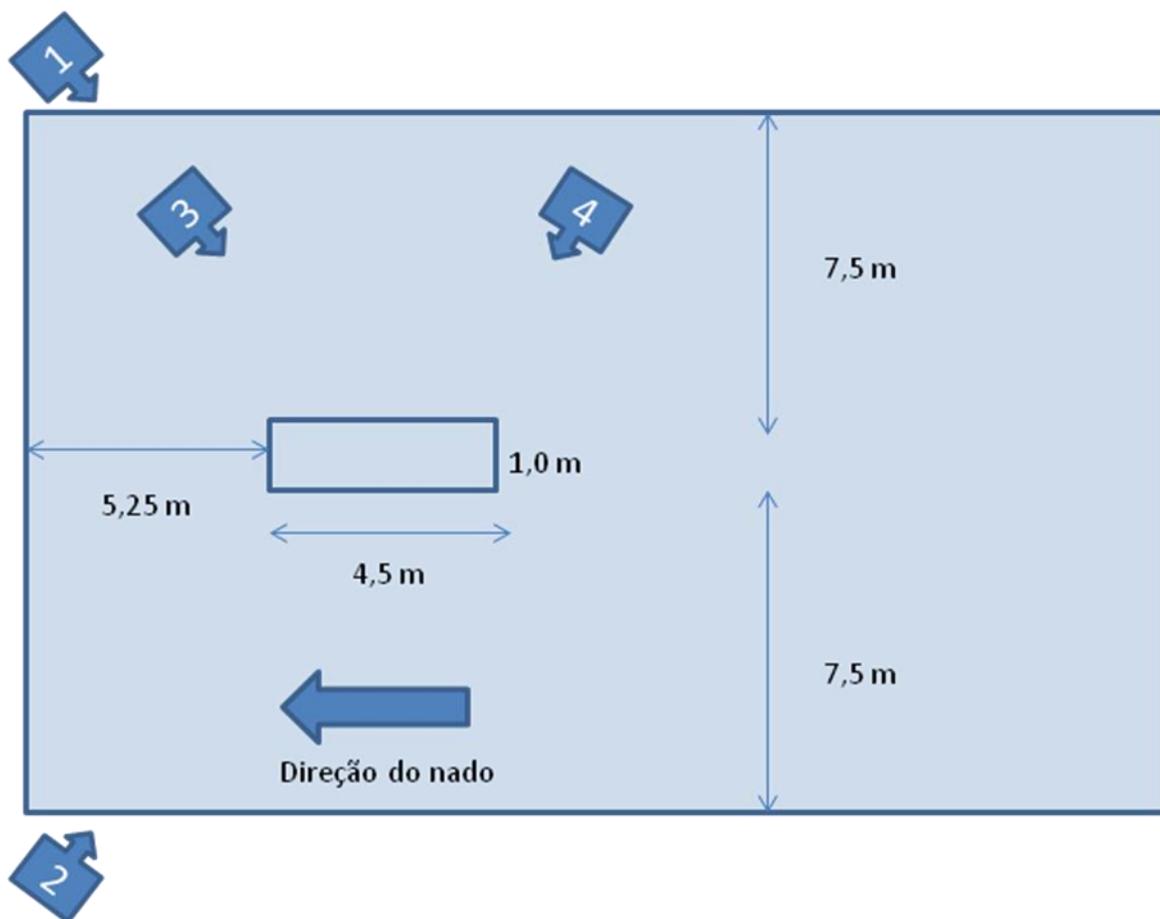


Figura 10. Posicionamento das câmeras e do volume de calibração para análise tridimensional do nado. Câmeras 1 e 2 posicionadas fora d'água e câmeras 3 e 4 posicionadas dentro d'água.

As câmeras posicionadas dentro da água estiveram a profundidades variando entre 1,0 m e 1,5 m. A calibração das imagens em duplo meio (ar e água) foi realizada por meio da digitalização de 24 marcadores cujas distâncias eram conhecidas nos três eixos (x, y e z). Isso foi possível com a utilização de um

volume de calibração tridimensional cujas dimensões são de 4,5 m de comprimento (plano de deslocamento do nadador, ou eixo x), 1,5 m de altura (eixo y) e 1 m de comprimento no eixo médio-lateral (eixo z). O volume de calibração é ilustrado na Figura 11 e é posicionado para calibração de modo que metade esteja imersa na água e a outra metade esteja acima da superfície da água, conforme proposto por Psycharakis et al. (2005) e ilustrado na figura 12.



Figura 11. Volume de calibração tridimensional proposto por Psycharakis et al. (2005).

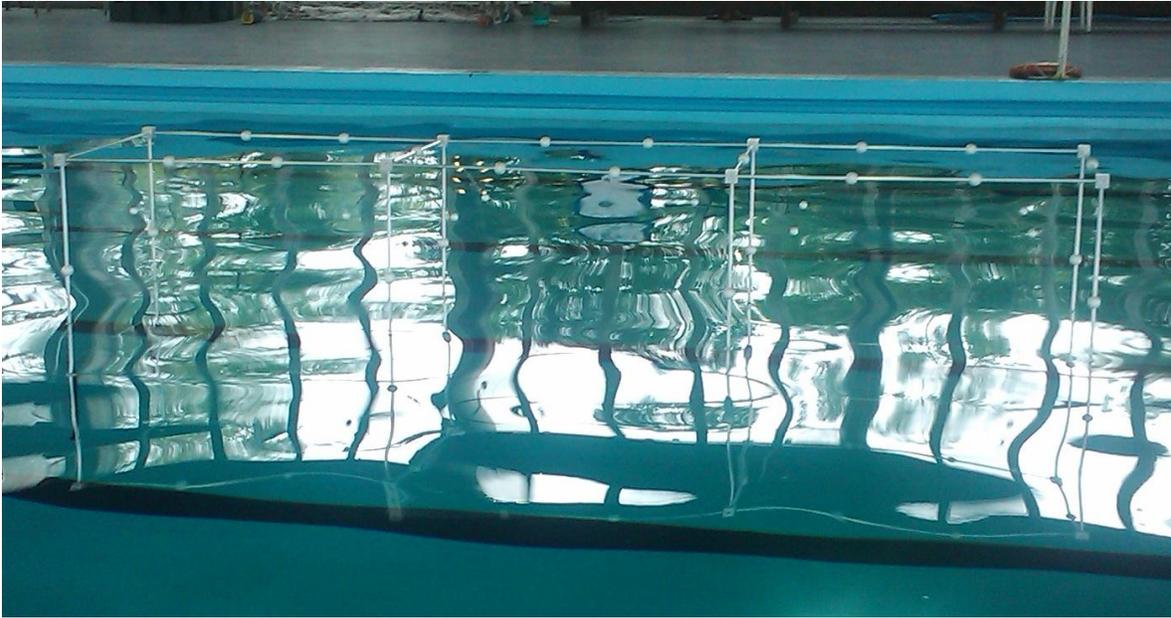


Figura 12. Volume de calibração posicionado dentro da piscina no momento da coleta dos vídeos de calibração

4.7.2 Variáveis cinemáticas de percurso

As variáveis cinemáticas de percurso foram mensuradas por meio das imagens obtidas pela câmera externa posicionada na parte central da borda lateral da piscina, transformando-se pixel em metros e quadros em segundos, segundo os seguintes critérios para cada uma das variáveis:

VN: foram verificadas a distância e o tempo correspondentes ao deslocamento da cabeça ao longo da tela e, pelos valores de calibração espacial, foi calculada a VN, conforme a equação 1:

Equação 1

$$VN = \frac{\Delta x}{P} \cdot \frac{\Delta t}{60}$$

onde VN é a velocidade média de nado, Δx a variação da posição horizontal, em pixels, p o número médio de pixels correspondente a 2 m, Δt a variação do tempo, em quadros.

FC: com o tempo médio para realização de dois a três ciclos por trecho de 25 m, foi possível calcular a FC, em ciclos/min, por meio da equação 2:

Equação 2

$$FC = \frac{1}{tc} \cdot 60$$

Em que FC é a frequência média de ciclos e tc é o tempo médio de realização de um ciclo de braçadas completo.

DC: obtida pelo quociente entre a VN e a frequência de ciclos, expressa em Hz, conforme descrito na equação 3.

Equação 3

$$DC = VN \cdot \frac{60}{FC}$$

Em que DC é a distância média percorrida por ciclo de braçada, VN é a velocidade média de nado e FC a frequência média de ciclos.

IN: obtido pelo produto entre a VN e a DC, como mostra a Equação 4.

Equação 4

$$IN = VN \cdot DC$$

4.7.3 Duração das fases da braçada

Utilizando as imagens obtidas pela câmera submersa móvel, a braçada pôde ser dividida em quatro fases, analisadas de maneira independente por três avaliadores experientes.

A duração relativa das fases da braçada foi expressa em percentuais da duração total média de um ciclo de braçada, sendo o critério para determinação de cada uma das fases descrito por Chollet, Seifert et al. (2006):

Fase A: Entrada das mãos na água até o máximo deslocamento das mãos à frente.

Fase B: Do início da trajetória da mão para trás, até que a mão esteja posicionada verticalmente em relação ao ombro.

Fase C: Do momento em que a mão estiver posicionada verticalmente em relação ao ombro, até a sua saída da água.

Fase D: Da saída da mão até a sua entrada, novamente, na água.

4.7.4 Duração das fases da pernada

Utilizando as imagens obtidas pela câmera submersa móvel, a pernada pôde ser dividida em quatro fases, analisadas de maneira independente por três avaliadores experientes.

A duração relativa das fases da pernada foi expressa em percentuais da duração total média de um ciclo de pernadas, seguindo o critério descrito por Chollet, Seifert et al. (2006), em que:

D1: do ponto de mudança de direção superior até o ponto de mudança de direção inferior dos pés, na primeira pernada.

A1: do ponto de mudança de direção inferior até o ponto de mudança de direção superior dos pés, na primeira pernada.

D2: do ponto de mudança de direção superior até o ponto de mudança de direção inferior, na segunda pernada.

A2: do ponto de mudança de direção inferior até o ponto de mudança de direção superior, na segunda pernada.

4.7.5 Coordenação braçada-pernada

A coordenação braçada-pernada foi mensurada por meio de quatro tempos relativos (T1, T2, T3 e T4) e um índice global da coordenação (TTG), que representa a diferença temporal entre os pontos-chave da braçada e da pernada, expressos em percentuais da duração total média de um ciclo de pernadas. O critério para determinação de cada um dos tempos relativos, descrito por Chollet, Seifert et al. (2006), foi:

T1: diferença temporal entre os pontos-chave de entrada das mãos e o início de D1.

T2: diferença temporal entre os pontos-chave do final de D1 e início da fase de puxada.

T3: diferença temporal entre os pontos-chave de início da fase de empurrada e início de D2.

T4: diferença temporal entre os pontos-chave do final de D2 e a saída das mãos.

TTG: diferença temporal total, obtida pela soma dos valores absolutos de T1, T2, T3 e T4.

4.7.6 Ângulo de ataque do tronco

Para determinação do ângulo de ataque do tronco, foi calculado o ângulo entre o segmento formado entre os pontos do ombro (processo acromial) e do quadril (trocânter maior) direitos com a horizontal, como ilustra a Figura 13.

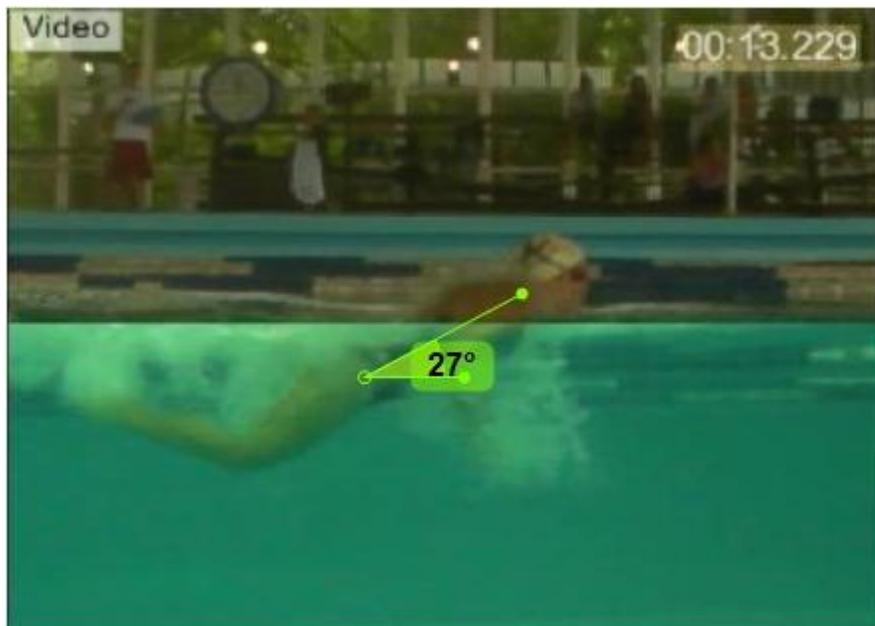


Figura 13. Determinação do ângulo de ataque do tronco.

Esses pontos foram identificados por meio da digitalização manual das imagens de vídeo, de modo que e a mensuração desta variável foi realizada nos pontos-chave de entrada das mãos, início da puxada, início da empurrada e saída das mãos da água.

