

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Avaliação da ação de pernas na natação baseada no número de  
Strouhal

Bruno Mezêncio Leal Resende

São Paulo

2017

BRUNO MEZÊNCIO LEAL RESENDE

Avaliação da ação de pernas na natação baseada no número de  
Strouhal

Tese apresentada à Escola de  
Educação Física e Esporte da  
Universidade de São Paulo, como  
requisito parcial para a obtenção do  
título de Doutor em Ciências

Área de Concentração:  
Estudos Biodinâmicos da Educação  
Física e do Esporte.

Orientador:  
Prof. Dr. Julio Cerca Serrão.

São Paulo

2017

Catálogo da Publicação  
Serviço de Biblioteca  
Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Resende, Bruno Mezêncio Leal

Avaliação da ação de pernas na natação baseada no número  
strouhal / Bruno Mezêncio Leal Resende. – São Paulo : [s.n.],  
2017.

196p.

Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte  
da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cerca Serrão

1. Natação 2. Coordenação 3. Frequência relativa I. Título.

# FOLHA DE AVALIAÇÃO

**Autor:** RESENDE, Bruno Mezêncio Leal

**Título:** Avaliação da ação de pernas na natação baseada no número de Strouhal

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

## Banca Examinadora

Prof. Dr.: \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr.: \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr.: \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Julgamento: \_\_\_\_\_

*Dedico este trabalho ao meu amor, minha esposa  
e minha companheira Ligia Mezêncio*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Cloto, Láquesis e Átropos.

Agradeço pela família maravilhosa que eu tenho. É realmente incrível a sorte de ter crescido cercado de pessoas tão especiais. Muito obrigado meu pai, José Ribeiro Resende, e minha mãe, Andréa Mezêncio Leal, por todo o carinho, amor e atenção; por sempre terem feito de tudo por mim e por sempre terem me apoiado. Amo vocês! Agradeço a meus avôs e avós; bisavôs e bisavós pelas pessoas incríveis que são e por terem sido grandes exemplos para mim. Tratando-se de uma ocasião acadêmica como esta, faz-se necessário um agradecimento especial ao grande tenente Luis Resende, que me apresentou o mundo da ciência e da filosofia e desenvolveu em mim a paixão pelo conhecimento, obrigado Tio Luis.

Agradeço pela família que eu escolhi, ou pelo menos para aquela que foi designada a mim, pois é difícil acreditar que por meus próprios méritos eu seria capaz de encontrar uma companheira tão perfeita quanto a minha esposa Ligia Mezêncio. Muito obrigado meu amor, minha amiga e minha companheira, por todo o carinho, apoio, paciência e motivação em toda esta jornada. Te amo princesa!

Agradeço ao meu orientador e chefe, professor Júlio Cerca Serrão. Em primeiro lugar pela liberdade, paciência e confiança concedidas a mim na elaboração e condução desta tese e também no meu trabalho diário no laboratório. Estas características são marcas da liderança do professor Júlio a frente do laboratório de biomecânica da USP, o que garantiu a formação de um grupo unido, produtivo e competente do qual eu tenho o orgulho de participar. Agradeço também pela amizade, e atenção; por estar sempre disposto a ajudar a todos. Muito obrigado meu amigo.

Ao senhor, professor Alberto Carlos Amadio, por favor me perdoe, mas me faltam palavras para agradecer-lo a altura. Parafraseando o professor Júlio, dizer que nenhum de nós estaria aqui hoje se não pelos seus esforços é o mínimo. Embora sua notória carreira acadêmica *per si* seja admirável, eu que tenho hoje a honra de seu convívio posso dizer que ainda mais admirável é a sua pessoa e o seu caráter. Muito obrigado por todo carinho e cuidado. Muito obrigado por toda ajuda e atenção. Muitíssimo obrigado por ser um exemplo para mim de integridade, de profissionalismo e de caráter.

Ao professor Rudolf Huebner, muito obrigado por ter sido meu guia nas aventuras pelo mundo da engenharia. Muito obrigado também por sua paciência, ajuda e por sua confiança ao longo de todo este caminho.

Ao professor João Paulo Vilas-Boas, muito obrigado por toda a sua ajuda em nossos projetos e muito obrigado pelo seu voto de confiança em mim. É uma grande honra e um grande orgulho para mim poder contar com sua presença e com seu apoio neste momento.

Agradeço a Jacielle Ferreira, Rafael Soncin e João Claudino pela amizade de longa data! Reiterando o que disse no mestrado, nossas reuniões e discussões foram minhas maiores promotoras de desenvolvimento acadêmico.

Aos meus grandes amigos do laboratório de Biomecânica da USP muitíssimo obrigado por tudo. Ana Paula Azevedo, Jaqueline Albuquerque, Juliana Pennone, João Pedro Pinho, Patrícia Couto, Raisal Valvassori, vocês são sensacionais, é um prazer trabalhar com vocês e tê-los como amigos.

Agradeço a Maria Emilia Possa, ao Fernando, ao Marcos Veiga e a todos que auxiliaram nas coletas e tratamento de dados, sua ajuda foi fundamental.

Depois de muitas venturas e desventuras aqui estou, e este momento e este caminho me enchem de alegria. Sempre tentei me esforçar o quanto podia para ser melhor, mas não ousou acreditar ser merecedor de tamanha fortuna. Os meus amigos, minha família e minha alegria nesta etapa eu agradeço a Deus, que me deu tudo isso e tornou tudo possível. Muito obrigado meu Pai.

*“O dever de quem estuda os textos científicos, caso aprender a verdade seja seu objetivo, é fazer de si próprio um inimigo de tudo aquilo que lê, e direcionando seu pensamento para todo o conteúdo, atacá-lo de todas as formas. Deve também duvidar de si próprio e de sua análise crítica dos fatos, e assim evitar qualquer forma de preconceito e lenidade. Seguindo este caminho, a verdade se revelará.”*

***Hasan Ibn al-Haytham (Alhazen)***

## RESUMO

RESENDE, BML. **Avaliação da ação de pernas na natação baseada no número de Strouhal**. 2017. 196 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2017.

Animais que nadam ou voam apresentam uma coordenação de movimentos similar que garante uma interação ótima de seus corpos com o escoamento gerando máxima eficiência propulsiva devido a interação dos vórtices liberados. O grupamento adimensional da mecânica dos fluidos que avalia esta coordenação é o número de Strouhal. Este estudo visa verificar se seres humanos seriam capazes de utilizar desta coordenação para nadar de forma mais rápida e eficiente. Para isso, foram analisadas as influências antropométricas, de habilidade, desempenho, sexo e idade na possível utilização desta coordenação. Foram filmados 144 participantes de ambos os sexos, entre 12 e 53 anos e diferentes níveis de habilidade, enquanto nadavam crawl em máxima velocidade de forma livre, com limitação de velocidade e apenas com ação de pernas. Estes dados permitiram avaliar as condições do escoamento, o arrasto, o índice de coordenação, o número de Strouhal e a coordenação entre membros dos participantes. Embora as diferenças entre sexos e idades já reportadas na literatura a respeito do índice de coordenação e do arrasto tenham sido confirmadas, estas características parecem não afetar a coordenação entre membros e o número de Strouhal de forma a não influenciar o possível mecanismo propulsivo relacionado à interação dos vórtices. Nadadores mais habilidosos parecem tentar coordenar seus nados em um valor de Strouhal de aproximadamente 0,5, com um número fixo de pernadas dentro dos ciclos de braçadas e com movimentos de braços e pernas sincronizados. Esta coordenação constante parece privilegiar a ocorrência da finalização de uma pernada durante uma fase propulsiva crítica da braçada sustentando a possibilidade da interação das ações propulsivas. Quando submetidos a uma condição com limitação de velocidade os nadadores mais habilidosos buscaram alterar suas técnicas. Eles apresentaram maior amplitude de pernada, porém não foi possível determinar se isso ocorreu devido ao maior arrasto ou a uma tentativa de aumentar o número de Strouhal. O mesmo aumento da amplitude de pernada também foi observado para as condições com apenas propulsão de pernas, no entanto, para este caso, nadadores de todos

os níveis identificaram a necessidade de alterar suas técnicas de pernadas. Estes resultados parecem sugerir que o aproveitamento da interação com vórtices não ocorreria em baixas velocidades e que apenas os nadadores mais habilidosos identificam a coordenação necessária para cada situação. Desta forma, o desempenho e experiência do nadador parecem constituir restritores para o aproveitamento da interação com vórtices. No entanto a partir de um determinado valor de número de Froude (velocidade normalizada pela raiz quadrada do produto entre estatura e a aceleração da gravidade), apenas a habilidade do nadador parece interferir nesta coordenação. O arrasto e as características antropométricas parecem não influenciar o número de Strouhal ou a coordenação entre membros.

Palavras-chave: Natação, vórtices, Número de Strouhal, Número de Froude, Índice de coordenação, frequência relativa.

## ABSTRACT

RESENDE, BML. **Evaluation of legs action in swimming based on Strouhal number**. 2017. 196 p. Thesis (Doctorate in Science) - School of Physical Education and Sports, University of São Paulo, São Paulo. 2017.

Flying and swimming animals presents a similar movement coordination that insure a optimal interaction between their bodies and the flow. This coordination generate high propulsive efficiency due to the interaction between shedding vortex. The dimensionless group used in fluid mechanics to evaluate this phenomenon is Strouhal number. This study aims to verify if the human beings are able to use this coordination to swim in a faster and more efficient way. For this purpose we analyzed the influence of anthropometric characteristics, ability, performance, sex and age in the possible use of the coordination mentioned above. 144 subjects of both sex, age between 12 and 53 years, and different ability levels were filmed while they swam front crawl in maximal velocity in three different conditions: free swimming, with velocity limitation and using legs action only. These data allowed evaluating the flow conditions, the drag force, the index of coordination, the Strouhal number and the coordination between limbs. Although differences between sex and age related to Index of coordination and drag reported previously have been confirmed, these characteristics seem not to affect the coordination between limbs and Strouhal number, in such a way, that the possible vortex interaction's propulsive mechanism would not be affected by sex and age. The most skilled swimmers seem to try to coordinate their movements to reach a Strouhal number about 0,5; with a fixed number of kick beats per stroke; and with a synchronized coordination between arms and legs. This coordination seems to lead to an occurrence of the ending of the kick beat in a critical propulsive phase of the stroke, which supports the possibility that there is an interaction between the propulsive actions of arms and legs. When the swimmers are exposed to a condition with velocity limitation, the most skilled of them tried to change their techniques. They raised their kick amplitude, however, it was not possible to determine if this raise happened due to the either higher drag force or to an attempt to raise the Strouhal number. The same kick amplitude raise was also observed on the legs propulsion condition, however, in this case, all swimmers were able to identify the need of change their techniques. These results suggest that the

use of the interaction between vortex would not occur in low velocities, moreover, only the most skilled swimmers are able to identify the best coordination for each condition. In this way, the swimmer's performance and experience seem to be constraint for the use of the interaction between vortex. Nonetheless, since a Froude ( $V \cdot (g)^{-0.5}$ ) threshold was reached, only the swimmer's ability seems to affect this coordination. The drag and anthropometric characteristics seem not to affect Strouhal number or the limbs' coordination.

Keywords: Swimming, Vortex, Strouhal Number, Froude Number, Index of Coordination, Relative frequency.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos .....	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>20</b>
2.1 SOBRE O DESLOCAMENTO EM MEIO LIQUIDO.....	20
2.2 SOBRE A MECÂNICA DOS FLUIDOS.....	21
2.2.1 Massa específica, Pressão e Empuxo.....	21
2.2.2 Linhas de corrente e Equação de Bernoulli .....	23
2.2.3 Viscosidade, Turbulência e Camada Limite.....	24
2.2.4 Arrasto e Sustentação .....	28
2.2.5 Análise dimensional.....	32
2.2.6 Número de Reynolds .....	32
2.2.7 Número de Froude.....	40
2.2.8 Número de Strouhal.....	44
2.3 SOBRE A MECÂNICA DA NATAÇÃO .....	47
2.3.1 Força de arrasto na natação.....	47
2.3.1 Avaliação da técnica na natação .....	57
<b>3 MÉTODOS</b> .....	<b>61</b>
3.1 CUIDADOS ÉTICOS.....	61
3.2 AMOSTRA .....	61
3.3 PROCEDIMENTOS .....	62
3.3.1 Local .....	63
3.3.2 Anamnese.....	63
3.3.3 Antropometria .....	63
3.3.4 Aquecimento e Familiarização.....	64
3.3.5 Coleta de dados.....	67
3.3.6 Análise cinemática .....	67
3.4 ANÁLISE DE DADOS .....	76
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	79

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>82</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA .....	82
4.2 COMPARAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE MEMBROS ENTRE NADADORES COM DIFERENTES NÍVEIS DE HABILIDADE .....	89
4.2.1 Sobre as características do escoamento .....	89
4.2.2 Sobre as características das braçadas .....	95
4.2.3 Sobre as características das pernadas .....	100
4.2.4 Sobre a coordenação entre membros .....	111
4.3 COMPARAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE MEMBROS EM CONDIÇÕES COM LIMITAÇÃO DE VELOCIDADE .....	130
4.3.1 Sobre as características do escoamento .....	130
4.3.2 Sobre as características das braçadas .....	133
4.3.3 Sobre as características das pernadas .....	136
4.3.4 Sobre a coordenação entre membros .....	143
4.4 COMPARAÇÃO DA AÇÃO DE PERNAS EM CONDIÇÕES COM E SEM AÇÃO DE BRAÇOS .....	153
4.4.1 Sobre as características do escoamento .....	153
4.4.2 Sobre as características das pernadas .....	156
4.5 RELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE FROUDE COM A COORDENAÇÃO DE MEMBROS .....	161
4.6 RELAÇÃO ENTRE O ARRASTO E A COORDENAÇÃO DE MEMBROS ..	169
4.7 RELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS E A COORDENAÇÃO DE MEMBROS .....	177
<b>5 LIMITAÇÕES .....</b>	<b>186</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>188</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>189</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Para atingir altas velocidades, nadadores precisam produzir máxima potência e apresentar uma técnica ótima para converter esta energia em propulsão efetiva, reduzindo a resistência da água. Portanto, avaliar um parâmetro relacionado à eficiência da técnica é algo importante para treinadores e atletas.

Através de bilhões de anos a seleção natural moldou os animais que se deslocam pelos fluidos para um arranjo de alta eficiência propulsiva, assim a observação destas características fornece informações relevantes a respeito de como produzir um movimento eficiente (TAYLOR; NUDDS; THOMAS, 2003).

Embora tenha sido precedido em dois séculos por Borelli, Gray é tido como um dos pioneiros na análise mecânica da locomoção animal no meio líquido, tendo analisado o nado de peixes e golfinhos. Ele estabeleceu o que foi conhecido na época como paradoxo de Gray, pois a potência muscular necessária para gerar a velocidade de deslocamento observada para um golfinho era 10 vezes maior do que a capacidade de geração de potência estimada para músculos de mamíferos. Gray sugeriu que caso os movimento periódico do corpo do animal fossem capazes de anular a turbulência do escoamento a potência necessária seria condizente com a esperada para este animal (GRAY, 1933, 1936).

Rosen parece ter sido o primeiro a visualizar tal escoamento em animais aquáticos e afirmou que as noções vigentes de propulsão e arrasto não faziam sentido para estes animais que pareciam violar as leis fundamentais do movimento. Ele formulou então uma nova hipótese para propulsão dos peixes, que afirma que os peixes sincronizavam o movimento ondulatório de seus corpos com o escoamento dos vórtices desprendidos de modo a recuperar esta energia e gerar propulsão (ROSEN, 1959, 1963).

O embasamento teórico para estas proposições data do final do século XIX. Lord Rayleigh propôs um agrupamento adimensional chamado de número de Strouhal ( $St$ ), baseado nas observações de Vincenc Strouhal sobre as vibrações causadas pelo desprendimento periódico de vórtices em um escoamento ao redor de um corpo rígido. Este adimensional relacionava a frequência de liberação destes vórtices com a distância entre eles (RAYLEIGH, 1915b; STROUHAL, 1878). Usualmente este adimensional é calculado como  $St = fL/U$ , onde  $f$  é a frequência de

desprendimento de vórtices,  $L$  um comprimento característico, e  $U$  a velocidade do escoamento.

Posteriormente, Bérnard Von Kármán determinou que um padrão estável de vórtices ocorreria em valores específicos de número de Strouhal e número de Reynolds em escoamentos não viscosos (VON KÁRMÁN, 1911). Von Kármán também previu que dependendo da direção da rotação dos vórtices esta configuração espacial estável entre eles poderia ser eficiente para geração de propulsão. Este padrão é conhecido como estradas reversas de Von Kármán e sua eficiência propulsiva foi comprovada experimentalmente (ELOY, 2012; OHASHI; ISHIKAWA, 1972; TRIANTAFYLLOU, 1993).

Atualmente se sabe que a maioria das espécies, independente de sua classificação taxonômica, meio de deslocamento (água ou ar) ou tamanho, ajusta a amplitude e frequência do movimento de seus corpos para um número de Strouhal de aproximadamente 0,3 (0,2 - 0,4) para obtenção de maior eficiência energética. Na verdade o nível de convergência deste parâmetro entre as espécies é tão grande que os autores concluem que: *“If there are swimming or flying organisms on other planets, then we predict that it should apply to them too.”* (TAYLOR; NUDDS; THOMAS, 2003).

Desta forma fica evidente a necessidade de se verificar se nadadores são capazes de coordenar seus movimentos de forma a se aproveitar da interação dos vórtices. Esta análise já foi realizada de modo tradicional para nado submerso com monofin, considerando como parâmetros característicos a amplitude pico a pico e a frequência de oscilação dos pés. Foram encontrados valores de Strouhal entre 0,35 e 0,68 que apresentavam correlação inversamente proporcional ao desempenhos da prova (NICOLAS et al., 2007).

O nado submerso com monofin mimetiza o nado de mamíferos aquáticos e portanto a escolha dos mesmos parâmetros característicos para o calculo do grupo adimensional parece simples. No entanto o nado em superfície livre e com ação dos braços constitui uma situação mais complexa, sem referencias análogas na natureza ou na engenharia.

Nestas condições de nado, a postura menos hidrodinâmica do corpo do nadador pode fazer com que um padrão próprio de vórtices sejam desprendidos da camada limite devido a exposição periódica de protuberâncias do corpo ao escoamento, também é possível que os vórtices gerados pelos membros inferiores

ocorram apenas na fase descendente do movimento devido à interação dos pés com a superfície livre. Além disso também existem os vórtices gerados pelos membros superiores (LI; ZHAN, 2015; MATSUUCHI et al., 2009; MOLLENDORF et al., 2004; TAKAGI et al., 2014; ZAÏDI et al., 2008). É possível que com uma determinada coordenação de braços e pernas estes vórtices sejam recapturados ou que estes interajam com os vórtices produzidos por membros inferiores de modo a gerar propulsão (HOCHSTEIN; BLICKHAN, 2011).

Como a velocidade do escoamento afeta o desprendimento do vórtices e sua disposição espacial, é esperado que a coordenação de membros ideal para seu aproveitamento seja dependente da velocidade de nado, ou seja, diferentes padrões técnicos de pernada e braçada deveriam ser utilizados para diferentes distâncias, níveis ou estratégias. Este comportamento é observado na prática o que pode ser um indicador que os melhores nadadores intuitivamente ajustam sua eficiência de pernada (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000; MILLET et al., 2002; SEIFERT; CHOLLET; BARDY, 2004). Este comportamento de grandes nadadores encontrarem intuitivamente a técnica mais eficiente já foi anteriormente observado para o surgimento do padrão sinuoso da braçada nos diferentes estilos (COUNSILMAN, 1971a).

Desta forma o objetivo do presente trabalho foi verificar a possibilidade do aproveitamento da energia dos vórtices desprendidos para melhorar a propulsão e eficiência de nadadores através da medida da coordenação de membros superiores e inferiores e do número de Strouhal.

Considerando que não foi encontrado nenhum trabalho na literatura sobre uma possível interação entre vórtices ou sobre a utilização do número de Strouhal com este propósito, várias questões a este respeito ainda carecem de análise. Existe alguma coordenação entre os membros superiores e inferiores durante o nado que poderia sugerir uma possível interação entre estes mecanismos propulsivos? Existe alguma convergência entre os nadadores para uma determinada faixa do número de Strouhal? Caso esta coordenação exista, ela é adquirida nos estágios iniciais de aprendizado ou só é apresentada por nadadores habilidosos? Ainda considerando esta possibilidade, teriam os nadadores a consciência destes mecanismos de forma a tentar mantê-los frente a alguma perturbação do nado? Além do nível de habilidade, poderia haver outros restritores para adoção desta coordenação como características antropométricas, capacidade de produção de energia ou resistência

do escoamento? Apresentariam estes restritores alguma relação com as estratégias e modos de coordenação adotados pelos nadadores?

A hipótese de pesquisa formulada é de que nadadores experientes possuem uma coordenação estável entre braços e pernas, e que esta coordenação minimiza o número de Strouhal de suas técnicas. Ao serem submetidos a diferentes condições de escoamento estes nadadores produziram alterações técnicas específicas direcionadas por restrições biomecânicas. Já os nadadores iniciantes não apresentaram uma coordenação estável entre braços e pernas, e quando ela ocorrer existira uma variabilidade entre as fases dos membros. O número de Strouhal utilizado por estes nadadores varia de forma aleatória entre os diferentes modos de coordenação. Ao serem submetidos a diferentes condições de escoamento estes nadadores produziram alterações técnicas também aleatórias e possivelmente menos eficientes.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Verificar a possibilidade do aproveitamento da energia dos vórtices desprendidos para melhorar a propulsão e eficiência de nadadores através da medida da coordenação de membros superiores e inferiores e do número de Strouhal.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar a coordenação de membros superiores e inferiores e do número de Strouhal entre nadadores com diferentes níveis de performance.
- Comparar a coordenação de membros superiores e inferiores e do número de Strouhal em condições com e sem limitação de velocidade.
- Comparar o número de Strouhal em condições de nado completo e com apenas ação de pernas.
- Verificar a relação da coordenação de membros superiores e inferiores e do número de Strouhal com o número de Froude.
- Verificar a relação da coordenação de membros superiores e inferiores e do número de Strouhal com o arrasto médio.
- Verificar a relação entre o tamanho dos segmentos corporais e o número de Strouhal.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SOBRE O DESLOCAMENTO EM MEIO LIQUIDO

Por ser um esporte praticado na água, o desempenho na natação é influenciado por propriedades mecânicas diferentes das observados no meio terrestre.

A propulsão na natação é o resultado da interação entre os segmentos corporais do nadador e a água (VORONTSOV; RUMYANTSEV, 2000a), porém a eficiência da conversão da energia do nadador em deslocamento é reduzida, devido à baixa coesão entre as moléculas da água, que defini a característica fundamental de todo fluido: escoar continuamente quando submetido a uma tensão de cisalhamento de qualquer magnitude (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

Quando o corpo do nadador se move através da água uma força conhecida como arrasto atua sobre ele em direção contrária a do movimento, reduzindo a velocidade de deslocamento (VORONTSOV; RUMYANTSEV, 2000b). Esta resistência ao deslocamento é superior na água quando comparada ao ar, devido a sua maior massa específica ( $\rho$ ; 998,0 e 1,3 Kg/m<sup>3</sup> respectivamente) e coeficiente de viscosidade dinâmica ( $\mu$ ;  $1,002 \times 10^{-3}$  e  $1,790 \times 10^{-5}$  Ns/m<sup>2</sup> respectivamente).

O desempenho de um nadador, caracterizado pela sua velocidade, é portanto a resultante entre a força propulsiva gerada por seus segmentos corporais e o arrasto experimentado pelo seu corpo (VORONTSOV; RUMYANTSEV, 2000a). Assim para melhorar seu desempenho um nadador pode aumentar a força propulsiva, reduzir a força de arrasto ou utilizar uma combinação positiva destes componentes.

A eficiência reduzida da aplicação de força propulsiva em um fluido, e a maior resistência da água aos movimentos quando comparada ao ar faz com que na natação a melhora da técnica e conseqüente melhora da eficiência de propulsão seja tão ou mais importante do que o aprimoramento das capacidades físicas do nadador (COLWIN, 2000). Para o entendimento destas particularidades é necessário conhecer as propriedades que governam a mecânica dos fluidos.

## 2.2 SOBRE A MECÂNICA DOS FLUIDOS

Um fluido é uma substância que se deforma continuamente quando submetido a uma tensão de cisalhamento de qualquer magnitude. A razão dos fluidos serem facilmente deformáveis está relacionada à sua estrutura molecular. Enquanto nos sólidos existe um pequeno espaçamento entre as moléculas e as forças intermoleculares são intensas nos líquidos estas forças são fracas e existe um maior espaçamento entre as moléculas. Os gases além da baixa coesão entre as moléculas possuem moléculas ainda mais espaçadas. Esta diferença no espaçamento molecular é responsável pela diferenciação entre líquido e gases, os líquidos são geralmente considerados como fluidos incompressíveis, enquanto os gases são considerados fluidos compressíveis.

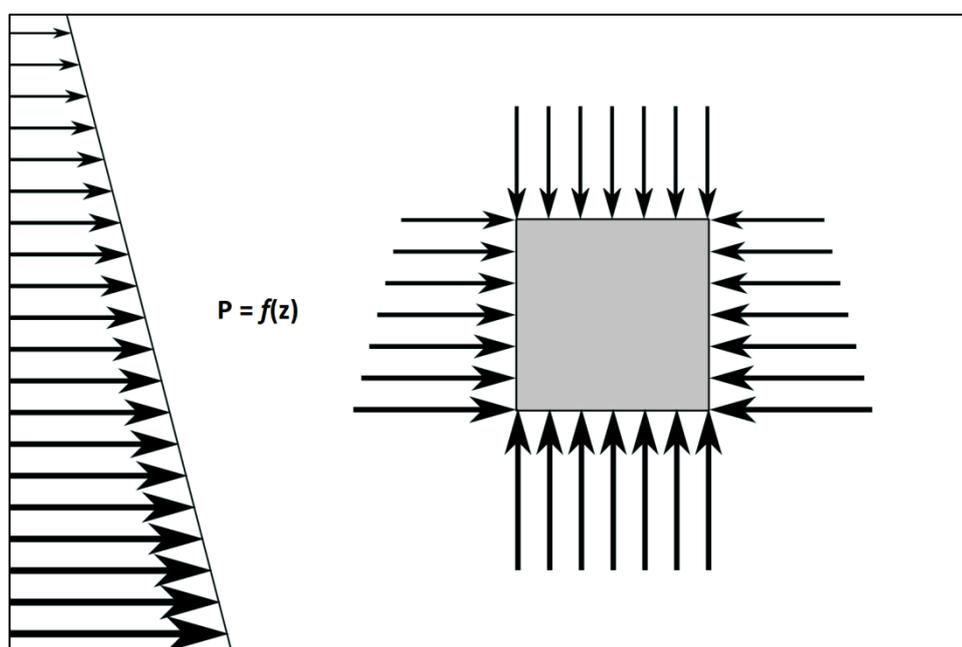
Estas diferenças em nível molecular entre as substâncias também exige que a descrição do comportamento destas seja feita de modo diferenciado. A alta coesão das moléculas em um sólido faz com que o seu comportamento possa ser normalmente descrito em função de seu centro de massa, porém um fluido pode apresentar características diferentes em cada molécula. Como não é possível caracterizar cada molécula de um fluido individualmente, é necessário que se estabeleça uma quantidade de interesse, que é um volume com dimensões pequenas em relação ao sistema analisado e que deve conter uma grande quantidade de moléculas do fluido para que estas possam ser propriamente caracterizadas em função de seu comportamento médio. O conjunto das quantidades de interesse formam um meio contínuo, onde as propriedades de interesse do fluido podem variar (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

### 2.2.1 Massa específica, Pressão e Empuxo

Uma das propriedades que caracterizam um fluido é a sua massa específica ( $\rho$ ) que quantifica a massa do fluido por unidade de volume, sua unidade no sistema internacional (SI) é o  $\text{Kg}/\text{m}^3$ . Considerando os efeitos da gravidade é possível calcular o peso específico de um fluido ( $\gamma$ ) cuja unidade SI é o  $\text{N}/\text{m}^3$ . Outra propriedade de um fluido é sua pressão ( $p$ ), definida como a força normal por unidade de área exercida numa superfície plana (real ou imaginária) imersa no fluido, sua unidade SI é o Pascal (Pa) que equivale a  $1 \text{ N}/\text{m}^2$ . A pressão em um

ponto é exercida em todas as direções e no caso da água, sua magnitude depende unicamente da profundidade do ponto ( $z$ ).

Quando um corpo se encontra completamente submerso na água, ele é submetido à força de pressão por todos os lados. Como a magnitude desta força é dependente unicamente da profundidade do ponto de interesse, a pressão exercida pelas moléculas de água dispostas lateralmente ao corpo são anuladas pelas moléculas contralaterais, que possuem pressões de mesma magnitude, porém com orientações opostas. No entanto as moléculas de água dispostas na face superior do corpo sempre possuem uma magnitude de pressão inferior aquelas dispostas na face inferior do corpo, por estarem mais próximas da superfície. Desta forma, este gradiente de pressões ao redor do corpo sempre produz uma resultante vertical orientada para cima, esta força resultante é chamada de empuxo, e seu módulo é proporcional ao peso do fluido deslocado pelo objeto, representado pelo produto do volume do objeto pela massa específica do fluido (Figura 1) (ARCHIMEDES, 2009).

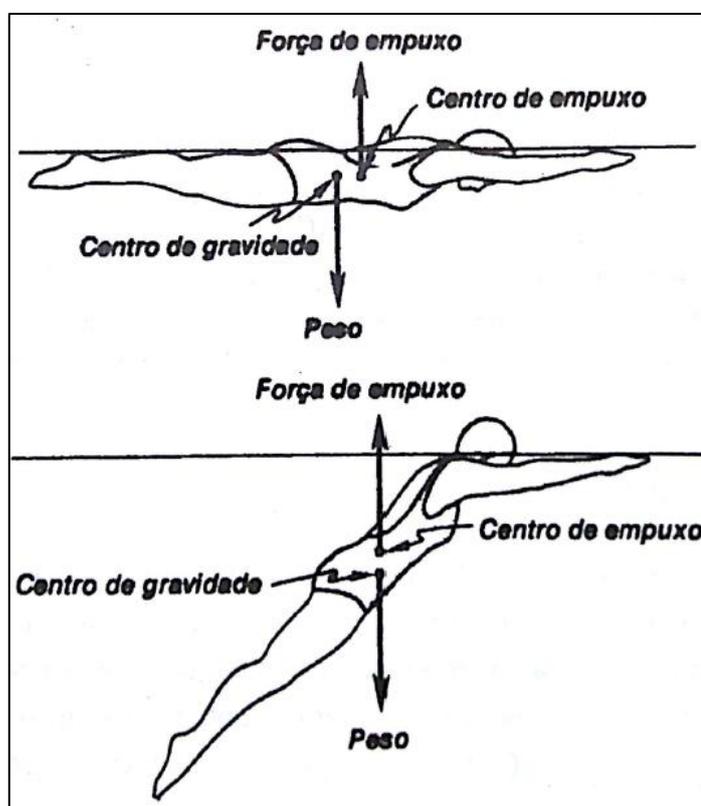


Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 1 - Distribuição de Pressão em um corpo imerso**

Como as pressões atuam uniformemente ao redor do corpo, o empuxo resultante é aplicado no centro de volume do corpo, já a força peso do corpo, que possui orientação oposta a da força de empuxo, atua no centro de massa do corpo, já que este pode apresentar diferentes distribuições de densidade. No caso do

centro de volume e do centro de massa do corpo analisado não serem coincidentes, a resultante das forças peso e de empuxo também produzira um torque sobre o corpo, proporcional a distancia horizontal entre estes dois pontos. Este torque produzirá um movimento de rotação no corpo até que os centros de volume e de massa do corpo estejam verticalmente alinhados (Figura 2) (ARCHIMEDES, 2009).



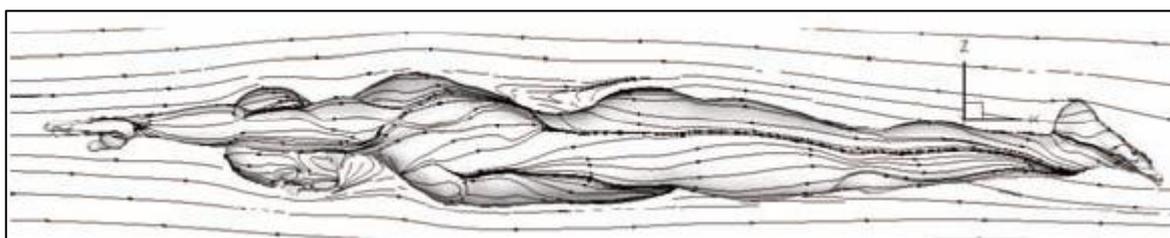
Fonte: Amadio (1996)

**Figura 2 - Interação entre o empuxo e o peso**

### 2.2.2 Linhas de corrente e Equação de Bernoulli

Considerando um escoamento sem influências externas e aplicando a 2ª Lei de Newton às partículas fluídas, o seu deslocamento seria governado pelas forças peso e de pressão. Como a magnitude destas forças depende unicamente da profundidade, a força resultante em cada região do escoamento é constante, desta forma embora a aceleração e velocidade de uma partícula do fluido possam se alterar ao longo do escoamento, toda partícula que, em algum momento, ocupe aquela região do escoamento estará sujeita às mesmas forças. Este regime de escoamento é conhecido como regime permanente.

As leis de Newton mostram que uma mudança de direção só é possível através da aplicação de uma força e é proporcional à magnitude desta. Assim conclui-se que toda partícula de fluido que cruza um mesmo ponto no espaço possui a mesma trajetória ao longo do escoamento, já que está submetida às mesmas forças. Esta trajetória ao longo do escoamento é chamada de linha de corrente, e o escoamento é composto por várias linhas de corrente (Figura 3).



Fonte: Sato e Hino (2010)

**Figura 3 - Linhas de Corrente ao redor do corpo de um nadador**

Daniel Bernoulli demonstrou que em um regime permanente, as propriedades de um escoamento se mantêm constantes dentro de uma linha de corrente para um fluido incompressível, esta relação ficou conhecida como a Equação de Bernoulli (1)

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \gamma z = C \quad \text{Eq. (1)}$$

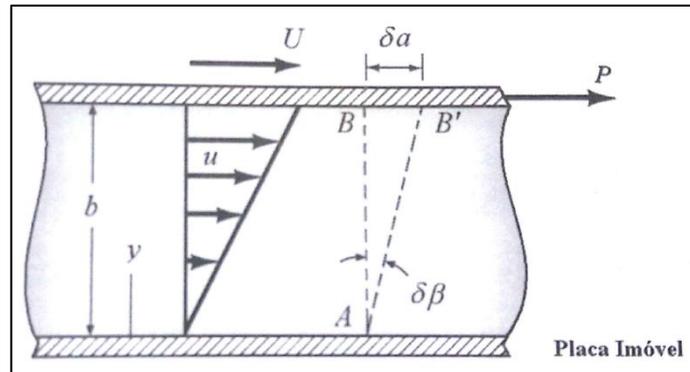
Onde  $V$  é a velocidade da partícula e  $C$  uma constante da linha de corrente.

