

**MARCELO DE OLIVEIRA PINTO**

**ANÁLISE CINÉTICA E CINEMÁTICA DO MOVIMENTO DE  
PERNAS NA ONDULAÇÃO SUBAQUÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Suzana Matheus Pereira

**FLORIANÓPOLIS, SC**

**2014**



P659a

Pinto, Marcelo de Oliveira

Análise cinética e cinemática do movimento de pernas na ondulação subaquática / Marcelo de Oliveira Pinto.

-- 2014.

p. : il. ; 21 cm

Orientadora: Suzana Matheus Pereira

Dissertação (Mestrado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, 2014

Bibliografia

1. Cinemática. 2. Movimento. 3. Mecânica humana. 4. Natação. I. Pereira, Suzana Matheus. II. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano. III. Título.

CDD 20.ed.: 612.76

Catalogação na publicação elaborada pela Biblioteca do CEFID/UDESC



Dedico a minha esposa pelo incentivo, a minha família pela paciência e a minha orientadora pela confiança.

“Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você.”

Carl Sagan



## AGRADECIMENTOS

Durante o desenvolvimento desta dissertação, muitas pessoas me ajudaram a transpor as dificuldades e contribuíram para a sua conclusão. Pude contar, sempre, com a minha esposa, família, amigos, orientadores e professores, que, durante esta fase, deram-me apoio fundamental. Assim, agradeço imensamente:

A minha esposa, Ana Paula, pelo carinho, apoio, compreensão e auxílio em todas as fases pelas quais passei, sem a qual jamais este trabalho se concretizaria, e que nunca deixou de acreditar em mim. Além de contribuir com as leituras, discussões durante toda a minha formação acadêmica, o carinho, incentivo e paciência que me proporcionaram.

A minha mãe, Lilian, pelo incentivo e torcida de longe, mas não menos calorosa e ao meu pai, Edmar, que nunca deixou de acreditar na minha capacidade. E apesar da sua ausência, foi um exemplo de determinação a ser seguido. As minhas irmãs, pelas eternas críticas construtivas.

Aos meus sogros, Laura e Luiz Jairo, que sempre estiveram ao meu lado desde que o mestrado era só uma ideia e pelo maior presente que poderiam me dar, a Ana Paula.

A minha orientadora, Suzana, pelas contribuições, sugestões e ensinamentos que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Hélio, pela chance proporcionada e a confiança debitada.

A professora e amiga, Caroline, pelo apoio imprescindível, correções e ideias que contribuíram para a melhoria deste estudo.

Ao Gustavo Schutz, Marcel e Nicolas pelo empréstimo das câmeras.

Aos membros do laboratório de biomecânica aquática (Marcel, Heiliane, Deise, Geison, Victor, e em especial ao Gustavo Pereira e a Elisa), sem os quais este estudo jamais se concretizaria.

Aos amigos, Diego e Marina, grandes companheiros de jornada.



## RESUMO

Entender os fatores que afetam a capacidade de nadar rápido é fundamental para obter êxito no esporte. O movimento de pernas na ondulação subaquática – MPOS, possui um ótimo equilíbrio entre minimizar o arrasto e maximizar o impulso, reduzindo o esforço físico exigido do nadador. Conhecer elementos intrínsecos da sua execução, como a frequência, a força, os ângulos e as amplitudes das pernadas levam a compreensão do MPOS que é um dos fatores que mais influencia no tempo de nado. O objetivo do estudo, portanto, foi comparar variáveis cinéticas e cinemáticas do MPOS, entre grupos com diferentes desempenhos e correlacionar estas variáveis com o desempenho. Vinte e quatro nadadores competitivos do sexo masculino realizaram quatro execuções máximas de 17 metros do MPOS. Foram utilizadas três câmeras subaquáticas posicionadas nos 5, 10 e 15 m e uma que acompanhava os nadadores durante o percurso. Eles foram filmados para análise cinemática. Os quadros de todas as execuções foram digitalizados manualmente no programa *Ariel Performance Analysis Systems* – APAS. Também foram avaliadas as variáveis cinéticas aplicadas pelo nadador durante o MPOS por meio do sistema de aquisição de dados Aquanex (Swimming Technology Research, FLO, USA). A média das execuções entre os grupos foi comparada através do teste t de *Student*, para as variáveis que apresentaram distribuição normal e o teste "U" de Mann-Whitney com nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ). Foi utilizada, ainda, a análise de regressão múltipla para correlacionar as variáveis que mais influenciaram durante o MPOS. Os resultados encontrados demonstraram que a diferença entre os grupos pode ser explicada pelas seguintes variáveis: frequência de pernadas, pico de força, força média, duração do ciclo, velocidade máxima horizontal, velocidade máxima vertical para baixo, velocidade máxima vertical para baixo e para cima normalizada pela altura dos membros inferiores. Com base na análise de regressão múltipla, as variáveis força média e frequência da pernada explicaram, em conjunto, 48% do desempenho no tempo de 5-15 m.

**Palavras-chave:** Pernada de Golfinho, Natação, Frequência e Força da Pernada.



## ABSTRACT

To understand the factors that affect the capability of fast swimming is crucial to obtain success in the sport. The underwater dolphin kick – UDK - has a great balance between minimize the drag and maximize the forward impulse, reducing the physical effort of the swimmer. Thus, to know the elements that compound the UDK, like frequency, force, angles and amplitudes of kicking lead to a better understanding that feature of swimming is one of the factors that most compromise the swimming time. The aim of this work was to compare kinectics and cinematic variables of UDK between groups of swimmers with different performances. Twenty-four competitive male swimmers have done four maximal performances of 17 meters of UDK. It was used three underwater cameras putted on 5, 10 and 15 meters of the path. The swimmers were recorded to cinematic analyze. The frames of all performances were digitalized in the program *Ariel Performance Analysis Systems* – APAS. It was evaluated the kinematics variables of the swimmer during the UDK using the software Aquanex (Swimming Technology Research, FLO, USA). The mean of the performances between the groups was compared using the T – student’s test, for the normalized distribution samples and the Mann-Whitneys’s “U” test for the non-normal with confidence value of 95% ( $p < 0,05$ ). It was used the multiple regression analysis to correlate the variables the exerts more influence during the UDK. The results have shown that the difference between both groups could be explained for the following variables: frequency of kicking, peak of force, mean of force, duration of kicking cycle, horizontal maximum speed, maximum down speed, maximum vertical speed down-guided and up-guided normalized by the high of lower limbs. The multiple regression analysis showed that the variables: mean of force and frequency of kicking explain, together, 48% of the performance of time in 5-15 meters.

**Key-words:** Underwater dolphin kick, Swimming, Frequency and force of kicking



**LISTAS DE FIGURAS**

- Figura 1 - Modelo anatômico com os 5 pontos de digitalização enumerados: 1) o marcador da crista ilíaca, convencionada neste estudo como “quadril”; 2) marcador do ponto Trocantérico definido como “coxa”; 3) marcador do epicôndilo lateral do fêmur, denominado “joelho”; 4) marcador do maléolo lateral, aqui convencionado de “tornozelo” e 5) marcador na fixado na falange distal do pé..... 44
- Figura 2 - Configuração das três câmeras posicionadas nos 5, 10 e 15 m e uma última câmera acompanhando o percurso do nadador..... 48
- Figura 3 - Demonstração do tripé preso ao fundo da piscina por ventosas e das estruturas de aço, que suportavam os led. .... 48
- Figura 4 - A linha de referência presa à raia e na anilha e câmera com sincronizador de led posicionada convergente no local onde o sujeito passava. .... 49
- Figura 5 - Calibrador com pontos usados na calibração e as medidas das coordenadas  $x$  e  $y$  em centímetros. .... 50
- Figura 6 - Representação gráfica das medidas das variáveis: Ângulo do Quadril, Ângulo do Joelho e Ângulo do Tornozelo..... 55
- Figura 7 – Gráficos de dispersão dos grupos dos dados de tempo (eixo  $y$ ) em relação a duração do ciclo de pernada (eixo  $x$ ) e da frequência de pernada (eixo  $x$ ). A linha contínua indica a tendência do grupo e as linhas pontilhadas o desvio padrão de cada grupo. .... 61
- Figura 8 - Gráficos de dispersão dos grupos dos dados de tempo (eixo  $y$ ) em as variáveis cinéticas de velocidade máxima horizontal (eixo  $x$ ), velocidade máxima vertical para baixo (eixo  $x$ ), velocidade máxima vertical para baixo normalizada pela altura da perna (eixo  $x$ ) e velocidade máxima vertical para cima normalizada pela altura da perna (eixo  $x$ ). A linha contínua indica a tendência do grupo e as linhas pontilhadas o desvio padrão de cada grupo. .... 62
- Figura 9 – Gráficos de dispersão dos grupos dos valores de tempo em relação a força média e pico de força. A linha contínua indica a

tendência do grupo e as pontilhadas o desvio padrão de cada grupo..... 63

Figura 10 - Gráficos de dispersão dos grupos dos dados de tempo (eixo y) em relação a força média (eixo x) e da frequência de pernada (eixo x). A linha contínua indica a tendência do grupo e as linhas pontilhadas o desvio padrão de cada grupo.....67

Figura 11 - Gráfico em 3D demonstrando as duas variáveis (força média e frequência) e sua relação com o tempo de 5 – 15 m. .... 67

Figura 12 – Demonstração gráfica da aleatoriedade dos resíduos, que indicam uma distribuição normal ( $p = 0,949$ , teste de Shapiro-Wilk)..... 68

**LISTAS DE TABELAS**

Tabela 1 - Características dos grupos dos voluntários expressos em média e $\pm$ desvio padrão. ....	59
Tabela 2- Médias e $\pm$ desvio padrão das variáveis antropométricas e cinemáticas. A diferença média e o valor de confiança (p) no teste de t de Student, quando a distribuição não normal, no teste “U” de Mann-Whitney. ....	60
Tabela 3 - Média das variáveis mensuradas, desvio padrão e análise da correlação de Pearson em função da varável Tempo 5-15m. ....	64
Tabela 4 - Multicolinearidade entre si das variáveis que apresentaram correlação de Pearson significativa em relação ao Tempo 5-15m. .	65
Tabela 5 - Regressão múltipla .....	66



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolo / Abreviatura	DESCRIÇÃO
$\bar{x}$	- média
$^{\circ}$	- grau
2D	- bidimensional
ANOVA	- <i>Análise de Variância</i>
APAS	- <i>Ariel Performance Analysis Systems</i>
.avi	- <i>Audio Video Interleave</i>
cm	- centímetro
CM	- Centro de Massa
DLT	- <i>Direct Linear Transformation</i>
dp	- Desvio Padrão
et al.	- e colaboradores
FINA	- <i>Fédération Internationale de Natation</i>
Hz	- Hertz
kg	- quilograma
m	- metro
m/s	- metro por segundo
m.s <sup>1</sup>	- metro por segundo
N	- Newton
$p$	- valor probabilístico associado à rejeição da hipótese nula
s	- segundo



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1	PROBLEMA .....	21
1.2	OBJETIVOS .....	25
1.2.1	OBJETIVO GERAL .....	25
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	25
1.3	HIPÓTESES.....	25
1.4	JUSTIFICATIVA .....	26
1.5	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	27
1.6	LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	28
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>29</b>
2.1	HISTÓRICO DO MPOS .....	29
2.2	CARACTERIZAÇÃO DO MPOS.....	29
2.3	REGRAS DO MPOS .....	30
2.4	EFICIÊNCIA DO MPOS .....	32
2.5	O ARRASTO E O MPOS .....	35
2.6	FLEXIBILIDADE E O MPOS .....	37
2.7	AMPLITUDE DO MPOS.....	38
2.8	FORÇA DO MPOS.....	38
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>41</b>
3.1	TIPO DE PESQUISA .....	41
3.2	SUJEITOS.....	41
3.3	INSTRUMENTOS .....	42
3.3.1	ANTROPOMETRIA .....	42
3.3.2	CÂMERAS DE VÍDEO SUBAQUÁTICAS .....	42
3.3.3	SISTEMA AQUANEX .....	43
3.4	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	43
3.4.1	MODELO ANATÔMICO .....	43

3.5	PROCEDIMENTOS.....	45
3.5.1	PREPARAÇÃO DOS SUJEITOS .....	45
3.5.2	COLETA DE DADOS.....	46
3.5.3	PREPARAÇÃO DOS INSTRUMENTOS.....	47
3.5.4	CALIBRAÇÃO.....	49
3.6	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	51
3.6.1	VARIÁVEIS TEMPORAIS .....	51
3.6.2	VARIÁVEIS CINÉTICAS .....	52
3.6.3	VARIÁVEIS CINEMÁTICAS.....	52
3.6.4	VARIÁVEIS CINEMÁTICAS ANGULARES.....	54
3.7	TRATAMENTO DOS DADOS .....	55
3.7.1	TRATAMENTO DAS IMAGENS.....	55
3.7.2	TRATAMENTO DO AQUANEX.....	56
3.7.3	TRATAMENTO ESTATÍSTICO .....	57
3.7.3.1	COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS.....	57
3.7.3.2	CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS .....	57
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
4.1	COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS.....	59
4.2	CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS .....	63
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PROBLEMA

A natação competitiva é dependente de diversos detalhes técnicos. Quanto maior a destreza do atleta em desempenhar corretamente os movimentos dos nados, maior será a sua capacidade de obter êxito no esporte (PLATONOV, 2005). Nesta perspectiva, observa-se que tanto atletas e técnicos, quanto pesquisadores demonstram interesse pelos fatores determinantes do desempenho na natação.

O movimento de pernas na ondulação subaquática – MPOS, ocorre nas saídas e viradas de três dos quatro estilos de natação competitiva (Livre, Costas e Borboleta) (CONNABOY, COLEMAN e SANDERS, 2009). O MPOS é um movimento cíclico no qual os pés oscilam de forma regular na direção vertical. Para um melhor entendimento, pode ser dividido em duas fases: movimento descendente e movimento ascendente (GAVILÁN, ARELLANO e SANDERS, 2006; SANDERS, CAPPAERT, e DEVLIN, 1995).