4.7.7 Oscilação do vértex e do ombro

A oscilação vertical dos marcadores corporais do vértex e do ombro foi obtida por meio de videogrametria tridimensional. Para isso, estes dois

marcadores foram digitalizados nas imagens obtidas por duas câmeras dentro da água e duas câmeras fora da água.

A digitalização das imagens foi realizada no *software* Dvideow. Após esse procedimento, os dados de posição dos marcadores foram filtrados com um filtro passa baixa de ordem sete, sendo a frequência de corte determinada por meio da análise residual proposta por Winter (2005).

Por meio da análise tridimensional das coordenadas dos pontos anatômicos, foi possível analisar as características de oscilação vertical ao longo de um ciclo de braçadas para os pontos do vértex e dos ombros.

Os dados de posição vertical de cada um desses marcadores corporais foram utilizados em uma análise de Fourier para obter os coeficientes de seno e de co-seno da frequência fundamental e dos harmônicos dessas oscilações.

A amplitude (C) de cada frequência foi obtida por meio da seguinte equação:

Equação 5

$$C_n = (A_n^2 + B_n^2)^{0,5}$$

Em que A_n e B_n são os coeficientes de co-seno e seno para a “enésima” frequência de Fourier.

4.8 Análise estatística

Para a análise dos dados foram calculadas as médias, desvios e erros-padrão para as variáveis analisadas. Verificou-se a normalidade dos dados por meio do Teste de Shapiro-Wilk e a esfericidade por meio do Teste de Mauchly. Para verificar os efeitos da velocidade relativa (quatro níveis), do nível de desempenho (dois níveis) e do modelo inspiratório (dois níveis) sobre as variáveis analisadas, foi aplicada uma ANOVA para medidas repetidas (modelo misto:

4x3x2) com efeitos principais identificados com post-hoc de Bonferroni, de modo complementar, estatística η^2 foi utilizada para verificar os efeitos de tamanho amostral, para $\alpha < 5 \%$.

5 Resultados e discussão

Esse capítulo é dividido em duas partes. Na primeira, são apresentados os resultados e a discussão do estudo principal, cujas coletas de dados foram realizadas por meio de sistemas de videogrametria bidimensional. A segunda parte é composta pelos resultados e discussão do estudo de um dos casos, cuja coleta dos dados foi realizada por meio de videogrametria tridimensional.

Em ambas as seções, os resultados de cada um dos fatores analisados (modelo inspiratório, velocidade de nado e nível de desempenho) são discutidos imediatamente após a apresentação dos mesmos.

5.1 Análise bidimensional

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados do estudo principal desta dissertação, cuja coleta de dados foi realizada por meio de videogrametria bidimensional.

5.1.1 Resultados dos efeitos do nível de desempenho

Com relação aos resultados das variáveis cinemáticas de percurso, o grupo de nadadores avançados apresentou maiores valores de velocidade de nado ($F = 30,285$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,591$), frequência de ciclos ($F = 5,460$; $p = 0,029$; $\eta^2 = 0,206$) e índice de nado ($F = 12,586$; $p = 0,002$; $\eta^2 = 0,375$), mas sem diferenças

na distância percorrida por ciclo de braçadas ($F = 1,203$; $p = 0,285$; $\eta^2 = 0,054$), conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Resultados das variáveis cinemáticas de percurso: velocidade de nado (VN), frequência de ciclos (FC), distância percorrida por ciclo (DC) e índice de nado (IN) para os dois grupos de nadadores avaliados (média \pm erro-padrão).

Grupo	VN ($m \cdot s^{-1}$)	FC ($ciclos \cdot min^{-1}$)	DC (m)	IN ($m^2 \cdot s^{-1}$)
Iniciante	1,09 \pm 0,03	35,9 \pm 1,8	1,87 \pm 0,08	2,05 \pm 0,13
Avançado	1,34 \pm 0,03*	41,3 \pm 1,4*	1,99 \pm 0,06	2,64 \pm 0,10*

*Diferença entre os grupos, para $p < 0,05$.

A Figura 14 apresenta os resultados da comparação dos ângulos de ataque do tronco nos diferentes pontos-chave analisados. O grupo de nível avançado apresentou menores ângulos de ataque nos pontos-chave de entrada das mãos na água ($F = 15,684$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,440$), início da puxada ($F = 23,212$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,537$) e saída das mãos da água ($F = 9,731$; $p = 0,005$; $\eta^2 = 0,327$). Não houve diferença entre os grupos para o ponto de início da empurrada ($F = 0,016$; $p = 0,901$; $\eta^2 = 0,001$).

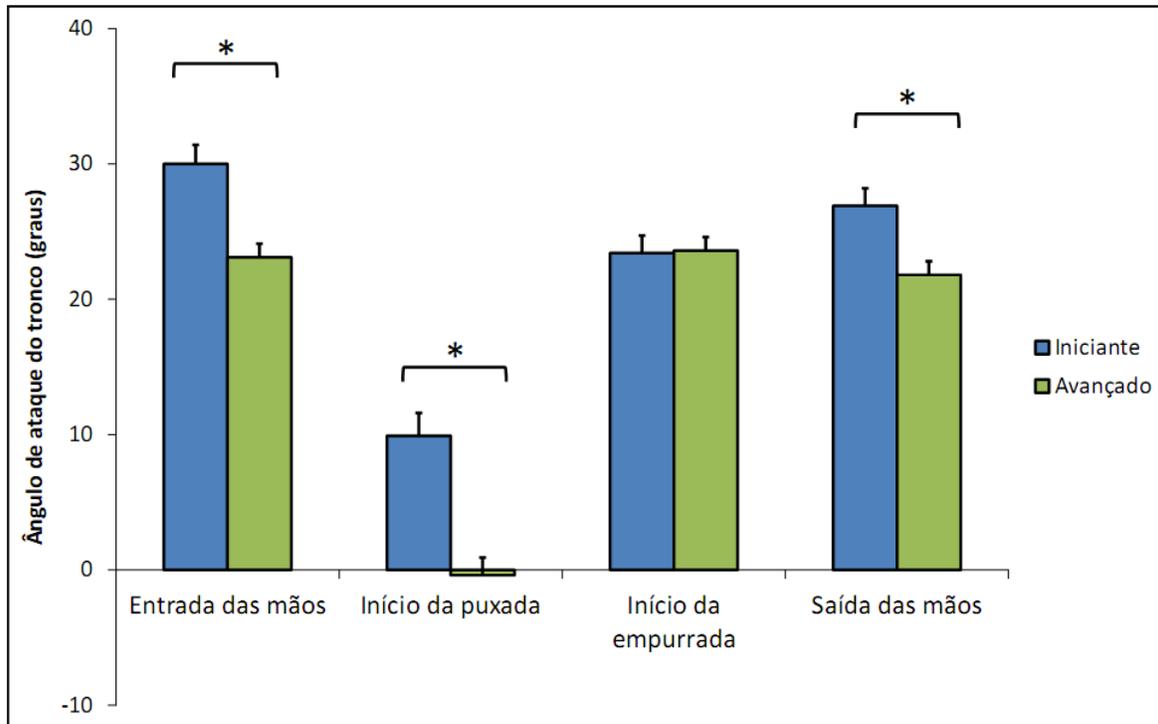


Figura 14. Ângulo de ataque do tronco nos diferentes pontos-chave para os dois grupos de nadadores avaliados (média \pm erro-padrão).

* Diferença entre grupos, para $p < 0,05$.

Quando analisadas as durações relativas das fases da braçada, o grupo de nadadores de nível avançado apresentou menor duração na fase de entrada e apoio ($F = 15,928$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,431$) e maior duração na fase de recuperação ($F = 34,340$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,621$), como pode ser observado na Tabela 3. Não foram encontradas diferenças entre os grupos para a duração relativa das fases de puxada ($F = 0,681$; $p = 0,419$; $\eta^2 = 0,031$), empurrada ($F = 1,201$; $p = 0,286$; $\eta^2 = 0,054$) e duração propulsiva ($F = 1,464$; $p = 0,240$; $\eta^2 = 0,065$).

Tabela 3. Duração relativa das fases da braçada para os dois grupos avaliados. (média \pm erro-padrão).

Grupo	Entrada e apoio (%)	Puxada (%)	Empurrada (%)	Recuperação (%)	Duração propulsiva (%)
Iniciante	48,6 \pm 2,1	19,0 \pm 1,3	15,4 \pm 0,8	16,9 \pm 1,1	34,4 \pm 1,6
Avançado	38,1 \pm 1,6*	20,4 \pm 1,0	16,6 \pm 0,7	25,0 \pm 0,9*	36,9 \pm 1,3

* Diferença entre os grupos, para $p < 0,05$.

Por outro lado, quando analisadas as durações relativas das fases da pernada, nenhuma delas foi diferente entre o grupo de nadadores iniciantes e o grupo de nadadores de nível avançado. A Tabela 4 mostra a comparação dos valores de D1 ($F = 0,001$; $p = 0,970$; $\eta^2 < 0,001$), A1 ($F = 0,753$; $p = 0,395$; $\eta^2 = 0,035$), D2 ($F = 0,029$; $p = 0,866$; $\eta^2 = 0,001$) e A2 ($F = 0,735$; $p = 0,401$; $\eta^2 = 0,034$).

Tabela 4. Duração relativa das fases da pernada para os dois grupos avaliados (média \pm erro-padrão).

Grupo	D1 (%)	A1 (%)	D2 (%)	A2 (%)
Iniciante	12,7 \pm 0,8	40,2 \pm 1,5	13,4 \pm 0,9	33,7 \pm 1,6
Avançado	12,7 \pm 0,6	41,8 \pm 1,2	13,6 \pm 0,7	31,9 \pm 1,6

Os resultados da diferença temporal entre os pontos-chave de braços e pernas para a análise da coordenação de membros são apresentados na Figura 15. Nesta figura é possível visualizar que as diferenças temporais foram menores (mais próximo de zero) no grupo de nível avançado para T2 ($F = 10,359$; $p = 0,004$; $\eta^2 = 0,330$), T3 ($F = 22,016$; $p < 0,001$), T4 ($F = 10,670$; $p = 0,004$; $\eta^2 = 0,337$) e TTG ($F = 15,336$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,422$), mas não foram diferentes para T1 ($F = 0,050$; $p = 0,825$; $\eta^2 = 0,002$).

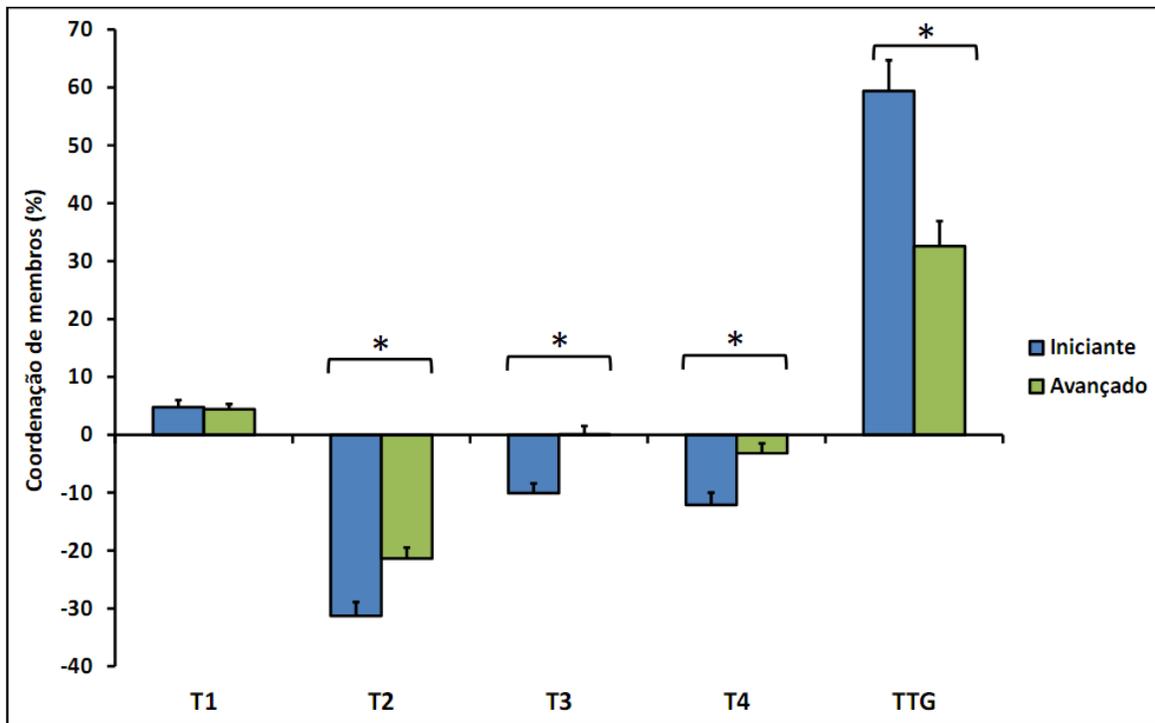


Figura 15. Diferença temporal relativa entre pontos-chave do movimento de braços e pernas para os dois grupos avaliados (média \pm erro-padrão).

* Diferença entre grupos, para $p < 0,05$.