Porém existe uma outra força que pode afetar a aplicação da equação de Bernoulli, que é o atrito entre as próprias moléculas do fluido. Assim outro pressuposto assumido para equação de Bernoulli é que os efeitos viscosos do escoamento são negligenciáveis (BERNOULLI; BERNOULLI, 1968).

### 2.2.3 Viscosidade, Turbulência e Camada Limite

O efeito do atrito entre as próprias moléculas do fluido é chamado de viscosidade. A viscosidade de um fluido determina o quanto ele se deforma para uma determinada tensão de cisalhamento. Considerando que a placa inferior na figura 4 é estática e a placa superior se move com uma velocidade  $U$  quando uma determinada força é aplicada sobre ela, as partículas de fluido em contato com a

placa inferior possuem velocidade  $u=0$  e aquelas em contato com a placa superior assumem velocidade  $u=U$ , isto ocorre devido a uma propriedade dos fluidos chamada de condição de não escorregamento, que afirma que o fluido em contato com uma superfície possui a mesma velocidade que ela, embora esta condição possa ser violada, ela é aplicável a vários casos, incluindo o escoamento da água em corpos imersos (LAUGA; BRENNER; STONE, 2005).

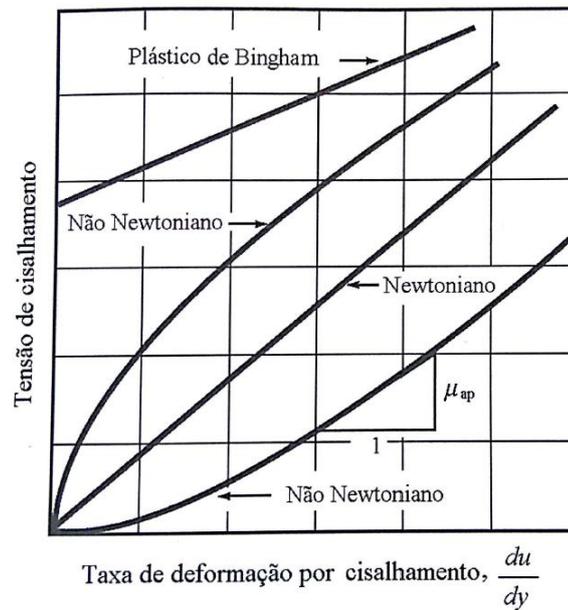


Fonte: Munson, Young e Okiishi (2004)

**Figura 4 - Escoamento entre duas placas**

Devido às interações entre as moléculas, a tensão aplicada na superfície é transmitida através do escoamento produzindo um gradiente de velocidades em função da distância entre as placas ( $du/dy$ ). A lei da viscosidade de Newton estabelece que este gradiente de velocidade é proporcional à tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) aplicada entre duas camadas adjacentes do fluido, esta constante de proporcionalidade é chamado de coeficiente de viscosidade dinâmico ( $\mu$ ) que tem como unidade SI o Poiseuille (PI), que equivale a  $1 \text{ Ns/m}^2$  (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

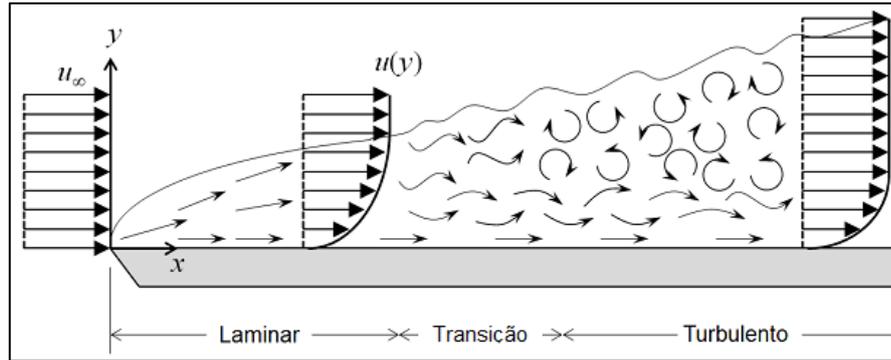
Os fluidos que possuem um coeficiente de viscosidade dinâmica constante em relação à tensão de cisalhamento e que, portanto, obedecem à lei da viscosidade de Newton, são denominados como fluídos Newtonianos, a água se enquadra nesta categoria. Fluidos que variam sua viscosidade em função da tensão de deformação são chamados de fluidos não Newtonianos, e um exemplo deste grupo de interesse para a biomecânica é o sangue (Figura 5) (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).



Fonte: Munson, Young e Okiishi (2004)

**Figura 5 - Comportamento do coeficiente de viscosidade dinâmica ( $\mu$ )**

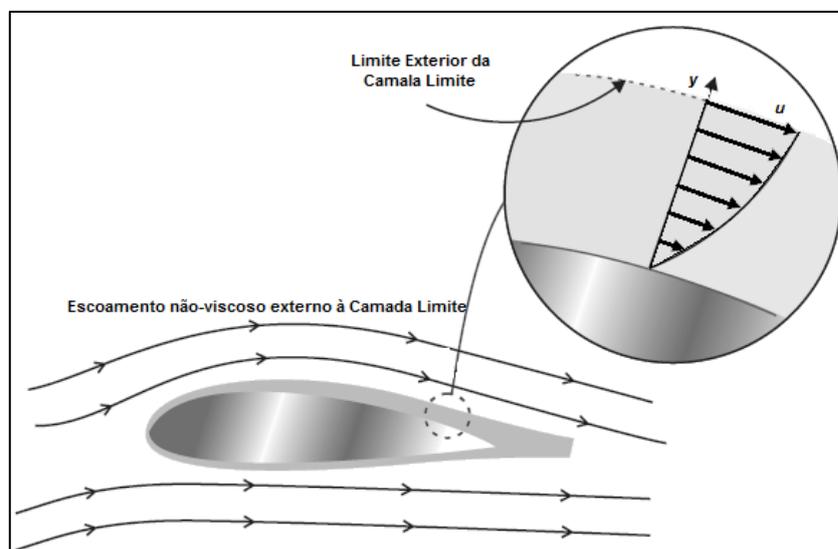
A viscosidade de um escoamento também quantifica a propriedade do fluido de manter a estabilidade das linhas de corrente. Quando a viscosidade do fluido é suficiente, as linhas de corrente se mantêm estáveis e paralelas umas as outras ao longo de todo o escoamento, este regime é conhecido como escoamento laminar. Quando a viscosidade do fluido não é suficiente para conter a energia cinética das linhas de correntes, elas podem perturbar umas as outras, causando mudanças bruscas na direção do escoamento, gerando velocidade em sentido perpendicular ou até oposto à direção do escoamento, este regime é conhecido como escoamento turbulento. Neste regime de escoamento as linhas de corrente podem produzir um padrão típico, circular e estável chamado de vórtice. O escoamento também pode possuir um regime transitório, onde os efeitos turbulentos são menores e periódicos, este regime é uma condição intermediária entre o escoamento laminar e turbulento (Figura 6) (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).



Fonte: Adaptado de Comsol <https://br.comsol.com/blogs/which-turbulence-model-should-choose-cfd-application/>. Acessado em 10/02/2017

**Figura 6 - Regimes de Escoamento**

Uma aplicação importante dos efeitos viscosos é vista no escoamento ao redor de um corpo submerso. Considerando um fôlio estático, imerso em um escoamento, como na figura 7, as partículas do fluido em contato com o fôlio possuem velocidade zero, devido à condição de não escorregamento. As partículas próximas a esta apresentam um gradiente de velocidades indo de zero, quando em contato com o fôlio, até a velocidade do escoamento, em uma região distante o suficiente do fôlio para não sofrer os efeitos viscosos. Desta forma, este escoamento possui uma região próxima ao corpo submerso onde os efeitos viscosos são importantes, enquanto fora desta região estes efeitos são negligenciáveis. Esta região do escoamento onde as forças viscosas são importantes é chamada de camada limite (ANDERSON, 2005).



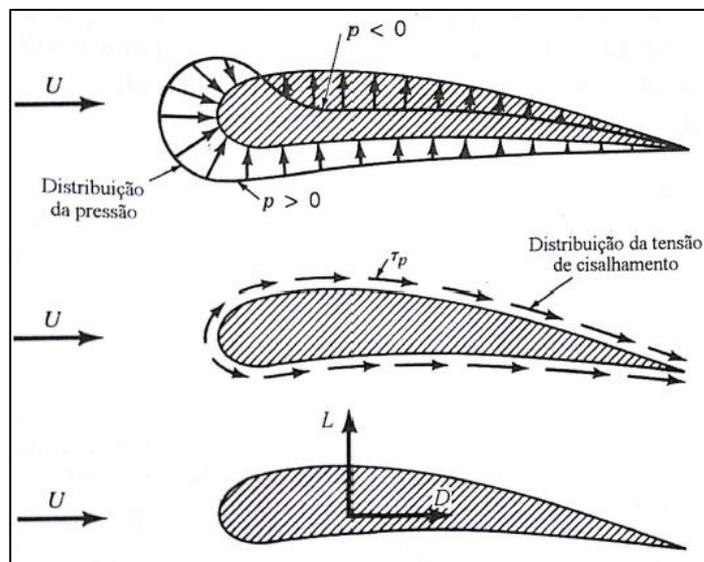
Fonte: Adaptado de Anderson (2005)

**Figura 7 - Camada Limite**

O conceito da camada limite foi desenvolvido por Ludwig Prandtl em 1904, e por esta formulação ele é conhecido como o pai da mecânica dos fluidos. Anteriormente a mecânica dos fluidos era dividida em duas áreas: a hidrodinâmica, que conduzia estudos teóricos e matemáticos; e a hidráulica, que conduzia estudos experimentais. Estas duas abordagens produziam resultados divergentes, e a introdução da teoria da camada limite permitiu uma convergência dos resultados destas, permitindo a unificação da área (ANDERSON, 2005).

#### 2.2.4 Arrasto e Sustentação

A força que atua nos corpos imersos num escoamento é resultado da interação entre o corpo e o fluido que o envolve. Estas forças podem ser normais à superfície do corpo devido ao efeito da pressão ou tangentes a ele devido ao efeito da tensão de cisalhamento causada pelos efeitos viscosos. A componente na direção do escoamento da resultante destas forças em toda a superfície do corpo imerso é o arrasto, e a componente perpendicular à direção do escoamento é a sustentação (Figura 8). Como é praticamente impossível conhecer as distribuições de tensão em um objeto, usualmente são utilizados coeficientes de arrasto e sustentação adimensionais obtidos experimentalmente (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).



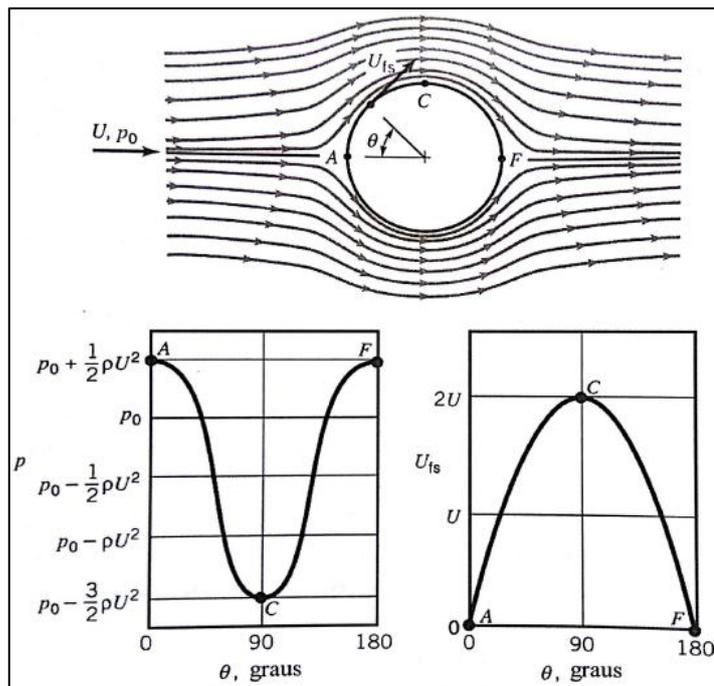
Fonte: Munson, Young e Okiishi (2004)

**Figura 8 - Forças de pressão, viscosas e resultantes em um corpo imerso**

Como a tensão de cisalhamento é uma função do coeficiente de viscosidade dinâmica e do gradiente de velocidade ( $du/dy$ ) seu valor pode ser estimado. Embora seja difícil medir o gradiente de velocidade mesmo aproximações grosseiras deste perfil resultam em aproximações razoáveis da tensão de cisalhamento. Considerando os gradientes de velocidade mostrados na figura 6, pode-se identificar que a tensão de cisalhamento deve ser maior no escoamento turbulento da camada limite do que no laminar, devido ao maior gradiente de velocidade. Isso ocorre devido ao deslocamento aleatório do fluido nesse região que retira quantidade de movimento do escoamento continuamente para transitar entre as regiões com diferentes velocidades (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

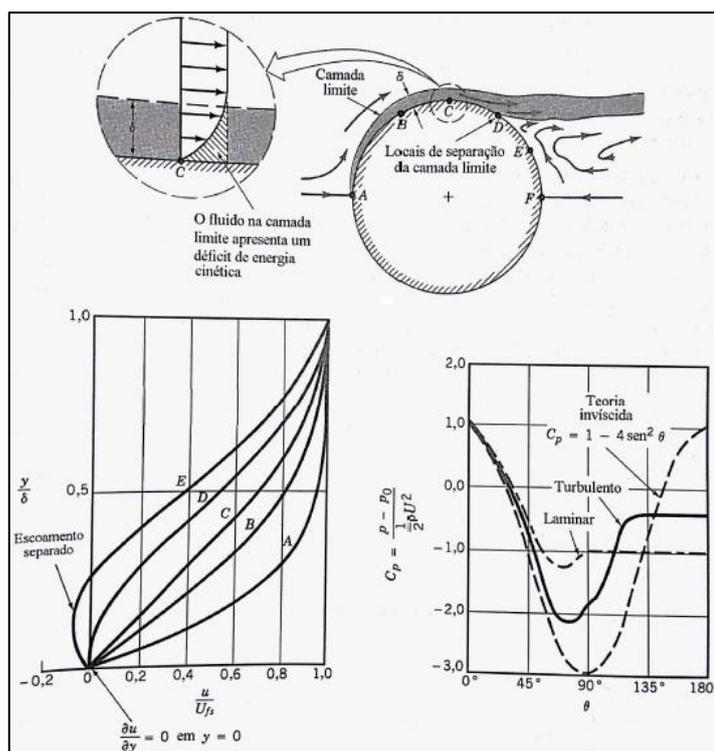
A distribuição de pressão em um corpo exposto a um escoamento apresentou soluções teóricas e experimentais divergentes em um determinado momento devido à preposição que ficou conhecida como o paradoxo d'Alembert. Jean d'Alembert postulou em 1749 que um corpo simétrico em um escoamento não viscoso não apresentaria arrasto. Ao encontrar um corpo o escoamento produziria um ponto de estagnação, onde a velocidade de escoamento seria reduzida a zero e com isso a pressão seria aumentada. À medida que o escoamento se desviasse para contornar o corpo a energia potência seria convertida em cinética atingindo um máximo de velocidade e mínimo de pressão no meio do escoamento. A partir deste um processo simétrico aconteceria na segunda metade do escoamento, fazendo com que as pressões ao redor do corpo se anulassem (Figura 9). No entanto, as evidências experimentais depõem contra isso, mesmo em fluido com baixa viscosidade e em escoamentos com alto número de Reynolds, o arrasto é considerável (GRIMBERG; PAULS; FRISCH, 2008).

O arrasto ocorre em situações experimentais porque a conversão de energia cinética em potencial e depois novamente em cinética não ocorre sem perdas. Esta perda de energia ocorre devido à fricção no escoamento, ou seja, devido a sua viscosidade. Desta forma, em algum momento as partículas de fluido não terão mais quantidade de movimento para continuar contornando o corpo em direção a um ponto de estagnação a jusante causando um ponto de separação da camada limite (Figura 10), assim as pressões não serão simétricas em relação ao corpo gerando um gradiente de pressão que produz arrasto (ANDERSON, 2005).



Fonte: Munson, Young e Okiishi (2004)

**Figura 9 - Pressão e velocidade de um escoamento não viscoso em torno de um cilindro**

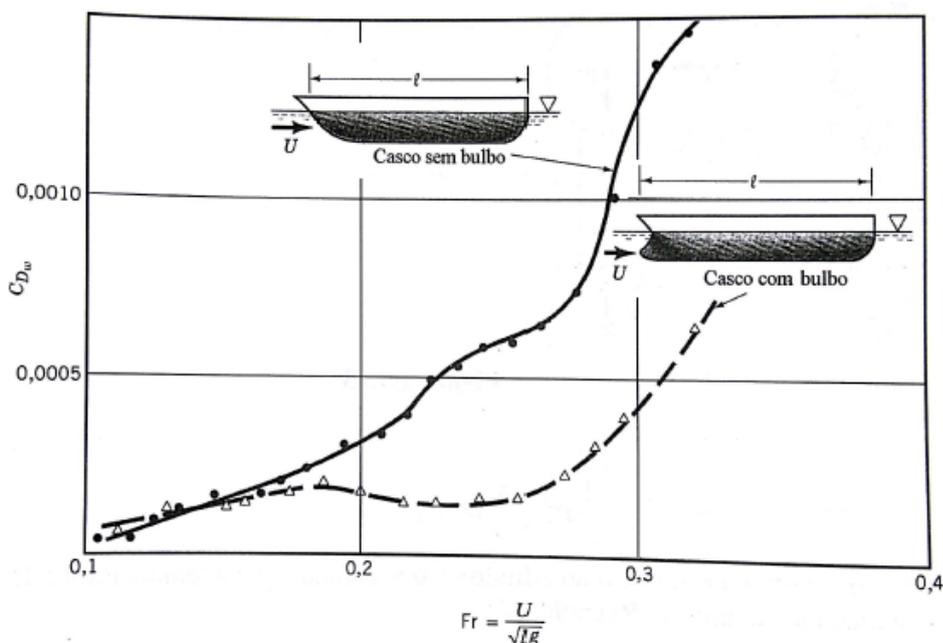


Fonte: Munson, Young e Okiishi (2004)

**Figura 10 - Perfil de velocidade na camada limite e coeficiente de pressão ( $C_p$ ) em um escoamento viscoso em torno de um cilindro**

Como na água os efeitos inerciais ( $\rho \sim 10^3$ ) são normalmente mais relevantes que os viscosos ( $\mu \sim 10^{-3}$ ) as forças devido à pressão são predominantes em escoamentos sobre corpos imersos. O arrasto devido à tensão de cisalhamento e à pressão também é considerado conjuntamente, produzindo o coeficiente de arrasto total ( $C_d$ ). O coeficiente de arrasto é altamente dependente da forma do objeto e existem valores de coeficiente de arrasto determinados experimentalmente para diversas formas (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

Uma outra fonte de resistência que atua especificamente nos escoamentos na superfície livre ou próximos dela é o arrasto de onda. Este tipo de arrasto se deve a energia que o objeto transmite ao escoamento e que gera ondas a montante do corpo. Em escoamentos deste tipo o arrasto total pode ser obtido a partir da adição dos efeitos de onda nas demais formas de arrasto atuantes no corpo. O coeficiente de arrasto de onda é altamente influenciado pela relação entre a velocidade do escoamento e o comprimento do corpo e pela forma do corpo, no caso da figura 11, o corpo menos hidrodinâmico é aquele que apresenta menor arrasto (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004)



Fonte: Adaptado de Munson, Young e Okiishi (2004)

**Figura 11 - Coeficiente de arrasto de onda em função do número de Froude para navios com diferente formato do casco**

### 2.2.5 Análise dimensional

Em muitos problemas envolvendo fluidos existem vários parâmetros que devem ser avaliados para caracterizar o escoamento, e muitas vezes não existe um modelo teórico capaz de modular todos estes parâmetros. Nestes casos uma abordagem experimental é necessária, porém o grande número de parâmetros envolvidos ainda seria um problema. Além disto, estas soluções não poderiam ser generalizadas para outros escoamentos (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004; RAYLEIGH, 1915a).

Para resolver esta questão é utilizada a análise dimensional do fenômeno. Esta abordagem consiste em identificar grupamentos adimensionais entre os parâmetros de interesse de forma a reduzir o número de variáveis a serem testadas e possibilitar uma maior generalização dos resultados encontrados. O teorema Buckingham pi afirma que uma equação com  $k$  variáveis pode ser reduzida a uma relação entre  $k-r$  produtos adimensionais, onde  $r$  é o número de dimensões básicas necessárias para descrever as variáveis (BUCKINGHAM, 1914).

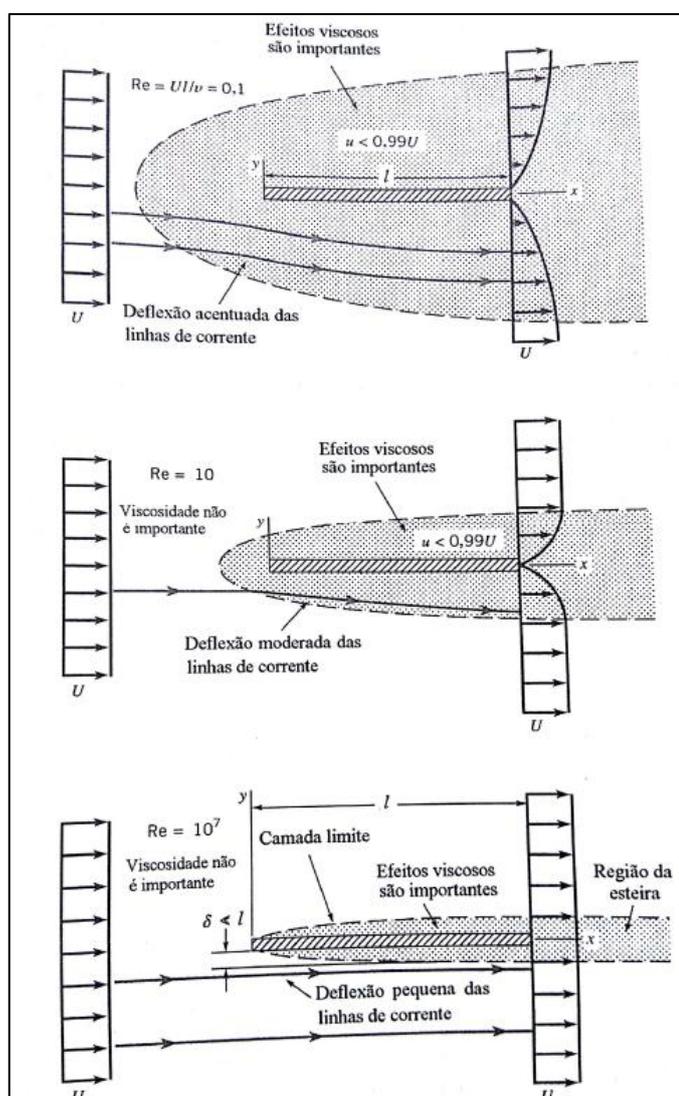
Embora os grupamentos adimensionais possam ser gerados para cada problema, alguns grupamentos se repetem regularmente em diferentes situações para avaliar determinadas características dos escoamentos. Entre estes grupamentos adimensionais podemos citar o número de Reynolds, o número de Froude e o número de Strouhal, que possuem relação com os fenômenos observados no escoamento para natação.

### 2.2.6 Número de Reynolds

O número de Reynolds ( $Re$ ) é provavelmente o adimensional mais conhecido da mecânica dos fluidos. Este adimensional foi proposto por Osborne Reynolds em 1883 para servir de critério para diferenciação entre um escoamento laminar e um escoamento turbulento (REYNOLDS, 1883). Posteriormente, Reynolds atribuiu um valor crítico entre 1900 e 2000 para esta transição em um escoamento de água dentro de um tubo, causado pela pressão (REYNOLDS, 1895). O número de Reynolds é influenciado pela massa específica ( $\rho$ ) e pela viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) do fluido, e pelo comprimento ( $l$ ) e velocidade ( $V$ ) característicos do escoamento conforme a equação 2.

$$Re = \frac{\rho V l}{\mu} \quad \text{Eq. (2)}$$

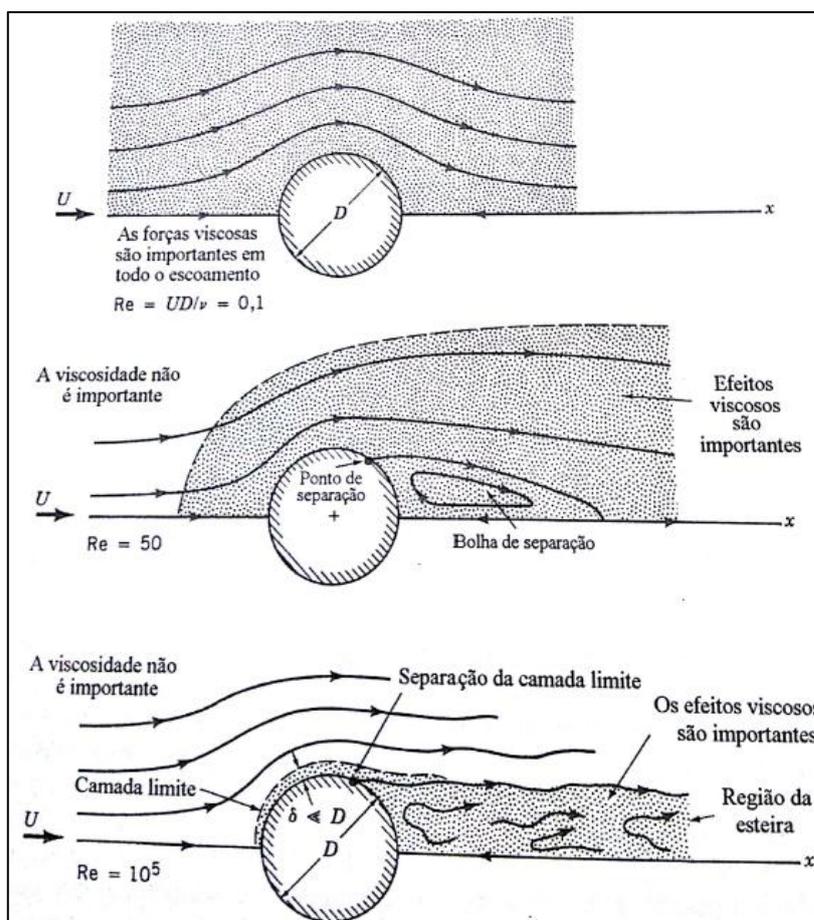
O numerador do número de Reynolds representa as forças inerciais atuantes no escoamento, enquanto o denominador representa as forças viscosas. Assim escoamento com valores muito baixos de número de Reynolds ( $Re \ll 1$ ) são governados fundamentalmente pelos efeitos viscosos, enquanto naqueles com valores muito altos os efeitos viscosos são negligenciáveis e as forças inerciais governam o escoamento (Figura 12).



Fonte: Munson, Young e Okiishi (2004)

**Figura 12 - Escoamento em torno de uma placa plana para diferentes valores do Número de Reynolds**

Quando os efeitos inerciais são predominantes em um escoamento, existe um ponto onde a energia cinética acumulada pelo fluido é suficiente para vencer as forças coercitivas e neste ponto o escoamento passa de laminar para turbulento. Este fenômeno depende não só do número de Reynolds, mas também da geometria do escoamento. No caso de um escoamento viscoso incompressível dentro de um tubo, este valor crítico é de  $Re \sim 1950$  (REYNOLDS, 1895), o mesmo escoamento ao redor de uma placa plana com ângulo de ataque zero apresenta um valor crítico de  $Re \sim 10^7$  (Figura 7), enquanto para um objeto rombudo como o cilindro da figura 13, este valor é de  $Re \sim 10^5$  (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).



Fonte: Munson, Young e Okiishi (2004)

**Figura 13 - Escoamento em torno de um cilindro para diferentes valores do Número de Reynolds**

Considerando o caso de um nadador em uma piscina, a razão  $\rho/\mu$  apresenta ordem de grandeza de  $10^6$  ( $996,5 \text{ Kg/m}^3 / 8,5 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2$  à  $27^\circ\text{C}$ ), a velocidade de deslocamento varia entre 1 e 3 m/s e o comprimento característico entre 1,5 e 3

m (considerando um nadador em posição *streamline*), desta forma o número de Reynolds esperado para esta situação estaria entre  $1.75 \times 10^6$  e  $1.05 \times 10^7$ . Fica claro que os efeitos inerciais, mais especificamente os relacionados à velocidade e a pressão, são predominantes na interação entre o nadador e a água. Assim o arrasto friccional ou de atrito deve ser muito pequeno para nadadores, assim como para a maioria dos escoamentos na água ou no ar, devido aos grandes valores de número de Reynolds esperados para estes fluidos (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

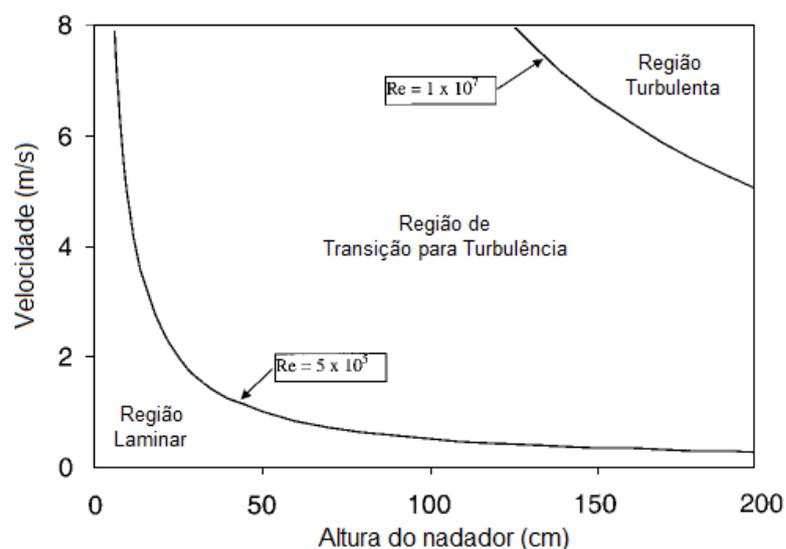
Como o número de Reynolds na natação é influenciado apenas pelo tamanho e desempenho do nadador, seu valor foi avaliado ao longo do tempo para jovens nadadores de ambos os sexos ao longo de 9 meses. O valor de Reynolds aumentou com o tempo, porém não houve diferença entre os sexos. O aumento do número de Reynolds ao longo do tempo era esperado devido ao crescimento dos atletas, já que houve um aumento significativo da altura, e uma possível melhora do desempenho indicada pelo índice de braçada, o índice relacionado à velocidade reportado pelos autores e que apresentou melhora significativa (BARBOSA et al., 2014).

Comparando o valor do número de Reynolds entre adultos e crianças, foi verificado que o valor dos adultos era superior ao das crianças tanto em velocidade máxima, quanto em uma velocidade fixa pré-determinada, o que mostra o efeito tanto do tamanho, quanto da velocidade de nado (KJENDLIE; STALLMAN, 2008). No entanto os valores avaliados variaram entre  $2 \times 10^6$  e  $4 \times 10^6$ , o que provavelmente não alteraria as condições do escoamento.

Para o caso dos objetos rombudos, é possível identificar na figura 13, que para algumas faixas de Reynolds, embora as forças viscosas sejam suficientes para manter a estabilidade do escoamento (regime laminar) ela não altera a direção das linhas de corrente o suficiente para contornar o corpo criando um ponto de separação da camada limite.

Mollendorf e colaboradores (2004) estimaram o número de Reynolds para nadadores considerando apenas a sua altura, e modelando seus corpos em posição de *streamline* como uma placa plana estimou as faixas de velocidade para escoamento, laminar, turbulento e uma zona de transição entre ambos (Figura 14). Utilizando estes dados foi avaliado o efeito dos trajes de natação na redução do arrasto friccional, de pressão e de onda. Os trajes apresentaram uma redução significativa do arrasto para velocidades acima de 1.5 m/s. O ponto de separação da camada limite no modelo acontecia nos primeiros centímetros da interação do

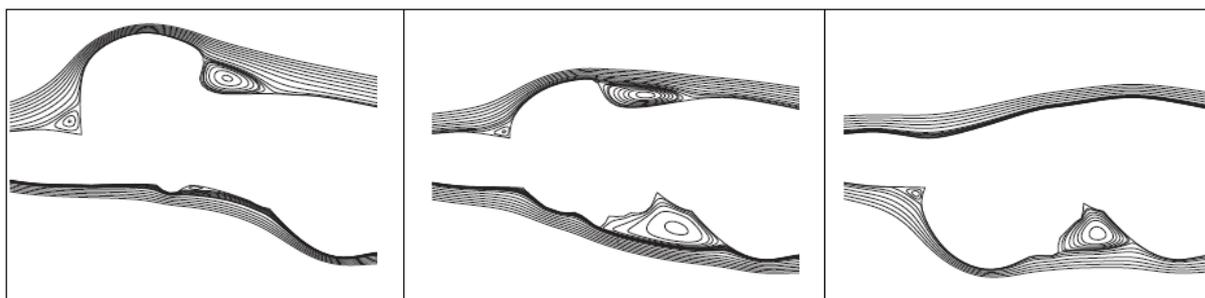
escoamento com corpo submerso, indicando que possivelmente a cabeça seria o ponto de separação da camada limite em um nadador. Os valores de arrasto friccional aumentavam com a utilização dos trajes, de acordo com o modelo, desta forma a redução do arrasto total foi resultado da redução dos arrastos de pressão e de onda.