O MPOS é realizado em decúbito ventral e/ou lateral para o nado Borboleta, ventral e/ou lateral para o nado Livre e dorsal para o nado Costas (PAPOTI et al., 2007). Este movimento subaquático pode ser realizado por até 15 metros após a saída e virada, tendo um papel significativo no desempenho global da natação (CLOTHIER, 2004; CONNABOY, COLEMAN e SANDERS, 2009; SANDERS, CAPPAERT e DEVLIN, 1995). Uma vez que a distância de 15 m equivale a 30% de uma piscina olímpica (50 m) e 60% de uma piscina de 25 metros, o MPOS é decisivo nas provas de natação nas quais os resultados são frequentemente decididos por centésimos de segundo.

A natação subaquática tem um ótimo equilíbrio entre minimizar o arrasto e maximizar o impulso ao mesmo

tempo, além de reduzir o esforço físico exigido do nadador (COHEN, CLEARY, MASON, 2012). Esta característica só é possível, porque a natação debaixo d'água diminui o arrasto de onda, esta condição inicia em profundidades de cinquenta centímetros e ocorre pela principalmente pela inexistência da tensão superficial que é comum na água (TOUSSAINT e TRUIJENS 2005). Para Lyttle e Keys (2006), o MPOS é caracterizado por fornecer velocidades mais elevadas do que aquelas mantidas durante o nado. Assim, a busca por uma técnica ideal procura minimizar a perda da aceleração vivida pelo nadador após a saída e a virada.

A realização desta ondulação na natação competitiva é relativamente recente. A sua utilização foi difundida durante os Jogos Olímpicos de Moscou, em 1980 (ARELLANO, PARDILLO e GAVILÁN, 2002).

Mesmo com a regra imposta pela FINA, em 1998, limitando o percurso em 15 metros, a prova de 100 metros em piscina olímpica ainda conta com 30% do prova podendo ser realizada em fase submersa. Desta forma, o MPOS é uma ferramenta que pode ajudar as estratégias competitivas na busca de melhores resultados.

Alguns estudos discutem o MPOS dos seres humanos, utilizando como parâmetro a locomoção dos animais aquáticos (ARELLANO et al., 2002; COHEN, CLEARY e MASON, 2012; CONNABOY, COLEMAN e SANDERS, 2009; LOEBBECKE et al., 2009). Contudo, não se pode ignorar que os resultados obtidos pelos pesquisadores são justamente fruto da diferença anatômica entre humanos e os animais aquáticos (LOEBBECKE et al. 2009).

O estudo de Reischle et al. (1988) observou que a rigidez do tornozelo humano exige movimentos compensatórios para aumentar o desempenho da natação. A incapacidade de hiperextensão do joelho e

tornozelo dos seres humanos provoca limites nos movimentos dos pés durante o movimento ascendente e descendente, prejudicando a performance da natação (ARELLANO et al., 2002).

Estudos de Maglischo (1993) e Barbosa (2005), com nadadores de Borboleta, constataram que estes atletas devem ser capazes de efetuar extensões das articulações tibio-társicas entre os 70° e os 85° a partir da vertical, com o intuito de aumentar a superfície propulsiva, dado que este batimento tem uma função predominantemente propulsiva. Supostamente a manutenção dos pés em flexão plantar também é um fator decisivo para executar um batimento eficiente (MAGLISCHO, 1993).

Hay (1978) complementa que a flexibilidade dos tornozelos pode ser mais importante para a propulsão na natação que a própria força muscular. Este autor justifica a afirmação pelo fato da potência da pernada ser muito mais definida pela boa técnica de execução e pela correta angulação de aplicação da força, comparada com a potência muscular em si.

Assim, a flexibilidade, principalmente do tornozelo, tem importância qualitativa no desempenho desportivo do ser humano, principalmente por influenciar a posição hidrodinâmica adotada pelo nadador (CHATARD; BOURGOIN e LACOUR, 2000). O benefício de uma boa técnica de execução de movimento de pernas, aliada a uma boa flexibilidade e um bom posicionamento hidrodinâmico poderiam equivaler a mais de 50% da propulsão obtida (HAY, 1978).

Outra variável do MPOS é a amplitude. Esta, por sua vez, apresenta características inerentes a prova que o nadador realiza. Para Maglischo (2010), a pernada submersa em provas curtas deve apresentar a seguinte característica: pequena amplitude, muita frequência, e o oposto para as provas mais longas.

Segundo Nakashima (2009), as amplitudes da ondulação na natação devem ser apropriadas para maximizar a eficiência de propulsão, uma vez que a propulsão decorrente da pernada demanda um alto custo energético quando comparado com a braçada (MAGLISCHO, 2010).

Outro fator relevante para o bom entendimento do MPOS diz respeito à força empregada nesta fase submersa. Segundo Willems et al. (2014), a força propulsiva é um elemento importante para a melhora do desempenho.

O resultado final de propulsão ocorre por meio da diferença entre as forças propulsivas e as forças resistivas (ZAMPARO et al., 2008). Portanto, a compreensão da mecânica apropriada para a realização da força propulsiva propicia um aumento na potência de nado (MAGLISCHO, 2010).

Deste modo, o objetivo do presente estudo foi comparar as variáveis cinéticas e cinemáticas (amplitude, frequência, força, profundidade e variáveis angulares) entre dois grupos com diferentes desempenhos e correlacionar quais destas variáveis mais influenciaram no desempenho.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi comparar variáveis cinéticas e cinemáticas do movimento de pernas na ondulação subaquática – MPOS entre grupos com diferentes desempenhos e correlacionar estas variáveis com o desempenho.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar as variáveis angulares do tornozelo, joelho e quadril entre os grupos com diferentes desempenhos.
- Comparar variáveis de força máxima e média do MPOS entre grupos com diferentes desempenhos.
- Comparar a frequência e a amplitude do MPOS entre os grupos.
- Comparar a profundidade média do quadril durante o MPOS entre os grupos.
- Correlacionar as variáveis cinéticas e cinemáticas para identificar quais destas mais influenciaram no desempenho do MPOS.

## 1.3 HIPÓTESES

- Supõe-se que as variáveis cinemáticas angulares vão apresentar diferenças entre os grupos. Espera-se, ainda, que estas variáveis se correlacionarão com o desempenho no MPOS.
- As variáveis cinemáticas da frequência, da amplitude e da profundidade também vão influenciar o desempenho no MPOS.
- As variáveis cinéticas vão apresentar diferenças entre os grupos. Presume-se que estas variáveis vão se correlacionar com o desempenho no MPOS.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Para maximizar a eficiência com que o corpo humano pode mover-se através de um meio líquido, fatores intrínsecos da biomecânica do movimento devem ser conhecidos (MAGLISCHO, 2010). Deste modo, deve-se entender os elementos que afetam a capacidade de nadar rápido.

Os estudos da locomoção humana são complexos, especialmente em pesquisas na água onde a força do corpo em movimento é aplicada a um fluido estacionário (ZAMPARO et al., 2008).

Estudos (SANTOS JÚNIOR et al., 2011; VIDELER, 1993) observaram que a velocidade média de nadar embaixo d'água é 10% mais rápida do que a natação de superfície. Para Videler (1993), a natação na superfície provoca arrasto extra, gerando ondas que acompanham o nadador. Portanto, o MPOS, utilizado após a saída e viradas, minimiza as forças de arrasto na água, maximizando as forças propulsoras, de forma a diminuir o esforço físico exigido pelo nadador em razão da resistência da onda ser insignificante em profundidade (VENNELL, PEASE e WILSON, 2006).

O ângulo do tornozelo e a flexão plantar máxima foram estudados por Sugimoto et al. (2008). Eles observaram que o aumento do ângulo de flexão plantar em torno de 5° pode ter um significativo efeito sobre a pressão gerada. Desta forma, pequenas alterações nos ângulos das articulações podem influenciar consideravelmente na hidrodinâmica do nado.

Tem sido sugerido que o aumento da flexibilidade articular permite ao nadador atingir uma maior amplitude de movimento (PLATONOV, 2005). O trabalho de Troup (1999) demonstrou que nadadores de elite são mais flexíveis nos ombros e tornozelos do que nadadores recreacionais. A flexibilidade pode ter uma participação

significativa na natação, pois quanto maior o alongamento articular do tornozelo, melhor será a aplicação de força da pernada, tanto no movimento de pernada para cima, quanto para baixo. Por isso, a importância em se realizar corretamente a técnica da pernada (FRANKEN et al., 2008).

Uma revisão sobre a ondulação subaquática foi realizada por Connaboy, Coleman e Sanders (2009). Este levantamento concluiu que mais pesquisas são necessárias para apreciar a complexidade do MPOS e assim analisar o modo como os seres humanos podem otimizar ainda mais o desempenho.

Apesar da importância do MPOS, a literatura ainda carece de um maior número de pesquisas empenhadas em investigar os fatores cinéticos e cinemáticos que possibilitem a avaliação do movimento de pernas na ondulação subaquática.

Desta maneira, este estudo pode ser útil para identificar os critérios decisivos para melhorar o desempenho em MPOS.

## 1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Esta pesquisa delimitou-se a analisar as seguintes variáveis: duração do ciclo, amplitude, deslocamento horizontal, velocidade máxima horizontal, pico de força, força média, velocidade máxima vertical para baixo e para cima e os ângulos do joelho, quadril e tornozelo durante um ciclo de pernada do MPOS. Este estudo comparou as referidas variáveis entre dois grupos em relação ao desempenho no percurso de 5 até 15 m. Além disso, foram correlacionadas estas variáveis para encontrar os fatores que mais influenciaram no tempo de 10 metros no percurso de 5 até 15 m.

## 1.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

As limitações encontradas na realização deste estudo dizem respeito ao número de ciclos analisados. Pela proximidade das câmeras com a trajetória onde o nadador passava, foi possível apenas analisar um ciclo completo do MPOS em cada câmera, posicionadas no 5, 10 e 15m. Outra limitação foi a profundidade da piscina que era de, no máximo, 1,60 m, limitando a escolha dos nadadores em realizar o MPOS em maiores em profundidades.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta os conceitos do MPOS e uma revisão de literatura relacionada aos parâmetros biomecânicos que estão ligados ao tema deste estudo, abrangendo tópicos que sustentem a discussão dos dados coletados.

### 2.1 HISTÓRICO DO MPOS

A aplicação do MPOS na natação competitiva é relativamente recente. A primeira utilização da pernada submersa remonta aos Jogos Olímpicos de Moscou em 1980, (ARELLANO, PARDILLO e GAVILÁN, 2002). Em 1988, nos Jogos Olímpicos de Seul, foram verificadas significativas reduções nos recordes mundiais devido à utilização do MPOS (CLOTHIER, et al., 2000). Já em 1992 em Barcelona e 1996 em Atlanta, recordes foram batidos, aplicando essa técnica de ondulação submersa (ARELLANO, PARDILLO e GAVILÁN, 2002). Outros nadadores também ficaram famosos pela utilização da técnica, como os americanos Misty Hyman e Jeff Rouse, assim como o russo Denis Pankratov, que estabeleceu o recorde mundial nos 100 metros Borboleta, percorrendo 40% da prova realizando o MPOS (COLLARD, AUVRAY e BELLAUNAY, 2011). Foi então que a FINA decidiu, no ano de 1998, após o Mundial de Natação, em limitar a regra do nado submerso até os 15 metros (FINA, 1998).

### 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO MPOS

A pernada submersa é composta por movimentos cíclicos que são divididos em duas fases (ATKISON et al., 2014). Os movimentos são realizados com trajetórias descendentes (chute para baixo) e ascendentes (recuperação), sempre com as pernas unidas, trabalhando no sentido vertical simultaneamente (CHOLET et al., 2006).

A fase descendente é iniciada quando o calcanhar atinge a amplitude máxima da trajetória dos pés para cima, momento este em que acontecerá uma pequena flexão da articulação coxofemoral e do joelho, fazendo com que haja um pequeno abaixamento do joelho para uma posterior extensão rigorosa da perna (ATKISON, et al., 2014). Os pés deverão estar em flexão plantar e em inversão, procurando aproveitar bem a pressão realizada pelo dorso dos pés e pernas na água (CHOLET et al., 2006).

A fase ascendente, por sua vez, ocorrerá a partir da retomada da perna para a posição inicial estendida, ainda em flexão plantar (ATKISON, et al 2014).

Os músculos, que contribuem para a extensão do quadril, são o glúteo máximo, médio, mínimo e os isquiotibiais. Os músculos iliopsoas e reto femoral do quadríceps são flexores do quadril. A extensão do joelho é causada pelo quadríceps. Os músculos responsáveis pela flexão plantar do tornozelo são o flexor plantar, gastrocnêmio e sóleo, junto com tibial posterior e fibular longo (CHOLET et al., 2006). No ambiente aquático, a flexão plantar do tornozelo também é auxiliada pela resistência da água durante o nado (TROUP, 1999).

### 2.3 REGRAS DO MPOS

A técnica esportiva é dependente dos regulamentos da modalidade em questão. No caso da natação, as regras são estabelecidas pela *Fédération Internationale de Natation* – FINA, órgão máximo deste esporte, que gerencia as competições internacionais.

As regras referentes às limitações quanto ao uso do MPOS nos estilos (Crawl, Costas, Borboleta e Peito) são compostas pelos seguintes artigos que englobam a saída e as viradas. São eles: SW 5.3 – nado Livre, SW 6.3 – nado de Costas. Esta regra determina que alguma parte do nadador deve quebrar a superfície da água durante a

prova, exceto quando é permitido ao nadador estar completamente submerso durante a volta e numa distância não maior que 15 metros após a partida e em cada volta. Nesse ponto, a cabeça deve quebrar a superfície da água (FINA, 2013). Observa-se que não é obrigatória a realização do MPOS durante este percurso subaquático. Estudos mostram, porém, a eficiência da utilização desta técnica na saída e nas viradas (CAVANAGH E KRAM, 1985; COHEN, CLEARY, MASON, 2012; TOUSSAINT, 2001; SANTOS JÚNIOR et al., 2011).

Pelo fato de o estilo de Borboleta apresentar o movimento ondulatório, a regra que se aplica para os membros inferiores deste nado é a SW 8.3 – todos os movimentos para cima e para baixo das pernas devem ser simultâneos. As pernas ou os pés não precisam estar no mesmo nível, mas não podem alternar em relação ao outro (FINA, 2013). Complementando a regra SW 8.3 do estilo Borboleta, a SW 8.5 segue a seguinte variação em relação aos estilos Crawl e Costas: após a saída e na volta, ao nadador é permitido uma ou mais pernadas e uma braçada sob a água, que deve trazê-lo à superfície. É permitido ao nadador estar completamente submerso até uma distância não maior do que 15 metros após a partida e após cada virada. Nesse ponto, a cabeça deve quebrar a superfície. O nadador tem que permanecer na superfície até a próxima volta ou final (FINA, 2013).