Dividindo o nado em duas fases de propulsão principais, como mostra a Figura 16, os nadadores do grupo de nível avançado apresentaram uma maior duração relativa de DP2 ($F = 9,390$; $p = 0,006$; $\eta^2 = 0,309$), a qual representa o tempo decorrido entre o início da fase de puxada da braçada e o final da fase descendente do segundo batimento de pernas. A duração relativa da fase DP1 representa a duração da fase descendente do primeiro batimento de pernas e, portanto, não foi diferente entre os grupos, como já apresentado ($F = 0,005$; $p = 0,944$; $\eta^2 < 0,001$).

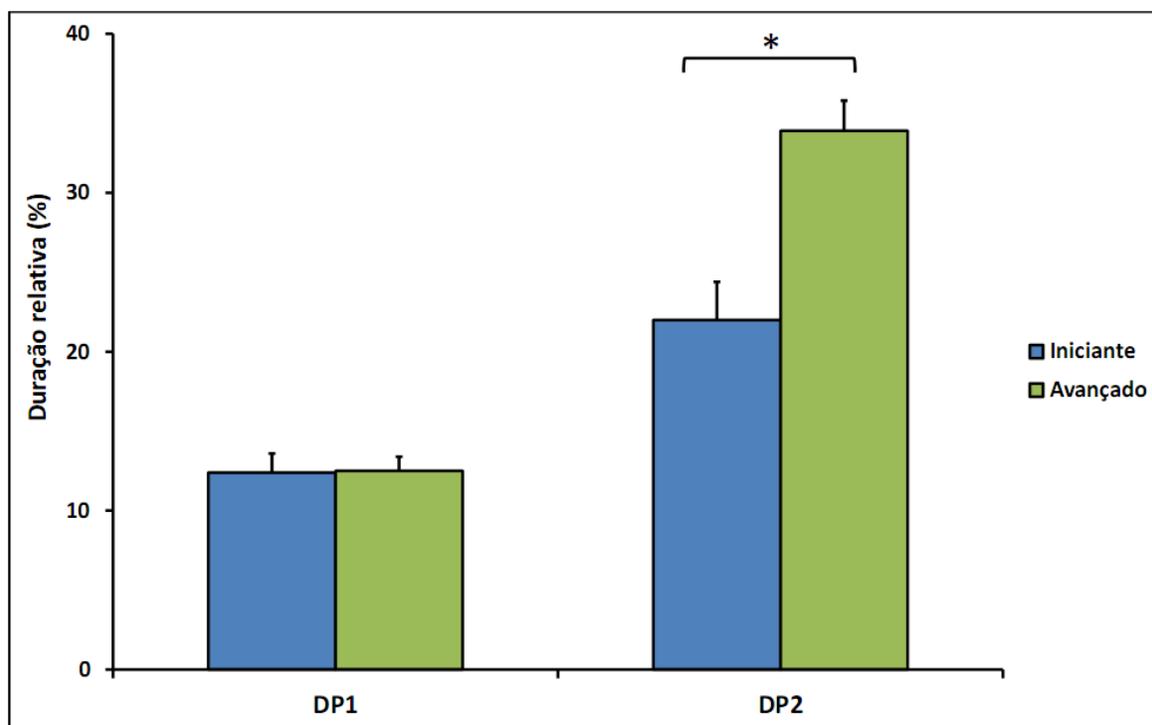


Figura 16. Duração das duas fases de propulsivas gerais do nado borboleta para os dois grupos avaliados. (média \pm erro-padrão)

* Diferença entre grupos, para $p < 0,05$.

5.1.2 Discussão dos efeitos do nível de desempenho

A hipótese deste estudo para os efeitos do nível de desempenho sobre as variáveis cinemáticas de percurso foi parcialmente confirmada já que o grupo de nível avançado apresentou maiores valores de velocidade de nado e índice de nado. Esperava-se que este grupo nadaria a maiores velocidades por meio de uma maior distância percorrida por ciclos, visto que esta variável tem sido considerada um bom indicador da técnica de nado (COSTILL et al., 1985; KESKINEN et al., 1989; TOUSSAINT e BEEK, 1992), porém isso não se confirmou.

No estudo de Seifert et al. (2008), cujos procedimentos metodológicos foram muito similares aos do presente estudo, foram comparados grupos de atletas com diferentes níveis no nado borboleta. Ao contrário do presente estudo,

os nadadores mais habilidosos apresentaram menor frequência de ciclos e maiores valores de distância percorrida por ciclo de braçadas. O mesmo comportamento foi observado no nado *crawl* por Seifert, Chollet e Rouard (2007) e no nado peito por Leblanc et al, (2005). O nível dos grupos avaliados possivelmente explique a diferença no comportamento dessas variáveis já que nos estudos citados foram comparados nadadores já experientes, divididos em grupo de elite e grupo não-elite, ao passo que o presente estudo comparou um grupo de atletas de nível avançado, com maior experiência, e um grupo de nível iniciante, composto por nadadores ainda muito jovens. Isso pode ser confirmado com os resultados apresentados por Seifert et al. (2007) que compararam o nado borboleta em grupos de três diferentes níveis (elite, não-elite e iniciantes), que mostraram que nadadores de elite e não-elite nadaram a maiores velocidades do que os nadadores iniciantes à custa de uma maior frequência de ciclos, já que não houve diferenças na distância percorrida por ciclo entre os grupos, indo ao encontro dos resultados do presente estudo. Mesmo assim, estes resultados vão de encontro à afirmação de Kjendlie, Stallman e Stray-Gundersen (2004), os quais justificaram os menores valores de frequência de ciclos de nadadores adultos durante o nado *crawl* em velocidades submáximas, quando comparados a crianças, devido à maior área de superfície da mão e dos membros. Uma possível explicação para a maior frequência de ciclos no grupo de nível avançado seja que o nado borboleta, por ser uma técnica simultânea, descontínua e com maior variação de posição vertical, exija uma melhor técnica e coordenação de nado para se executar essa maior frequência gestual.

O nado borboleta, assim como a técnica de peito, se caracteriza por uma acentuada variação da posição vertical de diferentes partes do corpo, pois, devido à simultaneidade das ações dos membros, a respiração é realizada por meio de uma rotação no eixo transversal, ao contrário das técnicas de nado alternadas, nas quais a respiração é realizada por meio de uma rotação em torno do eixo longitudinal. Com essa rotação no eixo transversal ocorre uma alteração no alinhamento horizontal do corpo na água, o que leva a maior área frontal projetada e, conseqüentemente maior arrasto hidrodinâmico (ZAMPARO et al., 2009). Desta

forma esperava-se que nadadores de nível avançado fossem capazes de minimizar essas variações no alinhamento horizontal do corpo, o que foi confirmado com os resultados do ângulo de ataque do tronco nos diferentes pontos-chave analisados. Os nadadores de nível avançado apresentaram menores ângulos de ataque nos pontos-chave de entrada das mãos, início da puxada e saída das mãos da água quando comparados ao grupo de nível iniciante. Esses resultados vão ao encontro dos achados de Kjendlie et al. (2004) que encontraram menores valores de ângulo de ataque em nadadores adultos quando comparados a crianças durante o nado *crawl* executado em velocidades submáximas. Por essa variável estar relacionada positivamente com o arrasto hidrodinâmico e negativamente com a economia de nado (KJENDLIE, P. L. et al., 2004; ZAMPARO et al., 2009), um direcionamento adequado do treinamento para a redução na sua magnitude assume um papel determinante para a melhoria do desempenho.

Comparando a duração relativa das fases da braçada, os nadadores de nível avançado apresentaram uma menor duração relativa na fase de entrada e apoio e uma maior duração relativa na fase de recuperação, com relação ao grupo de nível iniciante. Esses resultados confirmam parcialmente as hipóteses sobre os efeitos do nível de desempenho sobre a duração relativa das fases da braçada, já que se esperava uma maior duração relativa das fases propulsivas no grupo de nível avançado. Chollet et al. (2000), analisando a duração relativa das fases da braçada no nado *crawl*, também encontraram uma redução na duração da fase de entrada e apoio da braçada quanto maior fosse o nível de desempenho. Seifert et al. (2007), em um estudo com procedimentos metodológicos semelhantes aos do presente estudo, observaram comportamento similar para a duração relativa da fase de entrada e apoio, que diminuiu à medida que se aumentava o nível de desempenho. Porém, ao contrário do presente estudo, a duração relativa da fase de empurrada também foi sensível ao nível de desempenho, havendo uma maior duração desta fase no grupo de nadadores de elite, quando comparado ao grupo de iniciantes. A divergência entre os resultados talvez se deva ao fato de que os nadadores de elite do estudo de Seifert et al. (2007) possuem um nível de

desempenho superior aos atletas do grupo de nível avançado do presente estudo. Isso se confirma analisando-se os resultados que não indicam diferenças na comparação da duração da fase de puxada entre o grupo de nível iniciante e o grupo não-elite, o qual possui nível de desempenho semelhante ao grupo de nível avançado deste estudo. Quanto à maior duração relativa da fase de recuperação encontrada no grupo de nível avançado, isso se deve à menor duração relativa da fase de entrada e apoio neste grupo. Chollet et al. (2000) sugerem que esse comportamento esteja relacionado à menor duração relativa da fase de entrada e apoio em maiores velocidades de nado, o que se aplica aos resultados deste estudo considerando que os nadadores de nível avançado apresentaram maiores velocidades de nado do que o grupo de nadadores iniciantes.

Assim como no estudo de Seifert et al. (2007), a duração relativa das quatro fases da pernada não foi diferente entre os grupos avaliados. Desta forma, a organização das fases da braçada com relação às fases da pernada ou, ainda, a divisão do nado borboleta em dois tempos propulsivos principais, parecem ser as variáveis mais relevantes na análise dos efeitos do nível do desempenho, ao invés da duração isolada das fases de cada par de membros.

De fato, ao se analisar as duas fases propulsivas principais do nado borboleta, o grupo de nível avançado apresentou uma maior duração relativa de DP2, o que mostra a importância em se analisar as durações propulsivas do nado como um todo, já que ao se analisar isoladamente as ações de braços e de pernas não foram encontradas diferenças nas durações das fases propulsivas. Estes resultados indicam que os nadadores de nível avançado puderam otimizar a sua propulsão com as fases de puxada, empurrada e D2, de forma que houvesse uma maior sobreposição das fases de empurrada e D2, o que levaria a uma maior aceleração horizontal (CHOLLET et al., 2006).

Como esperado, o grupo de nível avançado apresentou uma menor diferença temporal entre pontos-chave dos movimentos de braços e pernas, tanto para o TTG (nível iniciante: $59,4 \pm 5,3\%$; nível avançado: $32,6 \pm 4,3\%$) que representa a coordenação entre membros de maneira global, quanto para T2, T3 e T4. Isso significa que os nadadores de nível avançado foram capazes de executar

a técnica de borboleta com uma maior continuidade nas ações de braços e pernas. Com relação ao T2, os atletas de nível avançado apresentaram um menor tempo em deslize entre o final de D1 e o início da fase de puxada (nível iniciante: $-21,4 \pm 1,9\%$; nível avançado: $-31,3 \pm 2,4\%$). A duração relativa de T3 no grupo de nível avançado foi de $0,1 \pm 1,4\%$, iniciando a fase de empurrada em sincronismo com o início de D2, ao passo que no grupo de nível iniciante foi de $-10,1 \pm 1,7\%$, iniciando a fase de empurrada após o início de D2. A duração relativa de T4, por sua vez, foi de $-3,2 \pm 1,7\%$ no grupo de nadadores avançados e de $-12,1 \pm 2,1\%$ no grupo de nível iniciante, o que mostra um maior tempo de atraso entre o final de D2 e o final da fase de empurrada neste último grupo. Seifert et al. (2008) encontraram resultados similares ao compararem grupos com dois níveis de desempenho distintos, com exceção da variável T4 que não foi diferente entre os grupos avaliados naquele estudo. Essa diferença se justifica, visto que os dois grupos comparados por Seifert et al. (2008) eram compostos por nadadores já experientes, ao contrário do presente estudo em que um dos grupos era composto por nadadores iniciantes.

Os resultados deste estudo vão ao encontro de uma série de outros que avaliaram os efeitos de restrições do organismo, como o nível de desempenho, sexo ou especialidade de prova, sobre as variáveis coordenativas em natação. A maioria destes estudos foi realizada por um grupo de pesquisadores franceses, a partir dos anos 2000. Chollet et al. (2000), por exemplo, ao comparar grupos de nadadores de diferentes níveis, no estudo em que propuseram a utilização de um índice de coordenação de braços para o nado crawl, verificaram uma maior continuidade na coordenação de braços em nadadores com nível de desempenho elevado, quando comparado a grupos de nível de desempenho inferior e intermediário. Também no nado crawl, Seifert, Chollet e Chatard (2007), comparando grupos de três diferentes níveis de desempenho durante uma prova de 100 m, e Seifert, Chollet e Rouard (2007), comparando grupos divididos por sexo e nível de experiência, observaram que o índice de coordenação aumentava junto com o nível de desempenho e que nadadores de elite do sexo masculino possuem um maior índice de coordenação do que nadadoras de elite. No nado

peito, Takagi et al. (2004), comparando nadadores finalistas e nadadores que não passaram das séries eliminatórias do campeonato mundial de natação realizado em Fukuoka, 2011, e Leblanc et al. (2005), comparando nadadores de elite e de nível inferior, também observaram uma maior continuidade entre as ações de braços e pernas nos grupos com nível de desempenho mais elevado.