Fonte: Adaptado de Mollendorf et al. (2004)

**Figura 14 - Regime de escoamento em função do Número de Reynolds**

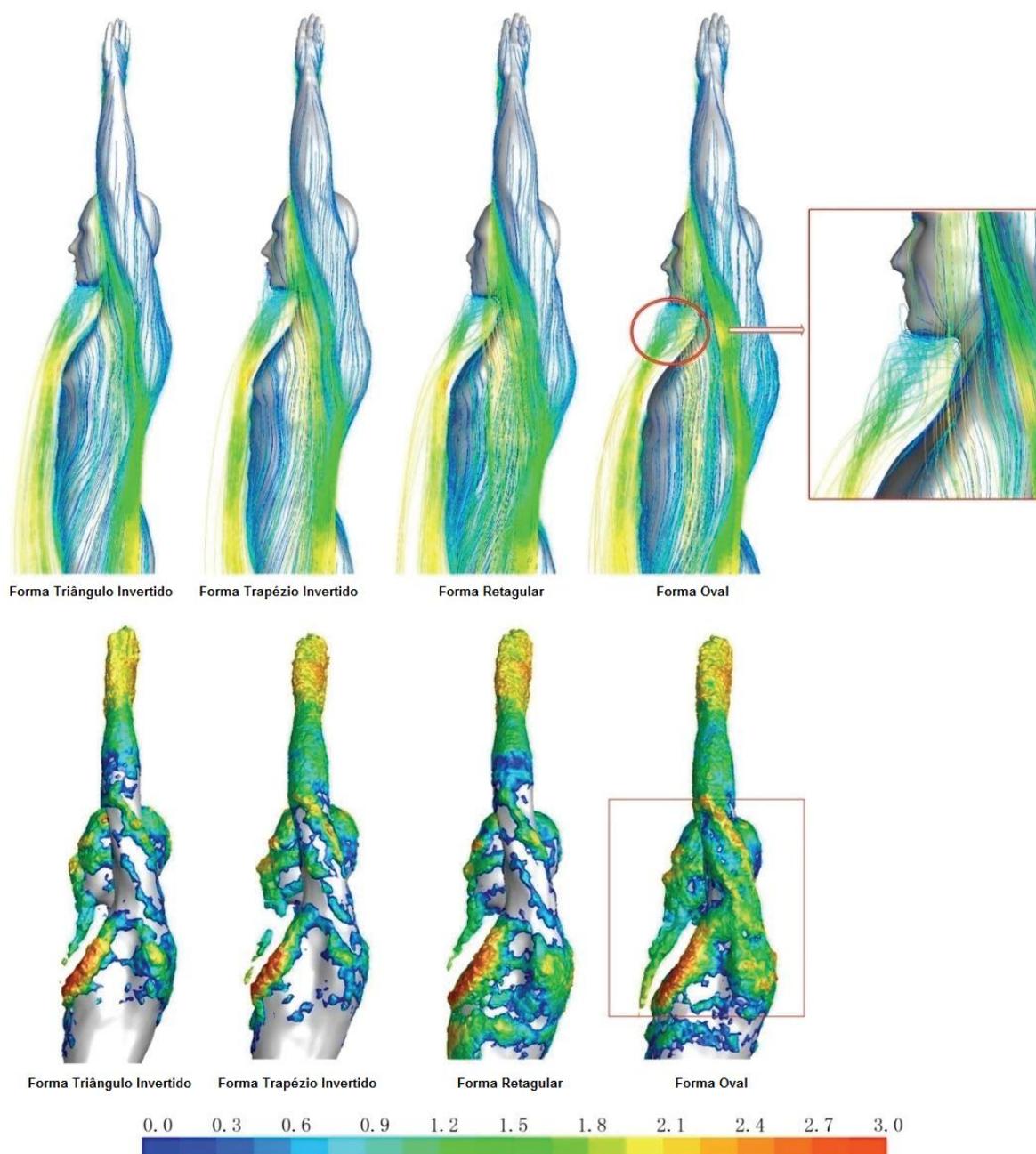
Em um estudo utilizando mecânica dos fluidos computacional a influencia da posição da cabeça na performance foi analisada para  $Re \sim 10^6$ , o ponto de separação também aconteceu próximo a cabeça do nadador para todas as posições analisadas. Porém este ponto de separação parece estar mais relacionado à geometria do corpo do nadador (Figura 15) do que ao espaço de interação com a camada limite (ZAÏDI et al., 2008).



Fonte: Adaptado de Zaïdi et al. (2008)

**Figura 15 - Ponto de separação da camada limite**

Quando diferentes formatos do corpo, porém em uma mesma posição, foram aplicados em um modelo para simulação ( $Re \sim 2-4 \times 10^6$ ) resultados semelhantes foram encontrados para o ponto de separação da camada limite (Figura 16), corroborando que neste regime de escoamento as mudanças bruscas no contorno do corpo definem a posição dos pontos de separação (LI; ZHAN, 2015).



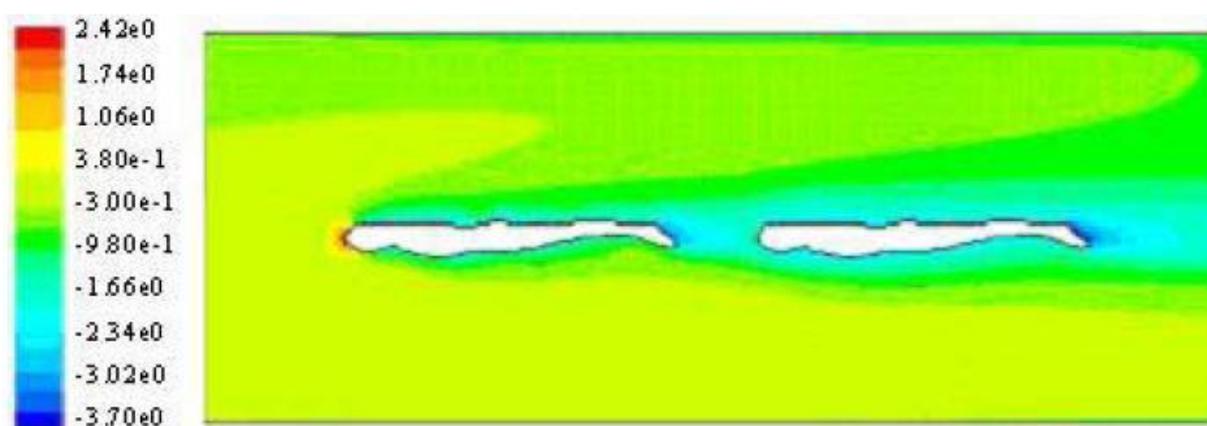
Fonte: Adaptado de Li e Zhan (2015)

**Figura 16 - Ponto de separação da camada limite e turbulência (LI; ZHAN, 2015)**

A partir do ponto de separação da camada limite, a influência que o objeto exerce sobre o escoamento é reduzida, e dependendo da magnitude do número de Reynolds o escoamento pode produzir vórtices para ocupar o espaço a jusante do corpo ou produzir um escoamento turbulento nesta região jusante do corpo chamada de esteira.

O escoamento na região da esteira é diferente do que em outras regiões, a menor pressão nesta região, por exemplo, faz com que a resistência ao deslocamento nesta região seja menor quando comparada ao escoamento laminar a montante do corpo. Em um experimento utilizando a técnica de rebocamento, onde dois nadadores eram rebocados, estando um a frente do outro a uma distância fixa, o arrasto do segundo nadador era reduzida quando comparado com os valores para este mesmo nadador quando rebocado sozinho (KLAUCK, 1979).

O mesmo princípio também foi testado simulando o deslocamento de dois nadadores em um software de mecânica dos fluidos computacional, sendo observada uma redução de até 56% do coeficiente de arrasto do nadador na esteira devido à redução da pressão (Figura 17). Apenas quando o nadador na esteira estava a mais de 6,5 m de distância do primeiro, os efeitos da esteira no deslocamento cessaram (SILVA et al., 2008).

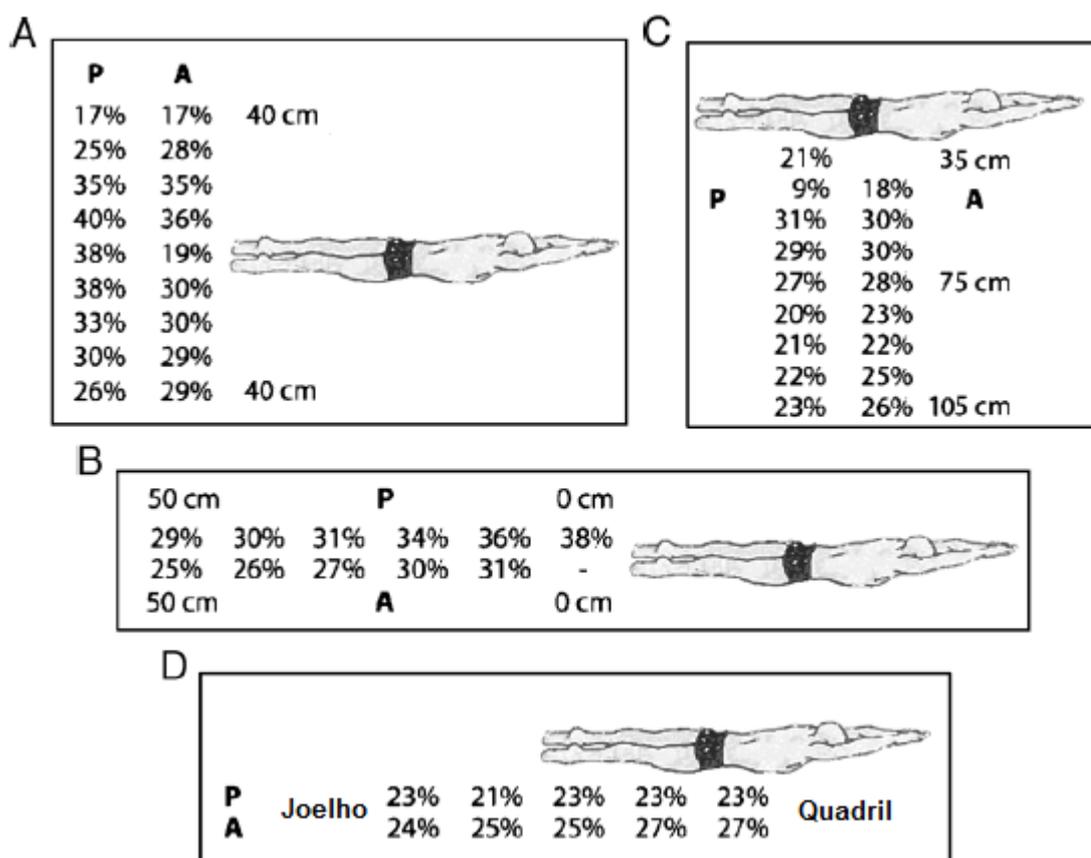


Fonte: Adaptado de Silva et al. (2008)

**Figura 17 - Distribuição de pressão no escoamento em uma situação de esteira**

A avaliação do gasto energético através do consumo de oxigênio mostrou uma redução de 10% do volume de oxigênio comparando as condições com e sem esteira (BASSETT et al., 1991).

A redução do arrasto em função dos efeitos da esteira são dependentes da posição, isto se deve ao gradiente de velocidade causado pelas forças viscosas da água. Além disso, na natação, os movimentos do nadador a montante, modificam o escoamento também afetando o escoamento na região da esteira. A figura 18 apresenta a velocidade a velocidade do escoamento em diversas regiões atrás e ao lado de um nadador, que se manteve em posição passiva (*streamline*) ou ativa (nado crawl completo) durante as medições. O teste foi realizado em um canal de água circulante a um velocidade de 1,2 m/s com um valor de número de Reynolds aproximado de  $2,46 \times 10^6$ , valor não informado pelos autores, mas estimado baseado na velocidade do escoamento, altura do nadador e temperatura da água (JANSSEN; WILSON; TOUSSAINT, 2009).



Fonte: Adaptado de Jandden, Wilson e Toussaint (2009)

**Figura 18 - Redução de velocidade em diferentes posições do escoamento**

As maiores reduções no arrasto e melhoras na eficiência coincidiram com as posições com maior redução da velocidade. Estas regiões foram aquelas a jusante do nadador como esperado. Com os nadadores posicionados lateralmente, foi

observado um aumento do arrasto passivo, mesmo com a redução da velocidade do escoamento observada para estas regiões (JANSSEN; WILSON; TOUSSAINT, 2009). Embora estes dados corroborem com os de Chatard e Wilson (2003) para os testes a jusante do nadador, eles são contraditórios em relação à redução do arrasto observada por estes autores na condição de esteira lateral a 100 cm em condições similares de teste.

Os movimentos realizados pelo nadador a montante na situação ativa, modificaram o escoamento de forma a prejudicar a redução do arrasto, principalmente a jusante, possivelmente em função da aceleração que o nadador imprime à água para gerar propulsão (JANSSEN; WILSON; TOUSSAINT, 2009). Embora ao comparar o efeito do ritmo de pernada (2 ou 6 pernadas por ciclo) do nadador a montante nos valores de arrasto, consumo de energia e desempenho em 400m do nadador a jusante, não foram observadas diferenças significativas (MILLET; CHOLLET; CHATARD, 2000)

Os benefícios propiciados pela ação da turbulência na região de esteira, nominalmente a redução do arrasto e melhora na economia, parecem ser revertidos em uma melhora do desempenho, conforme verificado em um teste de 400m para triatletas (CHATARD; CHOLLET; MILLET, 1998).

Estes resultados justificam as regras OSW 6.2, OSW 6.3.1 e OSW 6.4 da natação em águas abertas que proíbem a utilização da esteira durante a prova (FINA, 2016a). Em outras modalidades como o ciclismo de estrada esta pratica é comumente utilizada e permitida pelas regras. Os atletas se posicionam muito próximos uns aos outros formando o pelotão, para economizar energia durante a prova, de fato o coeficiente de arrasto destes atletas pode ser reduzido em até 44% quando estes se posicionam na esteira dos demais ciclistas (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

#### 2.2.7 Número de Froude

O número de Froude é um adimensional que avalia a relação entre as forças inerciais e a força peso do escoamento. Ele recebeu este nome em homenagem a Willian Froude que propôs em 1868 a relação a relação entre comprimento e velocidade para escoamentos em superfície livre, como a interface entre água e ar. Froude foi o pioneiro na utilização de tanques de provas para projetar navios e

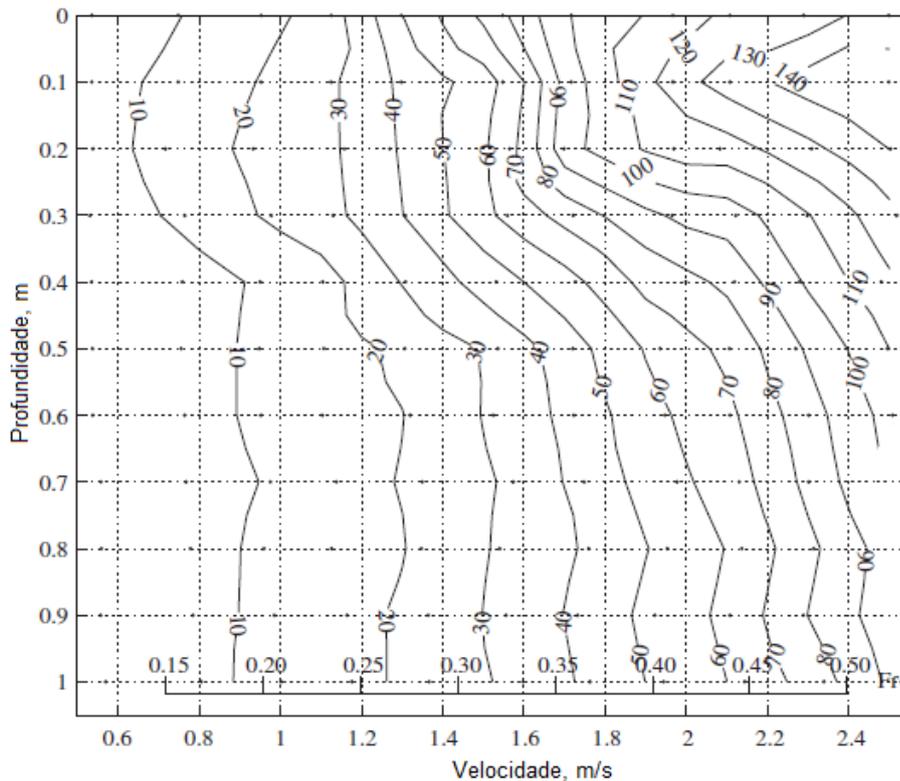
observou que se a velocidade de dois navios é proporcional a raiz quadrada de seus comprimentos, a sua resistência é proporcional ao cubo do comprimento. Esta relação era expressa de modo dimensional, e posteriormente foi elaborada a forma adimensional apresentada na equação 3 (VAUGHAN; O'MALLEY, 2005).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gl}} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde  $g$  é a aceleração da gravidade.

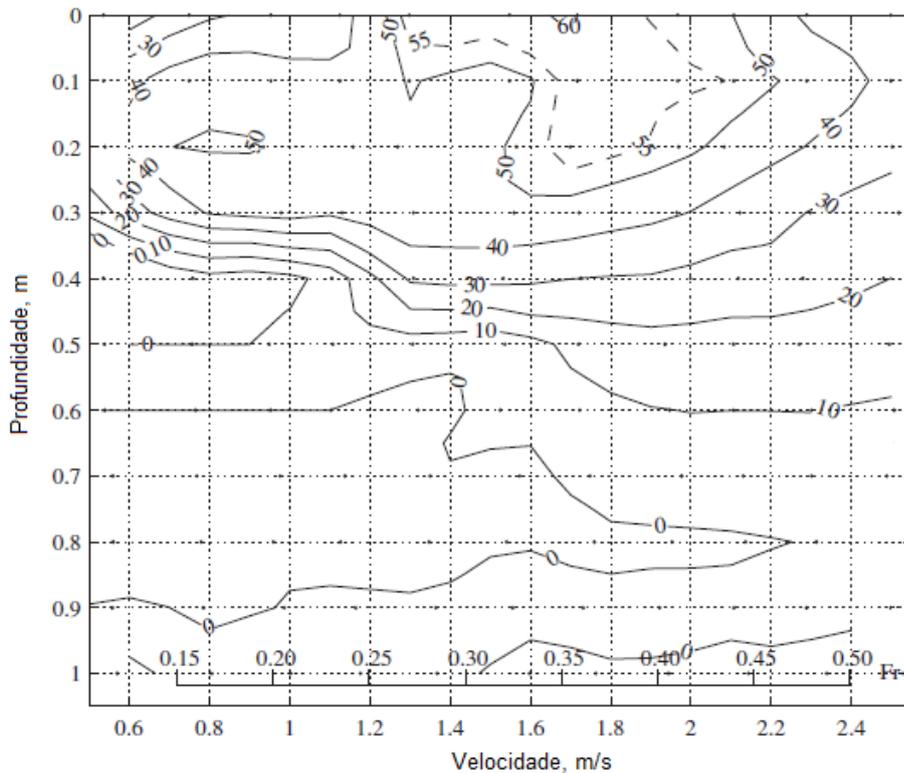
Quando um corpo se desloca na interface água-ar, parte da energia cinética do movimento é transmitida para água na forma de energia potencial, vencendo a resistência gravitacional e produzindo ondas, alterando a resistência ao deslocamento. A parte do arrasto total devida a este fenômeno é chamada de arrasto de onda. Mesmo em deslocamento que não ocorrem na superfície livre, se a quantidade de energia cinética transmitida for suficiente para vencer o peso da coluna de água, o arrasto de onda será relevante. O número de Froude permite avaliar a influencia do arrasto de onda no escoamento (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004; WEBB, 1975).

A influencia do número de Froude e da profundidade do escoamento foi demonstrada por intermédio da medição do arrasto passivo de um manequim em diferentes profundidades e velocidades de escoamento. As figuras 19 e 20 mostram os valores de arrasto e contribuição relativa do arrasto de onda para o arrasto total em função do número de Froude e da profundidade do deslocamento (VENNELL; PEASE; WILSON, 2006). Também é possível identificar que a resistência não se altera linearmente com o aumento do número de Froude, esse é um efeito do formato do corpo que se desloca na superfície e portanto esta relação precisa ser determinada experimentalmente (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).



Fonte: Adaptado de Vennell, Pease e Wilson (2006)

**Figura 19 - Arrasto passivo em relação à profundidade, velocidade e número de Froude**



Fonte: Adaptado de Vennell, Pease e Wilson (2006)

**Figura 20 - Contribuição relativa do arrasto de onda no arrasto total em função da profundidade, velocidade e número de Froude**

Outro conceito que advém da formação de ondas na superfície livre é a velocidade de casco ("*hull speed*"). A velocidade de casco é uma velocidade crítica onde o comprimento de onda ( $\lambda$ ) se torna igual ao comprimento do corpo exposto ao escoamento, acima desta velocidade teórica o corpo produziria aquaplanagem para aumentar sua velocidade.

Por relacionar o comprimento característico e a velocidade de escoamento em uma superfície livre, a velocidade de casco ocorre em um valor crítico de número de Froude. Para nadadores, os valores de Número de Froude de 0,40 (SEIFERT et al., 2015; TOUSSAINT, 2002), 0,42 (BARBOSA et al., 2014; KJENDLIE; STALLMAN, 2008; VENNELL; PEASE; WILSON, 2006) e 0,45 (NAEMI; EASSON; SANDERS, 2010) já foram utilizados para indicar a velocidade de casco.

O valor de Froude para a velocidade de casco pode ser determinado relacionando o comprimento e a frequência de onda de acordo com sua própria definição, conforme a equação 4:

$$V_c = \sqrt{\frac{gl}{2\pi}} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde  $V_c$  é a velocidade de casco e o comprimento característico ( $l$ ) adotado é a altura do nadador. Como esta relação estabelece a velocidade como uma função da altura em uma mesma proporção que o número de Froude ( $[gl]^{0,5}$ ), o número de Froude seria constante na velocidade de casco e aproximadamente igual a 0,40 ( $[2\pi]^{-0,5}$ ). Este valor representaria uma constante de proporcionalidade de aproximadamente 1.25 na relação entre velocidade e a raiz quadrado comprimento enunciada por Froude. Esta proposição da velocidade de casco foi utilizada primeiramente para avaliação do gasto energético do nado de patos (PRANGE; SCHMIDT-NIELSEN, 1970).

O valor do número de Froude igual 0,42 para a velocidade de casco em nadadores parece ter sido proposto inicialmente por Vogel (1994) apud. Barbosa et al (2014) e Kjendlie e Stallman (2008). Este valor também foi proposto como sendo o máximo atingível por um nadador por Larsen et al (1981) apud Kjendlie e Stallman (2008). Porém não foi possível identificar os procedimentos para determinação deste valor. Nadadores habilidosos podem produzir valores de número de Froude

superiores à 0,42. O nadador Alexander Popov, por exemplo, desenvolveu um número de Froude de 0,49 (KJENDLIE; STALLMAN, 2008)

Avaliando o efeito do crescimento em nadadores jovens ao longo de 9 meses no número de Froude e na velocidade de casco, resultados semelhantes ao do número de Reynolds foram encontrados. O número de Froude e a velocidade de casco predita para jovens nadadores aumentou ao longo dos 9 meses. Como a velocidade de casco é uma função exclusivamente da altura estes resultados eram esperados, já para o número de Froude, um aumento só ocorreria caso a velocidade máxima de nado aumentasse proporcionalmente mais que a altura do nadador, isto ocorreu para os primeiros 5 meses da análise e depois se manteve constante, ou seja, nesta última fase a velocidade de nado e a altura aumentaram seguindo uma mesma proporção. Provavelmente isto ocorreu devido aos efeitos do treinamento durante os 9 meses, que alterou parâmetros hidrodinâmicos dos nadadores (BARBOSA et al., 2014).

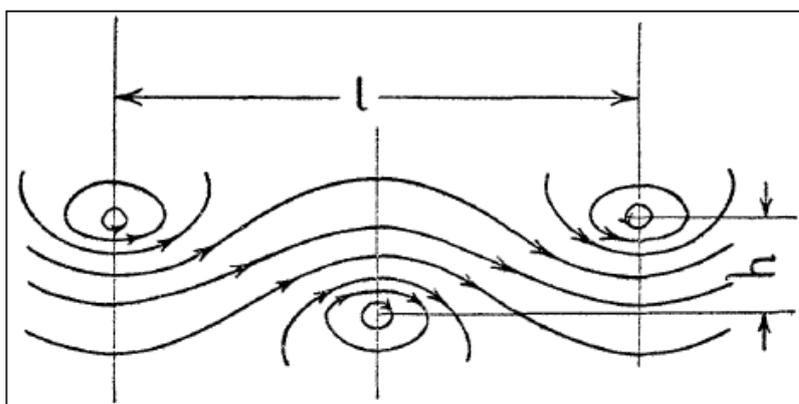
O número de Froude também se apresenta maior em adultos do que em crianças, isso significa que indivíduos adultos tem velocidades proporcionalmente maiores que sua diferença de altura para as crianças, o que pode ser justificado pela sua maior capacidade de desenvolver potência (KJENDLIE; STALLMAN, 2008).

#### 2.2.8 Número de Strouhal

O número de Strouhal ( $St$ ) é um adimensional proposto por Lord Rayleigh baseado nas observações de Vincenc Strouhal (STROUHAL, 1878), que relacionava o número de vórtices produzidos por um movimento de oscilação e a distância entre estes vórtices. Em seus experimentos Rayleigh replicou o experimentos de Strouhal na água, e conseguiu garantir a similaridade dos experimentos utilizando um valor de número de Strouhal de 6.1, o equivalente a 0.164 na formulação atual (RAYLEIGH, 1915b), já que o adimensional proposto por Rayleigh era o inverso do utilizado atualmente (Equação 5)

$$St = \frac{fL}{U} \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde  $f$  é a frequência de desprendimento de vórtices,  $L$  um comprimento característico, e  $U$  a velocidade do escoamento. Posteriormente, Bérnard Von Kármán estimou que um padrão estável de vórtices ocorreria (Figura 21) em valores específicos de número de Strouhal e número de Reynolds (VON KÁRMÁN, 1911). Este padrão é conhecido como estradas de Von Kármán (ELOY, 2012).

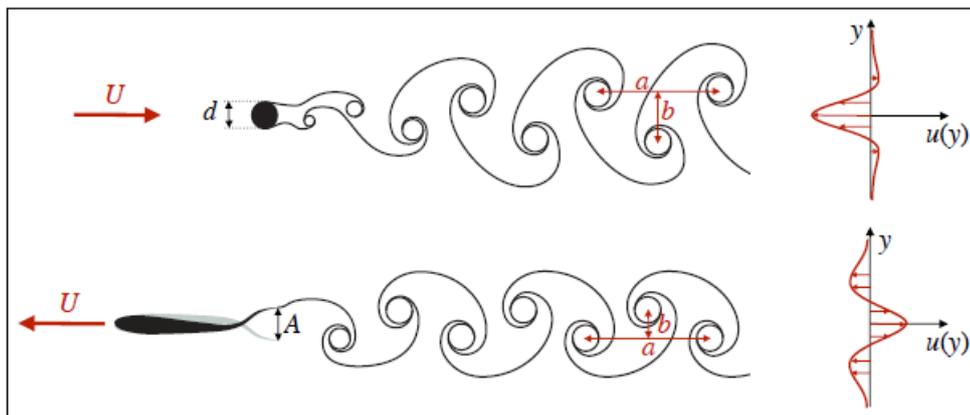


Fonte: Von Kármán (1911)

**Figura 21 - Estrutura estável de vórtices em um escoamento**

Rosen foi o primeiro a visualizar um sistema de vórtices em animais aquáticos e hipotetizou que eles sincronizavam o movimento ondulatório de seus corpos com o escoamento dos vórtices de modo a recuperar a energia dos vórtices e gerar propulsão (ROSEN, 1959, 1963). Ele propôs que existe uma constante dos peixes que governa a relação entre a amplitude e a frequência do movimento de suas caudas para obter a sincronização necessária para recapturar a energia dos vórtices. Esta constante dos peixes foi chamada de Pisces ( $\lambda$ ) e formulada como sendo o inverso do Número de Strouhal (ROHR; FISH, 2004; ROSEN, 1959).

Triantafyllou (1993) analisou o efeito de diferentes regimes de número de Strouhal na propulsão gerada por um fólio e verificou os valores utilizados por peixes para se deslocar em máxima velocidade. Foi identificado um padrão de desprendimento de vórtices oposto aquele das estradas de Von Kármán (Figura 22), onde foi observada maior geração de propulsão por unidade de energia gerada pelo fólio. Este padrão era semelhante aos visualizados anteriormente em um golfinho (ROSEN, 1963) e em aerofólios (OHASHI; ISHIKAWA, 1972). Esta faixa de número de Strouhal corresponde àquela preferida por peixes (TRIANAFYLLOU, 1993).



Fonte: Eloy (2012)

**Figura 22 - Estradas de Von Kármán e perfil do escoamento a jusante de um cilindro e Estradas reversas de Von Kármán e perfil de escoamento a jusante de um peixe**

Para avaliar o número de Strouhal no deslocamento de animais, usualmente a frequência de batida de cauda ou asas é utilizada como o parâmetro de frequência, a amplitude pico a pico dos movimentos de cauda ou asas como o parâmetro de comprimento característico e a velocidade do deslocamento como o parâmetro de velocidade. Este parâmetro é ajustado pelas espécies para maior eficiência energética, atingindo este objetivo em  $St \sim 0,3$  ( $0,2 - 0,4$ ) para maioria das espécies, independente de sua classificação taxonômica, meio de deslocamento (água ou ar) ou tamanho (TAYLOR; NUDDS; THOMAS, 2003). Este valor é muito próximo do valor teórico previsto para manutenção de uma estrada reversa de Von Kármán estável que ocorreria em  $St = 0,281$  (ELOY, 2012).

Em humanos o número de Strouhal foi avaliado para o nado submerso apresentando valores entre 0,35 e 0,68. Foi verificado que os nadadores mais rápidos e mais eficientes eram aqueles que apresentavam os valores mais baixos de número de Strouhal,  $r = -0,77$  (NICOLAS et al., 2007), o que vai de encontro com a teoria de que a máxima propulsão seria obtida em  $St \sim 0,3$ .

O número de Strouhal também foi utilizado para caracterização do nado crawl, para tanto o deslocamento da mão durante a braçada, e a frequência de braçada foram utilizados como parâmetros característicos, desta forma o número de Strouhal calculado não era relacionado à dispersão de vórtices, embora ainda possa ser associado com eficiência mecânica do nado. Os valores encontrado foram entre 0,21 e 0,26 para nadadores ou triatletas de alto nível nadando utilizando propulsão de braços apenas (BERGER; HOLLANDER; DE GROOT, 1997).

A recaptura de vórtices, como sugerido por Rosen, também já foi visualizada em humanos utilizando a velocimetria por imagem de partículas (*particle image velocimetry* – PIV). Se isto for possível, nadadores poderiam utilizar este mecanismo para melhorar sua eficiência mecânica (HOCHSTEIN; BLICKHAN, 2011).

## 2.3 SOBRE A MECÂNICA DA NATAÇÃO

### 2.3.1 Força de arrasto na natação

O arrasto no nado pode ser didaticamente dividido em três tipos, o arrasto friccional, o arrasto de forma e o arrasto de onda.

O arrasto friccional possui uma relação linear com a velocidade, e representa o atrito das moléculas do fluido com o corpo que se desloca pelo fluido. A equação 6 representa o arrasto friccional:

$$D_f = \mu S_f \frac{dV}{dz} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde  $D_f$  é o arrasto friccional,  $S_f$  é a área de contato do corpo com o fluido, e  $dV/dz$  o gradiente de velocidade na camada limite (VORONTSOV; RUMYANTSEV, 2000b). Desta forma este tipo de arrasto é especialmente importante em escoamentos com baixo número de Reynolds, onde os efeitos viscosos são predominantes.

Portanto, na natação, o arrasto friccional seria influenciado pelo tamanho do nadador ( $S_f$ ) e pela rugosidade de sua pele ( $dV/dz$ ) (MAGLISCHO, 1999).

O arrasto de pressão, ou de forma possui uma relação quadrática com a velocidade, e representa a força gerada pelo diferencial de pressão a montante e a jusante do corpo que se desloca pelo meio fluido. A equação 7 representa o arrasto de forma:

$$D_p = \frac{1}{2} C_d S_x \rho V^2 \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde  $D_p$  é o arrasto de pressão,  $C_d$  o coeficiente de arrasto e  $S_x$  a máxima área de seção transversal a interagir com o escoamento (VORONTSOV; RUMYANTSEV, 2000b). Este é o tipo de arrasto predominante na natação e por isso o arrasto é normalmente simplificado como:

$$D = kV^2 \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde  $k$  é uma constante de proporcionalidade (AMAR, 1920).

No caso da natação o arrasto de forma é influenciado principalmente pela orientação do corpo em relação ao escoamento ( $C_d$ ) e ao tamanho do nadador ( $S_x$ ) (MAGLISCHO, 1999).

O arrasto de onda possui uma relação cúbica com a velocidade, e representa a energia cinética transmitida do corpo para o fluido e é responsável pela formação de ondas a montante. A equação 9 representa o arrasto de onda:

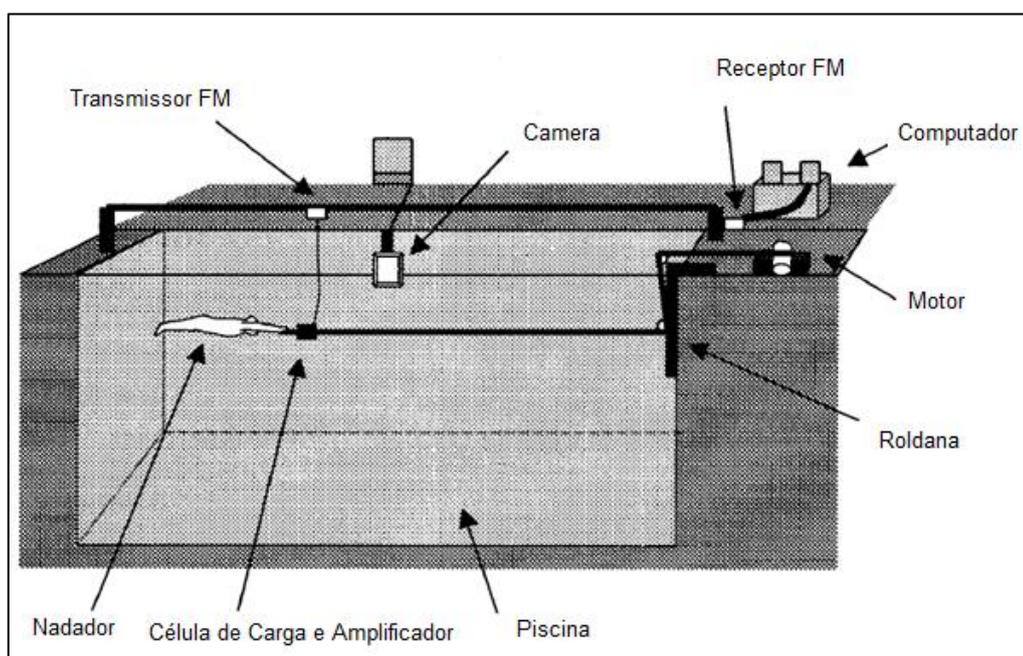
$$D_w = \rho \cos \alpha \Delta t \frac{A^3}{\lambda^2} (V \sin \alpha)^3 \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde  $D_w$  é o arrasto de onda,  $\alpha$  o ângulo entre o centro de massa e a crista da onda,  $t$  o tempo e  $A$  a amplitude da onda (VORONTSOV; RUMYANTSEV, 2000b). No caso da natação o arrasto de onda é influenciado principalmente por movimentos desnecessários do nadador (MAGLISCHO, 1999).