Para o nado de peito, o MPOS anterior a 2012 era proibido. Depois de muitas discussões, a FINA decidiu regulamentar a utilização desta pernada. Desta forma, a nova regra para este nado diz que após a saída e em cada volta, o nadador pode dar uma braçada completa até as pernas, enquanto o nadador estiver submerso. Uma única pernada de golfinho é permitida durante a primeira braçada, seguida de uma pernada de peito.

## 2.4 EFICIÊNCIA DO MPOS

Segundo Santos Júnior et al. (2011), além dos quatro nados já conhecidos (Crawl/livre, Costas, Peito e Borboleta), o MPOS pode ser considerado o “quinto nado”. Afinal, qualquer um destes estilos pode se valer da ondulação subaquática, que é realizada imediatamente após a saída do bloco e nos momentos de viradas, devido a sua eficiência.

O estudo de Zamparo et al. (2012) analisou os efeitos da velocidade máxima e da aceleração durante a virada e a eficiência da pernada de golfinho na determinação da velocidade e aceleração nos primeiros 10 m depois de cada virada de uma prova de 100 metros. Participaram do estudo treze nadadores (sete do sexo masculino e cinco do sexo feminino) e todos os parâmetros foram obtidos a partir da análise cinemática submersa. Os resultados deste estudo indicam que nos 5-15 m, após a primeira virada, a velocidade é essencialmente sustentada pela força gerada pelo nadador na parede da piscina, mas também indicam a importância da pernada de golfinho eficiente como fator essencial para manter a velocidade alta.

Para Cavanagh e Kram (1985), um dos conceitos comumente utilizados nesta técnica está ligada a eficiência gerada pelo movimento. Com isso expressa uma relação objetiva e quantitativa entre o trabalho mecânico realizado, num determinado contexto, e o gasto energético que lhe está associado. Os movimentos de propulsão do nadador devem ser apropriadamente iniciados quando a velocidade atinge valores de 2,2 e 1,9 m·s<sup>-1</sup> (LYTTLE et al., 2000). No estudo de Elipot et al. (2010), o objetivo foi determinar as variáveis cinemáticas que melhoram o desempenho durante a fase subaquática após a saída do bloco de partida. Esta pesquisa contou com 10 nadadores de nível estadual e foi realizada através de cinemática 3D. Os

autores sugerem que após a saída, a distância ótima para o nadador iniciar o movimento de propulsão é quando o centro de massa atingi 5,61-6,01 m, a partir da parede. Neste momento, ocorre uma otimização da relação velocidade do deslizamento e coeficiente de arrasto.

Alves et al. (2006) investigaram os efeitos da orientação dorsal, ventral e lateral do corpo durante a pernada submersa em seis nadadores de nível nacional. Esta pesquisa foi realizada por cinemática 3d. Os resultados mostraram que o posicionamento lateral do corpo causou um aumento nas amplitudes do MPOS e o posicionamento dorsal do corpo levou a uma maior extensão do tornozelo.

Atkison et al. (2014) estudaram quinze nadadores do sexo masculino com diferentes níveis (estadual a internacional) com o objetivo de avaliar se a simetria entre as fases descendentes e ascendentes do MPOS está relacionada ao desempenho. Este estudo usou cinemática 2D. A simetria neste experimento foi avaliada por meio da comparação dos ângulos articulares, do deslocamento horizontal do centro de massa, da velocidade horizontal do centro de massa, e a velocidade vertical dos pés durante as duas fases. Os resultados encontrados suportam a hipótese de que os nadadores mais rápidos têm as fases (ascendente e descendente) do MPOS mais simétricas do que nadadores mais lentos. Este estudo demonstra que a maioria dos nadadores é capaz de realizar o chute descendente com velocidade, mas os sujeitos efetivamente mais velozes são mais capazes de realizar a fase de recuperação do MPOS de forma mais rápida. Este estudo especula que a flexibilidade pode contribuir para um melhor desempenho da recuperação da pernada.

A pesquisa de Cohen et al. (2012) demonstrou, por modelagem matemática, que a maior parte do impulso durante a pernada subaquática é produzido pelos pés e

que o impulso produzido durante a fase descendente é muito maior do que durante a fase de recuperação (fase ascendente). Webb et al. (2012) também usaram simulação matemática a fim de encontrar a validação para modelos computacionais que podem melhor explicar o MPOS. O estudo de Cohen et al. (2009) é um exemplo da aplicação do avanço de técnicas computacionais para a natação. Uma das principais vantagens deste tipo de trabalho, como apontado por Von Loebbecke et al. (2009), é a possibilidade de calcular a eficiência mecânica do movimento aquático. Porém, ainda são precárias as capacidades para modelar as condições verdadeiramente complexas de entendimento do fluido. Além disso, permanecem indefinidas as conexões dos fatores biomecânicos de computação com o gasto energético e fisiológico do ser humano real (WEI, MARK e HUTCHISON, 2014).

Alguns estudos, ainda, discutem o MPOS dos seres humanos, utilizando como parâmetro a locomoção dos animais aquáticos (ARELLANO et al., 2002; COHEN, CLEARY e MASON, 2012; CONNABOY, COLEMAN e SANDERS, 2009; LOEBBECKE et al., 2009). No estudo de Von Loebbecke et al. (2009) foi realizada uma análise cinemática com treze nadadores (nove do sexo masculino e quatro do sexo feminino) de nível olímpico, comparando esses dados com os golfinhos. Foi encontrado que os humanos e os cetáceos têm amplitudes semelhantes, quando padronizados pelo tamanho corporal, mas os seres humanos têm frequências muito mais elevadas do MPOS isso devido a disparidade morfológica causada por diferentes prioridades de adaptação evolutiva.

Os estudos de Mittal et al. (2006) e Von Loebbecke et al. (2009) mostraram a criação de um anel de vórtice durante o chute final do MPOS e que esta fase está associada com a maior parte da geração de impulso. Foi

também quantificada a eficiência (definida em termos de trabalho útil dividido pelo total de trabalho) da pernada de golfinho. Para os seres humanos, esta eficiência é de 11% e 29%, medida obtida pela comparação de cinco nadadores de nível de internacional, enquanto para os cetáceos estes valores atingiram 56% de eficiência.

A revisão de literatura realizada por Connaboy, Coleman, e Sanders (2009) questionou pesquisas comparativas entre nadadores e cetáceos realizando o MOPS. Um dos argumentos seria que os golfinhos têm uma eficiência natatória muito superior que os seres humanos, o que pode ser entendido a partir da disparidade morfológica causada por diferentes prioridades de adaptação evolutiva. Este trabalho identifica também deficiências da literatura de estudos com a ondulação e sugere pesquisas paramétricas de frequências, amplitude e força de arrasto do MPOS.

## 2.5 O ARRASTO E O MPOS

O estudo de Clarys e Jiskoot (1975), que se tratava de uma pesquisa experimental da aplicação da hidromecânica fundamental para o corpo humano, demonstrou a importância que a posição do corpo do nadador representa no fluido. Foi analisada a posição hidrodinâmica dos nadadores e sua relação com os coeficientes de arrasto. Do mesmo modo, este conhecimento é um fator decisivo para entender as forças de arrasto e as propulsoras geradas por um corpo em movimento no meio líquido.

Lyttle et al. (1998) mostraram que a natação submersa tem maior eficiência se comparada com a natação de superfície. Isto devido à redução da força de arrasto quando o nadador encontra-se submerso. Em outro estudo realizado por estes mesmos autores (2006), mediuse o arrasto passivo, utilizando uma máquina de reboque

em diferentes velocidades e profundidades de deslizamento. Os resultados demonstraram uma diminuição de 10 a 20% na força de arrasto quando o nadador viaja a 0,4 e 0,6 m de profundidade em relação a superfície da água e uma redução de 7 a 14% quando o deslizamento ocorre a 0,2 m de profundidade. Os resultados mostraram ainda que a maioria dos nadadores deve esperar por cerca de 1 segundo antes de iniciar o MPOS (LYTTLE e BLANSKÝ, 2000).

Na dinâmica do MPOS, Toussaint (2001) constatou que a velocidade na superfície da água é restringida pela formação de ondas de superfície. As ondas resultam da variação de pressão devido às velocidades diferenciais do nadador na água. Na medida que aumenta a velocidade, a onda de proa aumenta de tamanho. O nadador se desloca através dessa massa d'água, que não pode fluir para fora do caminho rapidamente, o que dificulta o aumento da velocidade do nadador. O estudo de Vennell, Pease e Wilson (2006), por sua vez, comparou o efeito de diferentes profundidades em relação ao arrasto gerado pelo nadador. Esta pesquisa usou uma simulação com manequins. Os resultados demonstraram que a resistência da onda no manequim é menor em profundidades superiores a 0,5 m. Já para profundidades superiores a esta o arrasto aumentava acentuadamente, chegando a 60% a mais que abaixo dos 0,5 m a velocidades de 1,7 m s<sup>-1</sup>. As medições mostraram que, para evitar o arrasto de onda significativo durante as saídas e viradas, os nadadores devem buscar profundidades superiores a 1,8 m da superfície.

Marinho et al. (2009) mediram a quantidade de arrasto durante o deslizamento debaixo d'água. Na conclusão deste trabalho também foram encontradas evidências que, em maiores profundidades, o coeficiente

de arrasto é diminuído, facilitando, assim, o deslocamento do nadador.

## 2.6 FLEXIBILIDADE E O MPOS

Segundo Farinatti (2000), é na natação que se encontra a maior quantidade de trabalhos, demonstrando evidências de como a flexibilidade dos membros inferiores e superiores podem influenciar no desempenho.

Hay (1978) acrescenta que a flexibilidade dos tornozelos, em muitos aspectos, pode ser mais importante para a propulsão na natação que a própria força muscular. O autor justifica essa proposição pelo fato de que a potência da pernada seria muito mais definida pela técnica de execução e pela boa angulação de aplicação da força, do que pela potência muscular em si. A vantagem de uma boa técnica de execução de movimento de pernas, aliada a uma boa flexibilidade, poderiam equivaler a mais de 50% da propulsão obtida, segundo o autor. Para Caputo et al. (2006), o nível de habilidade técnica, o sexo, a idade, e o estilo estão entre os principais fatores que interferem no custo de nado.

Nakashima et al. (2008) investigaram os efeitos dos ângulos de flexão plantar máxima através de uma simulação de matemática de natação simplificada, conhecida como coeficientes de forças hidrodinâmicas. Eles descobriram que o aumento do ângulo de flexão plantar em cerca de 5° pode ter um efeito significativo sobre o impulso gerado.

Cohen, Cleary e Mason (2012) exploraram os efeitos da força, flexibilidade do tornozelo e frequência da pernada. A pesquisa também foi realizada através de simulações matemáticas. Os resultados encontrados sugerem que a força é relativamente insensível à flexibilidade do tornozelo, mas é fortemente dependente da

frequência. Foi constatado que a média das forças aumentou linearmente com a frequência.

## 2.7 AMPLITUDE DO MPOS

Lyttle e Keys (2000, 2006) estudaram a diferença entre a alta frequência e a pouca amplitude em comparação com a baixa frequência e grande amplitude do MPOS. Este estudo utilizou análise de simulação matemática. Eles concluíram que a grande amplitude da pernada foi mais eficaz em velocidades médias inferiores a 2,4 m/s. Notaram também que muito da propulsão é gerada a partir das pernas e não a partir dos pés.

Estudos da cinemática do MPOS foram realizados por Arellano, Pardillo, e Gavilán (2003), que investigaram parâmetros como amplitude e frequência do MPOS no deslocamento horizontal, a velocidade média horizontal, além do ângulo do joelho, com nadadores em esforço máximo. A principal conclusão foi que o aumento da velocidade de natação é determinado pelo aumento da frequência, mantendo, contudo, a amplitude constante.

## 2.8 FORÇA DO MPOS

O único estudo encontrado que mensurou a força dos membros inferiores e comparou com a eficiência do MPOS foi de Willems et al. (2014), utilizando um dinamômetro modelo *Microfet 2*, para estabelecer os seguintes parâmetros: a força isométrica dos flexores plantares, flexores dorsais, rotadores internos e externos do tornozelo. O objetivo desta pesquisa foi investigar o efeito da flexibilidade e da força muscular do tornozelo na pernada de subaquática em nadadores competitivos. Foram analisados vinte e seis nadadores competitivos saudáveis (quinze homens e onze mulheres). Para este estudo foi utilizada cinemática 2D e dinamometria. Os

nadadores também foram submetidos a um teste com a utilização de uma fita que impediu uma gama de movimentos do tornozelo. Os resultados mostraram que os nadadores com mais força no flexor dorsal e rotador interno desenvolveram uma velocidade significativamente maior. A força do flexor plantar e rotador externo, no entanto, não afetou a velocidade. Durante a fase descendente do MPOS, a flexibilidade do tornozelo e as velocidades de deslocamento do nadador foram significativamente prejudicadas. Contudo, este fato pode estar relacionado com a limitação de alguns movimentos.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente conteúdo visa explicar os métodos e os materiais utilizados neste estudo. Com a finalidade de facilitar o entendimento desta pesquisa, cabe aqui uma breve descrição das opções de coleta e análise dos dados. Assim, este estudo teve como foco inicial a comparação entre dois grupos heterogêneos em relação ao seu desempenho no tempo de 5 até 15 m. Após encontrados os resultados e analisados os dados, optou-se por explorar as variáveis cinéticas e cinemáticas que possivelmente influenciaram no desempenho do MPOS. Desta forma, dois trabalhos paralelos podem ser encontrados neste estudo: um sempre com o objetivo comparativo (estudo entre os dois grupos), enquanto o outro tem por fim correlacionar as variáveis em relação ao desempenho (estudo correlacional).

#### 3.1 TIPO DE PESQUISA

Este estudo caracterizou-se, do ponto de vista dos seus objetivos, numa pesquisa descritiva, pois, segundo Thomas; Nelson e Silverman (2011), estabeleceu relações entre os fatos na intenção de encontrar esclarecimentos mais aprofundados sobre o comportamento do fenômeno (o movimento de pernas na ondulação subaquática).