5.1.3 Resultados dos efeitos do modelo inspiratório

Não houve efeito do modelo inspiratório sobre os valores de frequência de ciclos ($F = 1,042$; $p = 0,345$; $\eta^2 = 0,047$), ao contrário das variáveis de distância percorrida por ciclo ($F = 6,176$; $p = 0,004$; $\eta^2 = 0,227$) e índice de nado ($F = 19,583$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,483$). Os valores das variáveis cinemáticas de percurso estão presentes na tabela 5, juntamente com as indicações dos respectivos efeitos principais das comparações entre modelos inspiratórios.

Tabela 5. Efeitos do modelo inspiratório sobre as variáveis cinemática de percurso frequência de ciclos (FC), distância percorrida por ciclo (DC) e índice de nado (IN). Resultados expressos em forma de média \pm erro-padrão.

	FC (ciclos·min ⁻¹)	DC (m)	IN (m ² ·s ⁻¹)
Frontal	38,2 \pm 1,3	1,92 \pm 0,05	2,28 \pm 0,08*
Lateral	38,9 \pm 1,1	1,90 \pm 0,05*	2,30 \pm 0,08§
Não-inspiratório	38,8 \pm 1,2	1,98 \pm 0,06*	2,45 \pm 0,94*§

Símbolos iguais indicam diferença entre modelos inspiratórios, para $p < 0,05$.

Os ângulos de ataque do tronco sofreram efeito do modelo inspiratório nos diferentes pontos-chave analisados, sendo eles o ponto de entrada das mãos na água ($F = 17,000$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,459$), início da puxada ($F = 16,445$; $p < 0,001$), início da empurrada ($F = 26,942$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,574$) e saída das mãos da água ($F = 14,653$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,423$). Os resultados para cada modelo inspiratório com os respectivos efeitos principais da comparação entre modelos inspiratórios são apresentados na Figura 17.

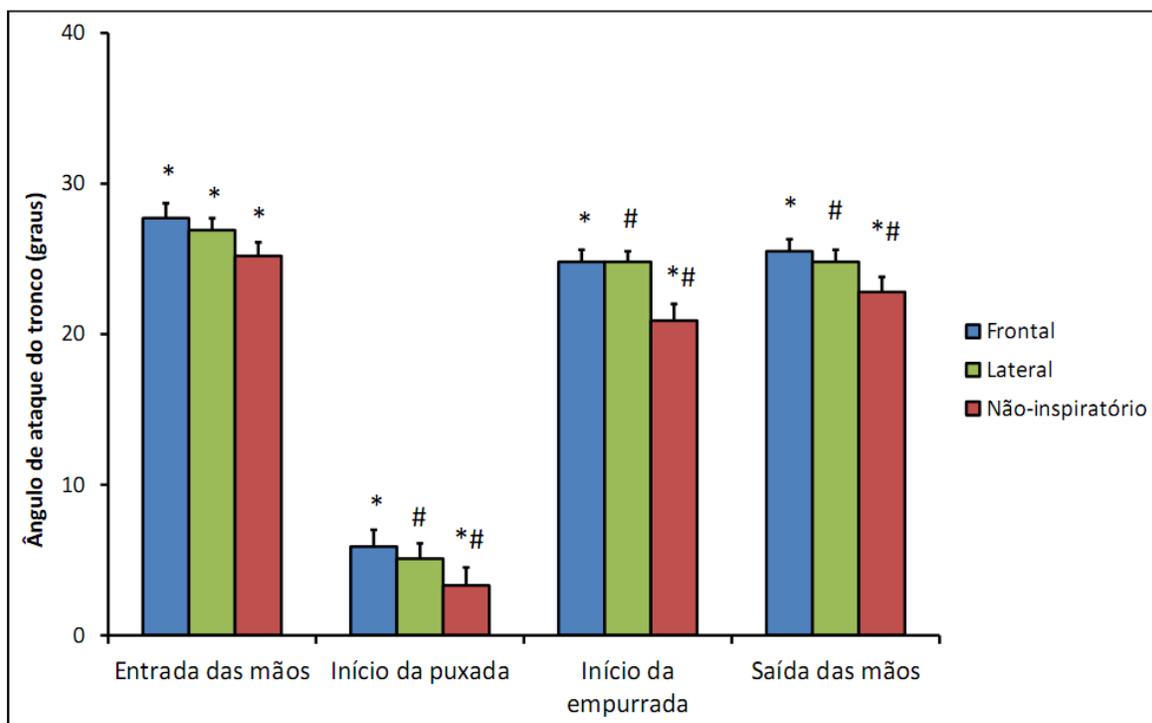


Figura 17. Ângulo de ataque do tronco nos diferentes pontos-chave da braçada para os modelos inspiratórios avaliados (média \pm erro-padrão). Símbolos iguais indicam diferença entre modelos inspiratórios, para $p < 0,05$.

Não foram encontrados efeitos do modelo inspiratório sobre a duração das fases da braçada de entrada e apoio ($F = 2,732$; $p = 0,091$), puxada ($F = 1,020$; $p = 0,369$; $\eta^2 = 0,046$), empurrada ($F = 4,309$; $p = 0,032$; $\eta^2 = 0,170$), recuperação ($F = 0,483$; $p = 0,532$; $\eta^2 = 0,022$) e duração propulsiva total ($F = 2,821$; $p = 0,071$; $\eta^2 = 0,118$), como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6. Duração relativa das fases da braçada para os modelos de inspiração frontal, lateral e ciclos não-inspiratórios (média \pm erro-padrão).

	Entrada e apoio (%)	Puxada (%)	Empurrada (%)	Recuperação (%)	Duração propulsiva (%)
Frontal	44,3 \pm 1,4	19,4 \pm 0,8	15,9 \pm 0,5	20,5 \pm 0,7	35,3 \pm 1,0
Lateral	43,7 \pm 1,4	19,6 \pm 0,7	15,5 \pm 0,6	21,2 \pm 1,1	35,1 \pm 1,1
Não-inspiratório	42,1 \pm 1,5	20,1 \pm 1,0	16,5 \pm 0,64	21,3 \pm 0,7	36,6 \pm 1,2

Da mesma forma, como mostra a Tabela 7, não foram encontradas diferenças entre os modelos inspiratórios na duração relativa das fases da perna D1 ($F = 0,066$; $p = 0,936$; $\eta^2 = 0,003$), A1 ($F = 2,364$; $p = 0,106$; $\eta^2 = 0,101$), D2 ($F = 0,864$; $p = 0,429$; $\eta^2 = 0,040$) e A2 ($F = 1,763$; $p = 0,197$; $\eta^2 = 0,077$).

Tabela 7. Duração relativa das fases da perna para os modelos de inspiração frontal, inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios (média \pm erro-padrão).

	D1 (%)	A1 (%)	D2 (%)	A2 (%)
Frontal	12,6 \pm 0,6	40,8 \pm 1,0	13,4 \pm 0,6	33,2 \pm 1,2
Lateral	12,7 \pm 0,5	40,6 \pm 1,0	13,7 \pm 0,6	33,0 \pm 1,2
Não-inspiratório	12,7 \pm 0,5	41,6 \pm 1,0	13,4 \pm 0,5	32,3 \pm 0,9

Quando analisadas as variáveis coordenativas de diferença temporal entre pontos-chave da braçada e da perna, foram encontrados efeitos do modelo inspiratório sobre as variáveis T1 ($F = 5,658$; $p = 0,017$; $\eta^2 = 0,212$) e T3 ($F = 4,842$; $p = 0,013$; $\eta^2 = 0,187$), mas sem efeitos para as demais variáveis de T2 ($F = 1,525$; $p = 0,233$; $\eta^2 = 0,052$), T4 ($F = 2,019$; $p = 0,145$; $\eta^2 = 0,088$) e TTG ($F = 2,255$; $p = 0,117$; $\eta^2 = 0,097$). A Tabela 8 mostra os resultados das variáveis de coordenação de membros para os diferentes modelos inspiratórios, com os respectivos efeitos principais das comparações entre os mesmos.

Tabela 8. Diferença temporal relativa entre pontos-chave da braçada e da perna para os modelos de inspiração frontal, inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios (média \pm erro-padrão).

	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	TTG (%)
Frontal	4,7 \pm 0,8	-27,0 \pm 1,7	-5,3 \pm 1,3	-8,1 \pm 1,5	47,4 \pm 3,9
Lateral	5,0 \pm 0,7*	-26,5 \pm 1,5	-5,7 \pm 1,2*	-7,7 \pm 1,4	46,4 \pm 3,7
Não-inspiratório	4,1 \pm 0,8*	-25,5 \pm 1,6	-4,0 \pm 1,0*	-7,2 \pm 1,2	44,3 \pm 2,9

Símbolos iguais indicam diferença entre modelos inspiratórios, para $p < 0,05$.

Quando dividido em duas fases de propulsão principais no nado, a duração de DP1 ($F = 1,118$; $p = 0,336$; $\eta^2 = 0,051$) e DP2 ($F = 3,143$; $p = 0,053$; $\eta^2 = 0,130$) não foram diferentes entre os modelos inspiratórios, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9. Duração das duas fases de propulsão do nado borboleta para os modelos de inspiração frontal, inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios (média \pm erro-padrão).

	DP1 (%)	DP2 (%)
Frontal	12,6 \pm 0,6	27,2 \pm 2,1
Lateral	12,6 \pm 0,6	27,7 \pm 2,0
Não-inspiratório	12,2 \pm 0,5	29,0 \pm 1,8

5.1.4 Discussão dos efeitos do modelo inspiratório

Sob o ponto de vista das variáveis cinemáticas de percurso, independente da velocidade de nado e do nível de desempenho, o modelo de ciclos não inspiratórios se mostrou uma técnica de nado mais econômica quando comparado aos modelos de inspiração frontal e de inspiração lateral, considerando as variáveis de distância percorrida por ciclo de braçadas e índice de nado como indicativos da economia de nado (COSTILL et al., 1985; KESKINEN et al., 1989; TOUSSAINT e BEEK, 1992). Barbosa (2000) observou o mesmo comportamento ao comparar os três modelos de inspiração do nado borboleta executado em velocidade máxima de nado. Contudo, ao contrário do presente estudo, o autor observou uma maior frequência de ciclos ao se inspirar lateralmente quando comparado ao modelo de inspiração frontal. Essa divergência de resultados no comportamento dessa variável possivelmente esteja relacionada à diferença de velocidade imposta entre os estudos, já que o protocolo experimental de Barbosa (2000) consistia da execução de três repetições de 25 m em velocidade máxima de nado, para cada modelo inspiratório, o que permitia diferenças de desempenho entre cada modelo de inspiração, ao contrário do presente estudo, no qual as velocidades de nado impostas foram prescritas e controladas de forma igual para as três condições de respiração.

Analisando a técnica de nado mais detalhadamente, é possível especular que a maior distância percorrida por ciclo e o maior índice de nado durante a execução de ciclos não-inspiratórios seja decorrente dos menores ângulos de ataque do tronco observados nos pontos-chave de entrada das mãos, início da puxada, início da empurrada e saída das mãos da água, quando comparado às condições de inspiração frontal e inspiração lateral, sabendo que esta variável é diretamente proporcional à área frontal projetada e, conseqüentemente, ao arrasto hidrodinâmico (ZAMPARO et al., 2009). Barbosa (2000) também encontrou menores ângulos de ataque do tronco durante a execução de ciclos não inspiratórios, quando comparado aos modelos de inspiração frontal e lateral, no final da varredura para fora, no final da varredura para dentro e na saída das mãos da água, mas sem diferença entre os modelos no ponto de entrada das mãos. Tanto no presente estudo quanto no estudo de Barbosa (2000), o ângulo de ataque do tronco ao se inspirar lateralmente só foi menor do que no modelo de inspiração frontal em um ponto-chave, que foi o ponto de entrada das mãos, no presente estudo, e no final da varredura para fora, no estudo citado.

As durações relativas das fases da braçada não foram diferentes entre os modelos inspiratórios avaliados. Estes resultados vão de encontro ao estudo de Barbosa (2000), o qual encontrou, para o modelo de ciclos não-inspiratórios, menor duração relativa nas fases não propulsivas de varredura para fora, quando comparado ao modelo de inspiração lateral (não-inspiratório: $24,3 \pm 3,3\%$; lateral: $28,5 \pm 4,1\%$), e de recuperação, quando comparado ao modelo de inspiração frontal (não-inspiratório: $26,7 \pm 4,3\%$; frontal: $31,2 \pm 3,3\%$). No estudo citado, o modelo de ciclos não-inspiratórios ainda apresentou uma maior duração relativa nas fases propulsivas de varredura para dentro, quando comparado aos demais modelos (não-inspiratório: $16,2 \pm 2,6\%$; frontal: $12,6 \pm 2,6\%$; lateral: $13,4 \pm 1,8\%$) e de fase ascendente, quando comparado ao modelo de inspiração frontal (não-inspiratório: $16,0 \pm 1,9\%$; frontal: $11,3 \pm 2,8\%$). Todavia, as restrições impostas pela tarefa (e também pelo ambiente) no protocolo experimental de Barbosa (2000), com testes realizados em velocidade máxima de nado, foram diferentes

das do presente estudo, no qual as velocidades de nado foram submáximas e controladas para as três condições de respiração.