Esta forma de arrasto é predominante na superfície e perde importância com o aumento da profundidade. O aumento da velocidade também aumenta a contribuição do arrasto de onda ao arrasto total experimentado pelo nadador. O número de Froude permite avaliar a influência do arrasto de forma.

Tanto o arrasto total quanto as subdivisões mencionadas anteriormente podem ser avaliadas de forma passiva e ativa. O arrasto passivo é a força exercida pela água no nadador quando este não está se movendo, dentro de uma prova isso ocorre durante a fase de deslize logo após a virada ou a saída enquanto ele se encontra na posição de *streamline*. O arrasto ativo é a força exercida pela água no nadador enquanto ele se move, ou seja, enquanto ele realiza os movimentos propulsivos do nado (STAGER; TANNER, 2008).

O principal método para avaliação do arrasto passivo é a técnica de rebocamento, nesta técnica o nadador permanece em uma posição estática ou quase estática (permitindo a ação de pernas) enquanto é rebocado por um motor a uma velocidade pré-determinada, normalmente mantida constante. O cabo utilizado para rebocar o nadador possui um dinamômetro que permite mensurar a força de resistência do escoamento ao rebocamento do corpo, a representação esquemática do equipamento é apresentada na figura 23 (LYTTLE et al., 1999).



Fonte: Adaptado de Lyttle et al. (1999)

**Figura 23 - Método de rebocamento para determinação do arrasto passivo**

Utilizando esta técnica foi demonstrado que o arrasto passivo é menor quando o nadador está submerso do que na superfície, e que este efeito é maior em velocidades maiores (LYTTLE et al., 1999).

O mesmo conceito também pode ser empregado em um canal de água circulante, neste caso o nadador se mantém em uma posição estática enquanto o escoamento tem uma velocidade controlada. Utilizando este método em um manequim foram encontrados valores de arrastos 2.4 vezes maior na superfície do que sob a água sendo que 60% deste valor foi atribuído ao arrasto de onda. Em profundidade superior a 0.7 metros o arrasto de onda passa a ser responsável por menos de 5% do arrasto total (VENNELL; PEASE; WILSON, 2006).

Outras variantes do método de rebocamento que consistem no mesmo princípio são a utilização de uma gôndola para realizar o deslocamento do nadador (KLAUCK, 1976) e um sistema de contrapeso que mantém a força e não a velocidade constante (KLAUCK, 1998).

Além do método do rebocamento existe também a técnica do deslize, onde o nadador exerce um impulso máximo contra a borda da piscina e a permanece estático até parar completamente. A velocidade do momento do impulso até a parada do nadador é medida e é estimada a resistência necessária para produzir a desaceleração observada (KLAUCK, 1976).

Uma das aplicações da teoria da camada limite para o arrasto na natação, é o arrasto causado pela massa de água adicional. Considerando um nadador deslizando submerso na água, parte da água em contato com o nadador irá adquirir a mesma velocidade com que este se desloca devido a condição de não escorregamento, isto também produziria um gradiente de velocidade em uma determinada massa de água ao redor do nadador. Esta massa adicional de água é um dos componentes da resistência hidrodinâmica enfrentada pelos nadadores, e teve seu valor estimado entre 8 e 46% da massa corporal do nadador (correspondente a 5 e 31 Kg na amostra do estudo). Estes valores foram determinados experimentalmente utilizando a técnica de rebocamento, em condições com incremento e redução da velocidade de deslizamento. Esta técnica consiste em rebocar o nadador utilizando um dispositivo mecânico e medir a resistência necessária para tal dispositivo produzir a velocidade de deslocamento desejada (KLAUCK, 1976).

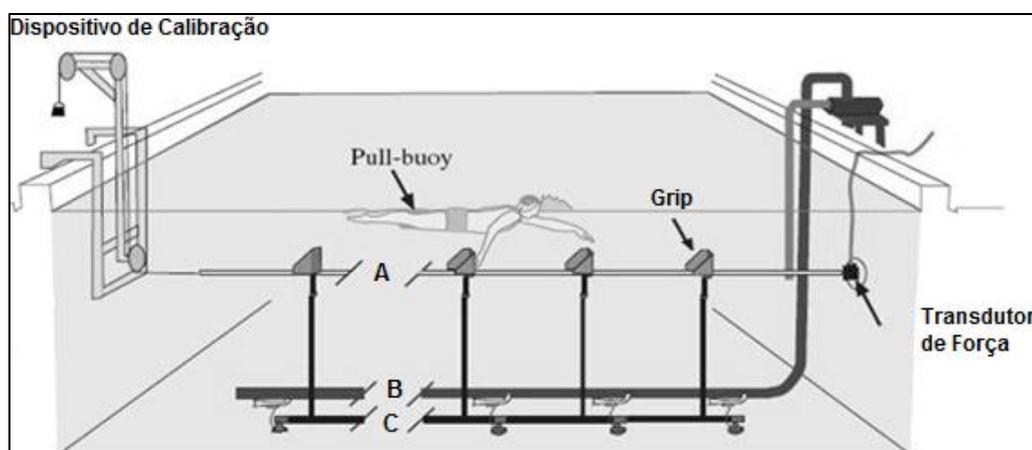
Outra técnica aplicada para gerar um movimento acelerado no nadador foi a utilização de uma força constante, transmitida ao nadador por um sistema de polias. Desta forma o nadador iria acelerar continuamente até atingir uma velocidade estável onde a força aplicada seria equivalente à força de arrasto. Utilizando esta técnica, a quantidade de massa de água adicional foi estimada entre 30 e 70kg, valores superiores aos avaliados anteriormente (KLAUCK, 1998).

Para avaliar a influência do tamanho e formato do corpo na quantidade de massa de água adicional, jovens, mulheres e homens foram submetidos a um teste de oscilação vertical na água, onde as massas e a constante da mola envolvidas no processo eram conhecidas permitindo estimar a massa adicional. Comparando homens e jovens a quantidade absoluta de água adicional foi maior nos homens,

porém não houve diferença na massa relativa de água adicional, sugerindo a influência do tamanho nestes resultados. Comparando homens e mulheres observou-se uma maior massa de água absoluta e relativa para os homens, demonstrando que o formato do corpo também pode influenciar os resultados. Uma forte correlação ( $r^2 \sim 0.82$ ) entre a massa do indivíduo e a massa adicional de água, sugerindo que este é o fator determinante para a quantidade de massa de água adicional durante o deslocamento. Assim foi estimado que um nadador submetido a acelerações na água carrega consigo uma massa de água de aproximadamente 25% do peso de seu corpo (CASPERSEN et al., 2010).

Os principais métodos diretos para medir o arrasto ativo são o MAD system (*measurement of active drag*), sistema para medida do arrasto ativo (HOLLANDER et al., 1986) e o VPM (*velocity perturbation method*) método da perturbação da velocidade (KOLMOGOROV; DUPLISHCHEVA, 1992).

O pressuposto fundamental para o MAD system é de que a força propulsiva média gerada por um nadador em velocidade constante é igual ao arrasto médio experimentado por este nadador, já que assim o balanço das forças é nulo mantendo a velocidade constante. A partir disso, foi construído um equipamento que permitia medir a força propulsiva enquanto o nadador nadava a uma velocidade constante (Figura 24).



Fonte: Adaptado de Hollander et al. (1986)

**Figura 24 - MAD system**

O equipamento consiste em 15 *grips* fixos em tubo submerso. A profundidade do tubo e a distância entre os *grips* são ajustadas para cada atleta de forma que a

mão do nadador toque cada *grip* com uma inclinação de aproximadamente 45° com relação a horizontal. Durante o teste o nadador deve puxar e empurrar os *grips* com a mão esquerda e direita alternadamente enquanto nada. Um transdutor de força de *strain gauge*, mede a força na direção do nado.

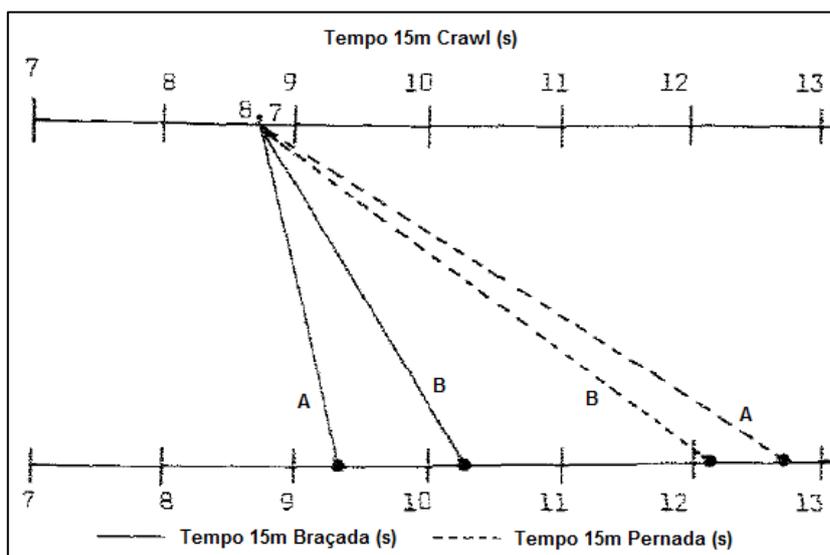
Para realização do teste o nadador deve realizar 10 tentativas em velocidades diferentes. Durante todas as tentativas o nadador deve usar uma pull-buoy entre as pernas para evitar a ação de pernadas e ajudar a manter a posição horizontal do corpo. As tentativas devem ser realizadas em velocidade constante e a força média dos apoios intermediários de cada uma delas é registrada. Uma análise de regressão é então realizada para o modelo  $D=kV^n$  (HOLLANDER et al., 1986). Foi observado que nadadores podem apresentar um expoente para a velocidade significativamente diferente de 2, sendo mais comum um expoente maior do que 2, dos 12 atletas analisados o expoente foi maior que 2 para 10 deles. Este fato pode estar relacionado à importância do arrasto de onda no arrasto total (TOUSSAINT et al., 1988).

Utilizando o MAD - system o arrasto de onda para nadadores em máxima velocidade (~1,9 m/s) foi estimado como sendo aproximadamente 12% do arrasto total. Para realizar esta estimativa os nadadores foram avaliados em velocidades progressivas e foi utilizado um modelo de regressão  $kV^2$  para identificar até qual velocidade de nado este modelo era efetivo, já que teoricamente este modelo é relacionado ao arrasto de pressão. Utilizando este modelo para calcular o arrasto em todas as velocidade a diferença entre os valores medidos e estimados foi considerada como sendo o arrasto de onda (TOUSSAINT, 2002).

Como apenas a força propulsiva de membros superiores é registrada no MAD system, este método foi utilizado para determinar a potência adicional fornecida pela ação de membros inferiores. Para isto inicialmente foi determinada a função que caracterizava o arrasto de cada voluntário em função da velocidade e calculada a potência máximo utilizando apenas os braços. Posteriormente eles nadaram em máxima velocidade utilizando o MAD mas com ação de pernas. A velocidade foi registrada, o arrasto foi estimado pela função obtida previamente e a diferença na potência entre as situações (~11%) foi atribuída à ação de pernas. No entanto como o MAD system melhora a eficiência da ação de braços devido aos *grips* utilizados, acredita-se que esta contribuição possa ser ainda maior (HOLLANDER et al., 1988).

Até então a contribuição relativa de membros inferiores havia sido avaliada por intermédio da técnica de rebocamento ou da avaliação da velocidade de nado com ação de braços e pernas em separado. Na técnica de rebocamento, na qual os nadadores eram rebocados em velocidades constante realizando ação máxima de pernas, os testes foram realizados em velocidade progressivas e foi observado que a partir da velocidade de 1.5 m/s o cabo se mantinha estendido durante o teste, o que indicaria que a partir desta velocidade os membros inferiores não mais poderiam contribuir para a velocidade de nado. Valores menores de até 1.2 m/s foram observados para nadadores menos habilidosos (COUNSILMAN, 1971b).

Para avaliação baseada na velocidade os nadadores eram instruídos a realizar tiros máximos em nado completo, utilizando apenas ação de braços e utilizando apenas ações de pernas. Nesta última abordagem foi verificado que nadadores iniciante e profissionais apresentam em média a mesma proporção de contribuição relativa entre braços (~90% da velocidade desenvolvida em nado completo) e pernas (~60% da velocidade desenvolvida em nado completo). No entanto comparando dois nadadores de elite da amostra que apresentaram desempenho semelhante no nado completo (A e B) foi observada uma grande diferença entre a utilização das ações de braços e pernas (Figura 25), e estas diferenças estava de acordo com a própria percepção, apresentada anteriormente à realização dos testes, sobre a contribuição de membros inferiores em seu desempenho (BUCHER, 1974).



Fonte: Adaptado de Bucher (1974)

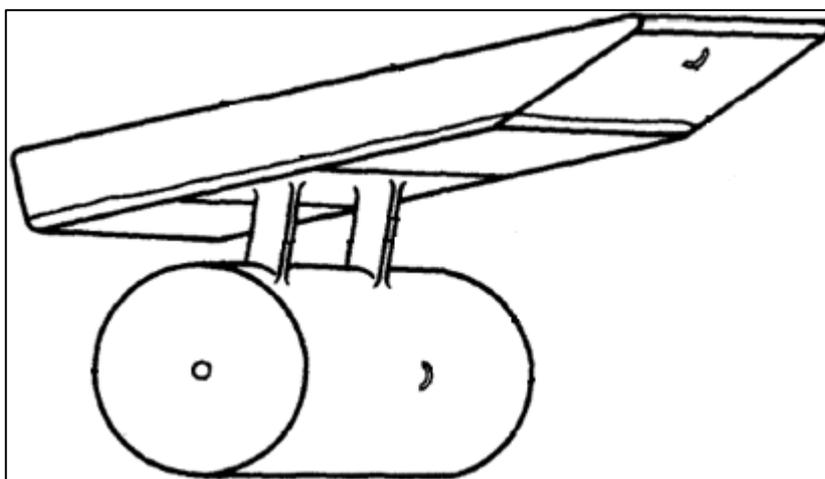
**Figura 25 - Contribuição relativa de pernas e braços para dois nadadores de elite**

Este método apresenta a óbvia limitação de que a soma das contribuições relativas extrapola os 100%, isso é esperado pela variação das condições de escoamento e pela relação não linear entre arrasto e velocidade. Karpovich (1935), foi o primeira a identificar esta distorção e sugeriu que a proporção entre as velocidades deveria seguir aquela de um triangulo retângulo (Equação 10), esta proporção foi estabelecida baseando-se na relação quadrática entre arrasto e velocidade.

$$V_{\text{completo}}^2 = V_{\text{perna}}^2 + V_{\text{braço}}^2 \quad \text{Eq. (10)}$$

Considerando que a velocidade obtida nos testes se relacionada a força aplicada como  $F=0,65V^{2,05}$ , a contribuição relativa das pernas foi estimada entre 23 e 30% da força total produzida, sendo que a contribuição de pernas era maior em indivíduos de melhor desempenho (KARPOVICH, 1935).

Outro método utilizado para avaliar o arrasto ativo é o VPM, que utiliza a adição de um corpo hidrodinâmico de arrasto conhecido (Figura 26) para avaliação deste parâmetro. Neste método o nadador deve executar dois tiros máximos, sendo um rebocando o corpo hidrodinâmico e um em nado livre (KOLMOGOROV; DUPLISHCHEVA, 1992).



Fonte: Adaptado de Kolmogorov e Duplishcheva (1992)

**Figura 26 - Corpo Hidrodinâmico utilizado no VPM**

A velocidade média é mensurada em ambos os testes e são assumidos dois pressupostos teóricos para possibilitar a estimativa do arrasto ativo: i) o nadador produz a mesma potência durante os dois testes e; ii) a relação entre velocidade e arrasto é quadrática. A potência em cada uma das condições é calculada de acordo com as equações 11 e 12:

$$P_1 = D_1 v_1 \quad \text{Eq. (11)}$$

$$P_2 = D_2 v_2 \quad \text{Eq. (12)}$$

Onde P é a potência, D é a força de arrasto e v é a velocidade média. O índice "1" se refere às condições de nado livre e o índice "2" às condições de nado rebocando o corpo hidrodinâmico. Considerando o pressuposto da relação quadrática entre arrasto e velocidade, o arrasto em cada situação é dado pelas equações 13 e 14:

$$D_1 = \frac{1}{2} C_d S_x \rho v_1^2 \quad \text{Eq. (13)}$$

$$D_2 = \frac{1}{2} C_d S_x \rho v_2^2 + F_b \quad \text{Eq. (14)}$$

Onde  $F_b$  é a força de arrasto do corpo hidrodinâmico. Aplicando o pressuposto de que a potência gerada em ambas as situações é a mesma é possível determinar a seguinte igualdade (Equação 15):

$$\frac{1}{2} C_d S_x \rho v_1^3 = \frac{1}{2} C_d S_x \rho v_2^3 + F_b v_2^2 \quad \text{Eq. (15)}$$

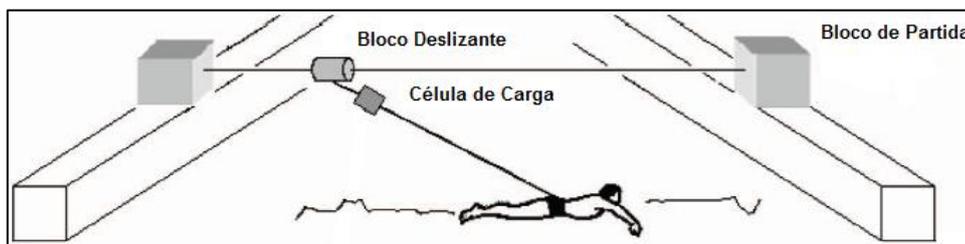
E o coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) pode ser estimado de acordo com a equação 16:

$$C_d = \frac{F_b v_2}{\frac{1}{2} S_x \rho (v_1^3 - v_2^3)} \quad \text{Eq. (16)}$$

Assim o arrasto ativo na situação de nado livre pode ser estimado de acordo com a equação 17 (KOLMOGOROV; DUPLISHCHEVA, 1992):

$$D = \frac{F_b v_2 v_1^2}{v_1^3 - v_2^3} \quad \text{Eq. (17)}$$

Posteriormente uma variante do método utilizando os mesmos pressupostos teóricos e equações foi proposto. Nesta variante o corpo hidrodinâmico era substituído por um bloco deslizando em um cabo suspenso sobre a piscina (Figura 27). A possível vantagem deste método é que a resistência oferecida ao deslocamento do bloco poderia ser ajustada por um sistema de parafusos, além disso, a resistência era medida diretamente por uma célula de carga, reduzindo as incertezas associadas à determinação do arrasto do corpo hidrodinâmico (XIN-FENG et al., 2007).



Fonte: Adaptado de Xin-Feng et al. (2007)

**Figura 27 - Adaptação do VPM utilizando uma célula de carga**

A vantagem do VPM sobre o MAD system reside na especificidade, o VPM pode avaliar os quatro estilos da natação, permitindo a utilização dos membros inferiores durante os testes. Além disso, no MAD system o nadador efetua a propulsão sobre um objeto sólido, o que melhora a eficiência propulsiva. Para comparar os dois métodos um grupo de nadadores realizou ambos os testes, sendo que no VPM também foi utilizado apenas a ação de braços. Foram encontradas diferenças entre os valores de arrasto ativo avaliados pelos diferentes métodos, sendo que estas diferenças foram relacionadas à violação dos pressupostos teóricos estabelecidos pelo VPM, principalmente com relação a igualdade da potência (TOUSSAINT; ROOS; KOLMOGOROV, 2004)

### 2.3.1 Avaliação da técnica na natação

Os indicadores da técnica de nado mais simples de serem avaliados são a frequência e comprimento de braçada. Seus valores podem ser obtidos com a contagem de ciclos realizados em uma determinada distância e o tempo gasto para percorrê-la. Diversas relações técnicas e de desempenho já foram avaliadas para estes parâmetros.

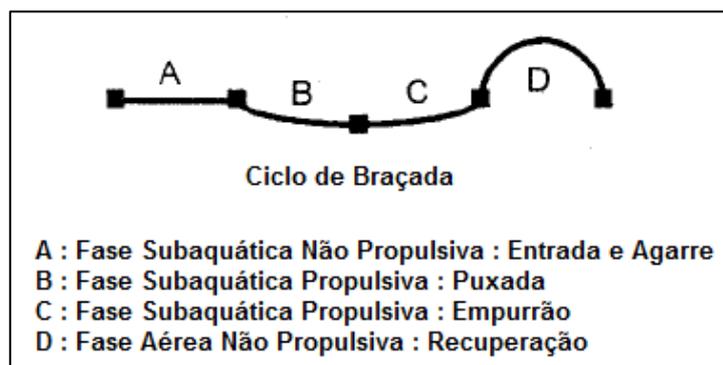
Foi demonstrada que no início da aprendizagem do nado, o aumento da velocidade máxima ao longo do tempo é associado ao aumento tanto do comprimento quanto da frequência de braçada, posteriormente a frequência de braçada se mantém estável e o aumento da velocidade passa a ocorrer com o aumento do comprimento de braçada, isto sugere que os padrões temporais do nado são adquiridos nos estágios iniciais de aprendizagem (MIYASHITA, 1975).

Já para o controle da velocidade em nadadores competitivos, o aumento da velocidade é um resultado da redução do comprimento e aumento da frequência de braçada até um ponto ótimo, a partir deste ponto o aumento da frequência resultaria na redução da velocidade, ainda que pareça não haver um modelo ideal da relação entre os parâmetros (CRAIG; PENDERGAST, 1979).

Partindo do pressuposto que para uma determinada velocidade, quanto maior o comprimento de braçada (e conseqüentemente menor a frequência de braçadas) maior a eficiência, foi criado o "*stroke index*", uma parâmetro calculado como o produto da velocidade pelo comprimento de braçada. Durante uma prova de 400 jardas, o índice de braçada juntamente com a massa magra se mostraram os melhores preditores do consumo máximo de oxigênio em nadadores competitivos (COSTILL et al., 1985).

O índice de coordenação é um padrão de coordenação temporal entre as fases da braçada do nado crawl, para isto a braçada é dividida em 4 fases: o Agarre (A), a Puxada (B), o Empurrão (C) e a Recuperação (D), apresentadas na Figura 28. O Agarre tem início quando a mão do nadador entra na água e termina no primeiro movimento para trás da mão; que caracteriza o início da Puxada, que termina quando a mão cruza a linha do ombro; o Empurrão tem seu início no final da puxada e termina quando a mão do nadador sai da água; e a Recuperação compreende toda a fase aérea da braçada. Por intermédio de filmagem a duração de cada uma

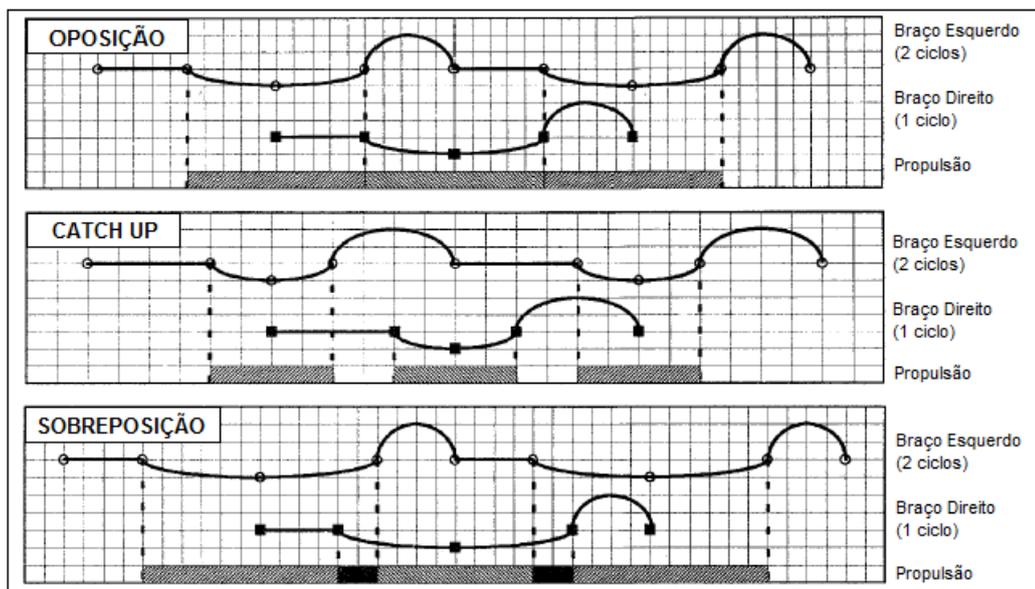
destas fases é contabilizada e normalizada pela duração do ciclo de braçada (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000).



Fonte: Adaptado de Chollet, Chalies e Chatard (2000)

**Figura 28 - Fases da braçada do nado crawl**

Existem 3 modos de coordenação possíveis entre os membros superiores: Catch-up, Oposição e Sobreposição (Figura 29). Estes modos de coordenação são determinados baseados no lapso temporal entre as fases propulsivas dos braços. Quanto existe um intervalo de tempo em que o nadador não produz propulsão com membros superiores o modo de coordenação é chamado de Catch-up, a duração deste período normalizada pela duração total do ciclo é o índice de coordenação deste modo, sendo indicado pelo sinal negativo; o modo de Sobreposição é caracterizado pela sobreposição das ações propulsivas dos membros superiores, assim antes do término da fase de Empurrão de um dos braços, o braço contra lateral já iniciou sua fase de Puxada, a duração deste período normalizada pela duração total do ciclo é o índice de coordenação deste modo, sendo indicado pelo sinal positivo. No modo de Oposição o nadador produz propulsão com membros superiores durante todo o ciclo de braçada, porém sem que haja sobreposição das ações propulsivas, assim o nadador inicia a fase de Puxada de um braço no mesmo momento que termina o Empurrão do outro. Desta forma o índice de coordenação deste modo é igual a zero (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000)



Fonte: Adaptado de Chollet, Chalies e Chatard (2000)

**Figura 29 - Modos de coordenação do nado crawl**

Esta estrutura de coordenação se comporta de diferentes maneiras entre diferentes nadadores, podendo diferenciá-los em função dos níveis, do tipo de prova (fundistas e velocistas), do sexo, entre outros (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000; SEIFERT; BOULESTEIX; CHOLLET, 2002, 2004).

Ao se comparar nadadores de diferentes níveis em ritmos de prova diferentes (50m, 100m e 800m) verificou-se que o índice de coordenação aumenta com o aumento da velocidade e do nível de performance dos atletas. Os atletas apresentaram um modo de coordenação em catch up para as velocidades mais lentas e aumentaram o valor do índice de coordenação com o aumento da velocidade utilizando o modo de sobreposição para as velocidades mais rápidas, essa alteração aconteceu de forma mais acentuada para os nadadores de melhor nível. As alterações observadas aconteceram em função de uma redução da duração da fase A (agarre) e aumento das fases B+C (propulsivas) (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000).

O aumento da duração relativa da fase de agarre para os ritmos mais lentos pode estar relacionada a uma tentativa de melhora da eficiência através da adoção de uma postura mais hidrodinâmica do corpo (um braço estendido à frente) durante um maior período do ciclo de braçada, de modo oposto em ritmos de nado próximos do máximo a força de arrasto pode se tornar tão grande que necessitaria da ação

propulsiva somada dos dois braços obtida pelo modo de sobreposição (SEIFERT; BOULESTEIX; CHOLLET, 2004; SEIFERT; CHOLLET; BARDY, 2004).

Alguns estudos que mediram o índice de coordenação avaliaram o número de pernadas por ciclo nas diferentes condições. O padrão de 6 pernadas por ciclo é o mais utilizado para todos os ritmos de prova, e foi observado uma mudança dos padrões de 2 e 4 pernadas para o de 6 pernadas a medida que o ritmo de prova era aumentado. Porém houve ocorrências dos ritmos de 4 pernadas por ciclo para todos os ritmos analisados e a coordenação de 2 pernadas por ciclo só não foi utilizada para o ritmo de 50m. este comportamento sugere que a adoção dos padrões de 2 ou 4 pernadas por ciclos são adotados como estratégia de economia durante a prova, já que a maior parte dos nadadores ao serem requisitados a nadarem o mais rápido possível utiliza o padrão de 6 pernadas por ciclo (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000; HUE; BENAVENTE; CHOLLET, 2003; MILLET et al., 2002)

### 3 MÉTODOS

#### 3.1 CUIDADOS ÉTICOS

Todos os procedimentos da pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade (Processo 26478013.0.0000.5391).

Todos os voluntários foram previamente informados sobre os objetivos, riscos e benefícios envolvidos no projeto, também foram informados acerca dos procedimentos experimentais aos quais eles seriam submetidos. Os voluntários que aceitaram participar do estudo assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. Para os voluntários menores de 18 anos, os pais ou responsáveis assinaram o referido documento.

#### 3.2 AMOSTRA

A idade mínima para participação no estudo foi de 12 anos e para participar o voluntário precisava se declarar apto a completar a distancia de 25 metros no estilo crawl. Todos os voluntários que se apresentaram participaram da coleta de dados. O voluntário seria excluído da amostra caso desistisse ou não conseguisse completar os testes. Não houve nenhuma exclusão na amostra.

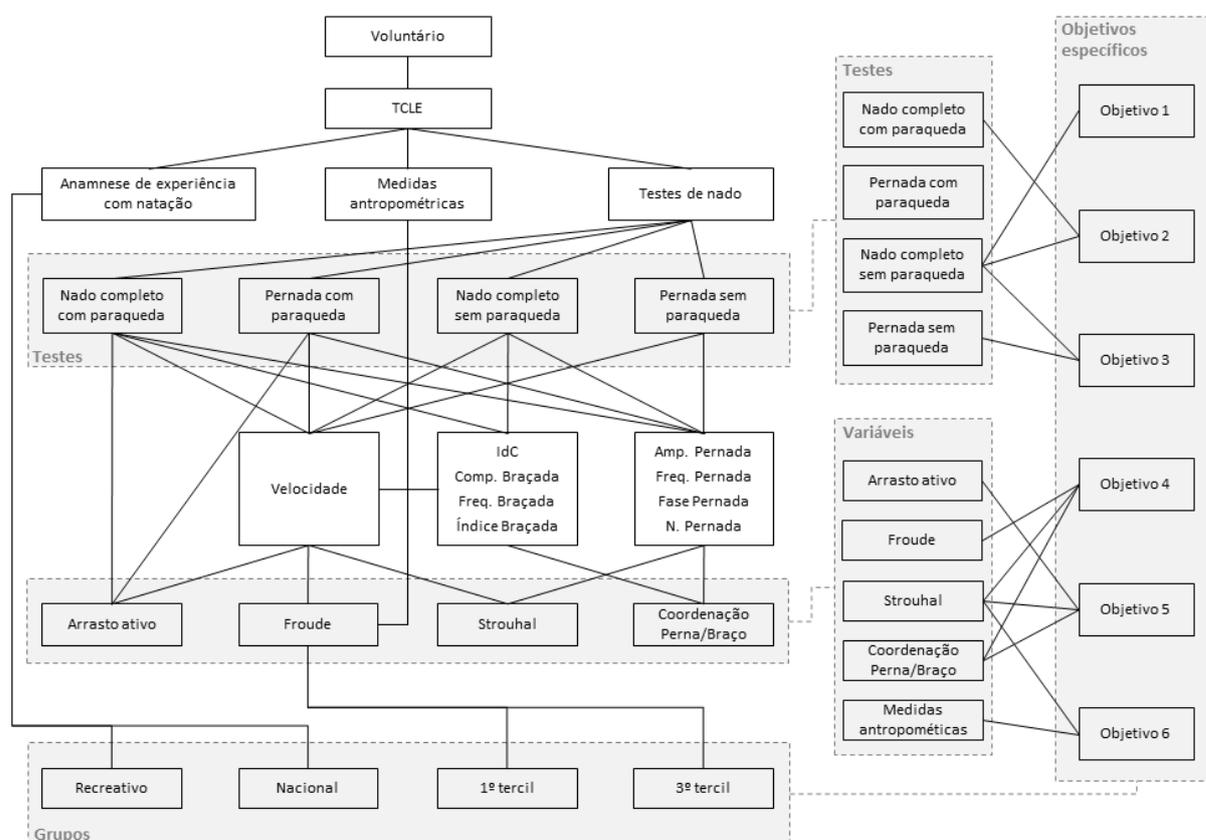
A amostra foi composta por 144 nadadores (Idade:  $22,6 \pm 9.2$  anos; Altura:  $1.68 \pm 0.09$  m; Massa corporal:  $66.36 \pm 13.03$  Kg), sendo 63 mulheres e 81 homens. Destes 63 praticavam natação de forma não competitiva e 81 treinavam ou treinaram natação com finalidade competitiva (Desempenho:  $78.7 \pm 5.84\%$  do recorde mundial dos 50m nado livre).

Entre os praticantes de natação competitiva 53 deles disputaram o campeonato brasileiro nos últimos 12 meses (FINA Points:  $587 \pm 97$ ; na principal prova), sendo que 22 participaram das finais e 6 terminaram a competição entre os três primeiros colocados.

Com relação às categorias, 16 participantes pertenciam à categoria infantil (12 e 13 anos), 23 à categoria juvenil (14 e 15 anos), 24 à categoria júnior (16 a 18 anos) e 81 tinham mais de 19 anos (máximo de 53 anos).

### 3.3 PROCEDIMENTOS

Inicialmente os participantes deveriam assinar o termo de consentimento livre e esclarecido, logo após era realizada uma anamnese a respeito de sua experiência pregressa em natação e a avaliação antropométrica. Na sequência os participantes realizavam o aquecimento e a familiarização com os equipamentos. A coleta de dados consistiu em 8 tiros máximos de 15 metros nadando crawl com pelo menos 2'30" de intervalo entre eles em 4 diferentes condições: nado completo; completo com paraquedas; apenas pernada e; pernada com paraquedas. Todos os tiros foram filmados com uma câmera subaquática para análise dos parâmetros de interesse. Após a análise dos vídeos eram calculadas a velocidade média do nadador; o arrasto ativo; a amplitude e frequência de braçada e pernada; o índice de coordenação, a duração de cada fase da braçada e a coordenação com a pernada e; os números de Froude e Strouhal (Figura 30).