#### 3.2 SUJEITOS

Participaram da pesquisa 24 nadadores do sexo masculino ( $22,2 \pm 8,1$  anos de idade,  $7,3 \pm 4,8$  anos de prática de natação,  $73,1 \pm 11,5$  kg e massa corporal e  $1,77 \pm 0,08$  metros de estatura), pertencentes a equipes do Estado de Santa Catarina. Em contato prévio com os técnicos, solicitou-se a disponibilidade do maior número de

nadadores, independentemente do nível de habilidade, levando em conta apenas os seguintes critérios para inclusão: ter uma boa técnica para realizar o nado de borboleta e possuir capacidade de manter-se em apneia na fase subaquática por, no mínimo, 25 metros.

Ante do início dos estudos uma reunião foi agendada com os nadadores com o propósito de esclarecer os objetivos e o protocolo da coleta de dados, bem como a importância da realização do estudo. Antes de cada coleta, os nadadores foram novamente instruídos em relação os procedimentos a que seriam submetidos. Foi solicitado que assinassem o termo de consentimento livre e esclarecido e o termo de consentimento para fotos, vídeos e gravações. Todos os procedimentos foram realizados em acordo com os padrões nacionais e internacionais para pesquisas em humanos.

### 3.3 INSTRUMENTOS

#### 3.3.1 ANTROPOMETRIA

Os equipamentos utilizados para coleta de dados antropométricos foram: (a) uma balança digital com resolução de 0,1 kg (modelo BAL-150PA, da Techline, São Paulo, Brasil); (b) um estadiômetro com resolução de 0,01 m (modelo compacto E210, da Wiso, São Paulo, Brasil); e (c) uma fita antropométrica com resolução de 0,01 m (trena antropométrica, da Cescorf, Porto Alegre, Brasil).

#### 3.3.2 CÂMERAS DE VÍDEO SUBAQUÁTICAS

Para a captura de imagens durante as execuções do nado submerso foram utilizadas quatro câmeras filmadoras subaquáticas: (1) PowerShot D10 (Canon, Japão), (2) Xacti

DMX-CA8 (Sanyo, Japão), (3) Handycam Dcr-sr68 (Sony, Japão) e (4) Action Cam HDR-AS15/b (Sony, Japão). As câmeras 1, 2 e 4 operaram a uma frequência de 30 Hz, e a câmera 3 operou a uma frequência de 60 Hz.

### **3.3.3 SISTEMA AQUANEX**

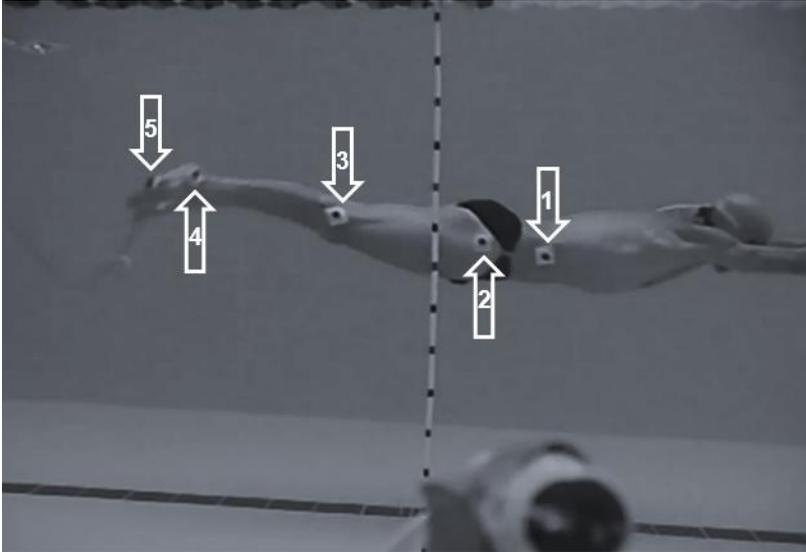
Para mensuração da força do MPOS, foi utilizado o equipamento Aquanex (*Swimming Technology Research*, Estados Unidos), que possui dois sensores que foram posicionados no pé do atleta, entre o hálux a 2° falange média de cada um dos pés. O aparelho estima a força a partir dos sensores de pressão presos nos dedos. O conversor A/D é ligado a um computador portátil. O erro dos sensores é de aproximadamente 0,2% segundo o fabricante. O sinal é processado pelo software Aquanex® 3.7, gerando gráficos e um banco de dados (HAVRILUK, 1988). O equipamento operou coletando os dados a uma frequência de 100 Hz.

## **3.4 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS**

### **3.4.1 MODELO ANATÔMICO**

Foram escolhidos cinco pontos anatômicos, sinalizados por marcadores esféricos de 20 mm de diâmetro, para serem usados para obtenção das variáveis cinemáticas. Estes foram colados unilateralmente (no hemisfério direito), com fita adesiva transparente contendo fundo branco para aumentar o contraste entre o marcador, que é preto, e o corpo do nadador, facilitando assim a identificação dos pontos nas imagens (Figura 1).

Figura 1 - Modelo anatômico com os 5 pontos de digitalização enumerados: 1) o marcador da crista ilíaca, convencionada neste estudo como “quadril”; 2) marcador do ponto Trocantérico definido como “coxa”; 3) marcador do epicôndilo lateral do fêmur, denominado “joelho”; 4) marcador do maléolo lateral, aqui convencionado de “tornozelo” e 5) marcador na falange distal do pé.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

De cima para baixo, estes marcadores foram posicionados da seguinte forma: 1) o primeiro foi fixado na crista ilíaca, convencionada neste estudo como “quadril”; 2) o segundo foi colocado no ponto Trocântico definido por este trabalho como “coxa”; 3) o terceiro foi colocado no epicôndilo lateral do fêmur, denominado “joelho”; 4) o quarto foi colocado no maléolo lateral, aqui convencionado de “tornozelo”; 5) o último foi colocado na falange distal do pé, chamado nesta pesquisa de “pé”.

### 3.5 PROCEDIMENTOS

O estudo foi realizado em piscina coberta de 25 X 16 m e 6 raias, com profundidade máxima de 1,8 m e mínima de 1,2 m e temperatura da água de  $30\pm 1$  °C, localizada no Centro de Ciência da Saúde e do Esporte – CEFID, na Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC em Florianópolis-SC

#### 3.5.1 PREPARAÇÃO DOS SUJEITOS

Em data e hora pré-agendadas, cada nadador apresentou-se individualmente para a coleta, ocasião na qual todos os procedimentos foram, novamente, explicados, sendo solicitado que assinassem o termo de consentimento livre e esclarecido, bem como de consentimento para fotos, vídeos e gravações. Para sujeitos menores de idade, foi antecipadamente entregue estes termos e devolvidos no dia da coleta de dados com a declaração devidamente preenchida e assinada pelos pais ou por responsável. Em seguida, os nadadores responderam a um questionário de identificação, informando os seguintes dados: nome, telefone, equipe, idade, tempo de prática de natação, horas semanais de treino, principais provas e principais títulos.

Após, foram coletados dados antropométricos definidos pelos pontos anatômicos, segundo as padronizações da *International Society for Advancement in Kinanthropometry* - ISAK. Foram obtidas as seguintes medidas: 1) massa – com o avaliado em pé e em na posição ortostática; 2) estatura – com o avaliado em pé e, estando a cabeça no plano de Frankfurt, mediu-se a distância entre o Vértex e a região plantar; 3) comprimento da coxa – mediu-se do ponto Trocântero até a ponto

Tibial; 4) altura da perna – mediu-se a distância entre o ponto Tibial e a região plantar; e 5) comprimento do pé – mediu-se a distância entre os pontos Pterial e Acropodial.

### 3.5.2 COLETA DE DADOS

Todos os nadadores realizaram o mesmo aquecimento, que consistia em 5 minutos pedalando em velocidade média em uma bicicleta ergométrica sem carga. Após o aquecimento, foram posicionados os sensores de pressão do sistema Aquanex<sup>®</sup> nos pés do nadador. Estes sensores eram fixados com uma fita *Silver Tape*, a fim de evitar que se deslocassem do pé do nadador (este procedimento durava aproximadamente um minuto). Em seguida, o nadador entrava na piscina e fazia uma breve familiarização com o equipamento antes de prosseguir com a coleta de dados.

Após o término da preparação, do aquecimento e da adaptação, os nadadores foram submetidos a 4 (quatro) execuções máximas de nado submerso de 17 m, com pelo menos dois minutos de descanso entre as execuções, em repouso passivo (parado na borda da piscina). As execuções foram realizadas em posição hidrodinâmica, envolvendo apenas o movimento de pernas na ondulação subaquática – MPOS. As execuções foram iniciadas na borda (com o nadador grupado e com os pés apoiados paralelamente) após um sinal sonoro, e eram finalizadas quando o nadador passava com a cabeça por uma marca colocada no fundo da piscina a 17 m da borda de partida. Para ser considerada uma execução válida, os nadadores deveriam manter sua trajetória sobre a faixa de orientação longitudinal da raia e não deveriam quebrar a linha d'água antes da marca dos 17 m. Adicionalmente, o nado submerso deveria ser realizado em posição ventral do corpo, da mesma forma como os protocolos utilizados em outras pesquisas (ARELLANO, GAVILÁN, e GARCIA,

1998; ARELLANO et al., 2000). Tais condições foram verificadas através de observação, realizada pelo pesquisador. A profundidade na qual o nadador realizou cada execução não foi controlada. Nenhum feedback de desempenho foi fornecido durante e/ou após as execuções, porém, todos os atletas recebiam estímulo verbal para realizar cada execução em máxima velocidade (BORGES et al., 2012).

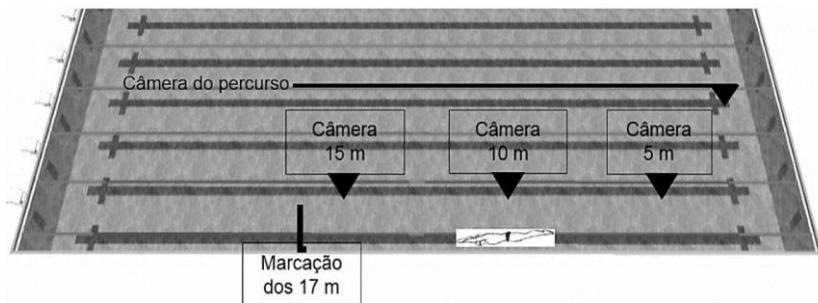
Com a finalidade de enumerar cada tentativa, foram utilizadas toucas de cores diferentes para cada uma das execuções, com a seguinte ordem: 1º) preta; 2º) vermelha; 3º) azul; 4º) branca. Quando alguma tentativa não era válida, o sujeito repetia com a mesma cor de touca, sendo analisada apenas a segunda execução.

### **3.5.3 PREPARAÇÃO DOS INSTRUMENTOS**

Para a realização deste estudo, optou-se pela utilização de quatro câmeras de vídeo subaquáticas, das quais três foram fixadas a tripés presos por ventosas no fundo da piscina, enquanto uma acompanhou o nadador durante o percurso, sempre mantendo o ponto do quadril e a profundidade que o sujeito se encontrava como referência. A estrutura montada baseava-se nas três câmeras posicionadas nos 5, 10 e 15 metros, perpendiculares a passagem do nadador, a uma altura de 0,7 m (Figura 2). A posição das câmeras não foi alterada durante toda a sessão de cada sujeito. A distância da câmera e o local onde os nadadores passavam era de, aproximadamente 3,5 metros.

A distribuição das 4 câmeras pela piscina para a realização da coleta de dados pode ser vista na figura 2.

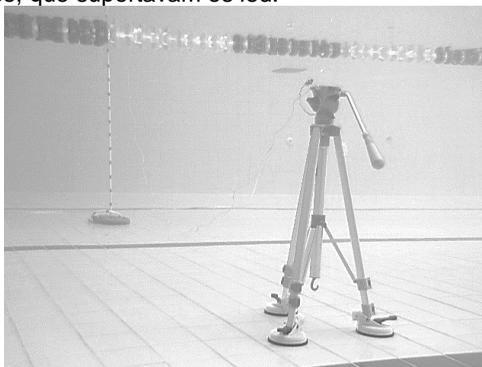
Figura 2 - Configuração das três câmeras posicionadas nos 5, 10 e 15 m e uma última câmera acompanhando o percurso do nadador.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Uma corda de referência foi presa à raia e em anilhas nas respectivas distâncias das câmeras (5, 10 e 15 metros). Esta linha era convergente a sua câmera sendo utilizada como marco de tempo, que era adquirido a partir da passagem da cabeça nesta linha à superfície da água ao longo do percurso de movimento dos nadadores (Figura 3).

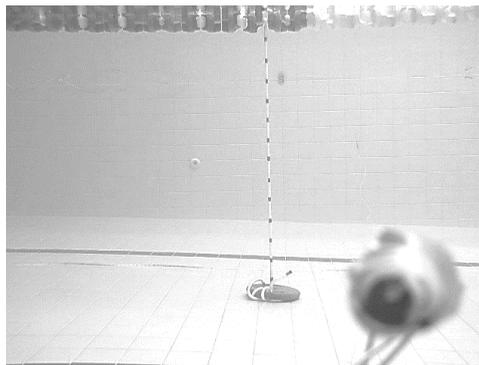
Figura 3 - Demonstração do tripé preso ao fundo da piscina por ventosas e das estruturas de aço, que suportavam os led.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Foram anexadas estruturas de aço a cada tripé, que suportavam uma lâmpada de led, esta ligada a um sistema de sincronização com capacidade de cinco saídas simultâneas com adaptadores P2 (similar aos usados por fones de ouvido). Este sistema, por sua vez, era ligado a uma fonte de 12 volts. Uma das saídas proporcionava a utilização de um equipamento de som. Foram, portanto, utilizadas caixas de som e o sinal luminoso em cada câmera, sendo todos acionados ao mesmo tempo pelo mesmo dispositivo (Figura 4).