As durações das fases da pernada também apresentaram diferenças entre os modelos inspiratórios no estudo de Barbosa (2000), ao contrário deste estudo. No estudo citado, foi observada uma maior duração relativa de D2 ao se inspirar lateralmente, comparado ao modelo de ciclos não-inspiratórios (lateral: $23,5 \pm 5,5\%$; não-inspiratório: $13,3 \pm 2,4\%$), e uma menor duração relativa de A2 quando comparados os modelos de inspiração lateral e frontal (lateral: $23,3 \pm 3,0\%$; frontal: $28,6 \pm 4,0\%$). Já no estudo de Seifert, Chollet e Sanders (2010), as diferenças encontradas foram em relação a uma menor duração relativa de D1 (frontal: $15,8 \pm 3,4\%$; não-inspiratório: $17,3 \pm 2,3\%$) e uma maior duração relativa de A1 com a inspiração frontal (frontal: $32,0 \pm 6,0\%$; não-inspiratório: $29,7 \pm 3,8\%$), em um protocolo similar ao do presente estudo, mas com alternância destes dois modelos inspiratórios dentro de cada repetição de 25 m, o que não foi avaliado no nosso protocolo experimental.

No que diz respeito à coordenação de membros, de maneira global, não houve efeitos dos modelos inspiratórios sobre o TTG. Porém, ao se executar ciclos não-inspiratórios houve um maior acoplamento entre os pontos-chave de entrada das mãos e início de D1 (lateral: $T1 = 5,0 \pm 0,7\%$; não-inspiratório: $T1 = 4,1 \pm 0,8\%$) e entre os pontos-chave de início da puxada e início de D2 (lateral: $T3 = -5,7 \pm 1,2\%$; não-inspiratório: $T3 = -4,0 \pm 1,0\%$). Estes resultados foram diferentes dos encontrados por Seifert, Chollet e Sanders (2010), os quais, ao comparar ciclos de braçada com inspiração frontal e ciclos não-inspiratórios, observaram um maior tempo em deslize entre o final de D1 e o início da puxada (frontal: $T2 = -12,2 \pm 3,9\%$; não-inspiratório: $T2 = -9,1 \pm 3,7\%$) e um maior acoplamento entre a saída das mãos e o final de D2 ao se realizar a inspiração frontal (frontal: $T4 = -1,1 \pm 2,8\%$; não-inspiratório: $T4 = -2,8 \pm 3,4\%$). Considerando a coordenação de maneira global, os autores observaram uma maior continuidade entre as ações propulsivas de braços e pernas ao se executar ciclos não-inspiratórios (frontal: $TTG = 23,3 \pm 8,7\%$; não-inspiratório: $19,7 \pm 7,8\%$). Porém, a

comparação entre os resultados do presente estudo e os de Seifert, Chollet e Sanders (2010) é limitada por eles terem avaliado nadadores de elite franceses, finalistas de campeonato nacional e/ou ranqueados internacionalmente, ao contrário do presente estudo em que, mesmo o grupo de nível avançado, os atletas não atingiam o mesmo desempenho dos atletas franceses. Cabe ressaltar, ainda, que ao contrário do referido estudo, os modelos inspiratórios foram avaliados separadamente, executando um único modelo em cada tentativa, na tentativa de se controlar a velocidade imposta e minimizar os efeitos da respiração em alternância sobre a técnica de nado.

Os efeitos das ações inspiratórias sobre a coordenação de nado também já foram avaliados no nado *crawl* por Seifert, Chollet e Allard (2005), os quais avaliaram nadadores durante uma prova de 100 m, observando assimetrias na coordenação de braços nos nadadores que tinham preferência por um dos lados ao respirar, ao contrário de nadadores que habitualmente executavam respiração bilateral. Outro estudo que comparou a simetria na coordenação de braços do nado *crawl* sob diferentes padrões de respiração, encontrou um menor índice de assimetria ao se respirar a cada três braçadas, ao não se respirar e com a utilização de *snorkel* (SEIFERT, CHEHENSSE et al., 2008), o que fortaleceu a hipótese de que se encontrariam efeitos da respiração sobre a coordenação de nado no presente estudo, o que se confirmou parcialmente.

5.1.5 Resultados dos efeitos da velocidade de nado

As variáveis cinemáticas de percurso sofreram efeitos da velocidade de nado, sendo que com o aumento da VN ($F = 283,501$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,931$), houve um aumento da frequência de ciclos ($F = 112,748$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,843$), redução da distância percorrida por ciclo ($F = 23,496$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,227$) e aumento do índice de nado ($F = 17,058$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,483$). A Tabela 10 mostra os valores de cada uma das variáveis cinemáticas de percurso com os respectivos efeitos principais da comparação entre as velocidades.

Tabela 10. Efeitos da velocidade de nado imposta sobre as variáveis cinemáticas de percurso velocidade de nado (VN), frequência de ciclos (FC), distância percorrida por ciclo (DC) e índice de nado (IN), com resultados expressos em forma de média \pm erro-padrão.

	VN ($m \cdot s^{-1}$)	FC (ciclos $\cdot min^{-1}$)	DC (m)	IN ($m^2 \cdot s^{-1}$)
80%	1,06*	31,4 \pm 1,2*	2,06 \pm 0,06 *	2,18 \pm 0,07*§
90%	1,16*	35,7 \pm 1,2*	1,99 \pm 0,06 §	2,34 \pm 0,09§
100%	1,26*	40,4 \pm 1,3*	1,89 \pm 0,05 *§	2,40 \pm 0,09*
110%	1,37*	46,9 \pm 1,3*	1,78 \pm 0,04 *§	2,45 \pm 0,08*

Símbolos iguais indicam diferença da variável entre as velocidades de nado, para $p < 0,05$.

Quanto aos ângulos de ataque do tronco, houve efeitos da velocidade de nado nos pontos-chave de entrada das mãos ($F = 18,104$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,475$), início da puxada ($F = 10,162$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,337$) e saída das mãos da água ($F = 3,676$; $p = 0,048$; $\eta^2 = 0,155$), mas não no ponto-chave de início da empurrada ($F = 2,318$; $p = 0,116$; $\eta^2 = 0,104$). Os valores de cada uma das variáveis são apresentados na Tabela 11, juntamente com os efeitos principais das comparações entre as velocidades de nado.

Tabela 11. Ângulos de ataque do tronco nos diferentes pontos-chave da braçada para as velocidades de nado avaliadas (média \pm erro-padrão).

	Ângulo de ataque (graus)			
	Entrada das mãos	Início da puxada	Início da empurrada	Saída das mãos
80%	28,0 \pm 0,8*§#	7,1 \pm 1,3*	24,1 \pm 1,0	25,6 \pm 1,0*
90%	27,1 \pm 0,8§	5,0 \pm 1,2§	23,6 \pm 0,9	24,3 \pm 0,6
100%	26,4 \pm 0,9#	4,3 \pm 1,1#	23,6 \pm 0,8	24,3 \pm 1,1§
110%	24,8 \pm 1,0*§#	2,6 \pm 1,1*§#	22,8 \pm 0,7	23,2 \pm 1,0*§

Símbolos iguais indicam diferença entre as velocidades de nado, para $p < 0,05$.

A Tabela 12 mostra os valores de duração relativa das fases da braçada nas diferentes velocidades de nado. Nela é possível observar que, com o aumento da velocidade, houve uma redução na duração relativa da fase de entrada e apoio ($F = 42,730$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,670$) e aumento na duração relativa das fases de puxada ($F = 36,794$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,637$), empurrada ($F = 23,320$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,526$), recuperação ($F = 6,667$; $p = 0,012$; $\eta^2 = 0,241$) e duração propulsiva ($F = 39,284$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,652$).

Tabela 12. Duração relativa das fases da braçada nas diferentes velocidades de nado (média \pm erro-padrão).

	Entrada e apoio (%)	Puxada (%)	Empurrada (%)	Recuperação (%)	Duração propulsiva (%)
80%	49,1 \pm 1,7*	17,2 \pm 0,7*	14,5 \pm 0,7*	19,1 \pm 1,5*	31,8 \pm 1,2*
90%	45,6 \pm 1,5§	18,9 \pm 0,9§	15,6 \pm 0,6*	19,9 \pm 0,7§	34,5 \pm 1,2*
100%	41,9 \pm 1,4*§	20,4 \pm 0,9*§	16,5 \pm 0,5*	21,2 \pm 0,7§	36,9 \pm 1,1*
110%	36,8 \pm 1,3*§	22,3 \pm 0,9*§	17,3 \pm 0,5*	23,7 \pm 0,7*§	39,6 \pm 1,1*

Símbolos iguais indicam diferença entre velocidades, para $p < 0,05$.

As durações relativas das fases da pernada de D1 ($F = 44,273$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,678$) e D2 ($F = 22,999$; $p < 0,001$; $\eta = 0,523$) foram maiores com o aumento da velocidade de nado, ao passo que a duração relativa da fase A1 diminuiu ($F = 16,927$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,446$) e a duração de A2 não foi diferente entre as condições ($F = 0,817$; $p = 0,426$; $\eta^2 = 0,037$), como mostra a Tabela 13.

Tabela 13. Duração relativa das fases da pernada nas diferentes velocidades de nado avaliadas (média \pm erro-padrão).

	D1 (%)	A1 (%)	D2 (%)	A2 (%)
80%	11,0 \pm 0,5*	43,2 \pm 1,4*	12,3 \pm 0,7*	33,4 \pm 1,4
90%	12,2 \pm 0,5*	42,2 \pm 1,1§	12,8 \pm 0,6§	32,8 \pm 1,1
100%	13,2 \pm 0,5*	40,5 \pm 0,9*§	13,9 \pm 0,5*§	32,4 \pm 1,0
110%	14,3 \pm 0,5*	38,1 \pm 0,7*§	14,9 \pm 0,5*§	32,7 \pm 1,0

Símbolos iguais indicam diferença entre velocidades, para $p < 0,05$.

A coordenação de membros também foi diferente entre as velocidades. A Tabela 14, mostra que houve redução das diferenças temporais em T1 ($F = 18,234$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,465$), T2 ($F = 40,380$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,658$), T4 ($F = 7,448$; $p = 0,009$; $\eta^2 = 0,262$) e TTG ($F = 28,891$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,579$), ao contrário de T3 que não foi sensível ao aumento da velocidade de nado ($F = 3,940$; $p = 0,051$; $\eta^2 = 0,158$).

Tabela 14. Diferença temporal relativa entre pontos-chave da braçada e da pernada nas diferentes velocidades de nado avaliadas (média \pm erro-padrão).

	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	TTG (%)
80%	5,9 \pm 0,7*§#	-32,8 \pm 1,8*	-6,7 \pm 1,4	-9,5 \pm 1,5*	56,9 \pm 4,0*
90%	5,2 \pm 0,8§	-28,3 \pm 1,8*	-4,9 \pm 1,2	-7,8 \pm 1,4§	48,1 \pm 3,7*
100%	4,3 \pm 0,9#	-24,6 \pm 1,7*	-4,5 \pm 1,1	-7,0 \pm 1,4#	43,3 \pm 3,8*
110%	2,9 \pm 0,9*§#	-19,7 \pm 1,5*	-3,9 \pm 1,1	-6,3 \pm 1,4*§#	35,8 \pm 3,3*

Símbolos iguais indicam diferenças entre as velocidades, para $p < 0,05$.

Dividindo o nado em duas fases de propulsão principal, ambas as fases sofreram efeitos da velocidade de nado. Como mostra a figura 17, com o aumento da velocidade, houve um aumento na duração relativa de DP1 ($F = 40,405$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,658$) e de DP2 ($F = 28,622$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,577$).

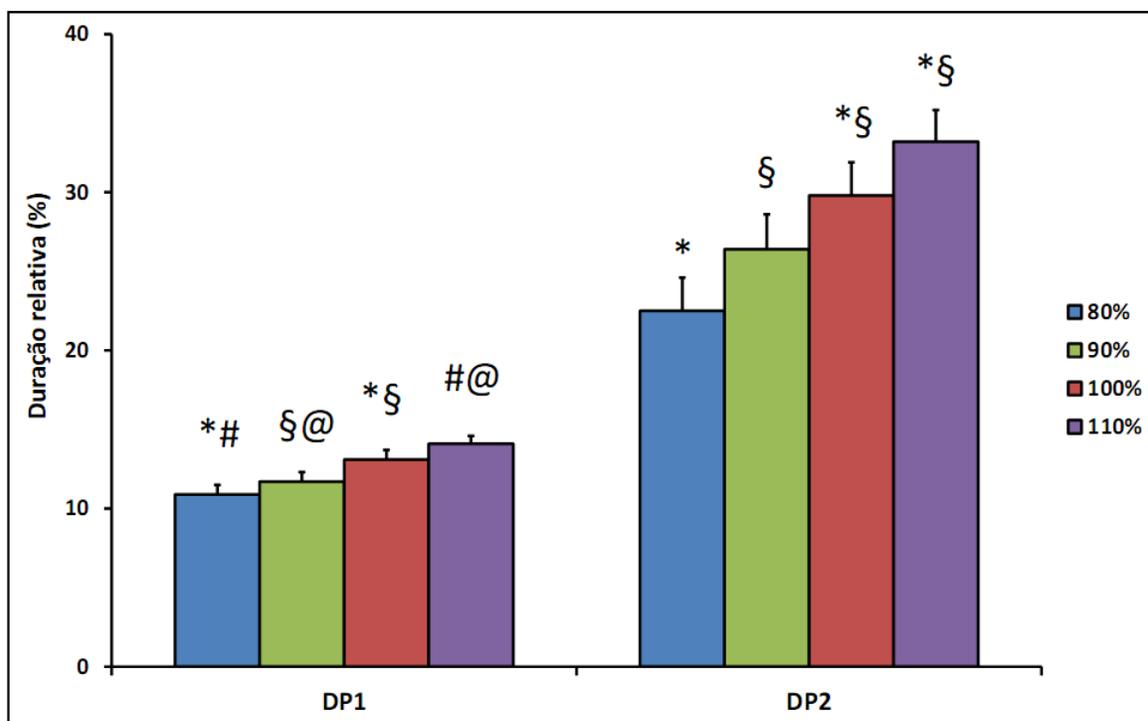


Figura 18. Duração das duas fases de propulsão do nado borboleta para as diferentes velocidades de nado avaliadas (média \pm erro-padrão). Símbolos iguais indicam diferença entre as velocidades, para $p < 0,05$.