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 30 - Organograma do desenho experimental**

### 3.3.1 Local

Os testes foram realizados na piscina da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo e nas piscinas dos clubes que participaram da pesquisa. A água sempre foi mantida entre 25 e 28°C e a profundidade foi superior à 1,00 m em todos os casos, estas determinações estão de acordo com regulamentação da FINA (2016b). Os testes eram realizados na segunda raia da piscina e os voluntários eram orientados a nadar sobre a marcação da raia no fundo da piscina. A corda da raia 1 era removida para os testes com o objetivo de melhorar a visualização dos movimentos dos nadadores, a corda da raia 2 era mantida na piscina.

### 3.3.2 Anamnese

Após assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido os participantes respondiam a perguntas sobre o seu nível de experiência de natação e o período de prática, quando aplicável os participantes também respondiam com relação ao seu melhor tempo de 50m nado livre, seu melhor tempo da principal prova e sua melhor colocação em campeonato nacional. As informações referentes à participação em campeonatos foram posteriormente checadas nos resultados oficiais das competições divulgados pela confederação brasileira de desportos aquáticos (CBDA), e nenhuma divergência foi constatada.

### 3.3.3 Antropometria

Após a anamnese eram realizadas as medições antropométricas, que consistiam em estatura (Est), o comprimento (Comp), massa corporal (MC), área de secção transversa (CSA), área de superfície corporal, comprimento de membros superiores (MMSS), envergadura (Env), comprimento de membros inferiores (MMII) e comprimento dos pés.

O comprimento do nadadores consistia na medida do voluntário estando este com os braços estendidos acima da cabeça com uma mão sobre a outra, e na ponta dos pés, posição conhecida como *streamline*. Os participantes eram autorizados a encostar o corpo na parede para garantir o equilíbrio e o maior alcance possível. A área de secção transversa e área de superfície corporal foram estimadas de acordo com as equações 18 e 19 (CLARYS, 1979):

$$\text{Superfície} = 0.0112MC + 0.0051Est - 0.0718 \quad \text{Eq. (18)}$$

$$CSA = 6.9256MC + 3.5043Est - 377.156 \quad \text{Eq. (19)}$$

O comprimento de membros inferiores foi medido da espinha íliaca ântero-superior até o maléolo lateral. O comprimento de membros superiores do acrômio até a ponta do maior dos dedos das mãos estando os dedos e o cotovelo estendidos. O comprimento dos pés foi avaliado do maléolo lateral até a ponta do maior dos dedos dos pés. Todos os dados antropométricos foram utilizados em valores absolutos e em valores normalizados pela estatura.

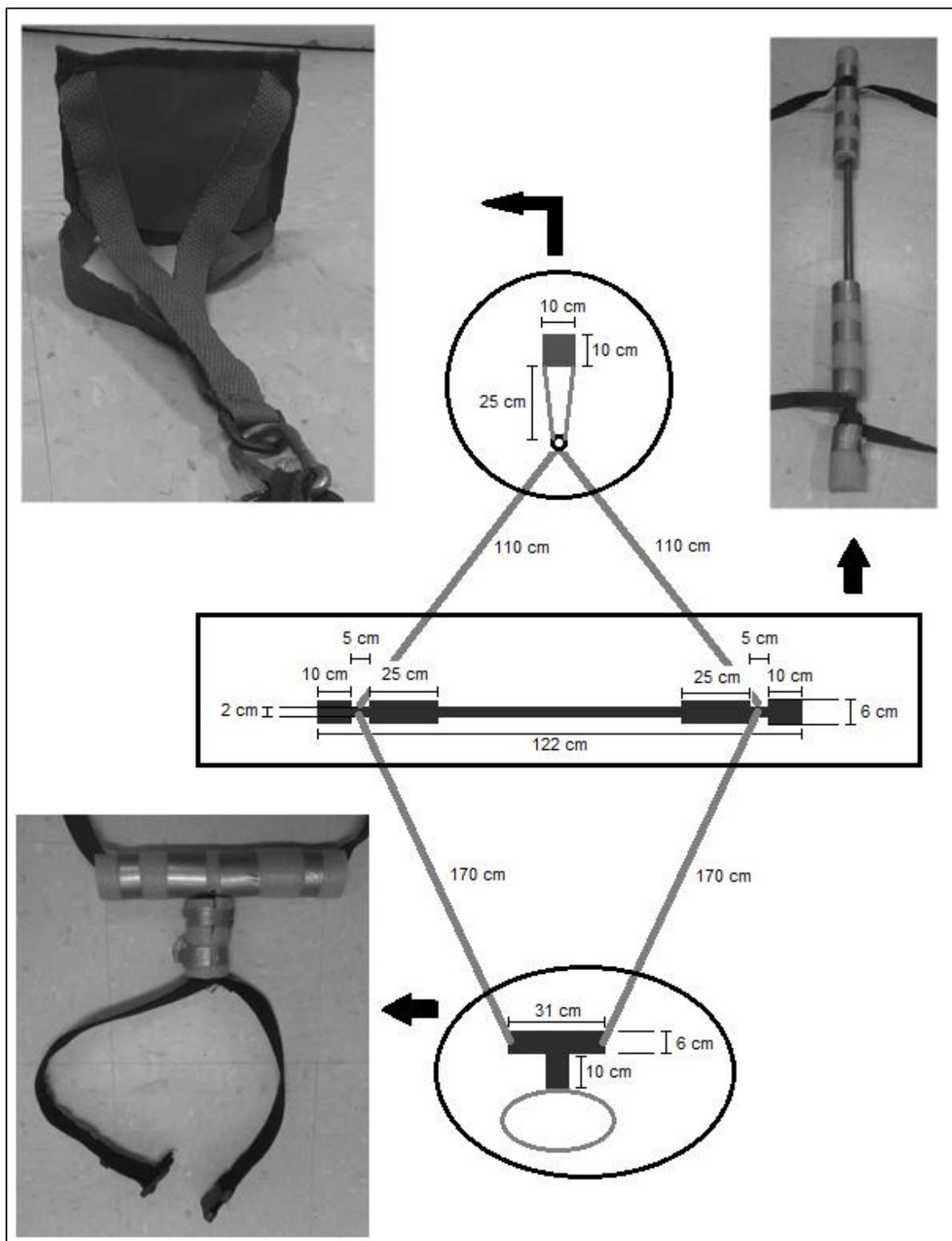
Após as medições uma marca reflexiva na lateral do pé era fixada nos sujeitos no hemisfério a ser analisado.

#### 3.3.4 Aquecimento e Familiarização

Antes da realização dos oito tiros, foi solicitado aos participantes que realizasse um aquecimento livre, de forma que eles se sentissem aptos a realizar os esforços máximos que os testes requeriam. Não foi adotado um tempo padrão de aquecimento devido às grandes variações de condicionamento físico esperadas na amostra. O tempo utilizado pelos participantes variou entre 10 e 25 minutos, sendo que os praticantes de natação competitiva foram aqueles que executaram um aquecimento de maior duração.

Após o aquecimento os indivíduos realizavam uma familiarização com paraquedas. Os voluntários deveriam nadar pelo menos um trajeto de 15 m com o paraquedas, porém o voluntário poderia realizar quantas tentativas de familiarização quisesse. Foram utilizadas entre uma e quatro tentativas pelos voluntários do estudo, sendo que 70,1% dos voluntários relataram já ter experiência prévia com a utilização de paraquedas.

O dispositivo do paraquedas foi construído especificamente para os testes e está representado na figura 31. Um paraquedas comercial, quadrado de 10 x 10cm foi utilizado, cada vértice do paraquedas era unido a um mosquetão por uma tira têxtil inelástica de 25 cm. O mosquetão era ligado a uma barra flutuante por duas tiras têxtil inelásticas com 110cm. A barra flutuante possuía 122cm de comprimento e 2 cm de diâmetro, a fixação das tiras de conexão ao paraquedas e ao nadador eram localizadas a 15 cm de cada extremidade da barra. Flutuadores de 10 cm de comprimento e 6 cm de diâmetro foram fixados em cada extremidade da barra e mais dois flutuadores de mesmo diâmetro e 25 cm de comprimento foram utilizados na parte central da barra, imediatamente após à zona de conexão. As faixas que conectavam a barra flutuante até o nadador tinha 170 cm de comprimento e eram ligadas à extremidade de outra barras de madeira de 31 cm de comprimento, completamente envolta por flutuadores de 6 cm de diâmetros, esta barra era ligada ao cinto utilizado pelo nadador por conector de aço com 10 cm de comprimento, também completamente envolto pelo flutuador de 6 cm de diâmetro. O cinto utilizado pelos nadadores era acolchoado e possuía diâmetro regulável entre 40 e 105 cm.



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 31 - Representação esquemática do paraquedas utilizado**

### 3.3.5 Coleta de dados

Aproximadamente três minutos após a realização da familiarização, tinha início a coleta de dados. Oito tiros de 15 metros em nado crawl eram realizados em máximo esforço com no mínimo 2'30" de intervalo entre eles. Foram realizadas duas repetições de cada uma das quatro condições de teste: i) nadando crawl completo; ii) nadando crawl completo utilizando o paraquedas; iii) utilizando apenas a pernada de crawl e; iv) apenas pernada de crawl utilizando o paraquedas. Nos testes onde os voluntários utilizaram apenas a pernada de crawl, eles deveriam manter os braços estendidos em prolongamento à cabeça.

Os voluntários foram instruídos a iniciar o teste com um impulso na parede, porém eles já deveriam iniciar o teste na superfície da água e realizando o gesto específico daquele teste, desta forma não foi permitida nenhuma fase submersa ou a utilização de ondulação na saída. Os voluntários também foram instruídos a não respirar durante o teste, e caso fosse necessário respirar, para que bloqueassem a respiração o máximo possível.

Os dois tiros de cada condição sempre eram realizados seguidos, mas a ordem de execução das condições foi realizada de maneira aleatória. Existem 24 possibilidades de ordem de execução das condições, antes de cada coleta uma destas ordens era atribuída a cada voluntário por sorteio. Após uma sequência ser sorteada para um voluntário ela só poderia ser novamente sorteada após todas as demais sequências terem sido realizadas. Desta forma cada sequência possível de execução das 4 condições foi realizada por 6 voluntários, totalizando os 144 voluntários do estudo.

### 3.3.6 Análise cinemática

Para avaliação cinemática do nado foi utilizada uma câmera GoPro Hero4 Black (sensor de 1/2,3" - 6,17 x 4,55 mm). A configuração de filmagem adotada foi 1080p wide (1920 x 1080, 16:9), com 119.88 fps. A opção de ajuste automático da luminosidade foi desabilitada. A câmera foi fixada a um tubo de PVC oco (110 mm de diâmetro) para permitir conexão wireless entre a câmera e um aparelho celular, desta forma os comandos para a câmera eram enviados pelo aparelho utilizando o aplicativo da própria câmera. Esta conexão também permitia a visualização on-line dos dados da câmera. Um operador iniciava a gravação por intermédio do celular 3

segundos antes do sinal de partida para os voluntários e terminava a gravação após o voluntário tocar a marca dos 15 metros. Neste mesmo tubo, paralelamente à câmera, foi fixada uma lanterna subaquática AL1000WP (Bigblue) com fluxo luminoso de 1000 lumens e ângulo do feixe de luz de 85°. A câmera e a lanterna foram posicionados a uma profundidade de 35 cm, a uma distância de 9,5 m da borda da piscina. Os testes foram realizados na segunda raia da piscina a uma distância de 3,5 metros da câmera, este posicionamento permitia um campo de visão de 6 m, do 7º ao 13º m da piscina.

Os vídeos foram armazenados na memória interna da câmera em formato "mp4" (H.264), por esta ser a opção padrão e não configurável da câmera. Posteriormente, os arquivos eram transferidos para um computador e convertidos em formato "avi" (raw rgb - uncompressed motion JPEG), sem trilha de áudio e com 29.97 fps no software *open source* Blender 2.76b. As alterações nos formatos foram necessárias para garantir a compatibilidade dos vídeos com os softwares de visualização e análise. Nesta etapa os vídeos também foram cortados pelo pesquisador para as regiões onde os pontos de interesse da análise eram visíveis: o início de cada vídeo foi determinado como sendo antes do início da primeira braçada esquerda visível, para as condições de nado completo, e no momento em que o pé esquerdo entrava no campo de visão para as condições de apenas pernada; o final dos vídeos foi determinado como sendo o último frame onde o ponto utilizado para o cálculo da velocidade era visível.

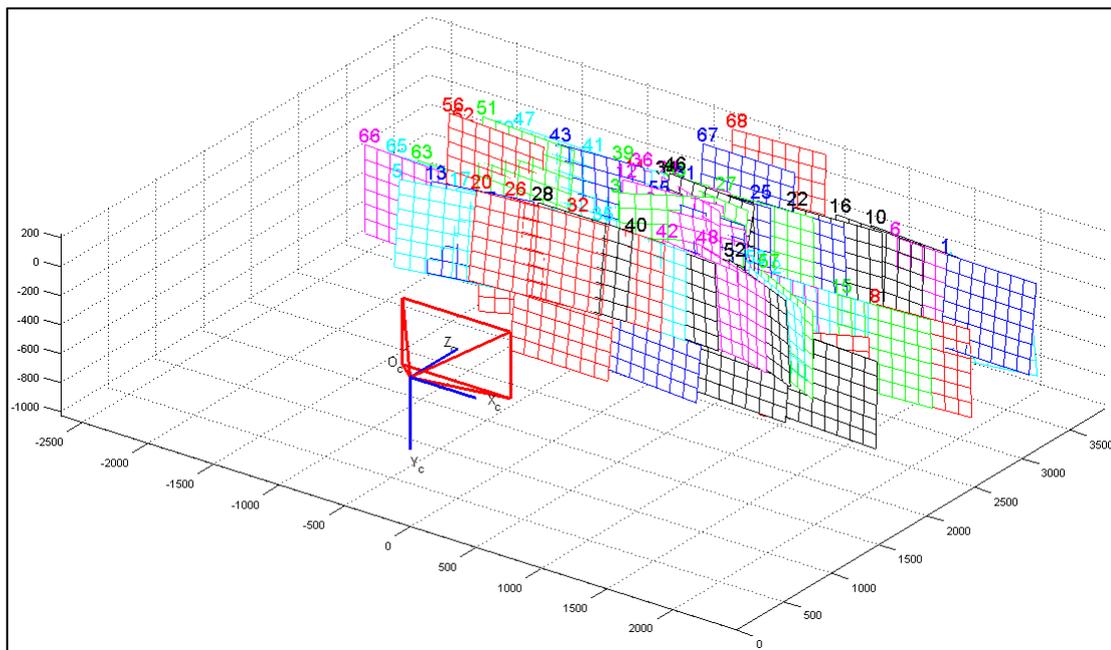
A redução da taxa de reprodução dos vídeos de 119.88 fps para 29.97 fps fez com que a velocidade de reprodução do vídeo fosse quatro vezes mais lenta. Esta redução produziu um erro de 0,000599 fps, o que produziria um frame de atraso a cada 27'50", tempo muito superior ao das filmagens realizadas. No entanto, este frame de atraso é o resultado do acúmulo de distorções até os 27'50" de forma que em regiões específicas dos vídeos, exista um atraso temporário de um frame. Esta distorção temporal não afetaria os parâmetros de frequência de perna, braço ou o IdC, no entanto poderia afetar o cálculo da velocidade média. Dentro da duração dos vídeos coletados, tal distorção aconteceria durante o trecho de 8,25 a 8,5 segundos (frames 991 até 1021), desta forma, caso o instante final para o cálculo da velocidade média estivesse dentro desta faixa um frame seria descontado da duração.

O método de calibração da câmera foi baseado no modelo de calibração de Brown (BROWN, 1971), e foi implementado na rotina de tratamento dos dados utilizando funções específicas da toolbox Camera Calibration. Posteriormente os parâmetros da câmera foram aplicados aos vídeos e uma transformada linear direta, DLT (ABDEL-AZIZ; KARARA, 2015) foi utilizada para obter as coordenadas reais com base nas coordenadas da imagem.

Um procedimento de calibração semelhante já foi empregado em análise subaquática obtendo erros RMS de 0,3%, para tanto uma alteração do método de Zhang (1999) foi aplicada para fazer de maneira direta a calibração do volume utilizando os parâmetros de distorção o que fez com que o processo fosse muito trabalhoso (SILVATTI et al., 2012). O modelo de calibração de Brown fornece a matriz da câmera e os coeficientes de distorção da lente, sendo, portanto inerente à câmera, e não ao volume de calibração, e por isso não precisa ser realizado a cada coleta de dados, sendo recomendado apenas que os parâmetros internos da câmera sejam recalculados a cada seis meses (BALLETTI et al., 2014; CLARKE; FRYER, 1998), reduzindo consideravelmente a complexidade na aplicação do método.

A aplicação de uma transformada e posteriormente a calibração por DLT também já foi aplicada para filmagem subaquática reduzindo o erro RMS de 13mm para 10mm (DE JESUS et al., 2015). Neste estudo foi empregada a matriz de homografia para calibração, sendo este o mesmo procedimento empregado como primeira etapa para solução das Equações de Brown em diversos métodos (HEIKKILÄ; SILVÉN, 1997; TU et al., 2013; ZHANG, 1999)

Para aplicação do procedimento de calibração da câmera foi utilizado um plano com padrão xadrez, com 6 linhas e 7 colunas e dimensão dos quadrados de 100 x 100 mm, este plano foi filmado pela câmera em 68 diferentes posições e orientações (Figura 32), não sendo necessário qualquer conhecimento da localização do plano em relação à câmera nas filmagens (CLARKE; FRYER, 1998).



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 32 - Posições do plano de calibração**

Foi assumido que o plano de calibração se localizava em  $Z=0$  no sistema de coordenadas global, sendo  $Z$  o eixo perpendicular ao plano de calibração, sendo assim as coordenadas 3D do modelo são relacionadas às coordenadas 2D da imagem pela matriz de homografia  $H$  (ZHANG, 1999). Estes valores eram então utilizados para o cálculo dos parâmetros intrínsecos da câmera, inicialmente foi utilizada uma transformada linear direta, DLT (ABDEL-AZIZ; KARARA, 2015), porém esta abordagem não permite obter os parâmetros de distorção, então estes valores eram utilizados como condições iniciais para uma solução não linear das equações de 20 a 24, o que permitiu calcular não só a matriz da câmera, mas também os padrões de distorção radial e tangencial. Este processo era então repetido tendo como condição inicial não mais os parâmetros da DLT, mas sim os calculados pela primeira aplicação do processo, e eram então novamente otimizados (HEIKKILÄ; SILVÉN, 1997).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & s & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \text{Eq. (20)}$$

$$dx_{radial} = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad \text{Eq. (21)}$$

$$dy_{radial} = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad \text{Eq. (22)}$$

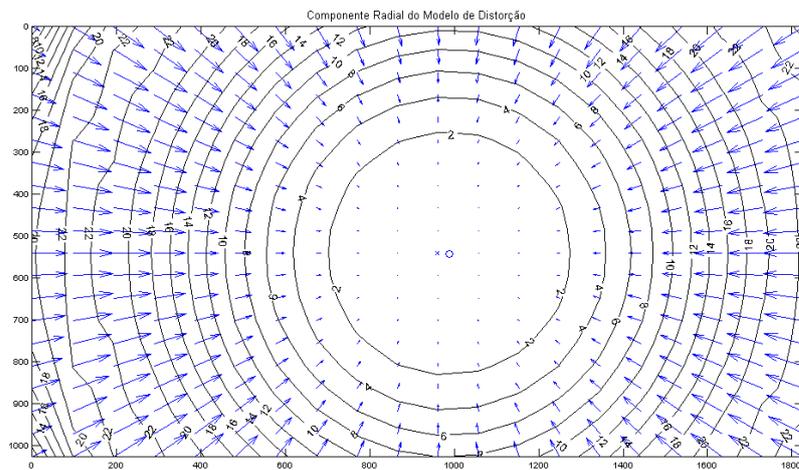
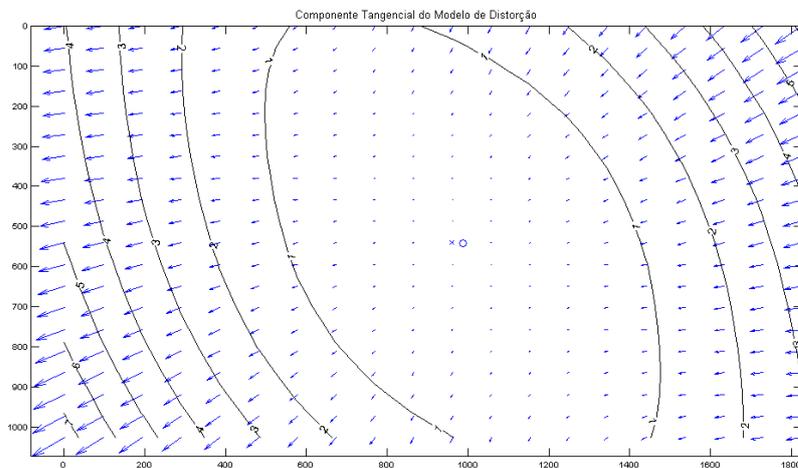
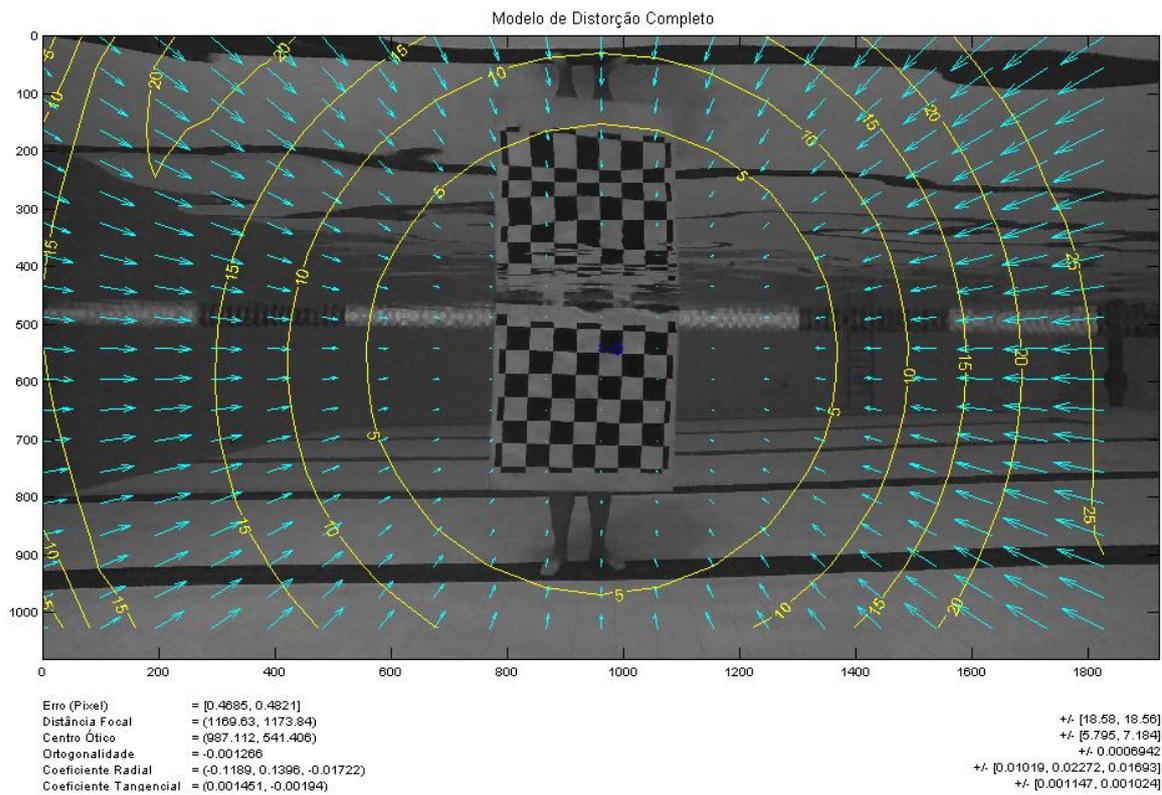
$$dx_{tan} = x + [2p_1 xy + p_2 (r^2 + 2x^2)] \quad \text{Eq. (23)}$$

$$dy_{tan} = y + [p_1 (r^2 + 2y^2) + 2p_2 xy] \quad \text{Eq. (24)}$$

Sendo:  $f_x$  e  $f_y$  a distância focal (em pixels);  $s$  o desvio de ortogonalidade entre os eixos da imagem (em pixels);  $c_x$  e  $c_y$  as coordenadas do centro ótico (em pixels);  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  os coeficientes de distorção radial (adimensionais);  $r$  a distância radial observada na imagem (em milímetros); e  $p_1$  e  $p_2$  os coeficientes de distorção tangencial (adimensionais).

As equações de Brown (1971) podem utilizar infinitos coeficientes para avaliar a distorção radial produzida pelas lentes. Embora para lentes convencionais a utilização de apenas dois coeficientes de deformação radial seja suficiente para corrigir estas distorções (HEIKKILÄ; SILVÉN, 1997; ZHANG, 1999), lentes do tipo olho de peixe como a utilizada pela GoPro possuem grande deformação radial e necessitam de mais coeficientes para estimá-las de maneira adequada (TU et al., 2013). Utilizando três coeficientes de distorção radial em uma imagem feita por uma câmera GoPro 3 foi observada uma redução de 1,1 cm para 0,2 cm no erro RMS entre a coordenada real e estimada em pontos de interesse localizados em uma área de 3,3 x 2,0 m (BALLETTI et al., 2014).

O procedimento de calibração adotado estimou os erros relacionados aos parâmetros internos da câmera em 0,46 e 0,48 pixel para os eixos  $x$  e  $y$  respectivamente. A distância focal foi estimada em  $1169,63 \pm 18,58$  e  $1175,84 \pm 18,56$  pixels; e o centro ótico localizado em  $987,112 \pm 5,795$  e  $541,406 \pm 7,189$  pixels para os eixos  $x$  e  $y$  respectivamente. O desvio de ortogonalidade foi calculado em  $-0,001266 \pm 0,0006942$ . Os coeficientes radiais obtidos foram  $-0,1189 \pm 0,01019$ ;  $0,1396 \pm 0,02272$ ; e  $-0,01722 \pm 0,01692$ . Os coeficientes tangenciais obtidos foram  $0,001451 \pm 0,001147$ ; e  $-0,00194 \pm 0,001024$ . Os efeitos estimados para as distorções radiais e tangenciais, e o modelo completo são apresentados na figura 33.



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 33 - Calibração da Câmera**

Os parâmetros da câmera obtidos por intermédio destes procedimentos foram utilizados para corrigir as distorções das imagens obtidas nos testes realizados. Para determinação das coordenadas dos pontos de interesse durante as filmagens foi realizada uma DLT (ABDEL-AZIZ; KARARA, 2015), para tanto foi utilizado um calibrador rígido com 3 metros de comprimento e 1 metro de altura com 12 marcadores de 1x1 cm. O calibrador foi vedado para evitar a infiltração de água e bases de isopor fixadas na parte superior de forma que o calibrador flutuasse. Desta forma a parte superior do calibrador estava na superfície da água sendo este considerado ponto  $y=0$  com valores positivos orientados para baixo (direção do fundo da piscina).

Os marcadores do calibrador tiveram suas coordenadas digitalizadas manualmente em um processo da rotina de tratamento dos dados. Inicialmente a rotina identificava automaticamente os marcadores e verificava se havia variação superior a um *pixel* na posição dos marcadores, o que não ocorreu para nenhuma das 45 tomadas de calibração realizadas. Posteriormente a matriz de homografia era calculada e aplicada ao frame intermediário do vídeo, este frames foi exibido no monitor de forma que cada *pixel* da imagem correspondesse a um *pixel* do monitor e então os 12 marcadores eram identificados manualmente.

Com relação à escolha da dimensão da área de calibração, Gourgoulis et al. (2008) comparou os erros de reconstrução estático e dinâmico para análise subaquática em volumes de calibração de dois tamanhos, pequeno (1,0 m x 1,0 m x 1,0 m) e grande (1,0 m x 3,0 m x 1,0 m), e verificou que os erros eram maiores para o maior volume de calibração. No entanto erros de extrapolação são esperados quando coordenadas são reconstruídas fora do volume de calibração (CHALLIS, 1995). Desta forma, considerando o espaço necessário para se avaliar um ciclo de braçada completo na natação, a escolha de um maior volume de calibração reduz a extrapolação na reconstrução das coordenadas aumentando a acuraria da medida (PSYCHARAKIS et al., 2010).

Uma rotina desenvolvida em Matlab foi utilizada para digitalização automática dos pontos. A rotina utiliza os contrastes mais claros para localizar o ponto do pé do nadador e os mais escuros para localizar a posição do cinto ou marca de referência no quadril. O ponto inicial da digitalização era o frame intermediário do vídeo, com o nadador aproximadamente no meio da imagem, neste frames os dois pontos de interesse eram digitalizados manualmente e então eram rastreados até o início e

final da análise, determinada pelo frame em que os pontos de interesse saíssem da zona de análise. Após esta análise era possível identificar os frames onde os pontos de interesse não foram localizados automaticamente e novamente inserir uma coordenada digitalizada manualmente para servir de nova condição inicial para o rastreamento automático. A rotina também identificava o ponto onde a cabeça do voluntário entrava e saía na zona de análise, por intermédio do contraste da touca, esse ponto era posteriormente confirmado manualmente e utilizado para o cálculo da velocidade média.

Este procedimento foi repetido sistematicamente até que apenas os frames onde as marcas não eram visíveis não tivessem uma coordenada associada, isso ocorria quando o braço obstruía a visão do quadril ou quando o nadador tirava o pé da água durante a pernada. Estes trechos foram preenchidos utilizando funções seno e cosseno.

Para o ponto do pé as funções seno e cosseno foram a que apresentaram menores erros no procedimento de teste adotado. Neste procedimento a rotina removia aleatoriamente entre 3 e 10 trechos de 10 a 30 frames de pontos aleatórios das coordenadas dos pés e os valores estimados a partir das funções eram comparados com os reais. Este procedimento foi realizado 100 vezes para cada vídeo de 5 voluntários de diferentes níveis durante os testes pilotos.

Os valores estimados para o deslocamento fora do pé fora d'água não foram utilizados para o cálculo da amplitude de pernada, sendo que o valor de posição mais alta do pé adotado para estes casos foi a posição no momento que o pé saía da água, o preenchimento desta janelas só foi necessário para garantir a continuidade necessária para aplicação da transformada de Hilbert, e mesmo estes resultados não foram analisados nos momentos em que o pé do nadador estivesse fora d'água.

As mesmas funções seno e cosseno eram utilizados pela rotina no momento do rastreamento automático quando a localização do ponto era perdida, a cada novo frame a busca pelos limiares de tamanho e contraste eram iniciadas a partir da coordenada estimada da localização do ponto para aquele frame.

O índice de coordenação foi avaliado de acordo com Chollet e colaboradores (2000), porém 4 avaliadores diferentes fizeram a análise, sendo que um deles analisava apenas os casos de divergência dos resultados e de maneira cega em relação aos resultados dos demais avaliadores. Em uma comparação piloto os erros

entre avaliadores foram de no máximo 1 frame para as fases A, C e D e de no máximo 4 frames para a fase B. No entanto, durante a avaliação dos dados erros maiores foram encontrados para os nadadores menos habilidosos, o que pode ser justificado por estes nadadores apresentarem padrão técnico diferente do especificado para cada fase. A tabela 1 apresenta o percentual das diferenças em número de frames encontradas entre os avaliadores.

**Tabela 1 - Erros intra-avaliadores para determinação do Índice de Coordenação**

	A	B	C	D
≤1	77.95%	28.05%	62.10%	41.18%
2 a 4	18.60%	26.84%	31.33%	42.16%
5 a 8	3.45%	40.77%	6.47%	16.18%
>8	0.00%	4.34%	0.10%	0.48%

Frequência de ocorrência da magnitude dos erros intra-avaliadores para cada fase da braçada

Desta forma para a avaliação dos dados os pontos só eram validados sem uma avaliação adicional se: i) dois avaliadores apresentassem diferenças de no máximo um frame entre si; ii) todos avaliadores apresentassem no máximo 4 frames de diferença entre si. Caso estes critérios não fosse atingidos o avaliador adicional analisava todo o vídeo e os critérios de validação eram novamente aplicados. Em todos os casos onde a reavaliação foi necessária o primeiro critério de validação foi atingido.

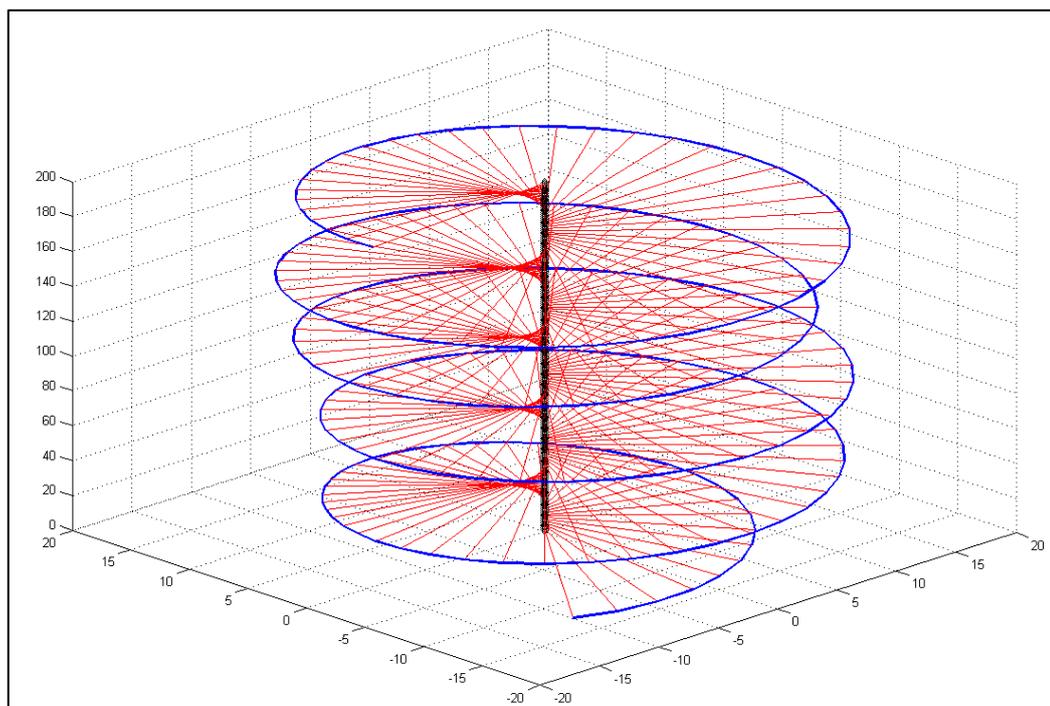
Foram determinados os pontos A, B, C e D da braçada do hemisfério corporal visível pela câmera e os pontos A, B e C do hemisfério contralateral, pois o ponto de saída da mão (D) não era visível. Normalmente a média do índice de coordenação dos dois braços em um ou dois ciclos é reportada (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000), no entanto um estudo piloto analisando mais de 20 ciclos de braçada de cada um dos membros de 5 voluntários de diferentes níveis de performance demonstrou que a variabilidade do índice de coordenação entre os braços é menor do que a variabilidade entre braçadas.