Figura 4 - A linha de referência presa à raia e na anilha e câmera com sincronizador de led posicionada convergente no local onde o sujeito passava.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

#### 3.5.4 CALIBRAÇÃO

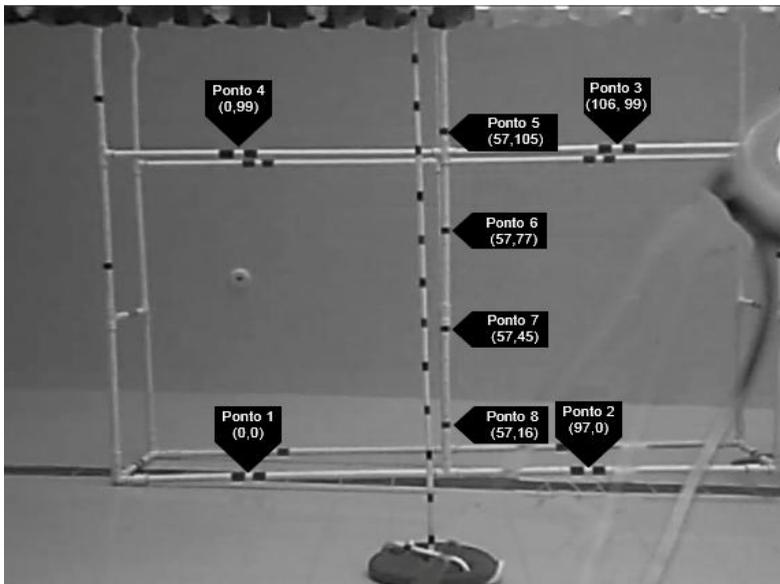
A definição dos parâmetros necessários para a reconstrução DLT (*Direct Linear Transformation*) exigiram procedimentos de calibração que se constituem de uma série de pontos de localização conhecida no espaço, marcados em uma estrutura rígida (Allard et al., 1995). As

imagens da estrutura de calibração foram registradas por todas as câmeras usadas para aquisição.

Para este estudo, utilizou-se uma estrutura modular, construída em *PVC (polyvinyl chloride)*, de forma retangular, com 1,50 m de altura, 0,5 m de profundidade, 2 e 1.92 m de largura, tendo a possibilidade de marcar inúmeros pontos. Foram escolhidos 8 pontos de calibração, distribuídos na estrutura, de forma a serem captados na câmera, cobrindo o espaço de ocorrência do evento. Para corrigir a diferença de nível causada pela alteração da profundidade da piscina, o calibrador foi nivelado utilizando calços com referência a lamina d'água.

As medidas do calibrador e a marcação dos pontos usados na calibração estão ilustradas na abaixo Figura 5.

Figura 5 - Calibrador com pontos usados na calibração e as medidas das coordenadas  $x$  e  $y$  em centímetros.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

### 3.6 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

As variáveis a serem definidas têm sua origem nos métodos de medição utilizados neste estudo (cinéticas e cinemática). Estas foram selecionadas observando-se os parâmetros que melhor correspondem ao objetivo de desempenho de um nadador, ou seja, realizar uma prova no menor tempo possível e que, ao mesmo tempo, caracterizem o MPOS. Para tanto, as variáveis foram classificadas em Variáveis Temporais, Variáveis Cinéticas e Variáveis Cinemáticas.

#### 3.6.1 VARIÁVEIS TEMPORAIS

As Variáveis Temporais referem-se ao tempo de duração de cada execução de cada série, mensurado pelas câmeras localizadas e sincronizadas nos 5, 10 e 15 m e, também, para cada ciclo do MPOS em particular.

- Tempo 5 – 15 m (s): corresponde ao tempo gasto pelo nadador para percorrer os 10 m intermediários em cada execução. Esta variável foi usada para classificar os grupos em 1 e 2. Foi mensurada através do intervalo decorrido entre a passagem da cabeça (Vertéx) na câmera na linha dos 5 metros e a passagem deste mesmo ponto anatômico na última câmera na linha dos 15 m.
- Duração do ciclo (s): corresponde à duração total do ciclo de pernada analisado. Foi mensurada considerando-

se o intervalo entre início do ciclo (fase mais ampla da pernada) e final do ciclo (retorno a esta fase mais ampla da pernada).

### 3.6.2 VARIÁVEIS CINÉTICAS

As Variáveis Cinéticas referem-se, basicamente, à força (N) aplicada pelo nadador durante o MPOS. Estas variáveis foram geradas pelo sistema de aquisição de dados Aquanex (Swimming Technology Research, FLO, USA) descrita no item 3.3.3.

- Pico Máximo de Força: é o maior valor encontrado na curva de força de cada pernada. É expresso em newtons (N).
- Força Média: é o valor médio da força aplicada durante cada ciclo. É expressa em newtons (N).

### 3.6.3 VARIÁVEIS CINEMÁTICAS

- Número de pernadas: foi definido pelo número de pernadas que o nadador faz durante o percurso de 5 – 15 m. Um ciclo é definido por iniciar na fase mais ampla da pernada durante a fase ascendente e o retorno a este ponto. Para esta medida foi considerado meio ciclo de pernada, que consistiu no deslocamento do pé da fase de pico até o ponto mais inferior da fase descendente, antes de retornar. Esta variável foi quantificada pela câmera que acompanhava o sujeito durante o percurso da tentativa.

- Frequência de pernada (Hz): é o número de pernadas divididas pelo tempo de 5 -15 m.
- Amplitude (m): foi calculada com a subtração do maior valor absoluto no deslocamento vertical do ponto do inicial até o ponto final, durante um ciclo completo.
- Deslocamento Horizontal (m): foi calculado por cinematria como a distância percorrida pelo nadador, com base no deslocamento do ponto da crista íliaca, durante um ciclo completo do MPOS.
- Velocidade vertical máxima ( $V_{m\acute{a}x}$ ) para baixo (m/s): foi medida na coordenada “Y”. Trata-se da máxima velocidade que o tornozelo (ponto do maléolo) atinge no movimento para baixo (maior valor negativo).
- Velocidade vertical máxima ( $V_{m\acute{a}x}$ ) para cima (m/s): foi medida na coordenada “Y”. Trata-se da máxima velocidade que o tornozelo (ponto do maléolo) atinge no movimento para cima (maior valor positivo).
- Velocidades ( $V_{m\acute{a}x}$ ) horizontal (m/s): valor máximo de velocidade no eixo “X” gerado pelo nadador durante um ciclo completo do MPOS, medido no ponto do Quadril.
- Profundidade (m): medida tomada na coordenada “Y” e calculada através da cinematria. Baseia-se na média das profundidades que o quadril (ponto da crista íliaca) atingiu durante um ciclo completo, este valor foi mensurado através do programa *Ariel Performance Analysis Systems* (APAS).

### 3.6.4 VARIÁVEIS CINEMÁTICAS ANGULARES

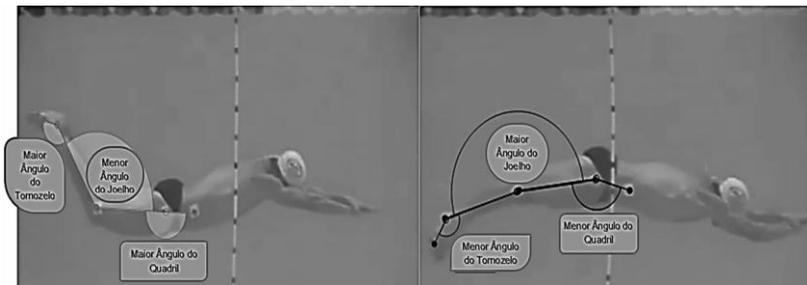
Todos os ângulos foram medidos no programa *Ariel Performance Analysis Systems* (APAS), lembrando que apenas os ângulos do hemitórax do nadador foram avaliados.

- Menor Ângulo do Quadril ( $^{\circ}$ ): medida da maior flexão do quadril dada pela menor amplitude do eixo formado pelo quadril, composto pelos pontos quadril-coxa e o segmento coxa, formado pelo ponto joelho-coxa. Foi medido internamente (Figura 6) e expresso em grau ( $^{\circ}$ );
- Maior Ângulo do Quadril ( $^{\circ}$ ): medida da maior extensão do quadril dada pela maior amplitude do eixo formado pelo quadril, composto pelos pontos quadril-coxa e o segmento coxa, formado pelo ponto joelho-coxa. Foi medido internamente (Figura 6) e expresso em grau ( $^{\circ}$ );
- Menor Ângulo do Joelho ( $^{\circ}$ ): medida da maior flexão do joelho dada pela menor amplitude do eixo formado pelo segmento coxa, formado pelos pontos coxa-quadril, e o segmento perna, formado pelos pontos joelho-tornozelo. Foi medido internamente (6) e expresso em grau ( $^{\circ}$ );
- Maior Ângulo do Joelho ( $^{\circ}$ ): medida da maior extensão do joelho dada pela maior amplitude do eixo formado pelo segmento coxa, formado pelos pontos coxa-quadril, e o segmento perna, formado pelos pontos joelho-tornozelo. Foi medido internamente (Figura 6) e expresso em grau ( $^{\circ}$ );
- Menor Ângulo do Tornozelo ( $^{\circ}$ ): medida da maior flexão dorsal do tornozelo dada pela menor amplitude do

eixo formado pela projeção do segmento perna, formado pelos pontos joelho-tornozelo, e o segmento planta do pé, formado pelos pontos pé-tornozelo do pé. Foi medido internamente (Figura 6) e expresso em grau ( $^{\circ}$ );

- Maior Ângulo do Tornozelo ( $^{\circ}$ ): medida da maior extensão dorsal do tornozelo dada pela maior amplitude do eixo formado pela projeção do segmento perna, formado pelos pontos joelho-tornozelo, e o segmento planta do pé, formado pelos pontos pé-tornozelo do pé. Foi medido internamente (Figura 6) e expresso em grau ( $^{\circ}$ ).

Figura 6 - Representação gráfica das medidas das variáveis: Ângulo do Quadril, Ângulo do Joelho e Ângulo do Tornozelo.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

### 3.7 TRATAMENTO DOS DADOS

#### 3.7.1 TRATAMENTO DAS IMAGENS

Para análise do nado submerso, os vídeos foram cortados no *Software Movie Maker* versão 2012, considerando um ciclo de MPOS completo, ou seja, da fase mais ampla da pernada até o retorno do pé nesta mesma fase. Os vídeos foram convertidos pelo *software Freemake Video Converter*, versão 4.1.3.4, para o formato

áudio e vídeo Windows (.avi), sendo arquivados em pastas por execução de cada nadador.

Para a análise do tempo em cada passagem, os vídeos foram também cortados no *Software Movie Maker* versão 2012, considerando como início da execução o acendimento de uma lâmpada led posicionada na frente de cada uma das câmeras. A tomada do tempo foi realizada até o momento em que a cabeça do nadador (ponto anatômico Vértex) ficasse convergente à linha colocada na raia (Figura 4). Os vídeos foram convertidos pelo *software Freemake Video Converter*, versão 4.1.3.4 para o formato áudio e vídeo Windows (.avi) e foram arquivados em pastas por nadador. No total, 624 vídeos foram cortados, dos quais 312 foram usados para processamento (quatro de cada nadador em cada uma das três câmeras).

O modelo espacial, baseado no modelo de Zatsiorsky e Seluyanov (1983) e adaptado por De Leva (1996), foi transcrito para o programa *Ariel Performance Analysis Systems (APAS)*, da *Ariel Dynamics Inc.*, com dados de massa e altura dos nadadores. As imagens das 3 câmeras foram digitalizadas quadro a quadro, manualmente, neste programa, com os 5 pontos anatômicos, bem como os 8 pontos de calibração e o ponto fixo de referência.

Após a reconstrução *Direct Linear Transformation (DLT)* do programa *Ariel Performance Analysis Systems (APAS)*, da *Ariel Dynamics Inc.*, os resultados foram visualizados através de gráficos, valores numéricos e imagens.

### 3.7.2 TRATAMENTO DO AQUANEX

A análise de dados de força foi conduzida em ambiente Matlab (Mathworks Inc. USA). Inicialmente as curvas de força *versus* tempo foram suavizadas por um

filtro digital Butterworth (passa-baixa de 3ª ordem com frequência de corte de 10 Hz). Foram utilizadas para a análise as curvas de força do membro inferior direito. Foram excluídas as curvas correspondentes aos três primeiros ciclos de passada, a fim de eliminar ruídos provenientes da saída da borda e foram incluídas na análise as curvas correspondentes aos seis ciclos subsequentes de passada, sendo que estes corresponderam ao percurso dos 5 até os 10 metros. Este critério buscou evitar possíveis fases de aceleração (saída da borda) e frenagem devido à finalização da execução e/ou fadiga.

### **3.7.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO**

#### **3.7.3.1 COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS**

Os valores médios das quatro execuções de cada sujeito foram utilizados para a análise estatística. Inicialmente, procedeu-se à análise descritiva dos dados, para a identificação dos valores de média e desvio padrão de cada variável. A normalidade dos dados foi, então, analisada através do teste de Shapiro-Wilk. Para as variáveis que apresentaram distribuição normal, a comparação entre os grupos foi realizada através do teste *t* de *Student* para amostras independentes. No caso de distribuições não normais em pelo menos um dos grupos, utilizou-se o teste "U" de Mann-Whitney. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com a utilização do *software* SPSS for Windows versão 20.0 (SPSS Inc., Estados Unidos), e o nível de confiança adotado para todos os testes foi de 95% ( $p < 0,05$ ).

#### **3.7.3.2 CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS**

Os valores médios das quatro execuções de cada sujeito foram utilizados para a análise estatística.

Inicialmente, procedeu-se à análise descritiva dos dados, para a identificação dos valores de média e desvio padrão de cada variável. A normalidade da distribuição dos dados foi confirmada através do teste de Shapiro-Wilk.

Primeiramente, utilizou-se a correlação de Pearson para investigar a relação de cada variável independente com o desempenho da fase submersa (T5-15m). A partir dessa análise, foram selecionadas as variáveis candidatas a compor o modelo múltiplo de regressão. A seleção das variáveis considerou aquelas que apresentaram correlação significativa com o T5-15m ( $p < 0,05$ ). Antes de proceder à análise multivariada, procedeu-se à análise de multicolinearidade entre as variáveis selecionadas como possíveis preditoras do T5-15m. Foram consideradas multicolineares as variáveis que apresentaram, entre si,  $r$  de Pearson significativo e maior que 0,7 (DOWNING; CLARK, 2003). Nestes casos, a variável que apresentou maior correlação ( $r$  de Pearson) com o T5-15m foi mantida como candidata a compor o modelo múltiplo de regressão.