5.1.6 Discussão dos efeitos da velocidade de nado

O aumento da velocidade de nado imposta foi acompanhado por um aumento da frequência de ciclos e redução da distância percorrida por ciclo. Como a frequência de ciclos e a distância percorrida por ciclos estão inversamente relacionadas, é natural que haja esta redução na distância percorrida por ciclo de braçada (CRAIG e PENDERGAST, 1979). Outros estudos também já descreveram este comportamento anteriormente, afirmando que o aumento agudo da velocidade de nado se dá por um aumento na frequência gestual e conseqüente redução da distância percorrida por ciclo (CHOLLET et al., 2000; MILLET et al., 2002; CHOLLET et al., 2004; SEIFERT, BOULESTEIX et al., 2004; SEIFERT, CHOLLET et al., 2004; CASTRO et al., 2005; LEBLANC et al., 2005; SEIFERT e CHOLLET, 2005; CASTRO e GUIMARAES, 2006; CHOLLET et al.,

2006; POTDEVIN et al., 2006; SEIFERT, DELIGNIERES et al., 2007; CHOLLET et al., 2008; SCHNITZLER et al., 2008; SEIFERT, BOULESTEIX et al., 2008).

É interessante observar que essa redução da distância percorrida por ciclo não foi proporcional ao aumento da velocidade de nado, visto que o índice de nado aumentou junto com a velocidade imposta. Comportamento semelhante foi observado por Caputo et al. (2000) ao comparar a técnica do nado *crawl* nas provas de 400 m, 200 m, 100 m e 50 m. No estudo citado, houve efeito da distância da prova (e conseqüentemente da velocidade de nado) sobre o índice de nado, havendo um aumento de $3,23 \pm 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para $3,47 \pm 0,6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, da prova dos 400 m para a prova de 50 m. Por outro lado, Castro et al. (2005) observaram um comportamento inconsistente do índice de nado ao comparar a técnica do nado *crawl* de nadadores e triatletas de alto nível em diferentes velocidades, sugerindo que a análise desta variável seria aplicável para nadadores de menor nível técnico. Contudo, os resultados do presente estudo parecem corroborar com a idéia de que a distância percorrida, sendo um indicador de eficiência propulsiva (TOUSSAINT e BEEK, 1992), e reduzindo proporcionalmente menos do que o aumento da velocidade de nado, apresente uma melhor técnica de nado, expressa pelo índice de nado. Ainda, Keskinen et al. (1989) avaliaram 33 nadadores competitivos e observaram uma relação significativa da máxima produção de força na água com as variáveis de distância percorrida por ciclo ($r = 0,59$) e com o índice de nado ($r = 0,825$). Desta forma, o aumento da freqüência de ciclos, no presente estudo, provavelmente tenha sido acompanhado por uma maior aplicação de força na água, o que levou ao aumento da velocidade de nado entre as tentativas.

Houve uma redução do ângulo de ataque do tronco nos pontos-chave de entrada das mãos, início da puxada e saída das mãos da água com o aumento da velocidade de nado. Estes resultados vão ao encontro do estudo de Zamparo et al. (2009), no qual se observou uma redução do ângulo de ataque e, conseqüentemente, da área frontal projetada no ponto de início da empurrada com o aumento da velocidade no nado *crawl*. Segundo Ungerechts e Arellano (2011), quando um corpo entra no ambiente aquático, ocorre uma interação imediata entre

a massa de água deslocada e corpo, devido às propriedades específicas do fluido. Os autores afirmam que todo corpo em movimento, seja em um *swimming flume* ou em repouso, irá deslocar uma determinada massa de água, já que as partículas de água são incapazes de penetrá-lo, e que o fluxo dessas partículas causa efeitos com orientação para todas as direções, os quais são dependentes predominantemente da velocidade entre o corpo e a água. Um desses efeitos seria a força de sustentação, a qual age perpendicularmente ao vetor da velocidade do corpo/fluxo e ao arrasto total. Como essa força é proporcional ao quadrado da velocidade do fluxo/corpo, Lavoie e Montpetit (1986) e Vorontsov e Rummyantsev (2000), afirmam que o corpo tende a assumir uma posição mais horizontal na água com o aumento da velocidade, devido à ação dessa força perpendicular ao deslocamento horizontal.

Com relação às fases da braçada, houve um aumento na duração relativa das fases propulsivas de puxada e empurrada e redução na duração relativa da fase de entrada e apoio, com o aumento da velocidade de nado. A duração relativa da fase de recuperação aumentou, devido à acentuada redução da fase entrada e apoio. Esse mesmo comportamento tem sido demonstrado nas quatro técnicas de nado, principalmente pelo grupo de pesquisadores franceses liderado pelos professores Didier Chollet e Ludovic Seifert, na universidade de Rouen. No nado *crawl*, Chollet et al. (2000) ao comparar a técnica de nado nas velocidades relativas às provas de 800 m, 100 m e 50 m, observaram uma redução na duração relativa da fase de entrada e apoio ($v_{800} = 31,9 \pm 6,0\%$; $v_{50} = 24,5 \pm 5,0\%$) e um aumento na duração relativa das fases de puxada ($v_{800} = 20,6 \pm 4,0\%$; $v_{50} = 24,5 \pm 3,0\%$), de empurrada ($v_{800} = 22,5 \pm 2,5\%$; $v_{50} = 24,5 \pm 3,0\%$) e recuperação ($v_{800} = 25,0 \pm 2,9\%$; $v_{50} = 26,3 \pm 3,0\%$). Chollet, Seifert e Carter (2008) ao comparar a técnica do nado costas de atletas de elite franceses em diferentes velocidades, observaram um aumento na duração relativa das fases propulsivas ($v_{400} = 33,9 \pm 2,9\%$; $v_{50} = 40,0 \pm 3,9\%$) e redução na duração relativa das fases não propulsivas da braçada ($v_{400} = 66,1 \pm 2,9\%$; $v_{50} = 60,0 \pm 3,9\%$). Chollet et al. (2006), ao verificar o efeito da velocidade de nado sobre a técnica de borboleta em nadadores de elite, observaram uma redução na duração relativa da fase de

entrada e apoio ($v400 = 36,1 \pm 5,1\%$; $v50 = 26,3 \pm 4,3\%$) e aumento na duração das fases de puxada ($v400 = 20,3 \pm 2,4\%$; $v50 = 24,4 \pm 4,4\%$), empurrada ($v400 = 21,0 \pm 3,4\%$; $v50 = 22,1 \pm 2,8\%$) e recuperação ($v400 = 22,6 \pm 2,2\%$; $v50 = 27,2 \pm 3,2\%$).

Assim como as fases da braçada, a duração relativa das fases da pernada também se adaptou ao aumento da velocidade de nado imposta. Houve um aumento na duração das fases propulsivas D1 e D2 e redução na duração da fase não-propulsiva A1. Chollet et al. (2006), ao avaliar nadadores de elite, encontraram esse mesmo comportamento somente para a duração relativa de D1, ao comparar a técnica em diferentes velocidades de nado impostas ($v400 = 15,1 \pm 2,3\%$; $v50 = 17,5 \pm 1,7\%$). Em outro estudo semelhante, Seifert, Chollet e Sanders (2010) encontraram um aumento na duração relativa de D1 ($v400 = 15,2 \pm 3,2\%$; $v50 = 17,6 \pm 3,0\%$) e redução na duração relativa de A1 ($v400 = 33,6 \pm 5,8\%$; $v50 = 30,2 \pm 4,6\%$).

Ao se analisar as duas fases propulsivas principais do nado borboleta, no presente estudo, houve aumento na duração relativa tanto de DP1 quanto de DP2 com o aumento da velocidade de nado imposta. Para DP1, este comportamento reflete a duração relativa da fase D1 da pernada e, para DP2, reflete uma maior otimização das ações de puxada, empurrada e D2. Com o aumento na duração relativa das fases propulsivas tanto das fases da braçada quanto das fases da pernada, o nadador tem um maior aproveitamento da técnica (CHOLLET et al., 2000), o que, segundo Chatard et al. (1990), faz com que o nadador consiga tirar vantagem de longos períodos de aplicação de força propulsiva, desta forma gerando uma maior potência nas ações de braços e pernas.

Quanto à coordenação de membros, os resultados do presente estudo mostram uma maior continuidade entre as ações propulsivas de braços e pernas com o aumento da velocidade de nado imposta, como já era esperado. A grande redução do TTG com o aumento da velocidade (de $56,9 \pm 4,0\%$ para $35,8 \pm 3,3\%$) se deve, principalmente, à acentuada redução do tempo em deslize entre o final de D1 e o início da puxada (redução do T2 de $-32,8 \pm 1,8\%$ para $-19,7 \pm 1,5\%$). Cabe ressaltar, ainda, que à medida que se aumentou a velocidade de nado

imposta, houve um maior acoplamento entre a entrada das mãos e o início de D1 (redução do T1 de $5,9 \pm 0,7\%$ para $2,9 \pm 0,9\%$), bem como entre o final de D2 e a saída das mãos da água (redução do T4 de $-9,5 \pm 1,5\%$ para $-6,3 \pm 1,4\%$). Chollet et al. (2006), ao avaliar nadadores de elite, observaram redução apenas do T2 com o aumento da velocidade imposta ($V400 = -17,2 \pm 6,7\%$; $V50 = -8,1 \pm 4,4\%$), o que é compreensível pelo alto nível dos atletas avaliados. Seifert, Chollet e Sanders (2010), por sua vez, ao avaliar a técnica de borboleta, encontraram uma redução do TTG ($v400 = 27,9 \pm 11,1\%$; $v50 = 17,0 \pm 4,9\%$), devido à redução de T1 ($v400 = 3,8 \pm 3,2\%$; $v50 = 1,1 \pm 5,3\%$) e T2 ($v400 = -16,3 \pm 8,5\%$; $v50 = -7,0 \pm 5,1\%$).

Estes resultados vão ao encontro de um grande número de estudos que avaliaram o efeito da velocidade imposta sobre a coordenação de nado. Nas técnicas alternadas, por exemplo, sabe-se que ao se aumentar a velocidade de nado leva-se a uma redução do tempo de atraso entre o final da propulsão de um braço e o início da propulsão do outro, tanto no nado *crawl* (CHOLLET et al., 2000; MILLET et al., 2002; SEIFERT, BOULESTEIX et al., 2004; SEIFERT, CHOLLET et al., 2004; SEIFERT, CHOLLET e ROUARD, 2007; SEIFERT e CHOLLET, 2008) quanto no nado costas (CHOLLET et al., 2008). Nas técnicas de nado simultâneas, tem sido observada uma redução na diferença de tempo relativo dos pontos-chave da braçada e da pernada, o que leva a uma maior continuidade das ações propulsivas de braços e pernas, tanto no nado peito (CHOLLET et al., 2004; LEBLANC et al., 2005; SEIFERT e CHOLLET, 2005; LEBLANC et al., 2008) quanto no nado borboleta (CHOLLET et al., 2006; SEIFERT, DELIGNIERES et al., 2007; SEIFERT, BOULESTEIX et al., 2008; SEIFERT et al., 2010).

Essa maior continuidade entre as ações propulsivas é resultado tanto de adaptações às restrições da tarefa (nadar mais rápido ou menos rápido) quanto do ambiente (SEIFERT, CHOLLET e ROUARD, 2007; CHOLLET e SEIFERT, 2011), já que diferentes velocidades de nado irão acarretar em diferentes magnitudes das forças de arrasto hidrodinâmico (UNGERECHTS e ARELLANO, 2011). Schnitzler et al. (2008) avaliaram a técnica do nado *crawl* de nadadores de elite, os quais executaram repetições de 25 m em cinco diferentes velocidades, relativas às

distâncias de 3000 m, 400 m, 200 m, 100m e 50 m. Os autores afirmam que essas adaptações ao aumento na velocidade imposta ocorre na tentativa de superar um maior arrasto sem que haja aumentos na variação intra-cíclica da velocidade de nado, visto que nadar a uma velocidade maior leva a um aumento quadrático no arrasto total (KOLMOGOROV e DUPLISHCHEVA, 1992). Se não ocorressem tais mudanças no modelo de coordenação, uma maior variação intra-cíclica seria esperada, já que a aplicação de um maior impulso por braçada levaria a um pico de velocidade mais elevado, e o maior arrasto hidrodinâmico levaria a uma redução mais rápida da velocidade intra-cíclica (CHOLLET e SEIFERT, 2011).