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

Um filtro passa baixa do tipo Butterworth de quarta ordem com frequência de corte de quatro vezes a frequência de pernada foi aplicado às trajetórias do pé.

A frequência e amplitude da pernada foram calculadas utilizando a trajetória do pé. A amplitude foi considerada a distância vertical do ponto mais baixo ao ponto mais alto do pé, dentro d'água, em cada ciclo de pernada. No caso do pé do nadador ter saído da água no ciclo de pernada, o ponto mais alto considerado era a última coordenada do pé ainda dentro d'água. A frequência foi determinada como o inverso do período compreendido entre o início de duas fases ascendentes da pernada consecutivas. Também foi determinado o número de pernadas por ciclo de braçada.

Para verificar as diferenças entre as pernadas dentro de um mesmo ciclo de braçada foi utilizada a transformada de Hilbert, esta transformada fornece os parâmetros de amplitude, frequência e fase instantânea de um sinal em sua resolução original. Desta forma a transformada de uma função seno, por exemplo, apresentaria a amplitude e frequência constantes ao longo do tempo e a fase seria um sinal dente de serra. A transformada representa um componente real (o próprio dado) e um componente imaginário (a transformada propriamente dita) em relação a uma terceira dimensão que é o tempo, estes valores produzem uma espiral ao redor do eixo do tempo quando representada em coordenadas cilíndricas (Figura 34), onde a amplitude instantânea é representada pelo raio, a fase instantânea representada pela coordenada angular e a frequência instantânea pela derivada da fase no tempo, que seria a coordenada de altura (BOASHASH, 1992).



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 34 - Representação da transformada de Hilbert**

A velocidade média de cada tentativa foi calculada a partir do tempo gasto para o nadador cruzar a zona de análise, sendo considerada a cabeça do nadador o ponto de referência a cruzar os limites da zona de análise. O número de Froude foi calculado de acordo com a equação 3 a partir da velocidade média utilizando a altura e o comprimento (altura em *streamline*) do participante.

A frequência e comprimento de braçada foram calculados utilizando a análise do índice de coordenação. A frequência foi determinada como o inverso do período compreendido entre duas fases "A" consecutivas do mesmo braço, e o comprimento foi determinado pela razão entre a velocidade e a frequência. O *stroke index* foi calculado como o produto do comprimento de braçada pela velocidade média do ciclo de braçada.

O número de Strouhal foi calculado de acordo com a equação 5, seguindo dois modelos. O primeiro foi calculado como tradicionalmente feito para humanos e animais, a frequência como sendo a frequência de pernada e a amplitude como sendo a amplitude de pernada. Por este método foi calculado o número de Strouhal médio da tentativa e o valor médio para cada uma das pernadas dentro de um ciclo de braçada. O outro método de cálculo do número de Strouhal levou em consideração a possível interação entre os vórtices gerados por membros inferiores e superiores,

para isso o valor de amplitude considerado foi referente à diferença entre o comprimento de membro superior e a amplitude de pernada e a frequência o inverso do período compreendido entre a fase C da braçada e o final da fase descendente da pernada após a fase C. Por este método de cálculo, o número de Strouhal foi calculado o valor médio para cada teste e foi nomeado como Strouhal do nado.

A designação de um dos modos de coordenação do índice de coordenação foi feita por intermédio do intervalo de confiança do IdC apresentado pelo nadador nas braçadas de determinada condição. Desta forma para o nadador cujo intervalo de confiança do IdC calculado a 50% de probabilidade cruzasse o zero, era atribuído o modo de coordenação de oposição. A dispersão apresentada por este nadador no sentido do catch-up ou da sobreposição era considerada, portanto um produto da variabilidade biológica inerente a todo movimento humano e não uma intenção do nadador em alterar seu modo de coordenação. Os nadadores que apresentassem toda a faixa do intervalo de confiança do IdC positiva ou negativa eram designados aos modos de coordenação de sobreposição e catch-up respectivamente.

A coordenação entre braços e pernas foi calculada através da relação entre a frequência de ambos e da determinação da fase relativa da pernada em cada um dos pontos de interesse do índice de coordenação.

A frequência relativa foi calculada como sendo a razão da frequência de pernada pela frequência de braçada, desta forma se a coordenação entre braços e pernas fosse constante entre os ciclos o resultado desta razão seria um número inteiro demonstrando que a cada novo ciclo de braçada os ciclos de pernada aconteciam proporcionalmente no mesmo tempo. Caso o resultado desta razão não fosse um número inteiro, o componente decimal demonstraria o quanto de adianto ou atraso as ações de membros inferiores acumularia por ciclo de braçada, neste modo de coordenação em algum momento um ciclo de pernada adicional ou faltante aconteceria após um determinado número de ciclos de braçada igual ao inverso do componente decimal desta razão. O modo de coordenação em função desta razão foi categorizada em: i) atrasado, quando este valor era negativo; ii) adiantado, quando este valor era positivo e iii) sincronizado, quando o valor era igual a zero. Para atribuição do modo de coordenação exato foi considerado um intervalo de confiança de  $\pm 0,075$  baseado no efeito médio de um erro de  $\pm 1$  frame na determinação da frequência. Com base neste critérios, caso a designação a um dos modos de coordenação fosse feita de maneira aleatória haveria uma probabilidade

de ocorrência de 15% do modo de coordenação sincronizado e de 42,5% para os outros modos.

A fase da perna nas fases A, B, C e D da braçada também foi determinada. A fase foi avaliada de 0 a 360 possuindo quatro modos distintos de coordenação: i) o valor 0 era atribuído ao ponto mais baixo do pé, representando uma coordenação em fase e ascendente; ii) o valor de 180 era atribuído ao ponto mais alto do pé, representando uma coordenação em fase e descendente; iii) valores de 0 a 180 correspondem ao movimento ascendente da perna, representando uma coordenação fora de fase e ascendente e; iv) valores de 180 a 360 correspondem ao movimento descendente da perna, representando uma coordenação fora de fase e descendente. Para atribuição dos valores nos modos de coordenação i e ii foi considerada a faixa de  $\pm 21.16$  em relação ao modo em fase, este valor foi estabelecido por ser o efeito médio da variação de  $\pm 2$  frame na determinação da fase. Desta forma caso a ocorrência de cada um dos modos de coordenação da fase da perna fosse aleatória haveria um probabilidade de 11.76% de se identificar cada um dos modos em fase e de 38.24% de se identificar cada um dos modos fora de fase.

O arrasto ativo foi calculado pelo VPM (KOLMOGOROV; DUPLISHCHEVA, 1992) utilizando a equação 17. Para tanto foram utilizadas as condições com e sem paraquedas. A função do arrasto do paraquedas em relação à velocidade foi estimada previamente através de um modelo de regressão polinomial de terceira ordem aplicado nos dados de velocidade e força obtidos em um experimento de rebocamento do paraquedas a diferentes velocidades com uma célula de carga (Interface WMC - 450N) fixada ao conector de aço na plataforma, este modelo de regressão apresentou uma soma dos quadrados do erros (SSE) de 5.41 e  $r^2$  de 0,99. A força média e a velocidade média de cada teste foram registradas e foi utilizadas para determinar o arrasto adicional.

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a igualdade de variância pelo teste de Mauchly ou Levene conforme a associação entre os fatores (medidas repetidas ou não).

As análises foram feitas considerando apenas homens, apenas mulheres e ambos os sexos. As análises também foram feitas separadamente entre as categorias (agrupadas em Jovens: infantil e juvenil; e Adultos: júnior e maior de 19 anos). As comparações entre as pernadas dentro de um ciclo de braçada foram feitas apenas para os nadadores que realizavam seis pernadas por ciclos de braçada, pois estes constituíam a maior parte da amostra (113 participantes; 78,47% do total) e já apresentam a priori uma característica diferente dos indivíduos que utilizam menos (12 participantes; 8,33%) ou mais (19 participantes; 13,2%) pernadas por ciclo não sendo necessária nenhuma inferência estatística a este respeito.

A separação dos grupos em critérios de habilidade foi feita de duas maneiras: i) considerando a experiência progressiva dos voluntários, estes foram divididos entre aqueles que nunca participaram de competições oficiais (grupo recreativo - 61 voluntários) e aqueles que disputaram o campeonato brasileiro no último ano (grupo nacional - 51 voluntários) e; ii) considerando desempenho baseado no número de Froude os voluntários foram divididos em 2 grupos compostos pelo terço inferior da amostra (1º Tercil) e pelo terço superior da amostra (3º Tercil).

Para comparação entre os níveis de performance foi utilizado o teste T ou anova fatorial com dois fatores para todas as variáveis e o teste Qui-quadrado para comparação dos modos de coordenação e número de pernadas. Para o teste Qui-quadrado foi verificado se a distribuição dos nadadores entre as diferentes possibilidades de coordenação ocorria de maneira aleatória ou se algum fator determinístico influenciava no modo de coordenação, para tanto foram consideradas probabilidades de ocorrência iguais para as diferentes possibilidades, ou proporcional a largura da banda de alocação da variável em algum dos modos de coordenação, quanto necessário, conforme definido anteriormente. Para o número de pernadas por ciclo também foram comparadas as distribuições entre 2, 3 e 4 ou mais pernadas entre os diferentes níveis de habilidade. Uma anova fatorial com dois fatores e medidas repetidas foi utilizada para comparar as pernadas dentro do ciclo, tendo no primeiro fator o desempenho e no segundo as pernadas.

Para comparação entre as condições com e sem limitação de velocidade e com e sem ação de braços, foi utilizada uma anova fatorial com dois fatores e medidas repetidas para todas as variáveis sendo o primeiro fator a comparação principal (limitação da velocidade ou ação de braços) e o segundo fator o desempenho. Para as pernadas dentro do ciclo foi utilizada novamente uma anova

fatorial de medidas repetidas. O teste Qui-quadrado foi conduzido da mesma forma que para o objetivo anterior e adicionalmente foi comparada a distribuição dentro da condição com limitação de velocidade em relação aos diferentes níveis de desempenho.

O teste Qui-quadrado também foi utilizado para verificar a mudança entre os modos de coordenação ocorrida entre as condições de nado completo sem paraquedas e com limitação de velocidade. Para o índice de coordenação foram analisados quatro grupo de mudança: i ) indivíduos que apresentavam coordenação em catch-up no nado livre e passaram para oposição ou sobreposição; ii) indivíduos que apresentavam coordenação em oposição no nado livre e passaram para catch-up; iii) indivíduos que apresentavam coordenação em oposição no nado livre e passaram para sobreposição; iv) indivíduos que apresentavam coordenação em sobreposição no nado livre e passaram para catch-up ou oposição. Para o número de pernadas por ciclo foi avaliado se o individuo aumentava ou reduzia o número de pernadas em relação à condição de nado livre. Para a frequência relativa foram analisados 3 grupos de mudança: i) indivíduos que apresentavam coordenação sincronizada no nado livre e passaram para atrasada ou adiantada; ii) indivíduos que apresentavam coordenação atrasada ou adiantada no nado livre e passaram para sincronizado; iii) indivíduos que alternaram entre a coordenação adiantada e atrasada. Para a fase entre membros também foram analisados 3 grupos de mudança: i) indivíduos que apresentavam uma coordenação em fase no nado livre e passaram para alguma coordenação fora de fase; ii) indivíduos que apresentavam uma coordenação fora de fase no nado livre e passaram para alguma coordenação em fase; iii) indivíduos que mantiveram a coordenação em fase ou fora de fase, porém alternaram entre ascendente e descendente.

Para as análises de variância, quando necessário foi utilizado o teste *post-hoc* de Student-Newman-Keuls (SNK).

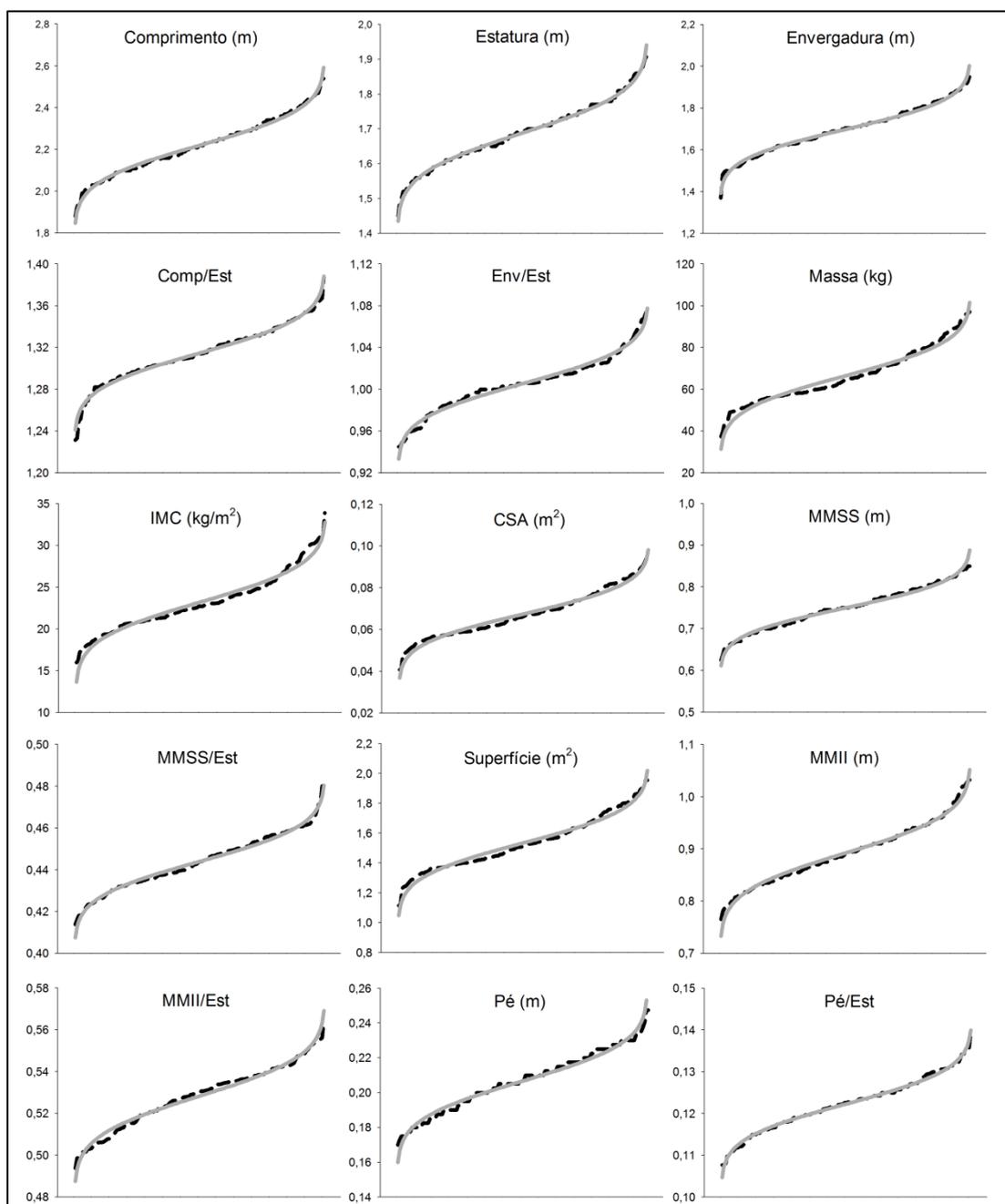
Para relacionar a coordenação de membros inferiores e superiores com o número de Froude e com o arrasto médio e o número de Strouhal com as variáveis antropométricas foi utilizada a correlação de Pearson e coordenação parcial tendo a velocidade como variável de controle para todas as condições. Foram reportados os valores de coeficiente de correlação ( $r$ ) e coeficiente de determinação ( $r^2$ ).

O nível de significância adotado foi de  $p < 0.05$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

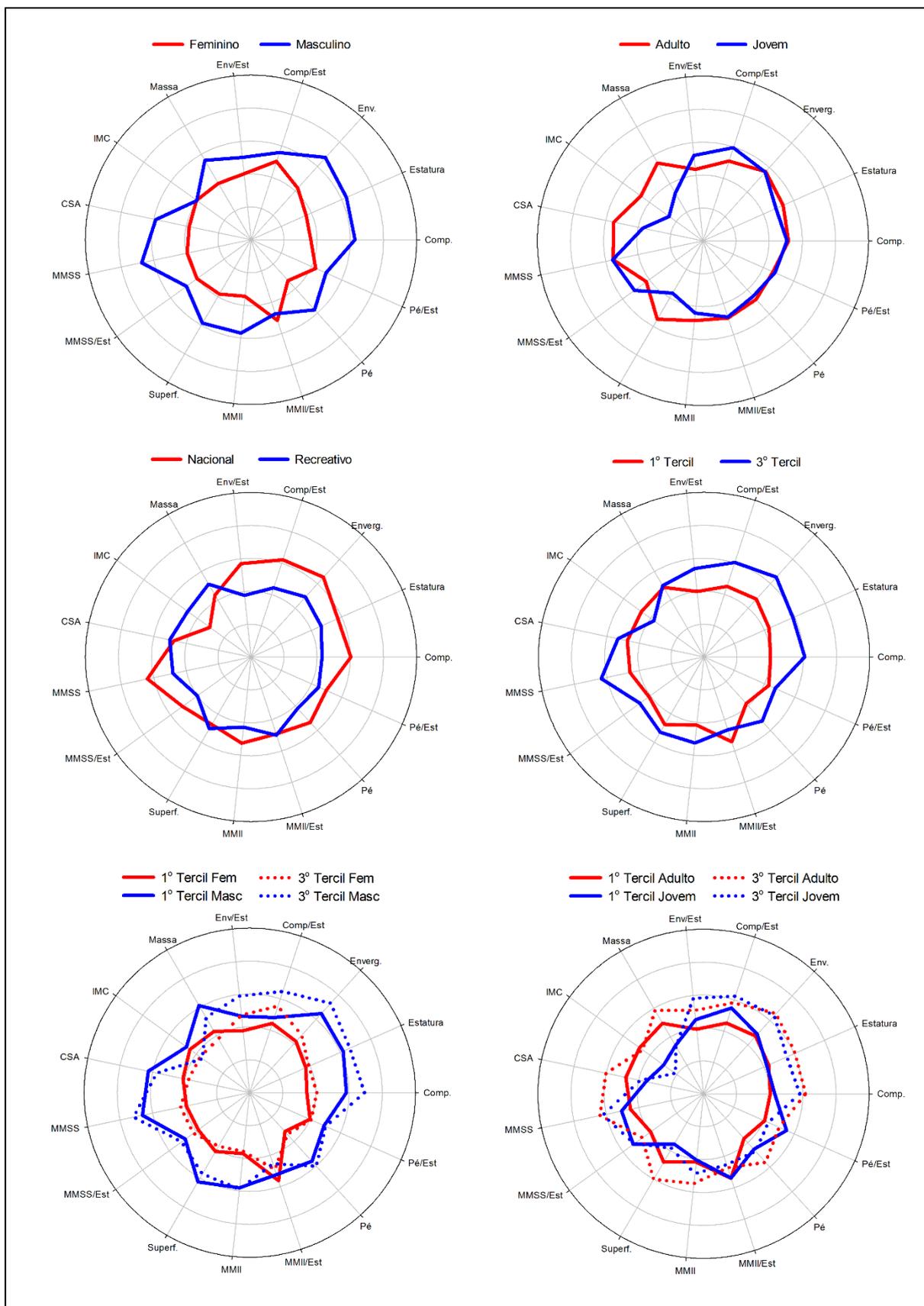
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

As distribuições cumulativas das características antropométricas da amostra são apresentadas na Figura 35, e a comparação destas variáveis entre os grupos são apresentadas na Figura 36.



Linha Pontilhada - Distribuição da variável; Linha Sólida - Distribuição normal com mesma média e desvio padrão; Comp - Comprimento; Env - Envergadura; Est - Estatura; IMC - Índice de massa corporal; CSA - área de seção transversa; MMSS - Membros Superiores; MMII - Membros Inferiores.

**Figura 35 - Distribuições cumulativas das características antropométricas**



Comp - Comprimento; Env - Envergadura; Est - Estatura; IMC - Índice de massa corporal; CSA - Área de secção transversa; MMSS - Membros Superiores; Superf. - Área de Superfície; MMII - Membros Inferiores.

**Figura 36 - Comparação das características antropométricas entre os grupos**

Na tabela 2, os dados foram agrupados por sexo (Feminino x Masculino) e categoria (Adultos x Jovens).

**Tabela 2 - Comparação das características antropométricas entre sexos e categorias**

	Sexo			Categoria		
	Feminino	Masculino	p	Adulto	Jovem	p
Idade (anos)	23.85 ± 9.29	21.72 ± 9.09	0.177	26.06 ± 8.61	13.64 ± 0.93	<0.001
Comp. (m)	2.119 ± 0.101	2.294 ± 0.113	<0.001	2.221 ± 0.144	2.215 ± 0.125	0.815
Estatuta (m)	1.618 ± 0.066	1.740 ± 0.075	<0.001	1.694 ± 0.097	1.672 ± 0.082	0.22
Enverg. (m)	1.615 ± 0.085	1.760 ± 0.089	<0.001	1.699 ± 0.117	1.696 ± 0.106	0.909
Comp/Est	1.310 ± 0.021	1.310 ± 0.030	0.057	1.311 ± 0.027	1.324 ± 0.024	0.009
Env/Est	0.998 ± 0.026	1.011 ± 0.025	0.004	1.002 ± 0.027	1.014 ± 0.024	0.023
Massa (kg)	60.91 ± 9.38	70.59 ± 13.88	<0.001	69.99 ± 12.71	57.28 ± 8.83	<0.001
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	26.25 ± 3.20	23.20 ± 3.80	0.926	24.27 ± 3.20	20.48 ± 2.91	<0.001
CSA (m <sup>2</sup> )	0.061 ± 0.007	0.072 ± 0.011	<0.001	0.070 ± 0.011	0.060 ± 0.008	<0.001
MMSS (m)	0.713 ± 0.039	0.776 ± 0.042	<0.001	0.749 ± 0.052	0.750 ± 0.049	0.946
MMSS/Est	0.441 ± 0.013	0.446 ± 0.015	0.022	0.442 ± 0.014	0.448 ± 0.011	0.018
Superf. (m <sup>2</sup> )	1.435 ± 0.124	1.606 ± 0.181	<0.001	1.576 ± 0.181	1.423 ± 0.124	<0.001
MMII (m)	0.857 ± 0.048	0.917 ± 0.055	<0.001	0.895 ± 0.061	0.883 ± 0.051	0.263
MMII/Est	0.530 ± 0.014	0.527 ± 0.015	0.261	0.528 ± 0.014	0.528 ± 0.016	0.883
Pé (m)	0.195 ± 0.014	0.214 ± 0.014	<0.001	0.207 ± 0.017	0.205 ± 0.017	0.541
Pé/Est	0.121 ± 0.007	0.123 ± 0.005	0.059	0.122 ± 0.006	0.123 ± 0.007	0.731

Comp - Comprimento; Env - Envergadura; Est - Estatuta; IMC - Índice de massa corporal; CSA - Área de secção transversa; MMSS - Membros Superiores; Superf - Área de Superfície; MMII - Membros Inferiores.

Como esperado os indivíduos do sexo Masculino apresentaram maiores valores para todas as características antropométricas expressas em valores absolutos (CASPERSEN et al., 2010), e valores semelhantes entre às características normalizadas pela altura, exceto pela razão entre a envergadura e altura onde os homens também apresentaram valores significativamente superiores.

Na comparação entre categorias, os nadadores adultos apresentaram valores superiores aos dos jovens nas características relacionadas ao volume corporal (massa, IMC, área de secção transversa e superfície corporal), no entanto às variáveis de altura e comprimento de segmentos não apresentaram diferenças entre os grupos. Para as variáveis normalizadas pela altura, aquelas relacionadas à membros superiores apresentaram valores superiores para os indivíduos jovens. Esta diferença pode ter sido causada pela maior prevalência de indivíduos jovens no

grupo de desempenho nacional quando comparado aos adultos (66,7% x 24.5%), desta forma a distribuição destas características para o jovens se assemelhavam aquelas esperadas para atletas de natação enquanto para adultos a distribuição esperada para uma população genérica era predominante.

Tal distribuição das categorias dentre os níveis de desempenho não é esperada aleatoriamente ( $X^2=19.527$ ,  $p<0.001$ ), e de fato não ocorreu desta forma. Os clubes de natação que se voluntariaram para coleta de dados participaram, na maioria dos casos, com as equipes completas para as categorias mais jovens, enquanto os nadadores de categoria adulta participaram de maneira isolada, causando esta distorção de distribuição.

A comparação das características antropométricas entre os níveis de habilidade é apresentada na tabela 3.

**Tabela 3 - Comparação das características antropométricas entre os níveis de habilidade**

	Experiência			Desempenho		
	Nacional	Recreativo	p	1º Tercil	3º Tercil	p
Idade (anos)	16.84 ± 2.79	26.95 ± 9.54	<0.001	28.18 ± 9.96	18.89 ± 6.66	<0.001
Comp. (m)	2.277 ± 0.129	2.163 ± 0.124	<0.001	2.145 ± 0.125	2.281 ± 0.136	<0.001
Estatura (m)	1.714 ± 0.088	1.663 ± 0.087	0.003	1.647 ± 0.085	1.720 ± 0.088	<0.001
Enverg. (m)	1.749 ± 0.105	1.655 ± 0.104	<0.001	1.644 ± 0.104	1.748 ± 0.108	<0.001
Comp/Est	1.329 ± 0.025	1.300 ± 0.025	<0.001	1.302 ± 0.023	1.326 ± 0.026	<0.001
Env/Est	1.020 ± 0.025	0.994 ± 0.023	<0.001	0.998 ± 0.026	1.016 ± 0.027	0.001
Massa (kg)	63.31 ± 11.34	67.88 ± 13.50	0.058	66.48 ± 13.29	67.25 ± 12.06	0.768
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	21.45 ± 2.68	24.40 ± 3.74	<0.001	24.35 ± 3.65	22.66 ± 3.18	0.018
CSA (m <sup>2</sup> )	0.066 ± 0.010	0.067 ± 0.011	0.506	0.066 ± 0.011	0.069 ± 0.010	0.176
MMSS (m)	0.768 ± 0.050	0.733 ± 0.047	<0.001	0.727 ± 0.050	0.767 ± 0.048	<0.001
MMSS/Est	0.448 ± 0.012	0.441 ± 0.014	0.004	0.442 ± 0.014	0.446 ± 0.013	0.108
Superf. (m <sup>2</sup> )	1.511 ± 0.162	1.537 ± 0.183	0.443	1.513 ± 0.182	1.559 ± 0.167	0.204
MMII (m)	0.905 ± 0.060	0.879 ± 0.051	0.015	0.876 ± 0.052	0.905 ± 0.060	0.013
MMII/Est	0.528 ± 0.017	0.529 ± 0.014	0.856	0.532 ± 0.013	0.527 ± 0.017	0.087
Pé (m)	0.211 ± 0.018	0.202 ± 0.016	0.008	0.199 ± 0.015	0.210 ± 0.017	0.001
Pé/Est	0.123 ± 0.007	0.122 ± 0.006	0.227	0.121 ± 0.007	0.122 ± 0.007	0.338

Comp - Comprimento; Env - Envergadura; Est - Estatura; IMC - Índice de massa corporal; CSA - Área de secção transversa; MMSS - Membros Superiores; Superf - Área de Superfície; MMII - Membros Inferiores

As diferenças de idade entre os grupos de desempenho baseado na experiência ou desempenho pode ser explicada pela dinâmica da participação das

equipes como mencionado anteriormente. As variáveis massa, área de secção transversa, área de superfície corporal e os comprimentos corporais normalizados pela altura não apresentaram diferenças significativas entre os níveis de desempenho ou experiência, à exceção do comprimento de membros superiores normalizados pela altura corporal. Todas as demais variáveis antropométricas foram diferentes entre os grupos de desempenho, fato suportado pela importância das características antropométricas no desempenho em natação (CHATARD; LAVOIE; LACOURL, 1990; CLARYS, 1979).

A comparação das características antropométricas de cada categoria de acordo com os níveis de desempenho é apresentada na tabela 4.

**Tabela 4 - Comparação das características antropométricas de cada categoria entre os níveis de desempenho**

	1º Tercil		3º Tercil		Grupo	p	
	Jovem	Adulto	Jovem	Adulto		Categ.	Int.
Idade (anos)	13.42 ± 1.08	29.65 ± 8.04 <sup>AB</sup>	14.07 ± 0.82	21.08 ± 6.90 <sup>A</sup>	0.007	<0.001	0.002
Comp. (m)	2.164 ± 0.128	2.146 ± 0.126	2.264 ± 0.103	2.286 ± 0.147	<0.001	0.941	0.492
Estatuta (m)	1.643 ± 0.087	1.648 ± 0.087	1.704 ± 0.060	1.729 ± 0.097	<0.001	0.437	0.611
Enverg. (m)	1.651 ± 0.113	1.643 ± 0.100	1.741 ± 0.071	1.750 ± 0.118	<0.001	0.977	0.708
Comp/Est	1.317 ± 0.023	1.302 ± 0.020	1.329 ± 0.029	1.322 ± 0.028	0.005	0.054	0.44
Env/Est	1.005 ± 0.025	0.997 ± 0.026	1.022 ± 0.020	1.012 ± 0.028	0.007	0.141	0.854
Massa (kg)	57.59 ± 11.97	66.91 ± 13.27	57.16 ± 6.07	72.23 ± 11.95	0.358	<0.001	0.281
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	21.29 ± 3.91	24.49 ± 3.65	19.71 ± 1.99	24.09 ± 2.96	0.176	<0.001	0.423
CSA (m <sup>2</sup> )	0.060 ± 0.010	0.066 ± 0.011	0.062 ± 0.005	0.073 ± 0.011	0.076	<0.001	0.316
MMSS (m)	0.738 ± 0.051	0.726 ± 0.051	0.764 ± 0.039	0.769 ± 0.051	0.003	0.717	0.464
MMSS/Est	0.449 ± 0.010	0.440 ± 0.015	0.449 ± 0.012	0.444 ± 0.014	0.564	0.038	0.457
Superf. (m <sup>2</sup> )	1.411 ± 0.159	1.518 ± 0.182	1.437 ± 0.085	1.619 ± 0.171	0.087	<0.001	0.312
MMII (m)	0.873 ± 0.046	0.877 ± 0.055	0.896 ± 0.044	0.912 ± 0.066	0.026	0.440	0.620
MMII/Est	0.532 ± 0.014	0.532 ± 0.013	0.526 ± 0.018	0.527 ± 0.017	0.131	0.830	0.850
Pé (m)	0.205 ± 0.016	0.198 ± 0.016	0.206 ± 0.018	0.213 ± 0.017	0.03	0.981	0.064
Pé/Est	0.125 ± 0.006 <sup>A</sup>	0.120 ± 0.007	0.121 ± 0.009	0.123 ± 0.005	0.808	0.446	0.025

Comp - Comprimento; Env - Envergadura; Est - Estatura; IMC - Índice de massa corporal; CSA - Área de secção transversa; MMSS - Membros Superiores; Superf - Área de Superfície; MMII - Membros Inferiores; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as categorias de um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho de uma categoria

Houve interação entre os fatores apenas para as variáveis idade e comprimento do pé normalizado pela altura. Para idade, além da óbvia diferença entre categorias, os Adultos do 1º Tercil eram mais velhos que aqueles do 3º Tercil.

Para o comprimento do pé normalizado pela altura apenas para o 1º Tercil os valores de Jovens foram maiores que os dos Adultos.

Para o "*main effect*" do nível de desempenho, as mesmas diferenças encontradas na comparação independente da categoria foram observadas à exceção do IMC, que não apresentou diferença significativa quando analisado em conjunto com a influência da categoria. Desta forma, é provável que a diferença de IMC na comparação dos níveis de desempenho seja relacionada à distribuição de categorias e não a um efeito direto da variável no desempenho, tal possibilidade é suportada pela diferença entre IMC observada entre categorias e no "*main effect*" da categoria, bem como pela diferença de idade observada na comparação entre níveis de desempenho. De forma análoga as variáveis comprimento normalizado pela altura e envergadura normalizada pela altura não apresentaram diferenças no "*main effect*" da categoria apesar de serem diferentes na comparação independente da categoria. Desta forma é provável que a mesma distribuição das categorias entre os níveis de desempenho seja responsável por estas diferenças.

A comparação das características antropométricas de cada sexo de acordo com os níveis de desempenho é apresentada na tabela 5.