O modelo final de regressão foi construído através do método *stepwise*, considerando-se um  $p < 0,05$  como critério de entrada da variável no modelo e um  $p > 0,10$  como critério de exclusão da variável do modelo. A adequação do modelo foi verificada através da análise do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) e da distribuição dos resíduos, que deve ser aleatória e normal. Todos os procedimentos foram realizados no software SPSS *for Windows* 20.0 (SPSS Inc, Chicago, Estados Unidos).

## 4 RESULTADOS

Os resultados encontrados neste estudo estão demonstrados a seguir. Conforme expressado anteriormente, este trabalho apresenta dois estudos paralelos. O primeiro visa comparar dois grupos de nadadores. Os resultados são apresentados na tabela 2. O segundo estudo correlaciona as variáveis de maior importância para o MPOS. Estes resultados podem ser observados na Tabela 3 e Tabela 5.

### 4.1 COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS

Dos vinte e quatro sujeitos analisados neste trabalho, dezenove foram escolhidos para formação de dois grupos heterogêneos entre si. Estes grupos foram divididos de acordo com o tempo 5 – 15 m. Esta divisão foi realizada com percentil de 40% dos melhores tempos de 5 – 15 m (Grupo 1) e o percentil de 40% dos piores tempos obtidos entre 5 – 15 m (Grupo 2).

A média das idades, tempo de prática, massa corpórea e estatura dos sujeitos e as divisões por grupo pode ser encontrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos grupos dos voluntários expressos em média e  $\pm$  desvio padrão.

	n	Idade (anos)	Tempo de prática (anos)	Massa (kg)	Estatura (m)
Todos	19	21,9 $\pm$ 8,4	7,3 $\pm$ 3,7	72,0 $\pm$ 10,1	1,77 $\pm$ 0,09
Grupo 1	9	19,4 $\pm$ 5,8	7,4 $\pm$ 4,3	72,3 $\pm$ 8,3	1,78 $\pm$ 0,06
Grupo 2	10	24,1 $\pm$ 10,0	7,2 $\pm$ 3,4	71,7 $\pm$ 12,0	1,76 $\pm$ 0,11

Um resumo dos parâmetros avaliados com respectivas médias para cada grupo, desvio padrão e análise estatística estão representados na tabela 2.

Tabela 2- Médias e  $\pm$  desvio padrão das variáveis antropométricas e cinemáticas. A diferença média e o valor de confiança (p) no teste de t de Student, quando a distribuição não normal, no teste "U" de Mann-Whitney.

Variáveis	Grupo 1	Grupo 2	Diferença Média	p-valor
<i>Características dos sujeitos</i>				
Idade	19,4 $\pm$ 5,8	24,4 $\pm$ 10,6	-4,66	0,182
Tempo de prática	7,4 $\pm$ 4,3	7,2 $\pm$ 3,4	0,24	0,892
<i>Antropométricas</i>				
Massa (m)	72,3 $\pm$ 8,3	71,7 $\pm$ 12,0	0,61	0,901
Estatura (m)	1,78 $\pm$ 0,06	1,76 $\pm$ 0,11	0,23	0,587
Comprimento da coxa (m)	0,41 $\pm$ 0,03	0,42 $\pm$ 0,03	-0,01	0,495
Altura da perna (m)	0,48 $\pm$ 0,04	0,49 $\pm$ 0,03	-0,01	0,560
Comprimento do pé (m)	0,27 $\pm$ 0,01	0,26 $\pm$ 0,02	0,01	0,245
Comprimento do MMII (m)	0,89 $\pm$ 0,05	0,91 $\pm$ 0,05	-0,02	0,367
<i>Percurso 5-15m</i>				
Tempo 5-15 m	7,95 $\pm$ 0,27	10,20 $\pm$ 1,24	-2,25	<b>&lt;0,001<math>\neq</math></b>
Número de pernadas	16,2 $\pm$ 2,1	17,8 $\pm$ 1,7	-1,63	0,080
Frequência de pernadas (Hz)	2,04 $\pm$ 0,28	1,76 $\pm$ 0,17	0,28	<b>0,017*</b>
Profundidade (m)	0,91 $\pm$ 0,18	0,91 $\pm$ 0,17	-0,001	0,988
Pico de força (N)	263,5 $\pm$ 40,7	207,0 $\pm$ 65,5	56,45	<b>0,040*</b>
Força média (N)	118,9 $\pm$ 23,3	84,2 $\pm$ 23,2	34,72	<b>0,005*</b>
<i>Ciclo de Pernada</i>				
Duração do ciclo (s)	0,50 $\pm$ 0,07	0,59 $\pm$ 0,05	-0,08	<b>0,007*</b>
Amplitude (m)	0,50 $\pm$ 0,09	0,53 $\pm$ 0,06	-0,04	0,275
Amplitude norm. MMII	0,56 $\pm$ 0,09	0,59 $\pm$ 0,05	0,03	0,405
Deslocamento horizontal (m)	0,56 $\pm$ 0,06	0,51 $\pm$ 0,04	0,05	0,243
Deslocamento horizontal norm. MMII	0,63 $\pm$ 0,08	0,56 $\pm$ 0,05	0,07	0,063
V <sub>máx</sub> horizontal (m/s)	1,61 $\pm$ 0,14	1,36 $\pm$ 0,17	0,26	<b>0,002*</b>
V <sub>máx</sub> vertical para baixo (m/s)	-2,72 $\pm$ 0,30	-2,40 $\pm$ 0,25	-0,32	<b>0,021*</b>
V <sub>máx</sub> vertical para baixo norm. MMII	-3,07 $\pm$ 0,31	-2,64 $\pm$ 0,30	-0,42	<b>0,007*</b>
V <sub>máx</sub> vertical para cima (m/s)	2,30 $\pm$ 0,35	2,03 $\pm$ 0,30	0,27	0,084
V <sub>máx</sub> vertical para cima norm. MMII	2,59 $\pm$ 0,39	2,23 $\pm$ 0,31	0,36	<b>0,039*</b>
Â <sub>máx</sub> Tornozelo (°)	137,9 $\pm$ 5,5	135,6 $\pm$ 8,5	2,25	0,505
Â <sub>máx</sub> Joelho (°)	189,4 $\pm$ 7,0	188,9 $\pm$ 4,7	0,54	0,845
Â <sub>máx</sub> Quadril (°)	201,7 $\pm$ 7,2	206,8 $\pm$ 12,2	-5,09	0,291
Â <sub>mín</sub> Tornozelo (°)	178,8 $\pm$ 9,4	184,9 $\pm$ 9,8	-6,03	0,192
Â <sub>mín</sub> Joelho (°)	109,7 $\pm$ 9,0	102,6 $\pm$ 14,7	7,15	0,225

Nota: o símbolo  $\neq$  representa diferença significativa encontrada no teste "U" de Mann-Whitney; o símbolo \* representa diferença significativa entre os grupos encontrada no teste t de Student. Na coluna "Diferença Média", considerou-se os valores do Grupo 1 menos os valores do Grupo 2.

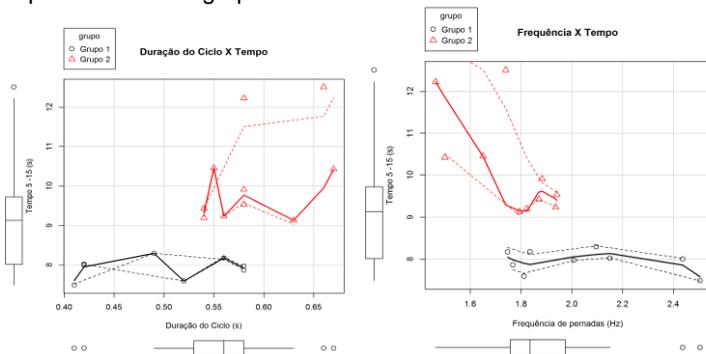
O teste de Shapiro-Wilk, realizado a fim de analisar a normalidade das distribuições da amostra, apontou distribuições não normais nas seguintes variáveis: Tempo 5-15m, Idade e deslocamento horizontal por ciclo.

A diferença entre os grupos na variável tempo 5-15 m permite uma análise útil em termos de avaliação da movimentação, permitindo comparação direta entre características de maior e menor eficiência.

Com a finalidade de facilitar a compreensão dos resultados foram criados gráficos de dispersão das variáveis que demonstraram diferença significativa, entre os grupos.

Nas análises das variáveis temporais observou-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os grupos nos parâmetros: tempo 5-15 m e duração do ciclo de passada e tempo e frequência da passada. Esta diferença pode ser melhor observada em um gráfico de dispersão dos grupos comparando estas variáveis (Figura 7).

Figura 7 – Gráficos de dispersão dos grupos dos dados de tempo (eixo y) em relação a duração do ciclo de passada (eixo x) e da frequência de passada (eixo x). A linha contínua indica a tendência do grupo e as linhas pontilhadas o desvio padrão de cada grupo.

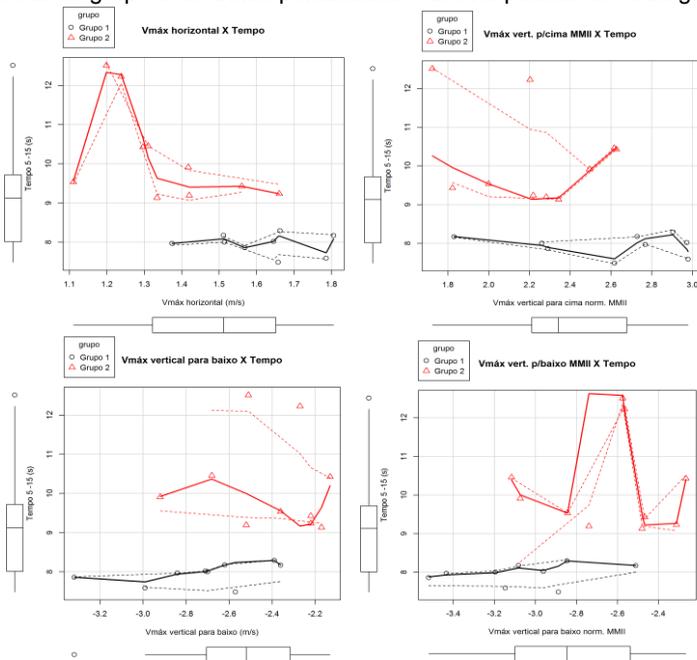


Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Na análise das variáveis cinéticas, o tratamento estatístico revelou diferenças entre os grupos nos

parâmetros: velocidade máxima horizontal, velocidade máxima vertical para baixo, velocidade máxima vertical para baixo normalizada pela altura da perna e velocidade máxima vertical para cima normalizada pela altura da perna (Figura 8).

Figura 8 - Gráficos de dispersão dos grupos dos dados de tempo (eixo y) em as variáveis cinéticas de velocidade máxima horizontal (eixo x), velocidade máxima vertical para baixo (eixo x), velocidade máxima vertical para baixo normalizada pela altura da perna (eixo x) e velocidade máxima vertical para cima normalizada pela altura da perna (eixo x). A linha contínua indica a tendência do grupo e as linhas pontilhadas o desvio padrão de cada grupo.

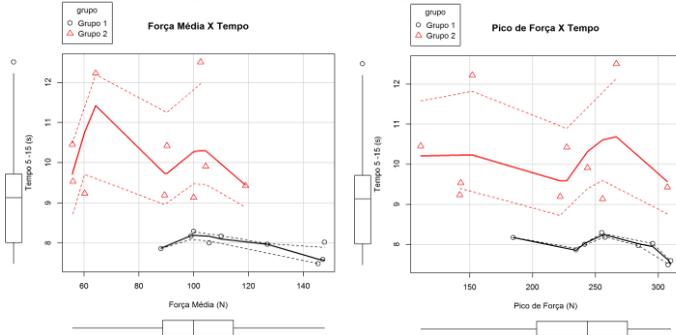


Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Nas análises das variáveis cinéticas, observou-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os grupos nos parâmetros: tempo 5-15 m e a força média e pico de força.

Esta diferença pode ser observada no gráfico de dispersão dos grupos comparando estas variáveis (Figura 9).

Figura 9 – Gráficos de dispersão dos grupos dos valores de tempo em relação a força média e pico de força. A linha contínua indica a tendência do grupo e as pontilhadas o desvio padrão de cada grupo.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Os grupos apresentaram características homogêneas em suas características antropométricas, isto é, em nenhuma destas variáveis mensuradas houve diferença significativa entre os grupos.

Em relação às variáveis cinemáticas angulares, nenhum dos parâmetros avaliados apresentou diferenças significativas entre os grupos.

## 4.2 CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS

A partir desse item será apresentada as variáveis que mais se correlacionaram com o desempenho do MPOS. A Tabela 3 contém um resumo das análises das variáveis utilizando a correlação de Pearson para cada um dos fatores em função do tempo 5-15m.

Tabela 3 - Média das variáveis mensuradas, desvio padrão e análise da correlação de Pearson em função da varável Tempo 5-15m.

Variáveis	Média	s	Correlação de Pearson	
			r	p-valor
Tempo 5-15 m	8,7	0,82	-	-
Tempo de Prática	7,3	4,8	-0,098	0,649
<i>Antropométricas</i>				
Massa (m)	73,1	11,5	-0,047	0,827
Estatura (m)	1,77	0,08	-0,140	0,514
Comprimento da coxa (m)	0,41	0,03	-0,002	0,991
Altura da perna (m)	0,48	0,03	0,128	0,550
Comprimento do pé (m)	0,26	0,01	-0,318	0,130
Comprimento do MMII (m)	0,89	0,05	0,092	0,670
<i>Percurso 5-15m</i>				
Número de pernadas	17,0	1,7	0,222	0,298
Frequência de pernadas (Hz)	1,97	0,24	-0,558	<b>0,005*</b>
Profundidade (m)	0,88	0,16	-0,075	0,727
Pico de força (N)	236,4	56,2	-0,542	<b>0,009*</b>
Força média (N)	103,1	27,1	-0,629	<b>0,002*</b>
<i>Ciclo de Pernada</i>				
Duração do ciclo (s)	0,54	0,07	0,506	<b>0,012*</b>
Amplitude (m)	0,51	0,07	0,200	0,348
Amplitude norm. MMII	0,57	0,06	0,189	0,377
Deslocamento horizontal (m)	0,54	0,06	-0,262	0,217
Deslocamento horizontal norm. MMII	0,61	0,06	-0,301	0,153
V <sub>máx</sub> horizontal (m/s)	1,50	0,19	-0,531	<b>0,008*</b>
V <sub>máx</sub> vertical para baixo (m/s)	-2,59	0,30	0,391	0,059
V <sub>máx</sub> vertical para baixo norm. MMII	-2,90	0,38	0,435	<b>0,034*</b>
V <sub>máx</sub> vertical para cima (m/s)	2,25	0,31	-0,228	0,284
V <sub>máx</sub> vertical para cima norm. MMII	2,52	0,35	-0,272	0,198
Â <sub>máx</sub> Tornozelo (°)	137,2	6,5	-0,227	287
Â <sub>máx</sub> Joelho (°)	189,5	6,0	0,079	0,712
Â <sub>máx</sub> Quadril (°)	203,0	9,7	0,193	0,366
Â <sub>mín</sub> Tornozelo (°)	180,1	8,8	0,112	0,603
Â <sub>mín</sub> Joelho (°)	107,4	11,6	-0,233	0,274
Â <sub>mín</sub> Quadril (°)	168,9	8,1	-0,062	0,774

Nota: s, desvio padrão; r: coeficiente de correlação de Pearson.