5.2 Análise tridimensional

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados do estudo de um dos casos, cuja coleta de dados foi realizada por meio de videogrametria tridimensional. Foram avaliadas as amplitudes de oscilação vertical do vértex e do ombro, no sinal relativo à frequência fundamental (H1).

Participou deste estudo de caso uma atleta do grupo de nadadores iniciantes cujas características estão descritas na Tabela 15.

Tabela 15. Características do sujeito avaliado no estudo de caso, com a idade, desempenho expresso em percentual do recorde mundial na prova dos 100 m borboleta (%RM), massa, estatura e envergadura.

Grupo	Idade (anos)	Desempenho (%RM)	Massa (kg)	Estatura (cm)	Envergadura (cm)
Iniciante	11	61,1	52,7	151	157

5.2.1 Resultados análise tridimensional

A Tabela 16 traz os resultados da amplitude do sinal de oscilação vertical de H1 nos dois marcadores analisados. Pode-se observar que os marcadores do vértex e do ombro apresentam uma maior oscilação nesta frequência.

Tabela 16. Amplitude média da oscilação vertical de H1 para os marcadores do vértex, ombro, quadril, joelho e tornozelo.

	Vértex (m)	Ombro (m)
Frontal	0,88	0,68
Lateral	0,56	0,52
Não-inspiratório	0,44	0,52
Diferença (%): Frontal x Lateral	36,4	23,5
Diferença (%): Frontal x Não-inspiratório	50,0	23,5
Diferença (%): Lateral x Não-inspiratório	21,4	0,0

Quando analisados os efeitos do modelo inspiratório, o modelo de inspiração frontal apresentou uma maior amplitude de oscilação vertical de H1 quando comparado ao modelo de inspiração lateral para os marcadores do vértex (diferença de 36,4%) e do ombro (diferença de 23,5%).

Comparando o modelo de inspiração frontal com o modelo de ciclos não-inspiratórios, essa diferença foi ainda maior para o marcador do vértex (diferença de 50%), mas a diferença na oscilação de H1 para o marcador do ombro foi a mesma (diferença de 23,5%).

A diferença entre os valores de oscilação de H1 entre os modelos de inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios foi mais tênue para o marcador do vértex (21,4%). Contudo, a oscilação de H1 para o marcador do ombro foi a mesma entre os dois modelos inspiratórios (diferença de 0%).

5.2.2 Discussão dos resultados da análise tridimensional

Sabendo que da dominância de H1 na oscilação do vértex e do ombro, no nado borboleta, tendo uma contribuição dessa frequência em torno de 98% ao longo do ciclo de braçada (SANDERS et al., 1995; SANDERS, 2011), é pertinente avaliar as amplitudes de oscilação de H1 para esses pontos anatômicos. Neste estudo de caso, observou-se que o sujeito avaliado apresentou uma menor oscilação vertical do vértex ao se executar ciclos de braçada não-inspiratórios, quando comparado aos demais modelos. Com relação ao modelo de inspiração frontal, a oscilação do vértex durante o modelo não-inspiratório foi 50% menor, ao passo que, com relação ao modelo de inspiração lateral, a oscilação do vértex durante o modelo não-inspiratório foi 21,4% menor. O modelo de inspiração lateral apresentou uma amplitude de oscilação vertical 36,4% menor do que ao se executar ciclos de inspiração lateral. Esses resultados parecem suportar os achados de Barbosa et al. (1999), que verificaram uma maior amplitude de deslocamento vertical da cabeça na condição de inspiração frontal, comparado a condição de inspiração lateral (frontal: $0,27 \pm 0,04$ m; lateral: $0,22 \pm 0,05$ m), bem como os de Barbosa (2000), o qual mostrou que os três modelos inspiratórios avaliados eram diferentes entre si, com relação à amplitude de deslocamento vertical da cabeça (frontal: $0,48 \pm 0,06$ m; lateral: $0,41 \pm 0,07$ m; não-inspiratório: $0,20 \pm 0,03$ m).

No que diz respeito ao ombro, a amplitude de oscilação de H1 na condição de inspiração frontal foi 23,5% maior do que ao se executar ciclos de inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios, ao passo que a amplitude de oscilação foi a mesma entre os modelos de inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios. Barbosa et al. (1999) não encontraram diferenças ao comparar a amplitude de deslocamento vertical dos ombros entre os modelos de inspiração frontal e inspiração lateral. Porém, os resultados deste estudo de caso parecem ir ao encontro dos resultados de Barbosa (2000), o qual observou que a amplitude de deslocamento vertical dos ombros foi maior no modelo de inspiração frontal ($0,34 \pm 0,03$ m) do que os modelos de inspiração lateral ($0,30 \pm 0,04$ m) e ciclos não

inspiratórios ($0,29 \pm 0,02$ m), mas não encontrou diferenças entre as condições de inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios.

Com base nos resultados de oscilação vertical de H1 para o vértex e o ombro, e sabendo que a mudança acentuada da posição do corpo no eixo vertical tende a causar aumentos no arrasto hidrodinâmico (TAÏAR et al., 1999; ZAMPARO et al., 2009; UNGERECHTS e ARELLANO, 2011), parece que o modelo de inspiração lateral é mais adequado do que o modelo de inspiração frontal para o indivíduo avaliado neste estudo de caso. Ainda, possivelmente a alternância entre ciclos de inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios pode ser uma boa estratégia para este atleta minimizar as mudanças da posição vertical do corpo na água, porém uma estratégia de frequência inspiratória adequada precisaria ser estabelecida. Por outro lado, movimentos verticais da cabeça e dos ombros podem contribuir para uma conservação de energia mecânica, por meio de movimentos ondulatórios, que, teoricamente, reduziriam o custo energético do nado (SANDERS et al., 1995; SANDERS, 2011), no entanto estas variáveis não foram avaliadas no presente estudo.

6. Conclusões

Foi objetivo geral deste estudo comparar a técnica do nado borboleta sob diferentes modelos inspiratórios, velocidades de nado e níveis de desempenho. Para tal foram mensuradas diversas variáveis cinemáticas e coordenativas por meio de videogrametria bidimensional, de modo geral, e por meio de videogrametria tridimensional no estudo de caso de um dos sujeitos avaliados.

Com relação aos efeitos do nível de desempenho:

O grupo de nadadores de nível avançado, comparados ao de nível iniciante, apresentou maiores valores de velocidade de nado, por meio de maiores valores de frequência de ciclos. Estes nadadores ainda apresentaram um maior índice de nado, acompanhado por menores ângulos de ataque e área frontal projetada do tronco nos pontos-chave de entrada das mãos, início da puxada e saída das mãos da água. Nadadores de nível avançado apresentaram, ainda, uma maior duração relativa da segunda fase propulsiva principal do nado como um todo

A coordenação de membros foi mais contínua neste grupo de nadadores, com menor diferença temporal entre pontos-chave das ações de braços e pernas e menor duração da fase de entrada e apoio.

Com relação aos efeitos do modelo inspiratório:

Os achados deste estudo indicam que o modelo de inspiração lateral apresenta um menor ângulo de inclinação do tronco no ponto-chave de entrada

das mãos na água, quando comparado ao modelo de inspiração frontal. Para as demais variáveis analisadas, não houve diferenças entre essas duas condições.

Ciclos não-inspiratórios, quando comparados aos modelos de inspiração frontal e lateral, acarretam em maior distância percorrida por ciclo, maior índice de nado, menores ângulos de inclinação do tronco e área frontal projetada nos pontos-chave de entrada das mãos, início da puxada, início da empurrada e saída das mãos da água. Ainda, há uma maior continuidade para T1 e T3, quando comparado ao modelo de inspiração lateral.

Com relação aos efeitos da velocidade de nado:

Como já descrito na literatura o aumento da velocidade de nado ocorreu por meio do aumento na frequência de ciclos e conseqüente redução da distância percorrida por ciclo. Porém, houve um aumento do índice de nado, acompanhado de menores ângulos de ataque do tronco e área frontal projetada nos pontos-chave de entrada da mão início da puxada e saída das mãos da água. O aumento de velocidade ainda acompanhou uma coordenação de braços e pernas mais contínua, com redução da duração relativa da fase não propulsiva de entrada e apoio e aumento na duração relativa das fases de puxada e empurrada, bem como a redução da duração relativa da fase ascendente do primeiro batimento de pernas e aumento na duração relativa das duas fases propulsivas da pernada. Da mesma forma, a duração relativa das duas fases propulsivas principais do nado, como um todo, aumentaram junto com o aumento da velocidade de nado imposta.

7 Limitações e perspectivas

Dentre as limitações encontradas na realização deste estudo destaca-se a baixa qualidade de iluminação no local das coletas, o que fez com que a análise cinemática tridimensional do nado tenha sido praticamente excluída do presente estudo. Esta análise tridimensional teria por objetivos:

1. Comparar as características de propagação de onda ao longo do corpo nas diferentes condições de velocidade de nado imposta, modelos inspiratórios e nível de desempenho.
2. Comparar a variação intra-cíclica da velocidade do centro de massa nas diferentes condições de velocidade de nado imposta, modelos inspiratórios e nível de desempenho.

Nesse sentido, surge como perspectiva a realização deste mesmo protocolo em um local com condições de iluminação adequadas, que permita a realização de videogrametria tridimensional. Outra alternativa, que parece mais viável, e talvez menos susceptível a erros de digitalização, seria uma análise bidimensional para a obtenção destas mesmas variáveis.

Referencias

ABDEL-AZIZ, Y. e H. KARARA. Direct linear transformation: from comparator coordinates into object coordinates in close range photogrammetry. Symposium on close-range photogrammetry. Church Falls, 1971. 1-18 p.

BARBOSA, T. Análise tridimensional da cinemática da técnica de Mariposa ao realizarem-se ciclos de inspiração frontal, ciclos de inspiração lateral e ciclos não inspiratórios. Tese de Mestrado., Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto, Porto, 2000. Não Publicado. p.

_____. Os mitos e as realidades sobre a inspiração lateral na técnica de mariposa. 2002.

_____. Caracterização biofísica da técnica de mariposa. Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança. 2004 (Série Estudos)

BARBOSA, T., et al. Kinematical modifications induced by the introduction of the lateral inspiration in butterfly stroke. Biomechanics and medicine in swimming VIII. Jyvaskyla: 15-20 p. 1999.

BARBOSA, T. M., et al. Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. European Journal of Applied Physiology, v.93, n.5-6, Mar, p.519-23. 2005.

BARTLETT, R. Introduction to sports biomechanics: analyzing human movement patterns 2nd edition. Oxon: Routledge. 2007

BARTLETT, R. M. Introduction to sports biomechanics: Taylor & Francis. 1997

BRANDÃO, S. Análise cinemática do erro de reconstrução de um volume de calibração para análise 3D em natação. Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Porto, 2009.

CAPUTO, F., et al. Características da braçada em diferentes distâncias no estilo crawl e correlações com a performance. Revista Brasileira de Ciência e Movimento, v.8, n.3, p.7-13. 2000.

CASTRO, F. e A. C. GUIMARAES. FRONT CRAWL KINEMATIC: BREATHING AND PACE ACUTE EFFECTS. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto, v.6, n.2 Suppl, p.26-28. 2006.

CASTRO, F. A. S., et al. Cinemática do nado "crawl" sob diferentes intensidades e condições de respiração de nadadores e triatletas. Revista Brasileira de Educação Física e Esportes, v.19, n.3, p.223-232. 2005.

CHATARD, J. C., et al. Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. International Journal of Sports Medicine, v.11, n.2, p.156-161. 1990.

CHOLLET, D., et al. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. International Journal of Sports Medicine, v.21, n.1, Jan, p.54-9. 2000.

CHOLLET, D. e L. SEIFERT. Inter-limb coordination in the four competitive strokes. In: L. Seifert, D. Chollet, *et al* (Ed.). World book os swimming: from science to performance. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2011. Inter-limb coordination in the four competitive strokes, p.153-172

CHOLLET, D., et al. Arm to leg coordination in elite butterfly swimmers. International Journal of Sports Medicine, v.27, n.4, Apr, p.322-9. 2006.

_____. Evaluation of arm-leg coordination in flat breaststroke. International Journal of Sports Medicine, v.25, n.7, Oct, p.486-95. 2004.

_____. Arm coordination in elite backstroke swimmers. Journal of Sports Sciences, v.26, n.7, May, p.675-82. 2008.

COLWIN, C. M. Breakthrough swimming. United States of America: Human Kinetics. 2002

COSTILL, D. L., et al. Energy expenditure during front crawl swimming: Predicting success in middle-distance events. International Journal of Sports Medicine, v.6, n.5, p.266-270. 1985.

CRAIG, A. B., JR. e D. R. PENDERGAST. Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. Med Sci Sports, v.11, n.3, Fall, p.278-83. 1979.

CRAIG, A. B., et al. Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition. Medicine and Science in Sports and Exercise, v.17, n.6, p.625-634. 1985.

GOURGOULIS, V., et al. Estimation of hand forces and propelling efficiency during front crawl swimming with hand paddles. Journal of Biomechanics, v.41, n.1, p.208-215. 2008.