**Tabela 5 - Comparação das características antropométricas de cada sexo entre os níveis de desempenho**

	1º Tercil		3º Tercil		Grupo	p	
	Feminino	Masculino	Feminino	Masculino		Sexo	Int.
Idade (anos)	27.3 ± 6.27	27.11 ± 10.85	19.9 ± 8.42	17.92 ± 4.31	<0.001	0.514	0.590
Comp. (m)	2.108 ± 0.098	2.265 ± 0.097	2.148 ± 0.090	2.338 ± 0.113	0.009	<0.001	0.439
Estatura (m)	1.621 ± 0.066	1.734 ± 0.067	1.630 ± 0.064	1.754 ± 0.077	0.312	<0.001	0.707
Enverg. (m)	1.612 ± 0.080	1.745 ± 0.072	1.642 ± 0.080	1.794 ± 0.092	0.022	<0.001	0.575
Comp/Est	1.300 ± 0.020	1.306 ± 0.031	1.318 ± 0.021	1.332 ± 0.025	<0.001	0.054	0.411
Env/Est	0.995 ± 0.030	1.006 ± 0.021	1.007 ± 0.022	1.023 ± 0.027	0.007	0.012	0.72
Massa (kg)	63.04 ± 12.21	73.87 ± 14.34	59.93 ± 6.98	68.79 ± 13.08	0.113	<0.001	0.702
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	23.96 ± 4.29	24.43 ± 3.89	22.58 ± 2.56	22.26 ± 3.49	0.021	0.922	0.605
CSA (m <sup>2</sup> )	0.063 ± 0.010	0.074 ± 0.012	0.061 ± 0.006	0.071 ± 0.011	0.27	<0.001	0.816
MMSS (m)	0.713 ± 0.043	0.774 ± 0.038	0.721 ± 0.034	0.786 ± 0.043	0.224	<0.001	0.792
MMSS/Est	0.440 ± 0.017	0.446 ± 0.013	0.442 ± 0.012	0.448 ± 0.015	0.454	0.039	0.921
Superf. (m <sup>2</sup> )	1.461 ± 0.153	1.640 ± 0.185	1.431 ± 0.095	1.593 ± 0.173	0.252	<0.001	0.806
MMII (m)	0.865 ± 0.040	0.920 ± 0.045	0.861 ± 0.044	0.923 ± 0.06	0.975	<0.001	0.783
MMII/Est	0.533 ± 0.012	0.531 ± 0.013	0.528 ± 0.015	0.526 ± 0.018	0.111	0.387	0.986
Pé (m)	0.195 ± 0.014	0.214 ± 0.013	0.196 ± 0.014	0.217 ± 0.016	0.414	<0.001	0.824
Pé/Est	0.120 ± 0.008	0.123 ± 0.005	0.120 ± 0.006	0.123 ± 0.007	0.834	0.031	0.976

Comp - Comprimento; Env - Envergadura; Est - Estatura; IMC - Índice de massa corporal; CSA - Área de secção transversa; MMSS - Membros Superiores; Superf - Área de Superfície; MMII - Membros Inferiores

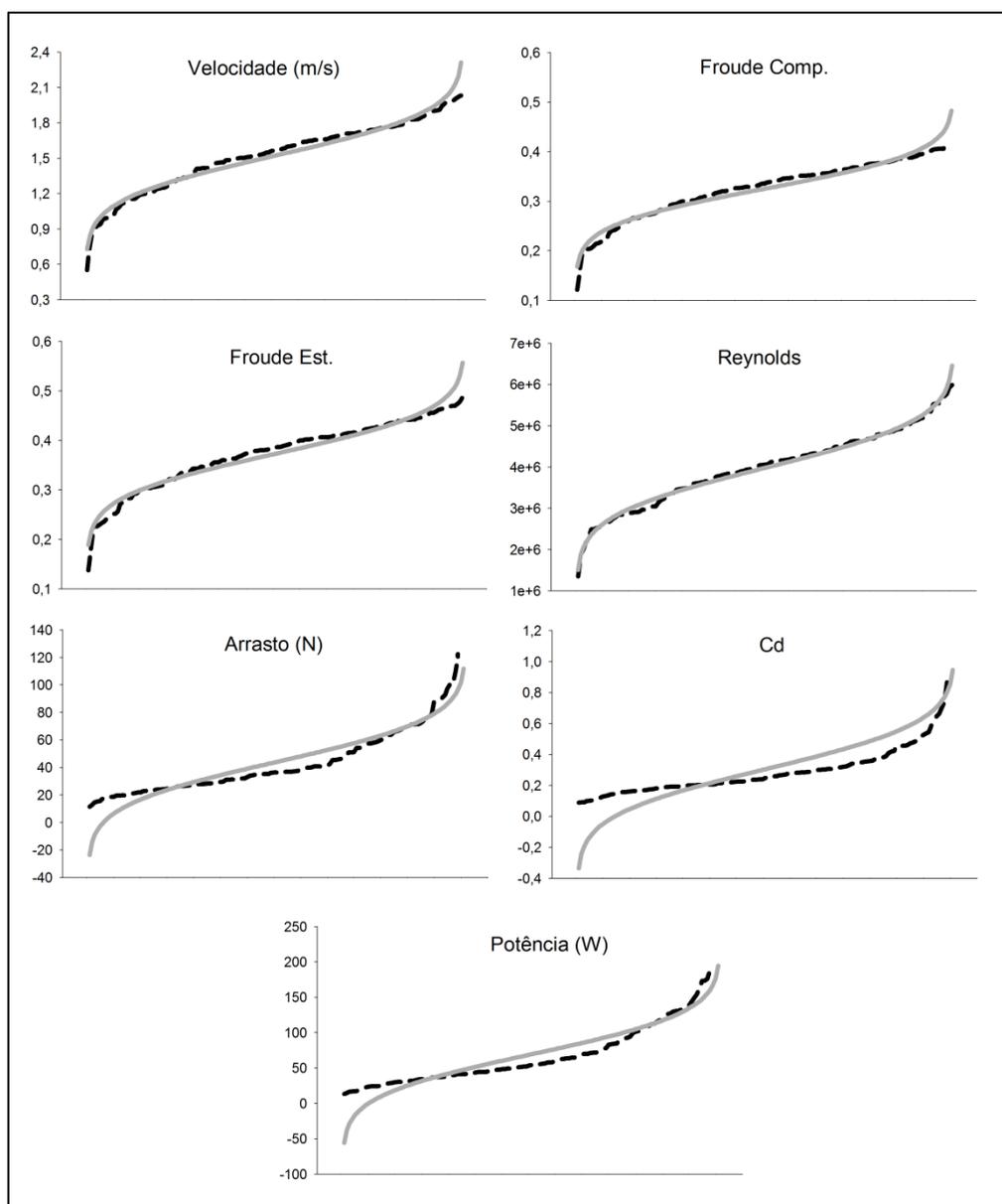
Nenhuma variável apresentou interação significativa entre os fatores. Para o "*main effect*" do nível de desempenho, as mesmas diferenças encontradas na comparação independente entre sexos foram observadas à exceção da altura e do comprimento de membros (MMSS, MMII e pé), que não apresentaram diferenças significativas quando analisadas em conjunto com a influência do sexo.

Para o "*main effect*" do sexo, as mesmas diferenças encontradas na comparação independente do nível de desempenho foram observadas. De maneira distinta, para esta comparação entre mais de um fator uma variável adicional apresentou diferença significativa, homens apresentaram o comprimento do pé normalizado pela altura maior do que as mulheres.

## 4.2 COMPARAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE MEMBROS ENTRE NADADORES COM DIFERENTES NÍVEIS DE HABILIDADE

### 4.2.1 Sobre as características do escoamento

As distribuições cumulativas das características do escoamento para o teste de nado completo sem paraquedas são apresentadas na figura 37.



Linha Pontilhada - Distribuição da variável; Linha Sólida - Distribuição normal com mesma média e desvio padrão; Froude Comp. - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; Froude Est. - Número de Froude calculado pela estatura do nadador; Cd - Coeficiente de arrasto.

**Figura 37 - Distribuições cumulativas das características do escoamento durante o teste de nado completo sem paraquedas**

A tabela 6 apresenta a comparação das características do escoamento para o teste de nado completo sem paraquedas entre os diferentes níveis de habilidade.

**Tabela 6 - Comparação das características do escoamento entre os níveis de habilidade durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	Experiência			Desempenho		
	Nacional	Recreativo	p	1º Tercil	3º Tercil	p
Velocidade (m/s)	1.747 ± 0.145	1.288 ± 0.254	<0.001	1.186 ± 0.194	1.808 ± 0.109	<0.001
Froude Comp.	0.370 ± 0.026	0.279 ± 0.053	<0.001	0.259 ± 0.041	0.382 ± 0.017	<0.001
Froude Est.	0.426 ± 0.030	0.319 ± 0.06	<0.001	0.295 ± 0.047	0.440 ± 0.020	<0.001
Reynolds	4.677 ± 0.586	3.276 ± 0.725	<0.001	2.987 ± 0.552	4.844 ± 0.534	<0.001
Arrasto (N)	49.50 ± 28.22	38.23 ± 20.08	0.016	33.91 ± 19.28	53.25 ± 28.10	<0.001
Cd	0.238 ± 0.106	0.344 ± 0.161	<0.001	0.365 ± 0.173	0.233 ± 0.109	<0.001
Potencia (W)	88.35 ± 55.35	51.63 ± 32.70	<0.001	41.59 ± 27.67	97.36 ± 54.50	<0.001

Froude Comp. - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; Froude Est. - Número de Froude calculado pela estatura do nadador; Cd - Coeficiente de arrasto.

As velocidades médias observadas durante os teste foram significativamente maiores para os grupos de maior habilidade, seja baseado na experiência (Nacional x Recreativo) seja baseado no número de Froude (1º Tercil x 3º Tercil). Tal resultado era previsível visto a velocidade ser o "parâmetro ouro" do desempenho em natação. Os parâmetros adimensionais (Números de Reynolds, Froude baseado no comprimento e Froude baseado na estatura), e a potencia produzida também apresentaram diferenças significativas entre os grupos, o que pode ser explicado pelo fato da velocidade ser uma variável componente do calculo de todos estes parâmetros. Além disso, o próprio número de Froude foi o critério utilizado para alocação da amostra em quantis.

O coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) também apresentou diferença significativa entre os grupos, sendo menor nos grupos de melhor desempenho (Nacional e 3º Tercil). O coeficiente de arrasto é dependente da forma e/ou da configuração espacial do objeto e, portanto, para nadadores é altamente influenciado pela técnica de nado. Desta forma, era esperado que os nadadores mais habilidosos apresentassem um menor coeficiente de arrasto, ou seja, estes nadadores produziram um menor arrasto para uma mesma velocidade e área de secção transversa expostas ao escoamento (CLARYS, 1979; KOLMOGOROV et al., 1997; TOUSSAINT et al., 1988).

O arrasto também apresentou diferença significativa entre os grupos, sendo maior nos grupos de maior habilidade (Nacional e 3º Tercil). O arrasto é influenciado pela velocidade de nado, pelo coeficiente de arrasto do nadador e pela sua área de secção transversa expostas ao escoamento, além disso, em escoamentos em superfície livre o número de Froude associado ao deslocamento também afeta consideravelmente o arrasto (VENNELL; PEASE; WILSON, 2006). Embora a relação Froude x Arrasto possa apresentar mínimos relativos, a tendência geral é de que o arrasto aumente com o aumento do número de Froude, como ilustra a figura 11 na página 32 (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004; VENNELL; PEASE; WILSON, 2006).

Na presente comparação os grupos não diferiram entre si com relação a área de secção transversa (tabela 3) e os grupos de melhor desempenho apresentaram menor coeficiente de arrasto (tabela 6) e portanto eram mecanicamente mais eficientes (para uma mesma velocidade estes apresentariam menor arrasto e conseqüentemente menor potência e energia mecânica para uma determinada duração, a energia química metabólica por sua vez dependeria da eficiência de conversão energética de cada nadador e não foi avaliada devido a sua complexidade e por estar fora do escopo deste estudo). No entanto, os regimes de velocidade e Froude apresentados pelos participantes dos grupos de melhor desempenho foram maiores e essa influencia foi determinante para que estes grupos apresentassem também os maiores valores de arrasto e conseqüentemente de potencia conforme mencionado previamente (BARBOSA et al., 2014; KJENDLIE; STALLMAN, 2008).

A tabela 7 apresenta a comparação das características do escoamento para o teste de nado completo sem paraquedas entre cada sexo de acordo com os níveis de desempenho.

**Tabela 7 - Comparação das características do escoamento de cada sexo entre os níveis de desempenho durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	1º Tercil		3º Tercil		p		
	Feminino	Masculino	Feminino	Masculino	Grupo	Sexo	Int.
Vel. (m/s)	1.033 ± 0.171	1.381 ± 0.166 <sup>A</sup>	1.653 ± 0.084 <sup>B</sup>	1.878 ± 0.088 <sup>AB</sup>	<0.001	<0.001	0.030
Froude Comp	0.227 ± 0.038	0.293 ± 0.035 <sup>A</sup>	0.360 ± 0.019 <sup>B</sup>	0.392 ± 0.014 <sup>AB</sup>	<0.001	<0.001	0.005
Froude Est	0.259 ± 0.044	0.335 ± 0.040 <sup>A</sup>	0.414 ± 0.020 <sup>B</sup>	0.453 ± 0.016 <sup>AB</sup>	<0.001	<0.001	0.008
Reynolds	2.553 ± 0.436	3.671 ± 0.503	4.164 ± 0.281	5.155 ± 0.451	<0.001	<0.001	0.483
Arrasto (N)	30.21 ± 12.32	45.13 ± 24.93	33.86 ± 14.67	60.54 ± 30.35	0.045	<0.001	0.232
Cd	0.439 ± 0.168 <sup>AB</sup>	0.323 ± 0.168 <sup>B</sup>	0.205 ± 0.083	0.242 ± 0.123	<0.001	0.183	0.012
Potencia (W)	32.61 ± 15.37	63.11 ± 37.69	56.14 ± 25.58	114.41 ± 59.35	<0.001	<0.001	0.110

Froude Comp. - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; Froude Est. - Número de Froude calculado pela estatura do nadador; Cd - Coeficiente de arrasto; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as categorias de um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho de uma categoria.

Houve interação significativa entre os fatores para as variáveis velocidade, número de Froude (comprimento e estatura) e coeficiente de arrasto. Para velocidade de deslocamento dentro de cada tercil, os homens foram mais rápidos que as mulheres; e entre os tercis os nadadores dos 3º Tercil foram mais rápidos que os do mesmo sexo no 1º Tercil. O fato da interação entre os fatores ter apresentado valores significativos indica que embora o desempenho do 3º Tercil tenha sido superior para ambos os sexos este efeito foi superior para o sexo feminino.

O número de Froude apresentou o mesmo comportamento que a velocidade, seja quando calculado com base na estatura ou quando calculado com base no comprimento. O número de Froude é influenciado tanto pela velocidade como pelo comprimento característico do corpo que desloca pela superfície livre, no caso dos nadadores o comprimento ou a estatura. Este resultado, portanto, indica um papel predominante da velocidade de deslocamento em relação ao comprimento característico para o número de Froude de nadadores, visto que ambas as variáveis utilizadas como parâmetro de comprimento característico foram maiores para o sexo masculino (tabela 2).

Para o coeficiente de arrasto (Cd) tanto homens como mulheres pertencentes ao 1º Tercil apresentaram valores superiores aqueles apresentados pelo mesmo sexo no 3º Tercil. Dentro do 1º Tercil, as mulheres apresentaram maior coeficiente de arrasto que os homens, e não houve diferença entre os sexos para esta variável no 3º Tercil. As diferenças entre tercis podem estar relacionada a menor habilidade

técnica apresentada pelos nadadores, assim como observado para as comparações independentes do sexo (CLARYS, 1979; KOLMOGOROV et al., 1997; TOUSSAINT et al., 1988). O fato de mulheres apresentarem maior coeficiente de arrasto quando comparadas aos homens no 1º Tercil e não no 3º Tercil sugere que as diferenças técnicas entre os sexos são maiores para nadadores de menor desempenho. Isto poderia ser relacionado ao fato de mulheres apresentarem naturalmente menor força muscular e uma diferente distribuição de massa pelo corpo (CASPERSEN et al., 2010; ZAMPARO, 2006; ZAMPARO et al., 1996) e portanto para elas seria mais difícil realizar uma técnica mais eficiente, como ambas as características mencionadas são facilmente alteradas por fatores fenotípicos, a partir de um determinado nível de treinamento estas diferenças deixariam de ocorrer como demonstram os dados.

As demais variáveis (número de Reynolds, arrasto e potência) não apresentaram interação significativa entre os fatores (sexo e desempenho) porém apresentaram influencia significativa de ambos, em todos os casos em favor do 3º Tercil e do sexo masculino. Novamente apresentando o papel preponderante da velocidade nas características do escoamento (KJENDLIE; STALLMAN, 2008).

A tabela 8 apresenta a comparação das características do escoamento para o teste de nado completo sem paraquedas entre cada categoria de acordo com os níveis de desempenho.

**Tabela 8 - Comparação das características do escoamento de cada categoria entre os níveis de desempenho durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	1º Tercil		3º Tercil		p		
	Jovem	Adulto	Jovem	Adulto	Grupo	Categ.	Int.
Vel. (m/s)	1.406 ± 0.137 <sup>A</sup>	1.125 ± 0.187	1.793 ± 0.072 <sup>B</sup>	1.811 ± 0.120 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
Froude Comp	0.305 ± 0.024 <sup>A</sup>	0.245 ± 0.040	0.381 ± 0.012 <sup>B</sup>	0.382 ± 0.019 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
Froude Est	0.350 ± 0.030 <sup>A</sup>	0.280 ± 0.046	0.439 ± 0.014 <sup>B</sup>	0.440 ± 0.023 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
Reynolds	3.581 ± 0.518 <sup>A</sup>	2.835 ± 0.527	4.765 ± 0.366 <sup>B</sup>	4.867 ± 0.587 <sup>B</sup>	<0.001	0.008	<0.001
Arrasto (N)	32.31 ± 12.89	30.96 ± 11.46	42.53 ± 23.67	58.88 ± 28.35 <sup>AB</sup>	<0.001	0.117	0.045
Cd	0.274 ± 0.087	0.377 ± 0.163	0.219 ± 0.132	0.243 ± 0.101	0.001	0.030	0.181
Potencia (W)	45.68 ± 19.63	35.67 ± 14.25	76.23 ± 42.09 <sup>B</sup>	107.93 ± 55.83 <sup>AB</sup>	<0.001	0.220	0.020

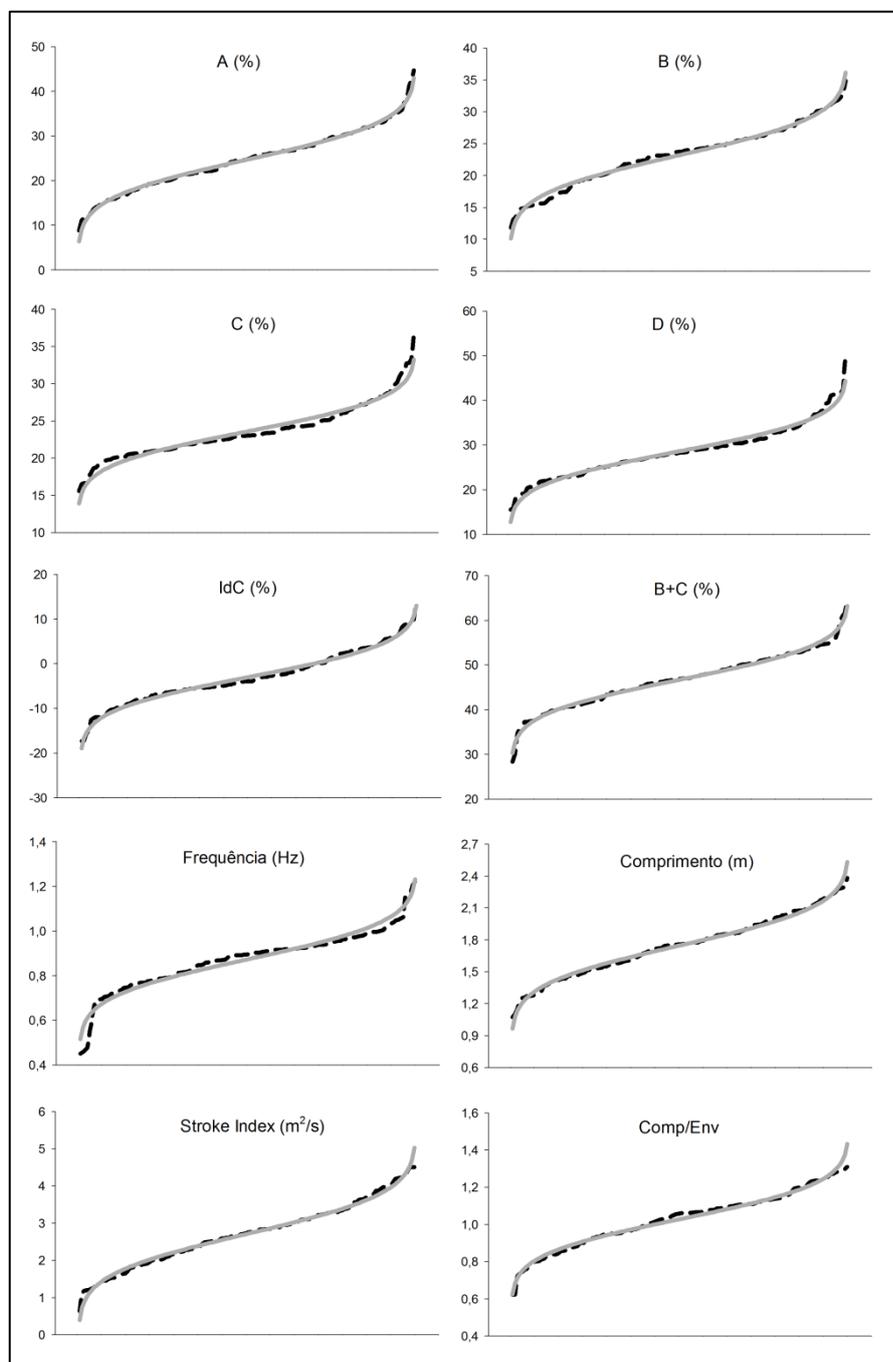
Froude Comp. - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; Froude Est. - Número de Froude calculado pela estatura do nadador; Cd - Coeficiente de arrasto; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as categorias de um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho de uma categoria.

O coeficiente de arrasto foi a única variável que não apresentou interação significativa entre os fatores. Para o "*main effect*" do nível de desempenho o coeficiente de arrasto foi maior para o 1º Tercil. Para o "*main effect*" categoria os adultos apresentaram maior coeficiente de arrasto que os jovens.

A variável velocidade e os parâmetros adimensionais apresentaram interação significativa entre os fatores, sendo os valores de cada categoria no 3º Tercil superiores aos encontrados para a mesma categoria no 1º Tercil, além disso os jovens apresentaram valores maiores que os adultos no 1º Tercil. Além da influência da velocidade já observada nas comparações anteriores, esta comparação também expõe os efeitos da distorção da constituição do grupo jovem identificada anteriormente. Da mesma forma, para potencia gerada os valores de cada categoria no 3º Tercil foram superiores aos encontrados para a mesma categoria no 1º Tercil, porém com os adultos apresentando valores maiores que os jovens no 3º Tercil, o que corrobora com outros estudos (KJENDLIE; STALLMAN, 2008). Para o arrasto, os adultos do 3º Tercil apresentaram valores maiores quando comparados aos jovens do 3º Tercil e aos adultos do 1º Tercil.

#### 4.2.2 Sobre as características das braçadas

As distribuições cumulativas das características das braçadas durante o teste de nado completo sem paraquedas são apresentadas na figura 38.



Linha Pontilhada - Distribuição da variável; Linha Sólida - Distribuição normal com mesma média e desvio padrão; A - Duração relativa da fase de agarre; B - Duração relativa da fase de puxada; C - Duração relativa da fase do empurrão; D - Duração relativa da fase de recuperação; IdC - Índice de Coordenação; B+C - Duração relativa da fase propulsiva; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura

**Figura 38 - Distribuições cumulativas das características da braçada durante o teste de nado completo sem paraquedas**

A tabela 9 apresenta a comparação das características das braçadas durante o teste de nado completo sem paraquedas entre os diferentes níveis de habilidade.

**Tabela 9 - Comparação das características das braçadas entre os níveis de habilidade durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	Experiência			Desempenho		
	Nacional	Recreativo	p	1º Tercil	3º Tercil	p
<b>A (%)</b>	23.790 ± 7.310	25.520 ± 6.610	0.194	25.900 ± 7.230	22.570 ± 0.980	0.022
<b>B (%)</b>	23.010 ± 4.850	22.350 ± 5.200	0.496	22.520 ± 5.300	24.160 ± 4.700	0.116
<b>C (%)</b>	22.700 ± 2.870	24.850 ± 3.920	0.002	24.640 ± 4.240	23.060 ± 3.070	0.040
<b>D (%)</b>	30.510 ± 5.170	27.280 ± 6.340	0.004	26.930 ± 6.670	30.220 ± 5.350	0.010
<b>IdC (%)</b>	-4.070 ± 5.480	-2.490 ± 6.490	0.170	-2.410 ± 6.920	-2.320 ± 5.830	0.944
<b>B+C (%)</b>	45.700 ± 5.750	47.200 ± 6.800	0.216	47.170 ± 7.260	47.220 ± 5.730	0.971
<b>Freq. (Hz)</b>	0.899 ± 0.079	0.832 ± 0.166	0.010	0.797 ± 0.152	0.939 ± 0.086	<0.001
<b>Comp. (m)</b>	1.956 ± 0.201	1.568 ± 0.260	<0.001	1.514 ± 0.251	1.945 ± 0.220	<0.001
<b>Comp/Env</b>	1.119 ± 0.098	0.949 ± 0.153	<0.001	0.923 ± 0.148	1.112 ± 0.103	<0.001
<b>SI (m<sup>2</sup>/s)</b>	3.434 ± 0.574	2.042 ± 0.596	<0.001	1.806 ± 0.456	3.535 ± 0.566	<0.001

A - Duração relativa da fase de agarre; B - Duração relativa da fase de puxada; C - Duração relativa da fase do empurrão; D - Duração relativa da fase de recuperação; IdC - Índice de Coordenação; B+C - Duração relativa da fase propulsiva; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; SI - *Stroke index*.

Os grupos de melhor performance para ambos os critérios apresentaram valores maiores de frequência de braçada, amplitude de braçada, amplitude normalizada pela envergadura e *stroke index*.

O *stroke index* é um indicador indireto da eficiência de nado (COSTILL et al., 1985), desta forma as diferenças encontradas refletem a expectativa de que os nadadores habilidosos seriam mais eficientes e corrobora com os resultados de menor coeficiente de arrasto encontrados para estes grupos.

É esperado que com o aumento do nível de habilidade de nadadores o aumento da velocidade ocorra pelo aumento tanto de frequência quanto de amplitude da braçada para nadadores iniciante, e que posteriores incrementos de velocidade seriam relacionados prioritariamente a amplitude da braçada (CRAIG; PENDERGAST, 1979; MIYASHITA, 1975). Desta forma, os resultados de aumento de frequência e amplitude observados também eram previstos uma vez que os grupos recreativos e 1º Tercil eram iniciantes, o critério de inclusão na amostra foi meramente ser capaz de nadar a distância solicitada de modo ininterrupto.

O fato de a amplitude normalizada pela envergadura também ter apresentado maiores valores para os grupos mais habilidosos indica que a maior amplitude obtida não foi devida apenas ao maior comprimento de membros observado para estes grupos (Tabela 2).

Com relação às variáveis associadas ao índice de coordenação, houve uma redução da duração da fase C e um aumento da duração da fase D para os grupos de maior habilidade. Estas alterações condizem com os ajustes esperados para maiores velocidades, no entanto estas alterações são normalmente associadas a mudanças do índice de coordenação em direção a uma coordenação de sobreposição (valores positivos) o que não foi observado (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000; MILLET et al., 2002). No entanto também é sabido que mulheres e jovens podem utilizar uma coordenação em catch-up mesmo para velocidades máximas (SEIFERT; BOULESTEIX; CHOLLET, 2002, 2004), e desta forma um grupo misto como apresentado poderia representar esta tendência. Esta possibilidade é apoiada pelas comparações entre categorias e sexo apresentadas a seguir.

O grupo 3º Tercil também apresentou menor duração da fase A, o que também está relacionado às adaptações observadas para alteração da coordenação no sentido da sobreposição. O fato desta diferença não ter sido observada nos grupos baseados na experiência também corrobora com observações de outros estudos, que afirmam que o critério determinante para alteração do modo de coordenação é a velocidade de nado (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000).

A tabela 10 apresenta a comparação das características das braçadas durante o teste de nado completo sem paraquedas entre cada sexo de acordo com os níveis de desempenho.

**Tabela 10 - Comparação das características das braçadas de cada sexo entre os níveis de desempenho durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	1º Tercil		3º Tercil		p		
	Feminino	Masculino	Feminino	Masculino	Grupo	Sexo	Int.
<b>A (%)</b>	23.920 ± 7.430	26.590 ± 6.760	23.660 ± 6.390	22.640 ± 6.960	0.147	0.568	0.203
<b>B (%)</b>	21.970 ± 5.200	22.820 ± 5.080	23.060 ± 3.830	24.050 ± 5.210	0.261	0.370	0.944
<b>C (%)</b>	25.090 ± 5.010	24.960 ± 3.950	21.790 ± 1.810	23.370 ± 3.640	0.003	0.360	0.283
<b>D (%)</b>	29.020 ± 7.980	25.630 ± 5.950	31.490 ± 5.590	29.930 ± 4.730	0.009	0.054	0.470
<b>IdC (%)</b>	-4.050 ± 7.050	-1.430 ± 6.380	-4.800 ± 5.370	-2.190 ± 6.240	0.569	0.049	0.998
<b>B+C (%)</b>	47.060 ± 8.800	47.780 ± 5.910	44.850 ± 4.620	47.420 ± 6.500	0.352	0.232	0.502
<b>Freq. (Hz)</b>	0.734 ± 0.158	0.853 ± 0.134	0.893 ± 0.086	0.933 ± 0.080	<0.001	0.002	0.112
<b>Comp. (m)</b>	1.435 ± 0.218	1.650 ± 0.285	1.867 ± 0.191	2.027 ± 0.201	<0.001	0.001	0.564
<b>Comp/Env</b>	0.893 ± 0.149	0.947 ± 0.161	1.136 ± 0.093	1.130 ± 0.092	<0.001	0.385	0.268
<b>SI (m<sup>2</sup>/s)</b>	1.483 ± 0.317	2.293 ± 0.527	3.095 ± 0.426	3.818 ± 0.503	<0.001	<0.001	0.653

A - Duração relativa da fase de agarre; B - Duração relativa da fase de puxada; C - Duração relativa da fase do empurrão; D - Duração relativa da fase de recuperação; IdC - Índice de Coordenação; B+C - Duração relativa da fase propulsiva; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; SI - *Stroke Index*

Nenhuma das variáveis analisadas apresentou interação significativa entre os fatores desempenho e sexo. As diferenças observadas para o "*main effect*" desempenho foram as mesmas observadas nas comparações independentes do sexo dos nadadores.

Para as comparações do "*main effect*" sexo, nas variáveis baseadas no índice de coordenação apenas o próprio índice de coordenação apresentou valores maiores para os homens, tal alteração já era prevista como mencionado anteriormente (SEIFERT; BOULESTEIX; CHOLLET, 2002, 2004). Os homens também apresentaram maior frequência de braçada, amplitude de braçada e *stroke index*, já os valores de amplitude normalizada pela envergadura não diferiram entre os sexos, isto pode indicar que parte do desempenho superior apresentado por homens para amplitude de braçada pode ser devido às características antropométricas.

A tabela 11 apresenta a comparação das características das braçadas durante o teste de nado completo sem paraquedas entre cada categoria de acordo com os níveis de desempenho.

**Tabela 11 - Comparação das características das braçadas de cada categoria entre os níveis de desempenho durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	1º Tercil		3º Tercil		p		
	Jovem	Adulto	Jovem	Adulto	Grupo	Categ.	Int.
<b>A (%)</b>	28.690 ± 6.550	25.030 ± 7.250	23.510 ± 6.110	22.110 ± 6.840	0.011	0.108	0.470
<b>B (%)</b>	18.970 ± 4.740	23.470 ± 5.030	22.370 ± 5.380	24.900 ± 4.530	0.031	0.002	0.375
<b>C (%)</b>	24.400 ± 3.130	24.620 ± 4.650	23.270 ± 3.250	23.000 ± 3.010	0.108	0.982	0.771
<b>D (%)</b>	27.950 ± 5.780	26.880 ± 7.310	30.850 ± 6.260	29.980 ± 5.220	0.037	0.496	0.943
<b>IdC (%)</b>	-5.890 ± 7.090	-2.010 ± 6.600	-4.480 ± 5.580	-1.330 ± 5.670	0.462	0.014	0.796
<b>B+C (%)</b>	43.360 ± 5.250	48.090 ± 7.570	45.640 ± 4.950	47.900 ± 6.110	0.477	0.019	0.402
<b>Freq. (Hz)</b>	0.839 ± 0.107	0.766 ± 0.149	0.921 ± 0.080	0.950 ± 0.095	<0.001	0.413	0.056
<b>Comp. (m)</b>	1.698 ± 0.252	1.497 ± 0.258	1.971 ± 0.224	1.924 ± 0.230	<0.001	0.027	0.166
<b>Comp/Env</b>	1.031 ± 0.156 <sup>A</sup>	0.913 ± 0.151	1.129 ± 0.100	1.099 ± 0.111 <sup>B</sup>	0.010	0.385	0.032
<b>SI (m<sup>2</sup>/s)</b>	2.405 ± 0.513 <sup>A</sup>	1.695 ± 0.437	3.555 ± 0.508 <sup>B</sup>	3.502 ± 0.605 <sup>B</sup>	<0.001	0.002	0.007

A - Duração relativa da fase de agarre; B - Duração relativa da fase de puxada; C - Duração relativa da fase do empurrão; D - Duração relativa da fase de recuperação; IdC - Índice de Coordenação; B+C - Duração relativa da fase propulsiva; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; SI - *Stroke Index*; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as categorias de um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho de uma categoria.

As variáveis *stroke index* e amplitude normalizada pela envergadura apresentaram interação significativa entre os fatores desempenho e categoria. Para o *stroke index* o grupo jovem foi melhor que o grupo adulto no 1º Tercil e ambas categorias foram melhores no 3º Tercil que no 1º Tercil. Com relação a amplitude normalizada o grupo jovem foi novamente melhor que o grupo adulto no 1º Tercil, porém apenas o grupo adulto apresentou diferença entre os níveis de desempenho.

Para o "*main effect*" desempenho as variáveis frequência de braçada e amplitude de braçada foram maiores para o 3º Tercil. A duração das fases B e D foram maiores para o 3º Tercil enquanto a duração da fase A foi menor.