Nesta análise, nenhuma das características antropométricas apresentou correlação significativa. A

variável temporal “duração do ciclo da pernada” apresentou correlação significativa em função do tempo 5-15m.

Em relação às variáveis cinéticas, as correlações significativas foram: Frequências de pernadas, Pico de força, Força média,  $V_{\text{máx}}$  horizontal,  $V_{\text{máx}}$  vertical para baixo norm. MMII.

Nenhuma das características cinemáticas angulares exibiu correlação estatística com Tempo 5-15m.

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise de multicolinearidade. Foram consideradas multicolineares as variáveis que apresentaram, entre si,  $r$  de Pearson significativo e maior que 0,7. Nesses casos, a variável que apresentou maior correlação ( $r$  de Pearson) com o T5-15m foi mantida como candidata a compor o modelo múltiplo de regressão.

Tabela 4 - Multicolinearidade entre si das variáveis que apresentaram correlação de Pearson significativa em relação ao Tempo 5-15m.

Variáveis	1	2	3	4	5	6
1 Frequência de pernadas (Hz)				<b>-0,828</b>		
2 Pico de força (N)			<b>0,909</b>		0,442	
3 Força média (N)		<b>0,909</b>			0,571	
4 Duração do ciclo (s)	<b>0,828</b>					
5 $V_{\text{máx}}$ horizontal (m/s)		0,442	0,571			
6 $V_{\text{máx}}$ vertical para baixo norm. MMII						

Nota: só estão indicados na tabela os valores do  $r$  de Pearson para os quais a correlação entre as variáveis independentes foi significativa ( $p < 0,05$ ).

Com base nessa análise, observou-se que as variáveis frequência de pernadas e duração do ciclo apresentaram alta colinearidade ( $r > 0,7$ ). Sendo assim, dentre as duas, apenas a frequência de pernadas foi

mantida como candidata ao modelo múltipla, por apresentar maior correlação com o T5-15m ( $r = -0,558$ ). Verificou-se também alta correlação entre o pico de força e a força média. Esta última foi selecionada para a análise múltipla por apresentar maior correlação com o T5-15m ( $r = -0,629$ ). Desta forma, foram selecionadas quatro variáveis independentes para a análise multivariada: frequência de pernadas, força média,  $V_{\text{máx}}$  horizontal e  $V_{\text{máx}}$  para baixo normalizada pelo MMII.

A análise de regressão múltipla dos parâmetros selecionados está representada na Tabela 5.

Tabela 5 - Regressão múltipla

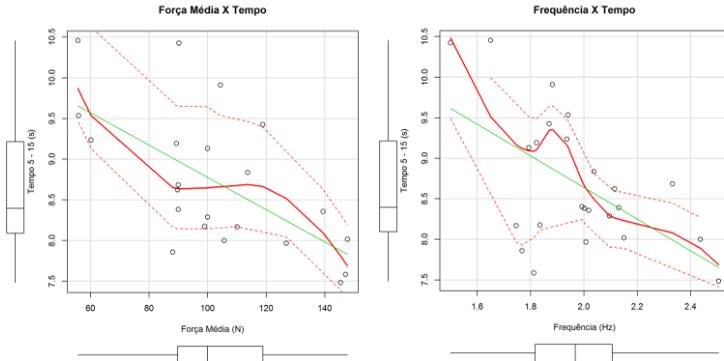
Passo	Variáveis Independentes	Coefficientes não-padronizados	Erro Padrão	Coefficientes padronizados ( $\beta$ )	p-valor	R <sup>2</sup> ajustado
1	Constante	10,652	0,560			0,37
	Força média	-0,019	0,005	-0,629	0,002	
2	Constante	12,905	1,103			0,48
	Força média	-0,015	0,005	-0,496	0,008	
	Frequência de pernadas	-1,352	0,587	-0,387	0,033	

Nota: P-valor correspondente ao teste t para a significância do coeficiente padronizado ( $\beta$ )

Permaneceram no modelo final as variáveis força média e frequência de pernadas. As duas variáveis, em conjunto, são capazes de explicar 48% da variabilidade do T5-15m para o grupo de nadadores analisado.

Dois gráficos com valores de dispersão dos resultados foram criados para uma melhor observação das relações entre força e frequência com o tempo de 5 – 15 m.

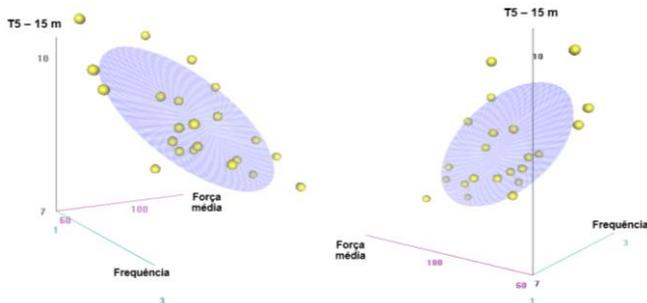
Figura 10 - Gráficos de dispersão dos grupos dos dados de tempo (eixo y) em relação a força média (eixo x) e da frequência de pernada (eixo x). A linha contínua indica a tendência do grupo e as linhas pontilhadas o desvio padrão de cada grupo



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Com a finalidade de facilitar, ainda mais, a compreensão dos resultados foi criado no Software *r* (*Foundation for Statistical Computing*) um gráfico em 3D demonstrando as duas variáveis (força média e frequência) e sua relação com o tempo de 5 – 15 m.

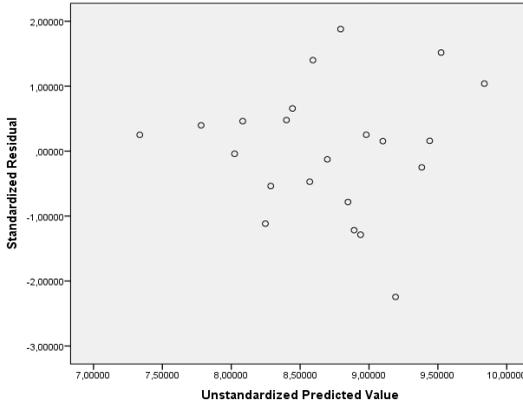
Figura 11 - Gráfico em 3D demonstrando as duas variáveis (força média e frequência) e sua relação com o tempo de 5 – 15 m.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

No gráfico abaixo (Figura 12) é possível observar a aleatoriedade dos resíduos, que apresentaram distribuição normal ( $p = 0,949$ , teste de Shapiro-Wilk). Satisfeitos esses dois pressupostos, considerou-se que o modelo criado é válido.

Figura 12 – Demonstração gráfica da aleatoriedade dos resíduos, que indicam uma distribuição normal ( $p = 0,949$ , teste de Shapiro-Wilk).



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

## 5 DISCUSSÃO

Após a apresentação dos resultados obtidos por meio do presente estudo, passa-se a discuti-los.

A presente pesquisa analisou variáveis cinéticas angulares. Na literatura revisada, não há consenso sobre a influência das aludidas variáveis nos resultados da natação. Há, contudo, estudos que encontraram uma relação entre a flexibilidade das articulações e o desempenho da natação (HAY1978; COHEN et al., 2012; KIPPENHAN, 2002; SUGIMOTO et al., 2008), enquanto outros trabalhos não conseguiram confirmar isso (MAGLISCHO, 1992; WILLEMS et al., 2014).

Uma melhor mobilidade articular é comumente correlacionada com o sucesso da natação competitiva. Isso resulta em desenvolver esta habilidade sem ter a certeza se ela necessariamente ajuda no desempenho. A hipótese da presente pesquisa supôs que a flexibilidade plantar do tornozelo e a hiperextensão do joelho seriam relacionadas com a melhor performance entre os atletas. Porém, nenhuma das características cinemáticas angulares exibiu correlação estatística com o tempo 5-15m. Entre estas, a flexibilidade do tornozelo parece ser um fator não significativo para determinar o fenômeno, tendo em vista os baixos coeficientes de correlação.

O estudo de Hay (1978), ao contrário, considerou que a flexibilidade do tornozelo em muitos aspectos pode ser mais importante para a propulsão na natação que a própria força muscular. Para ele, a vantagem de uma boa técnica de execução do MPOS aliada a uma boa flexibilidade poderiam equivaler a mais de 50% da propulsão obtida.

Nakashima et al. (2008) investigaram os efeitos dos ângulos de flexão plantar máxima através de uma simulação matemática de natação simplificada, conhecida como coeficientes de forças hidrodinâmicas. Eles

descobriram que o aumento do ângulo de flexão plantar por cerca de 5° pode ter um efeito significativo sobre o impulso gerado.

Por outro lado, o estudo de Willems et al. (2014), que também investigou o efeito da flexibilidade e da força muscular do tornozelo durante o MPOS, demonstrou que a flexibilidade do tornozelo na pernada de golfinho não influencia na melhora da performance.

O presente estudo, ainda, contava com a hipótese de que se encontraria a influência da amplitude na performance movimento do MPOS. Isto, no entanto, não foi constatado, uma vez que não foram obtidas diferenças nos valores de correlação entre a amplitude e o desempenho (tempo 5-15 m). Os valores de amplitude média encontrados no presente trabalho foram de  $0,51 \pm 0,07$  metros. Este resultado foi semelhante ao obtido pelo estudo de Atkison et al. (2014), que comparou a simetria das fases ascendentes e descendente no ciclo do MPOS.

As pesquisas de Lyttle e Chaves (2004, 2006), entretanto, ao estudarem a diferença entre a alta frequência e a baixa amplitude em comparação com a baixa frequência e alta amplitude, concluíram que uma maior amplitude mostrou-se mais eficaz na realização do MPOS (em velocidades médias inferiores a 2,4 m/s).

Arellano, Pardillo e Gavillán (2003) também investigaram variáveis de amplitude e frequência do MPOS. Inferiram que o aumento da velocidade da natação é determinado pelo aumento da frequência, e não da amplitude, que se manteve constante.

A frequência, por sua vez, foi outra variável investigada no presente trabalho. A hipótese levantada foi de que uma maior frequência de pernada teria repercussão na performance do MPOS, o que foi confirmado pelos resultados obtidos na pesquisa.

Observou-se, na comparação entre grupos, a ocorrência de diferença significativa da frequência  $p < 0,017$ . Quando esta variável foi inserida na equação de regressão múltipla, revelou-se como parâmetro essencial, além da força, para explicar o desempenho no tempo de 5-15m. Percebeu-se que quanto maior foi a frequência das pernadas na execução das séries menor foi o tempo realizado.

Outra hipótese levantada pelo presente trabalho foi que a profundidade seria um componente influenciador do desempenho da natação subaquática. A base desta premissa é proveniente de vários estudos. Lyttle et al. (1998) mostraram que haveria uma redução de 10% a 20% na força do arrasto quando o nadador encontrava-se a uma profundidade de 0,4 e 0,6m. Toussaint (2001), por sua vez, defendeu que a realização do MPOS em maior profundidade diminuiria a força de arrasto criada pela onda formada pelo nadador. Marinho et al. (2006) também concluíram que em maiores profundidades o coeficiente de arrasto é menor, facilitando o deslocamento do nadador.

O presente estudo, contudo, não encontrou diferenças significativas na variável de profundidade. Tanto na comparação entre grupos quanto na inserção deste parâmetro na equação de regressão múltipla, não foram detectados valores correlacionados com o tempo de 5-15m.

A amplitude do ciclo foi outro parâmetro analisado na presente pesquisa. A média dos valores encontrada no grupo 1 foi de  $0,50 \pm 0,07$ , ao passo que no grupo 2 foi de  $0,59 \pm 0,05$ , obtendo-se uma diferença estatística de  $p < 0,012$ . Esta variável também foi incluída na equação de regressão múltipla. Porém, não apresentou repercussão significativa no fenômeno.

Apesar de não ter sido o foco do presente trabalho, este conseguiu identificar diferenças significativas entre as

velocidades verticais (coordenada Y) no ciclo do MPOS, entre os grupos 1 e 2 estudados. Isto vem a corroborar o estudo recente feito por Atkison (2014). Ao analisar a simetria entre as fases ascendente e descendente, relacionando-as com o desempenho dos nadadores, ele também encontrou diferenças significativas entre a velocidade vertical dos pés e os nadadores mais velozes.

A velocidade máxima horizontal foi também outra variável mensurada no presente estudo, que apresentou diferenças significativas. Esta velocidade é a medida instantânea de um ciclo. Isto a torna colinear com a velocidade média gerada pelo nadador durante o percurso de 5-15 m. Desta forma, a correlação mostrou-se alta. Esta variável obteve valores de  $1,50 \pm 0,19 \text{ m.s}^{-1}$ , que se mostraram similares ao estudo de Atkison (2014), o qual obteve os valores de  $1,62 \pm 0,15 \text{ m.s}^{-1}$ .

Com base na análise de regressão múltipla, as variáveis independentes (frequência de pernada, pico de força, força média, duração do ciclo, velocidade máxima horizontal e velocidade máxima vertical para baixo normalizada pela altura da perna) que apresentaram uma melhor correlação com a variável dependente foram a força média e a frequência da pernada, explicando em conjunto 48% do desempenho no tempo de 5-15m. Analisando individualmente a força média na regressão múltipla, percebeu-se que esta variável foi responsável por caracterizar 37% do tempo de 5-15m. Na comparação entre grupos, este parâmetro também mostrou uma diferença significativa de  $p < 0,005$ .