HAY, J. G. e A. C. S. GUIMARAES. A quantitative look at swimming biomechanics. Swimming Technique, v.20, n.2, p.11-12. 1983.

KESKINEN, K. L., et al. Maximum velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. Scandinavian Journal of Sports Sciences, v.11, n.2, p.87. 1989.

KJENDLIE, P.-L., et al. Adults have lower stroke rate during submaximal front crawl swimming than children. European Journal of Applied Physiology, v.91, n.5, p.649-655. 2004.

KJENDLIE, P. L., et al. Factors affecting swimming economy in children and adults. European Journal of Applied Physiology, v.93, n.1-2, p.65-74. 2004.

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

LEBLANC, H., et al. Arm-leg coordination in flat breaststroke: a comparative study between elite and non-elite swimmers. International Journal of Sports Medicine, v.26, n.9, Nov, p.787-97. 2005.

_____. Arm-leg coordination in recreational and competitive breaststroke swimmers. Journal of Science and Medicine in Sports, Mar 19. 2008.

MAGLISCHO, E. W. Swimming Fastest. United States of America: Human Kinetics. 2003

MCGINNIS, P. M. Biomecânica do Esporte e do Exercício. Porto Alegre: ArtMed. 2002

MILLET, G. P., et al. Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. International Journal of Sports Medicine, v.23, n.2, Feb, p.99-104. 2002.

PAYTON, C. J. Motion analysis using video. In: C. J. Payton e R. M. Bartlett (Ed.). Biomechanical evaluation of movement in sport and exercise: the British Association of Sport and Exercise Sciences guidelines. Oxon: Routledge, 2008. Motion analysis using video, p.9 - 32

POTDEVIN, F., et al. Stroke frequency and arm coordination in front crawl swimming. International Journal of Sports Medicine, v.27, n.3, Mar, p.193-8. 2006.

PSYCHARAKIS, S. G., et al. Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, v.20, n.1, p.128-135. 2010.

_____. A calibration frame for 3D swimming analysis. ISBS 2005. Beijing, China: 901-904 p. 2005.

SANDERS, R. Rhythms in butterfly stroke. In: L. Seifert, D. Chollet, *et al* (Ed.). World book of swimming: from science to performance. New York: Nova Science Publishers Inc., 2011. Rhythms in butterfly stroke, p.191-201

SANDERS, R., PSYCHARAKIS, S., MCCABE, C., NAEMI, R., CONNABOY, C., LI, S., SCOTT, G., SPENCE, A. Analysis of swimming technique: state of the art, applications and implications. Biomechanics and Medicine in Swimming X. Porto: 20-24 p. 2006.

SANDERS, R. H., et al. Wave characteristics of butterfly swimming. Journal of Biomechanics, v.28, n.1, p.9-16. 1995.

SCHNITZLER, C., et al. Arm coordination adaptations assessment in swimming. International Journal of Sports Medicine, v.29, n.6, Jun, p.480-6. 2008.

SEIFERT, L., et al. Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. International Journal of Sports Medicine, v.25, n.3, Apr, p.217-23. 2004.

_____. Differences in spatial-temporal parameters and arm-leg coordination in butterfly stroke as a function of race pace, skill and gender. Human Movement Science, v.27, n.1, Feb, p.96-111. 2008.

_____. Effect of breathing pattern on arm coordination symmetry in front crawl. Journal of Strength and Conditioning Research, v.22, n.5, Sep, p.1670-6. 2008.

SEIFERT, L. e D. CHOLLET. A new index of flat breaststroke propulsion: a comparison of elite men and women. Journal of Sports Sciences, v.23, n.3, Mar, p.309-20. 2005.

_____. Modelling spatial-temporal and coordinative parameters in swimming. Journal of Science and Medicine in Sport, Jun 9. 2008.

SEIFERT, L., et al. Arm coordination symmetry and breathing effect in front crawl. Human Movement and Science, v.24, n.2, Apr, p.234-56. 2005.

_____. Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. Journal of Sports Sciences, v.22, n.7, Jul, p.651-60. 2004.

_____. Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. Medicine and Science in Sports and Exercise, v.39, n.10, Oct, p.1784-93. 2007.

_____. Swimming constraints and arm coordination. Human Movement and Science, v.26, n.1, Feb, p.68-86. 2007.

_____. Does breathing disturb coordination in butterfly? International Journal of Sports Medicine, v.31, n.3, p.167-173. 2010.

_____. Effect of expertise on butterfly stroke coordination. Journal of Sports Sciences, v.25, n.2, Jan 15, p.131-41. 2007.

TAÏAR, R., et al. Hydrodynamics optimization in butterfly swimming: Position, drag coefficient and performance. Journal of Biomechanics, v.32, n.8, p.803-810. 1999.

TAKAGI, H., et al. Differences in stroke phases, arm-leg coordination and velocity fluctuation due to event, gender and performance level in breaststroke. Sports Biomechanics, v.3, n.1, Jan, p.15-27. 2004.

TOUSSAINT, H. M. e P. J. BEEK. Biomechanics of competitive front crawl swimming. Sports Med, v.13, n.1, Jan, p.8-24. 1992.

UNGERECHTS, B. e R. ARELLANO. Hydrodynamics in swimming. In: L. Seifert, D. Chollet, *et al* (Ed.). World book of swimming: from science to performance. New York: Nova Science Publishers Inc., 2011. Hydrodynamics in swimming, p.21-41

UNGERECHTS, B. E. A comparison of the movements of the rear parts of dolphins and butterfly swimmers. Biomechanics and Medicine in Swimming. A. P. Hollander. Champain: Human Kinetics: 215-221 p. 1982.

VIEDELER, J. Swimming movements, body structure and propulsion. Cod Gadusmorhua, Symposia of the Zoological Society of London. 48: 1-27 p. 1981.

WAKAYOSHI, K., et al. 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, n.7, p.368-372. 1993.

WINTER, D. Kinematics. In: D. Winter (Ed.). Biomechanics and motor control of human movement. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. Kinematics, p.13-58

ZAMPARO, P., et al. Active and passive drag: the role of trunk incline. European Journal of Applied Physiology, p.1-11. 2009.

Anexo 1

Aprovação do projeto no Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS

Pesquisador: Leonardo Alexandre Peyre Tartaruga**Dados do Projeto de Pesquisa****Projeto Nº:** 19719**Título:** ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DA TÉCNICA DE BORBOLETA SOB DIFERENTES MODELOS INSPIRATÓRIOS: EFEITOS DA VELOCIDADE E DO NÍVEL DE DESEMPENHO**Área do Conhecimento:** Educação Física**Início:** 05/08/2009**Previsão de conclusão:** 05/07/2011**Situação:** projeto em andamento**Origem:** Escola de Educação Física

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano

Projeto da linha de pesquisa ATIVIDADE FÍSICA E PERFORMANCE

Objetivo: OBJETIVO GERAL: • Descrever e comparar variáveis cinemáticas e coordenativas do nado borboleta sob diferentes modelos inspiratórios, velocidades de nado e níveis de desempenho. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: • Fornecer informações aos treinadores e atletas avaliados, que sejam de valor na sua preparação e desempenho competitivo; • Descrever e comparar as adaptações nas variáveis cinemáticas de percurso, na duração das fases e coordenação braçada-pernada, inclinação do tronco, área frontal projetada, variação intracíclica de velocidade do centro de massa nos planos x, y e z e nas características de onda no nado borboleta sob as seguintes condições: 1) Ciclos de inspiração frontal 2) Ciclos de inspiração lateral 3) Ciclos não inspiratórios 4) Em resposta à velocidade imposta. 5) Em resposta ao nível de desempenho.

Palavras-Chave

Cinemática Tridimensional

Modelos Inspiratórios

Nível De Desempenho

Técnica De Nado

Velocidade De Nado

Equipe UFRGS**Nome:** Leonardo Alexandre Peyre Tartaruga**Participação:** Coordenador**Início:** 05/08/2009**Nome:** Flavio Antonio De Castro**Participação:** Pesquisador**Início:** 05/08/2009**Nome:** Carlos Bolli Mota**Participação:** Coordenador**Início:** 05/08/2009 **Término:** 05/07/2011**Anexos**[Projeto Completo](#)**Data de Envio:** 14/02/2011[Folha de Rosto para Pesquisa Envolvendo Seres Humanos](#)**Data de Envio:** 24/12/2010[Documento de Aprovação](#)

Data de Envio: 24/12/2010

Avaliações

Comissão de Pesquisa de Educação Física - Aprovação condicional na dependência de outra instância:
Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS

Fechar

Projeto aprovado pela COMPESQ/ESEF em 06/10/2010.

Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS - Aprovado

Fechar

A diligência tratava da adequação do cronograma. Os pesquisadores responderam de forma adequada. Sugere-se aprovação do referido projeto.

Anexo 2

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Linha de Pesquisa: NEUROMECÂNICA DO MOVIMENTO HUMANO

Título do Projeto: “ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DA TÉCNICA DE BORBOLETA SOB DIFERENTES MODELOS INSPIRATÓRIOS: EFEITOS DA VELOCIDADE E DO NÍVEL DE DESEMPENHO”

Investigadores: Ricardo Peterson Silveira, Lara Elena Gomes e Carlos Bolli Mota.

Registro no comitê de ética em pesquisa com humanos da UFRGS (CEPUFRGS) número 19719

Telefone CEPUFRGS para contato 51 3308 2936

Esse termo de consentimento, cuja cópia lhe foi entregue, é apenas parte de um processo de consentimento informado de um projeto de pesquisa do qual você participará como voluntário. Ele deve lhe dar uma idéia básica do que se trata o projeto, e o que sua participação envolverá. Se você quiser mais detalhes sobre algo mencionado aqui, ou informação não incluída aqui, sinta-se livre para solicitar. Leia atentamente esse termo, a fim de que você tenha entendido plenamente o objetivo desse projeto, e o seu envolvimento nesse estudo como sujeito participante. O investigador tem o direito de encerrar o seu envolvimento nesse estudo, caso isso se faça necessário. De mesma forma, você pode retirar o seu consentimento em participar no mesmo a qualquer momento se assim o desejar. Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa cujo objetivo é descrever e comparar as variáveis cinemáticas e coordenativas do nado borboleta sob diferentes modelos inspiratórios, velocidades de nado e níveis de desempenho.

Todos os sujeitos deste estudo irão realizar testes para a avaliação da técnica de nado em dois dias distintos. O primeiro dia será destinado à obtenção do seu desempenho máximo na distância de 100 m em nado borboleta. No segundo dia, serão realizados quatro repetições de 25 m nas velocidades relativas a 85%, 90%, 100% e 110% da velocidade média obtida no teste de 100 m, sob as condições de ciclos de inspiração frontal, ciclos de inspiração lateral e ciclos não-inspiratórios. a fim de avaliar as adaptações nas variáveis cinemáticas de percurso, na duração das fases e coordenação braçada-pernada, inclinação do tronco, área frontal projetada, variação intracíclica de velocidade do centro de massa e nas características de onda no nado borboleta sob estas condições.

Riscos e benefícios: Você será filmado por nove câmeras, para que se possa analisar a sua técnica de nado tridimensionalmente. O principal benefício em sua participação voluntária será o recebimento dos resultados dos testes, que serão gratuitos, e irão fornecer importantes informações para seu treinamento, assim como determinar o seu nível técnico atual por meio de equipamentos utilizados mundialmente na avaliação de atletas. Os riscos associados podem ser traduzidos em dor muscular tardia no dia subsequente aos testes máximos, mas são pouco esperados devido a sua condição de treinamento.

Confidencialidade: Todas as informações obtidas como parte desse estudo permanecerão confidenciais. As únicas pessoas com acesso aos seus resultados pessoais serão os investigadores e bolsistas envolvidos nesse estudo. Qualquer documento publicado apresentando os resultados desse estudo não identificará os participantes.

A sua assinatura nesse formulário indica que você entendeu satisfatoriamente a informação relativa à sua participação nesse projeto e você concorda em participar como sujeito. De forma alguma esse consentimento lhe faz renunciar aos seus direitos legais, e nem libera os investigadores, patrocinadores, ou instituições envolvidas de suas responsabilidades pessoais ou profissionais. A sua participação continuada deve ser tão bem informada quanto o seu consentimento inicial, de modo que você deve se sentir à vontade para solicitar

esclarecimentos ou novas informações durante a sua participação. Se tiver qualquer dúvida referente a assuntos relacionados com esta pesquisa, favor entrar em contato com o Prof. Dr. Flávio Antônio de Souza Castro (Fone: 3308.5818) ou com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS (Fone: 3308.4085).

Eu, _____, pelo presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, declaro que autorizo a minha participação nesta pesquisa, pois fui informada, de forma clara e detalhada, livre de qualquer forma de constrangimento e coerção, dos objetivos, da justificativa, dos procedimentos que serei submetido, dos riscos, desconfortos e benefícios.

Para maiores informações contate o investigador: Ricardo Peterson Silveira (Fone: 51-9721-1945 – 3308-5859 – email: ricardopetersons@yahoo.com.br), Dr. Flávio Antônio de Souza Castro (Fone: 51-33085860 – email: souza.castro@ufrgs.br).

Assinatura do Investigador

____/____/____

Data

Assinatura do Participante ou Responsável (se menor de idade)