Desse modo, os resultados apresentados nesta pesquisa demonstraram que a força média no MPOS está correlacionada com a redução do tempo em um percurso de 10 metros (5-15m). Isso está de acordo com os resultados observados no trabalho realizado por Willems (2014). Esta pesquisa mostrou que os nadadores com mais

força na musculatura do flexor dorsal e no rotador interno desenvolveram uma velocidade significativamente maior. O referido estudo, contudo, limitou-se a prever a força do nadador fora do ambiente aquático em comparação com o desempenho obtido dentro da piscina. Apesar desta limitação, a mencionada pesquisa vem a corroborar os resultados do presente estudo.

Estudos de Counsilman (1977), por sua vez, sugeriram, naquela época, que a velocidade dos nadadores poderia ser aumentada caso fossem diminuídas as forças de arrasto e ampliadas as forças propulsivas geradas pelas braçadas e pernadas. Uma década depois Colwin (1984) apresentou uma nova teoria, tratando da formação e emissão de vórtice como condições essenciais para a propulsão da natação. O aparecimento deste vórtice provocaria o aumento da pressão na parte inferior das extremidades e, conseqüentemente, um aumento da força de sustentação e da força de propulsão.

Estudos mais recentes acerca do efeito destes “redemoinhos” foram realizados por Mittal et al. (2006) e Von Loebbecke et al. (2009), que, através de simulação computacional, demonstraram a criação de um anel de vórtice durante o chute final do MPOS. Eles correlacionaram este redemoinho com a maior parte da geração de impulso.

O presente estudo apoia a teoria da formação do vórtice como elemento propulsivo essencial no deslocamento do nadador e consegue, não só estimar, através de modelos matemáticos, mas quantificar sua eficiência, relacionando com a performance do nadador. Desta forma, pode ser um referencial na validação de modelos computacionais.

Não se ignora a importância da aplicação das técnicas computacionais para a natação, na forma realizada, por exemplo, pela pesquisa feita por Cohen et al.

(2009). Uma das principais vantagens deste tipo de trabalho é a capacidade de calcular a eficiência mecânica realizada pelo nadador.

Para Wei, Mark e Hutchison (2014), no entanto, apesar da habilidade para estudar a dinâmica de fluidos na natação, por modelagem matemática, ainda são precárias as capacidades para modelar as condições verdadeiramente complexas do entendimento do fluido. Além disso, conectar fatores biomecânicos de computação com o gasto energético e fisiológico do ser humano real permanece indefinida. Daí a importância de estudos práticos como o presente, de forma a criar estimativas mais próximas das condições reais do referido fenômeno.

Importante destacar, muito embora não tenha sido objeto de análise específica nos resultados, que os atletas relataram a sensação de dispnéia em detrimento à fadiga muscular.

Identificou-se também, apesar de não ter sido o foco do presente trabalho, que diversos atletas mantiveram a posição da cabeça elevada ou baixa demais durante o MPOS. Os resultados do estudo de Zaidi et al. (2008) revelaram que a posição da cabeça teve um efeito notável sobre os desempenhos hidrodinâmicos, modificando a força de arrasto do nadador. Este trabalho propôs uma posição ideal da cabeça do atleta na natação subaquática.

## **6 CONCLUSÃO**

Diante de todo o exposto, percebeu-se que a força média e a frequência de pernada foram as variáveis que mais repercutiram no desempenho do MPOS. Sob essa perspectiva, portanto, sugere-se que um programa de treinamento de nadadores deve enfatizar o trabalho de força no MPOS, de forma a contribuir para a melhoria da performance do nadador. Além disso, pesquisas futuras devem procurar quantificar esta variável para o melhor entendimento dos fatores ligados à otimização do desempenho do nado submerso.



## 7 REFERÊNCIAS

ARELLANO, R.; PARDILLO, S.; GAVILAN, A. Usefulness of the Strouhal number in evaluating human under-water undulatory swimming. **Biomechanics and medicine in swimming IX**, p. 33-38, 2003.

ARELLANO, Raúl; PARDILLO, Susana; GAVILÁN, Arantxa. Underwater undulatory swimming: Kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. In: **Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports, Universidad de Granada**. 2002.

ARELLANO, Raúl; TERRES-NICOL, J. M.; REDONDO, Jose M. Fundamental hydrodynamics of swimming propulsion. **Portuguese Journal of Sport Sciences**, v. 6, n. supl 2, p. 15-20, 2006.

ATKISON, Ryan R. et al. Importance of sagittal kick symmetry for underwater dolphin kick performance. **Human movement science**, v. 33, p. 298-311, 2014.

BARBOSA, Tiago M. **Caracterização biofísica da técnica de mariposa**. 2004.

BARBOSA, Tiago 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, p. 519-523, 2005.

BORGES, Heloisa et al . Efeitos do estímulo verbal sobre o desempenho no teste de escada e ajustes cardiorrespiratórios em sujeitos saudáveis. **Fisioter. Pesqui.**, São Paulo , v. 19, n. 4, Dec. 2012 .

CAPUTO, Fabrizio et al. Fatores intrínsecos do custo energético da locomoção durante a natação. **Revista Brasileira de medicina do esporte**, v. 12, n. 6, p. 399-404, 2006.

CAVANAGH, PETER R.; KRAM, RODGER. The efficiency of human movement a statement of the problem. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 17, n. 3, p. 304, 1985..

CHATARD, J. C.; BOURGOIN, B.; LACOUR, J. R. Passive drag is still a good evaluator of swimming aptitude. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 59, n. 6, p. 399-404, 1990.

CLARYS, J. P.; JISKOOT, J. **Total resistance of selected body positions in the front crawl**. Swimming II. University Park Press, 1975.

CLOTHIER, P. J. et al. A comparison and analysis of traditional and modified freestyle tumble turns by age-group swimmers. **Journal of Human Movement Studies**, v. 38, n. 2, p. 93-108, 2000.

CLOTHIER, Peter James. **Underwater kicking following the freestyle tumble turn**. Tese de Doutorado. University of Ballarat. 2004.

COHEN, Raymond CZ; CLEARY, Paul W.; MASON, Bruce R. Simulations of dolphin kick swimming using smoothed particle hydrodynamics. **Human movement science**, v. 31, n. 3, p. 604-619, 2012.

COLLARD, Luc; AUVRAY, Emmanuel; BELLAUNAY, Ivan. Comparison of performance levels over 25 m by 11 expert swimmers using anguilliform-like and carangiform-like techniques; eel-like swimming versus carangiform-like swimming. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, v. 11, n. 1, p. 26-33, 2011.

CONNABOY, Chris; COLEMAN, Simon; SANDERS, Ross H. Hydrodynamics of undulatory underwater swimming: A review. **Sports Biomechanics**, v. 8, n. 4, p. 360-380, 2009.

COUNSILMAN, James E. A natação: ciência e técnica para a preparação de campeões. **Rio de Janeiro: Livro Ibero-Americano**, 1980.

DE BRUIJN, Robert; RICHARDSON, Matt; SCHAGATAY, Erika. Increased erythropoietin concentration after repeated apneas in humans. **European journal of applied physiology**, v. 102, n. 5, p. 609-613, 2008.

ELIPOT, M. et al. Analysis of swimmers' velocity during the underwater gliding motion following grab start. **Journal of biomechanics**, v. 42, n. 9, p. 1367-1370, 2009.

ELIPOT, M. et al. Motor coordination during the underwater undulatory swimming phase of the start for high level swimmers. In P.L. Kjendlie, R.K. Stallman, & J. Cabri (Eds), **Biomechanics and Medicine in Swimming XI**, Oslo, Norway: Norwegian School of Sport Science. pp.72-72, 2010

FARINATTI, Paulo de Tarso Veras. Flexibilidade e esporte: uma revisão da literatura. **Rev Paul Educ Fís**, v. 14, n. 1, p. 85-96, 2000.

FINA – FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE NATAÇÃO. CBDA Confederação Brasileira de Desportos Aquáticos. Regras de natação 2009-20013. Rio de Janeiro: CBDA 2013.

FINA – FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE NATAÇÃO. CBDA Confederação Brasileira de Desportos Aquáticos. Regras de natação 1998-2002.

FORMOSA, Danielle P.; SAYERS, Mark GL; BURKETT, Brendan. Quantifying stroke coordination during the breathing action in front-crawl swimming using an instantaneous net drag force profile. **Journal of sports sciences**, n. ahead-of-print, p. 1-9, 2014.

FRANKEN, M. et al. Relação entre cinemática e antropometria de nadadores recreacional e universitários. **Motriz**, Rio Claro, v.14 n.3, p.329-336, jul./set. 2008.

GOMES, Wagner Domingos Fernandes. Natação: uma alternativa metodológica. **Rio de Janeiro: Sprint**, 1995.

GRAIG, J. R.; PENDERGAST, D. R. Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. **Medicine & Science in Sports & Exercise**. v. 17, n. 6, p. 278-283, 1985.

HAVRILUK, Rod. **Validation of a criterion measure for swimming technique**. Indiana University, 1987.

HAY, James G. **The biomechanics of sports techniques**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1993.

HOCHSTEIN, Stefan; BLICKHAN, Reinhard. Vortex re-capturing and kinematics in human underwater undulatory swimming. **Human movement science**, v. 30, n. 5, p. 998-1007, 2011.

HOLTHE, M.; MCLEAN, S. Kinematic comparison of grab and track starts in swimming. In: **ISBS-Conference Proceedings Archive**. 2001.

LOEBBECKE, Alfred von et al. A comparison of the kinematics of the dolphin kick in humans and cetaceans. **Human movement science**, v. 28, n. 1, p. 99-112, 2009.

LYTTLE, A.; KEYS, M. The application of computational fluid dynamics for technique prescription in underwater kicking. **Portuguese Journal of Sport Sciences**, v. 6, n. 2, p. 233-235, 2006.

LYTTLE, Andrew D. et al. Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. **Journal of sports sciences**, v. 18, n. 10, p. 801-807, 2000.

MAGLISCHO, Ernest W. **Nadando o mais rápido possível**. Manole, 2010.

MARINHO, Daniel A. et al. The hydrodynamic drag during gliding in swimming. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 25, n. 3, p. 253-257, 2009.

MASON, Bruce R.; COSSOR, Jodi M. Swim turn performances at the Sydney 2000 Olympic Games. In: **XIX International Symposium on Biomechanics in Sports. Proceedings of Swim Sessions, San Francisco**. 2001.

MITTAL, R. et al. Analysis of flying and swimming in nature using an immersed boundary method. **Urbana**, v. 51, p. 6180, 2006.

NAKASHIMA, Motomu. Simulation analysis of the effect of trunk undulation on swimming performance in underwater dolphin kick of human. **Journal of Biomechanical Science and Engineering**, v. 4, n. 1, p. 94-104, 2009.

PAPOTI, Marcelo et al. Uso de células de carga para mensuração da força dos membros inferiores em nado ondulatório. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 7, n. 3, p. 313-318, 2007.

PLATONOV, Vladimir. **Treinamento desportivo para nadadores de alto nível**. Phorte, 2005.

REISCHLE, Klaus; UNGERECHTS, Bodo E.; WILKE, Kurt (Ed.). **Swimming science V**. Human Kinetics Books, 1988.

SANDERS, Ross H. Kinematics, coordination, variability, and biological noise in the prone flutter kick at different levels of a “learn-to-swim” programme. **Journal of sports sciences**, v. 25, n. 2, p. 213-227, 2007.

SANTOS JÚNIOR, Joel Moraes et al. Nado submerso ondulatório: uma visão sobre o quinto nado. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 19, n. 1, p. 100-107, 2011.

SUGIMOTO, S. et al. The effects of plantar flexion angle increment on the performance during underwater dolphin kick using simulation analysis. **Japan Journal of Physical Education, Health and Sport Sciences**, v. 53, n. 1, p. 51-60, 2008.

THOMAS, Jerry R.; NELSON, Jack K.; SILVERMAN, Stephen J. **Research methods in physical activity**. Human Kinetics, 2011.

TOUSSAINT, H. U. U. B.; TRULTENS, M. Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. **Animal Biology**, v. 55, n. 1, p. 17-40, 2005.

TOUSSAINT, Huub M.; HOLLANDER, A. Peter. Energetics of competitive swimming. **Sports Medicine**, v. 18, n. 6, p. 384-405, 1994.

TROUP, John P. The physiology and biomechanics of competitive swimming. **Clinics in sports medicine**, v. 18, n. 2, p. 267-285, 1999.

VENNELL, Ross; PEASE, Dave; WILSON, Barry. Wave drag on human swimmers. **Journal of biomechanics**, v. 39, n. 4, p. 664-671, 2006.

VIDELER, J. J. Fish swimming. (2nd ed.). (Vol. 1): Chapman and Hall. 1993.

VORONTSOV, A. R.; RUMYANTSEV, V. A. Propulsive forces in swimming. **Biomechanics in sport**, p. 205, 2000.

WEBB, Angus P. et al. Can Lighthill's elongated body theory predict hydrodynamic forces in underwater undulatory swimming?. **Procedia Engineering**, v. 34, p. 724-729, 2012.

WEI, Timothy; MARK, Russell; HUTCHISON, Sean. The Fluid Dynamics of Competitive Swimming. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 46, p. 547-565, 2014.

WILLEMS, Tine M. et al. The effect of ankle muscle strength and flexibility on dolphin kick performance in competitive swimmers. **Human movement science**, v. 36, p. 167-176, 2014..

ZAIDI, H. et al. Analysis of the effect of swimmer's head position on swimming performance using computational fluid dynamics. **Journal of Biomechanics**, v. 41, n. 6, p. 1350-1358, 2008.

ZAMPARO, P. et al. The contribution of underwater kicking efficiency in determining "turning performance" in front crawl swimming. **The Journal of sports medicine and physical fitness**, v. 52, n. 5, p. 457-464, 2012.

ZAMPARO, P. et al. The interplay between propelling efficiency, hydrodynamic position and energy cost of front crawl in 8 to 19-year-old swimmers. **European journal of applied physiology**, v. 104, n. 4, p. 689-699, 2008.