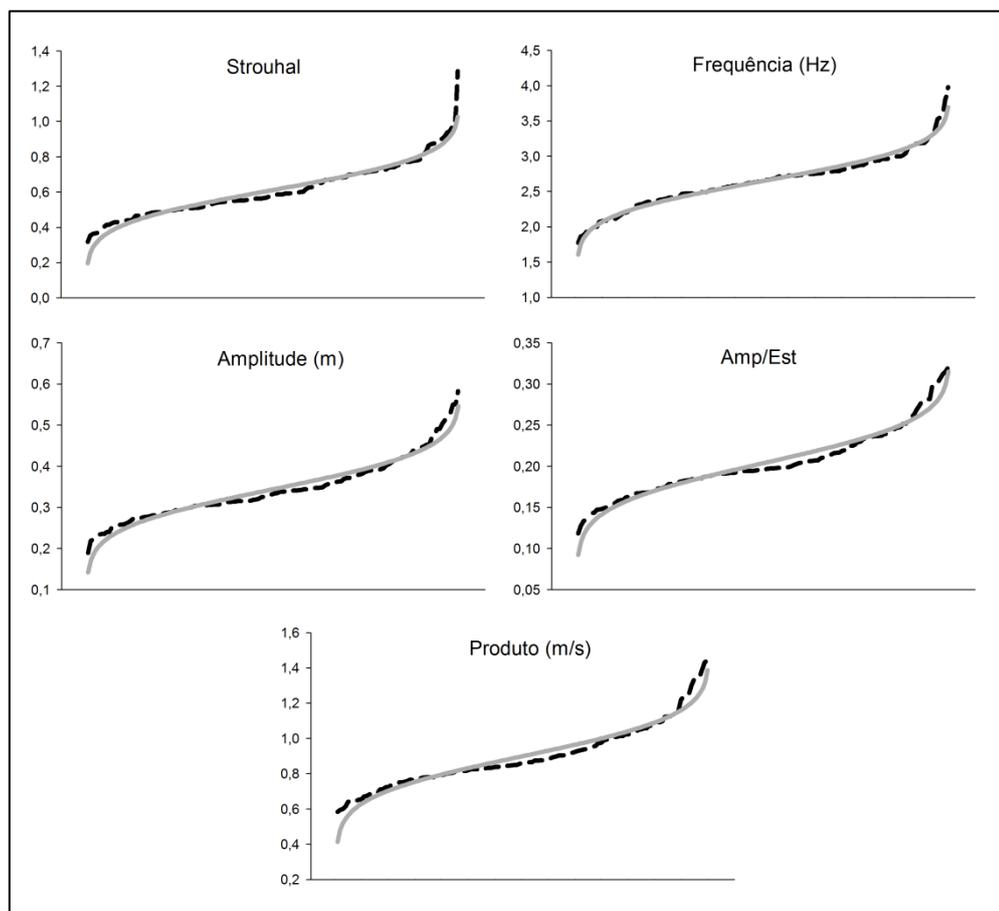
Para o "*main effect*" categoria houve um aumento da duração da fase B que resultou em uma maior duração da fase propulsiva (B+C) e um aumento do índice de coordenação, porém sem que houvesse uma transição clara para a sobreposição ao analisar as médias dos grupos.

A diferença entre idade e sexo na escolha do modo de coordenação reportadas na literatura puderam ser comprovadas pelas diferenças encontradas para os "*main effect*" sexo e categoria, revelando uma coordenação em Catch-up e mais negativa para os indivíduos e jovens e do sexo feminino (SEIFERT; BOULESTEIX; CHOLLET, 2002, 2004; SEIFERT; CHOLLET; BARDY, 2004). No

entanto, não foi observada uma característica de coordenação em sobreposição nem mesmo para os grupos de maior desempenho. Porém, em nenhuma análise foi possível isolar completamente os efeitos de sexo e categoria, o que pode justificar tal achado, em todas as comparações os grupos de maior desempenho tinham em sua composição indivíduos onde uma coordenação em Catch-up era esperada.

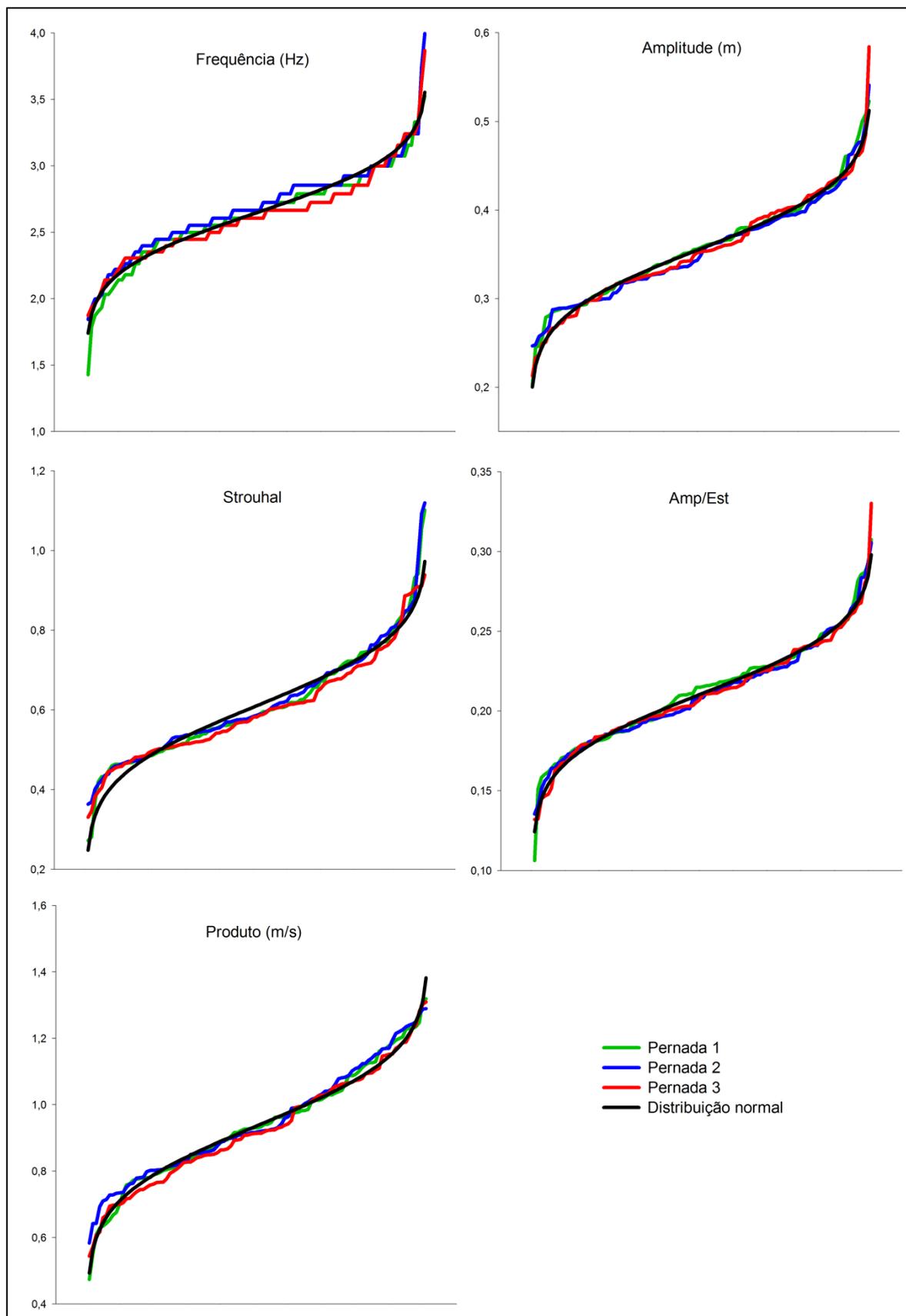
#### 4.2.3 Sobre as características das pernadas

As distribuições cumulativas das características médias das pernadas durante o teste de nado completo sem paraquedas são apresentadas na figura 39. Na figura 40 são apresentadas as distribuições cumulativas das características de cada pernada dentro de um ciclo de braçada para os voluntários que executavam 3 pernadas por ciclo.



Linha Pontilhada - Distribuição da variável; Linha Sólida - Distribuição normal com mesma média e desvio padrão; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura; Produto - Produto entre a frequência e a amplitude de pernada

**Figura 39 - Distribuição cumulativa das características das pernadas durante o teste de nado completo sem paraquedas**



Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Figura 40 - Distribuição cumulativa das características de cada pernada dentro de um ciclo de braçada durante o teste de nado completo sem paraquedas**

A tabela 12 apresenta a comparação das características médias das pernadas durante o teste de nado completo sem paraquedas entre os diferentes níveis de habilidade.

**Tabela 12 - Comparação das características das pernadas entre os níveis de habilidade durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	Experiência			Desempenho		
	Nacional	Recreativo	p	1º Tercil	3º Tercil	p
<b>Freq. (Hz)</b>	2.673 ± 0.316	2.600 ± 0.480	0.360	2.550 ± 0.438	2.734 ± 0.327	0.022
<b>Amp. (m)</b>	0.344 ± 0.085	0.349 ± 0.079	0.770	0.340 ± 0.065	0.355 ± 0.082	0.351
<b>Produto (m/s)</b>	0.914 ± 0.221	0.878 ± 0.159	0.319	0.840 ± 0.113	0.961 ± 0.207	<0.001
<b>Amp/Est</b>	0.201 ± 0.047	0.209 ± 0.044	0.308	0.207 ± 0.037	0.206 ± 0.046	0.946
<b>Strouhal</b>	0.521 ± 0.109	0.707 ± 0.156	<0.001	0.734 ± 0.151	0.531 ± 0.108	<0.001

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura.

O número de Strouhal apresentou um valor menor para os grupos de maior experiência e desempenho. O valor apresentado é superior ao valor teórico previsto para interação estável entre os vórtices (ELOY, 2012; OHASHI; ISHIKAWA, 1972; TRIANTAFYLLOU; TRIANTAFYLLOU; GOPALKRISHNAN, 1991; VON KÁRMÁN, 1911), ao observado para animais (ELOY, 2012; TAYLOR; NUDDS; THOMAS, 2003) e ao utilizados para maximizar a eficiência propulsiva de um fólio (OHASHI; ISHIKAWA, 1972; SCHOUVEILER; HOVER; TRIANTAFYLLOU, 2005). No entanto, os valores já observados para nado submerso com monofin também não atingiam esta janela ótima baseada no número de Strouhal e mesmo assim um menor número de Strouhal foi relacionado a um melhor desempenho de prova (NICOLAS et al., 2007).

É importante ressaltar que as condições do escoamento em nado crawl são completamente diferentes das mencionadas anteriormente. Em todos estes casos, o corpo em análise está completamente imerso no fluido em questão, enquanto durante o nado os indivíduos estão na interfase ar-água. Além disso para o caso do nado crawl existe um outro sistema de geração de vórtices com o qual o nadador pode interagir, a ação dos membros superiores (MATSUUCHI et al., 2009; TAKAGI et al., 2015).

Estas diferenças podem fazer com que o valor ótimo para interação com os vórtices não ocorra na janela entre 0,2 e 0,4. O fato dos exemplos na natureza e na

engenharia mencionados anteriormente convergirem para esta janela é devido a similaridade das condições de escoamento (escoamento sobre corpos completamente imersos e em altos valores de número de Reynolds) e não a um comportamento esperado para análise dimensional. Na verdade a idéia central de uma análise dimensional é identificar experimentalmente o comportamento de um determinado fenômeno em função do agrupamento adimensional, sendo que diferentes fenômenos se comportariam de maneira diferentes para um mesmo grupo adimensional (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

O comportamento do número de Strouhal para os nadadores deste estudo foi apresentado na figura 39. É possível identificar que embora a curva tenha sido aparentemente normal, houve desvios de probabilidade para os valores extremos.

Os maiores valores excederam aqueles preditos pela distribuição da variável, sendo que este comportamento não foi observado para as variáveis que compõe o número de Strouhal. Isso significa que aqueles indivíduos que apresentaram as menores velocidade durante os testes também foram aqueles que apresentaram as configurações menos efetivas entre frequência e amplitude de pernada. Se este comportamento fosse aleatório era esperado que estes valores se ajustariam a redor da média não causando desvios maiores que aqueles observados para as variáveis constituintes, embora não tenha sido possível testar a significância estatística para este desvio da aleatoriedade.

Os menores valores da distribuição ocorreram em menor quantidade do que esperado. Este efeito poderia ocorrer por uma restrição do número de Strouhal ou pela ausência de nadadores mais habilidosos na amostra. De fato, nadadores de elite mundial apresentam velocidades superiores às observadas para esta amostra e portanto seria esperado que seus número de Strouhal seriam menores, embora não seja possível afirmar se eles se enquadrariam na distribuição prevista.

Também é possível observar que existe um platô na distribuição próximo ao valores apresentados pelos grupos de maior experiência e desempenho ( $St \sim 0.5$ ), isto poderia sinalizar para uma possível intencionalidade em produzir esta faixa de valores de Strouhal, embora novamente nenhuma inferência estatística pôde ser feita a este respeito. A comparação de distribuições de Kolmogorov-Smirnov demonstrou que estes desvios forma suficientes para alterar a normalidade dos dados ( $KS\_dist = 0.101$ ;  $p < 0.001$ ) e embora os picos do resíduo tenham ocorrido

próximos a 0.5 e a 0.95, este teste não permite inferir sobre pontos específicos da distribuição.

Ainda sobre a possível intencionalidade do ajuste para  $St \sim 0.5$ , o fato deste valor estar próximo dos limites mínimos da distribuição não deixa claro se este ajuste estaria direcionado para o menor valor possível ou se para valores próximos a 0.5.

A respeito do efeito da velocidade mencionado anteriormente, como o denominador do número de Strouhal é a velocidade característica, um aumento da velocidade representa uma redução do número de Strouhal. Assim a variação do número de Strouhal poderia ser apenas um efeito da velocidade, sem que houvesse para isso um ajuste de frequência ou amplitude de pernada, que constituem o numerador do número de Strouhal. No entanto o produto destas variáveis foi significativamente maior para os nadadores do 3º Tercil de desempenho, desta forma, para este grupo, a redução observada do número de Strouhal foi controlada pelo ajuste de sua técnica, o que poderia indicar que estes nadadores não buscavam o menor valor possível de número de Strouhal, mas sim atingir valores em torno de 0.5.

O mesmo não ocorreu para o indivíduos do grupo nacional. Uma possível explicação para este resultado seria que o fator crítico para mudança da coordenação seria a velocidade absoluta de nado, como já foi observado para o índice de coordenação (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000; SEIFERT; CHOLLET; BARDY, 2004). Nesta hipótese, o aumento exponencial da resistência associado ao aumento da velocidade obrigaria o nadador a adotar um modo de coordenação diferente, e para menores velocidades, mesmos os nadadores mais experientes, não necessitariam deste ajuste.

Observando a frequência e amplitude de pernada de forma isolada, apenas a frequência de pernada do 3º Tercil foi superior à do 1º Tercil, não sendo observada diferença entre os grupos de experiência. Isto ocorreu apesar de a frequência de braçada ter sido significativamente maior tanto para o grupo nacional quanto para o 3º Tercil. Como a coordenação de pernas é tradicionalmente avaliada como uma função do ciclo de braçada (COUNSILMAN, 1971b; MAGLISCHO, 1999), seria esperado que um aumento da frequência de braçada acarretaria obrigatoriamente em um aumento da frequência de pernada.

Não foram observadas alterações entre os grupos na amplitude de pernada ou na amplitude normalizada pela estatura. Este resultado sugere que uma

amplitude de pernada ideal é adquirida nos estágios iniciais da aprendizagem do nado crawl, e que esta amplitude também parece estar ligada a estatura do nadador. Este ajuste da amplitude em função de um comprimento característico também é observado para peixes; (BAINBRIDGE, 1957), e em valores próximos aos encontrados para o nado submerso (ARELLANO; PARDILLO; GAVILÁN, 2003, 2002). Uma possível explicação para esta convergência precoce para amplitude normalizada pela estatura seria um feedback fornecido pelo próprio escoamento na forma de um ajuste sinestésico, quanto maior a amplitude de pernada maior a resistência do escoamento ao movimento da perna (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004; NICOLAS et al., 2007).

As tabelas 13 e 14 apresentam a comparação das características médias da pernada durante o teste de nado completo sem paraquedas entre cada categoria e sexo de acordo com os níveis de desempenho.

**Tabela 13 - Comparação das características das pernadas de cada sexo entre os níveis de desempenho durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	1º Tercil		3º Tercil		p		
	Feminino	Masculino	Feminino	Masculino	Grupo	Sexo	Int.
<b>Freq. (Hz)</b>	2.396 ± 0.360	2.632 ± 0.430	2.678 ± 0.282	2.721 ± 0.275	0.012	0.056	0.181
<b>Amp. (m)</b>	0.348 ± 0.053	0.359 ± 0.083	0.327 ± 0.077	0.362 ± 0.083	0.369	0.172	0.450
<b>Produto (m/s)</b>	0.820 ± 0.088	0.932 ± 0.166	0.872 ± 0.204	0.978 ± 0.214	0.198	0.005	0.937
<b>Amp/Est</b>	0.219 ± 0.036	0.210 ± 0.047	0.200 ± 0.043	0.206 ± 0.046	0.228	0.874	0.417
<b>Strouhal</b>	0.826 ± 0.154 <sup>AB</sup>	0.685 ± 0.128 <sup>B</sup>	0.527 ± 0.116	0.520 ± 0.104	<0.001	0.005	0.012

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as categorias de um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho de uma categoria.

**Tabela 14 - Comparação das características das pernadas de cada categoria entre os níveis de desempenho durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	1º Tercil		3º Tercil		p		
	Jovem	Adulto	Jovem	Adulto	Grupo	Categ.	Int.
<b>Freq. (Hz)</b>	2.522 ± 0.393	2.552 ± 0.447	2.672 ± 0.334	2.779 ± 0.348	0.033	0.434	0.664
<b>Amp. (m)</b>	0.309 ± 0.063	0.337 ± 0.058	0.366 ± 0.104	0.351 ± 0.071	0.042	0.604	0.152
<b>Produto (m/s)</b>	0.763 ± 0.097	0.844 ± 0.107	0.962 ± 0.240	0.969 ± 0.198	0.244	<0.001	0.328
<b>Amp/Est</b>	0.188 ± 0.033	0.207 ± 0.037	0.215 ± 0.062	0.203 ± 0.037	0.217	0.710	0.083
<b>Strouhal</b>	0.547 ± 0.084	0.775 ± 0.150 <sup>AB</sup>	0.537 ± 0.129	0.536 ± 0.104	<0.001	<0.001	<0.001

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as categorias de um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho de uma categoria.

O número de Strouhal apresentou interação significativa do desempenho tanto para o sexo quanto para a categoria. O sexo ou a categoria do nadador só influenciavam a resposta do número de Strouhal para os níveis de menor desempenho. Desta forma, parece que o sexo e a categoria não influenciam a seleção de uma determinada faixa de número de Strouhal.

Nenhuma outra variável apresentou interação significativa entre os fatores. Para o "*main effect*" sexo, o produto da frequência pela amplitude de pernada foi significativamente maior para os homens. Este mesmo parâmetro também apresentou diferença na comparação do "*main effect*" categoria, sendo maior para os adultos. O fato desta diferença não ter sido influenciada pelo "*main effect*" desempenho indica que esta não foi uma tentativa deliberada de controle do número de Strouhal mas devida as diferenças entre os sexos ou categorias já observadas anteriormente. O aumento do produto da frequência pela amplitude de pernada indica um aumento da potência necessária para a pernada devido ao aumento da velocidade e conseqüentemente da resistência hidrodinâmica, desta forma a maior capacidade de potência muscular esperada para homens e adultos seria uma provável causa para esta diferença (KJENDLIE; STALLMAN, 2008).

A tabela 15 apresenta a comparação das características da sequência temporal de pernadas durante o teste de nado completo sem paraquedas entre os diferentes níveis de desempenho para os indivíduos que utilizam 3 pernadas por ciclo de braçada.

**Tabela 15 - Comparação das características de cada pernada de um ciclo de braçada entre os níveis de desempenho durante o teste de nado completo sem paraquedas de acordo com a sequência temporal**

		Freq. (Hz)	Amp. (m)	Produto (m/s)	Amp/Est	Strouhal
	<b>Pernada 1</b>	2.443 ± 0.338	0.372 ± 0.063	0.904 ± 0.177	0.227 ± 0.033	0.738 ± 0.157
<b>1º Tercil</b>	<b>Pernada 2</b>	2.528 ± 0.365	0.362 ± 0.060	0.907 ± 0.165	0.221 ± 0.032	0.741 ± 0.151
	<b>Pernada 3</b>	2.474 ± 0.323	0.358 ± 0.070	0.873 ± 0.153	0.218 ± 0.037	0.713 ± 0.138
	<b>Pernada 1</b>	2.775 ± 0.326	0.350 ± 0.059	0.968 ± 0.184	0.203 ± 0.035	0.533 ± 0.105
<b>3º Tercil</b>	<b>Pernada 2</b>	2.800 ± 0.236	0.353 ± 0.052	0.986 ± 0.159	0.205 ± 0.029	0.543 ± 0.095
	<b>Pernada 3</b>	2.760 ± 0.312	0.356 ± 0.055	0.980 ± 0.171	0.207 ± 0.030	0.538 ± 0.094
	<b>Desemp.</b>	<0.001	0.389	0.029	0.015	<0.001
<b>p</b>	<b>Pernada</b>	0.296	0.750	0.439	0.682	0.275
	<b>Interação</b>	0.715	0.237	0.397	0.228	0.307

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; Desemp. – Nível de desempenho.

Apenas a amplitude de pernada normalizada pela estatura apresentou um comportamento diferente do observado para a comparação das características médias das pernas. É importante ressaltar que quaisquer diferenças observadas nestas comparações não são efeito apenas da variabilidade adicional entre pernas, mas também de uma estratificação adicional da amostra, pois para possibilitar que tais comparações fossem feitas, apenas os nadadores que adotavam uma coordenação de 3 pernas por ciclo de braçada compuseram este subgrupo de análise.

A amplitude de pernada normalizada pela estatura foi menor para os nadadores do 3º Tercil de desempenho. Embora não tenham sido encontrados valores de referência desta variável para o nado crawl, os valores de ambos os grupos são próximos aqueles observados para animais aquáticos (BAINBRIDGE, 1957). Esta alteração poderia estar relacionada a uma tentativa de controle do número de Strouhal como mencionado anteriormente. A frequência de pernada foi aumentada devido ao aumento da frequência de braçada e a manutenção da coordenação de 3 pernas por ciclo de braçada, sendo assim necessária uma redução da amplitude pernada para controlar o aumento do produto entre frequência e amplitude de pernada e dessa forma manter o número de Strouhal na faixa desejada.

A tabela 16 apresenta a comparação das características da sequência temporal de pernas durante o teste de nado completo sem paraquedas entre os diferentes níveis de experiência para os indivíduos que utilizam 3 pernas por ciclo de braçada.

**Tabela 16 - Comparação das características de cada pernada de um ciclo de braçada entre os níveis de experiência durante o teste de nado completo sem paraquedas de acordo com a sequência temporal**

		Freq. (Hz)	Amp. (m)	Produto (m/s)	Amp/Est	Strouhal
<b>Nacional</b>	<b>Pernada 1</b>	2.694 ± 0.341	0.344 ± 0.059	0.926 ± 0.193	0.201 ± 0.034	0.527 ± 0.104
	<b>Pernada 2</b>	2.744 ± 0.265	0.339 ± 0.052	0.929 ± 0.163	0.198 ± 0.029	0.530 ± 0.090
	<b>Pernada 3</b>	2.681 ± 0.319	0.341 ± 0.053	0.914 ± 0.180	0.199 ± 0.028	0.519 ± 0.089
<b>Recreativo</b>	<b>Pernada 1</b>	2.505 ± 0.386	0.378 ± 0.067	0.938 ± 0.175	0.229 ± 0.036	0.724 ± 0.150
	<b>Pernada 2</b>	2.572 ± 0.457	0.368 ± 0.068	0.934 ± 0.170	0.223 ± 0.036	0.722 ± 0.150
	<b>Pernada 3</b>	2.509 ± 0.374	0.370 ± 0.077	0.916 ± 0.175	0.224 ± 0.040	0.706 ± 0.135
	<b>Grupo</b>	0.013	0.022	0.869	p<0.001	<0.001
<b>p</b>	<b>Pernada</b>	0.202	0.387	0.441	0.356	0.289
	<b>Interação</b>	0.970	0.891	0.942	0.881	0.865

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura.

Nesta comparação as variáveis frequência de pernada, amplitude de pernada e amplitude de pernada normalizada pela estatura apresentaram diferenças entre os grupos, um comportamento diferente do observado quando considerados os valores médios destas variáveis.

Como mencionado anteriormente o aumento da frequência de pernada era previsto, uma vez que o aumento da frequência de braçada já havia sido verificado para estes mesmos grupos. Desta forma a não ocorrência desta diferença quando observado os parâmetros médios provavelmente foi devido a diferente distribuição entre os grupos de indivíduos com padrões de coordenação diferentes de 3 pernadas por ciclo. As alterações dos parâmetros de amplitude de pernada seriam então consequência de prováveis tentativas de controle do número de Strouhal como mencionado anteriormente.

Mesmo com as diferenças observadas individualmente entre frequência e amplitude de pernada o produto entre elas novamente não foi diferente entre os grupos, sustentando a hipótese de que o parâmetro crítico para alteração da técnica seja a velocidade e não o nível de habilidade do nadador.

A tabela 17 apresenta a comparação das características individuais das pernadas ordenada pelo número de Strouhal durante o teste de nado completo sem paraquedas entre os diferentes níveis de desempenho para os indivíduos que utilizam 3 pernadas por ciclo de braçada.

**Tabela 17 - Comparação das características de cada pernada de um ciclo de braçada entre os níveis de desempenho durante o teste de nado completo sem paraquedas de acordo com o número de Strouhal**

		Freq. (Hz)	Amp. (m)	Produto (m/s)	Amp/Est	Strouhal
	<b>Pernada 1</b>	2.514 ± 0.308	0.383 ± 0.061	0.958 ± 0.171	0.234 ± 0.032	0.783 ± 0.160
<b>1º Tercil</b>	<b>Pernada 2</b>	2.479 ± 0.365	0.367 ± 0.068	0.899 ± 0.160	0.224 ± 0.034	0.733 ± 0.139
	<b>Pernada 3</b>	2.452 ± 0.354	0.342 ± 0.058	0.829 ± 0.139	0.209 ± 0.032	0.676 ± 0.125
	<b>Pernada 1</b>	2.848 ± 0.249	0.372 ± 0.056	1.058 ± 0.168	0.216 ± 0.031	0.582 ± 0.096
<b>3º Tercil</b>	<b>Pernada 2</b>	2.735 ± 0.217	0.359 ± 0.053	0.979 ± 0.149	0.209 ± 0.031	0.539 ± 0.087
	<b>Pernada 3</b>	2.752 ± 0.378	0.327 ± 0.048	0.897 ± 0.158	0.190 ± 0.026	0.493 ± 0.090
	<b>Desemp.</b>	<0.001	0.389	0.029	0.015	p<0.001
<b>p</b>	<b>Pernada</b>	0.062	<0.001 <sup>ABC</sup>	<0.001 <sup>ABC</sup>	<0.001 <sup>ABC</sup>	<0.001 <sup>ABC</sup>
	<b>Interação</b>	0.573	0.801	0.208	0.805	0.316

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; Desemp. - Nível de desempenho; <sup>A</sup> - Diferença entre as pernadas 1 e 3; <sup>B</sup> - Diferença entre as pernadas 1 e 2; <sup>C</sup> - Diferença entre as pernadas 2 e 3.

Na comparação dos grupos de desempenho nas variáveis das pernadas ordenadas pelo número de Strouhal apenas a frequência de pernada não apresentou diferenças significativas para o "*main effect*" pernadas. Nenhuma das variáveis apresentou interação significativa entre os fatores.

A tabela 18 apresenta a comparação das características individuais das pernadas ordenada pelo número de Strouhal durante o teste de nado completo sem paraquedas entre os diferentes níveis de experiência para os indivíduos que utilizam 3 pernadas por ciclo de braçada.

**Tabela 18 - Comparação das características de cada pernada de um ciclo de braçada entre os níveis de experiência durante o teste de nado completo sem paraquedas de acordo com o número de Strouhal**

		Freq. (Hz)	Amp. (m)	Produto (m/s)	Amp/Est	Strouhal
<b>Nacional</b>	<b>Pernada 1</b>	2.819 ± 0.256	0.356 ± 0.055	1.003 ± 0.181	0.208 ± 0.031	0.571 ± 0.094
	<b>Pernada 2</b>	2.647 ± 0.253	0.348 ± 0.054	0.919 ± 0.154	0.203 ± 0.030	0.523 ± 0.080
	<b>Pernada 3</b>	2.653 ± 0.376	0.320 ± 0.049	0.847 ± 0.166	0.186 ± 0.026	0.481 ± 0.087
<b>Recreativo</b>	<b>Pernada 1</b>	2.579 ± 0.365	0.390 ± 0.070	0.995 ± 0.172	0.236 ± 0.036	0.769 ± 0.154
	<b>Pernada 2</b>	2.516 ± 0.382	0.375 ± 0.068	0.934 ± 0.169	0.227 ± 0.034	0.720 ± 0.137
	<b>Pernada 3</b>	2.492 ± 0.466	0.351 ± 0.069	0.859 ± 0.150	0.213 ± 0.038	0.663 ± 0.123
	<b>Grupo</b>	0.013	0.022	0.869	<0.001	<0.001
<b>p</b>	<b>Pernada</b>	<0.001 <sup>AB</sup>	<0.001 <sup>ABC</sup>	<0.001 <sup>ABC</sup>	<0.001 <sup>ABC</sup>	<0.001 <sup>ABC</sup>
	<b>Interação</b>	0.327	0.739	0.337	0.69	0.246

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; Desemp. – Nível de desempenho; <sup>A</sup> – Diferença entre as pernadas 1 e 3; <sup>B</sup> – Diferença entre as pernadas 1 e 2; <sup>C</sup> – Diferença entre as pernadas 2 e 3.

Os resultados apresentados na comparação entre os níveis de experiência foram semelhantes aos observados na comparação em função do desempenho, à exceção da diferença entre a frequência de pernada observada para o "*main effect*" pernadas.

As diferenças encontradas entre as pernadas para ambas as comparações indicam que as pernadas dentro de uma mesmo ciclo tem características distintas e por isso poderiam exercer funções distintas, esse comportamento é esperado visto que a posição dos segmentos corporais e a velocidade do escoamento variam dentro do ciclo e portanto para exercer funções de propulsão, sustentação ou equilíbrio as pernadas deveriam se adaptar a estas condições (MAGLISCHO, 1999). No entanto o fato destas diferenças não terem sido observadas na sequência temporal de utilização das pernadas indicam que as pernadas de maior e menor número de Strouhal não ocorriam na mesma fase do ciclo de braçada entre os indivíduos.

Além da diferença da posição relativa das pernadas de maior e menor número de Strouhal, o fato de não ter havido interação significativa entre este fator e o nível de desempenho ou experiência indica que ou esta coordenação ocorre de maneira aleatória ou que ela seja adquirida nos estágios iniciais da aprendizagem do nado.

Um fator que poderia ser responsável pela não identificação das diferenças entre as pernadas quando estas são analisadas em sua sequência temporal seria a

heterogeneidade da amostra em relação à categoria e sexo dos nadadores, no entanto, nas comparações das características individuais das pernada em relação ao sexo e a categoria, também não foi observada nenhuma interação significativa e os "main effects" observados foram os mesmos já relatados.

#### 4.2.4 Sobre a coordenação entre membros

Os resultados das comparações de distribuição de ocorrência dos modos de coordenação analisados são apresentados nas tabelas 19 a 25.

**Tabela 19 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação do índice de coordenação entre as categorias, sexos e níveis de habilidade para o teste de nado completo sem paraquedas**

Modo_IdC	Catch-up	Oposição	Sobreposição	p	p	p
<b>Fixo</b>	33.33	33.33	33.33			
<b>Geral</b>	60.00	18.57	21.43	<0.001		
<b>T1</b>	54.17	20.83	25.00	0.009	0.740	
<b>T3</b>	59.57	14.89	25.53	<0.001		
<b>Recreativo</b>	55.74	19.67	24.59	0.001	0.263	
<b>Nacional</b>	70.59	13.73	15.69	<0.001		
<b>T1F</b>	60.00	25.00	15.00	0.035	T1F x T3F	T1F x T1M
<b>T1M</b>	44.44	25.93	29.63	0.459	0.562	0.433
<b>T3F</b>	70.00	25.00	5.00	0.001	T1M x T3M	T3F x T3M
<b>T3M</b>	55.56	14.81	29.63	0.032	0.562	0.077
<b>T1J</b>	71.43	14.29	14.29	0.010	T1J x T3J	T1J x T1A
<b>T1A</b>	48.57	25.71	25.71	0.161	0.846	0.264
<b>T3J</b>	76.92	7.69	15.38	0.004	T1A x T3A	T3J x T3A
<b>T3A</b>	51.43	20.00	28.57	0.063	0.847	0.176

IdC – Índice de Coordenação; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil; T1F – 1º Tercil Feminino; T1M – 1º Tercil Masculino; T3F – 3º Tercil Feminino; T3M – 3º Tercil Masculino; T1J – 1º Tercil Jovens; T1A – 1º Tercil Adultos; T3J – 3º Tercil Jovens; T3A – 3º Tercil Adultos.

**Tabela 20 – Comparação das ocorrências do número de pernadas por ciclo entre as categorias, sexos e níveis de habilidade para o teste de nado completo sem paraquedas**

N pernadas	2	3	4+	p <sub>fixo</sub>	p	p
<b>Fixo</b>	33.33	33.33	33.33			
<b>Geral</b>	8.63	77.70	13.67	<0.001		
<b>T1</b>	6.25	64.58	29.17	<0.001	0.001	
<b>T3</b>	12.77	85.11	2.13	<0.001		
<b>Recreativo</b>	11.48	59.02	29.05	<0.001	<0.001	
<b>Nacional</b>	8.00	90.00	2.00	<0.001		
<b>T1F</b>	0.00	65.00	35.00	0.002	T1F x T3F	T1F x T1M
<b>T1M</b>	14.81	59.26	25.93	0.013	0.014	0.145
<b>T3F</b>	0.00	100.00	0.00	<0.001	T1M x T3M	T3F x T3M
<b>T3M</b>	11.11	88.89	0.00	<0.001	0.013	0.251
<b>T1J</b>	14.29	71.42	14.29	0.010	T1J x T3J	T1J x T1A
<b>T1A</b>	0.00	62.86	37.14	<0.001	0.359	0.047
<b>T3J</b>	15.38	84.62	0.00	<0.001	T1A x T3A	T3J x T3A
<b>T3A</b>	11.43	85.71	2.86	<0.001	p<0.001	0.661

N pernada – Número de pernadas por ciclo; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil; T1F – 1º Tercil Feminino; T1M – 1º Tercil Masculino; T3F – 3º Tercil Feminino; T3M – 3º Tercil Masculino; T1J – 1º Tercil Jovens; T1A – 1º Tercil Adultos; T3J – 3º Tercil Jovens; T3A – 3º Tercil Adultos.

**Tabela 21 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da frequência relativa entre as categorias, sexos e níveis de habilidade para o teste de nado completo sem paraquedas**

Freq Relativa	Atrasado	Sincronizado	Adiantado	p <sub>fixo</sub>	p <sub>prop</sub>	p	p
<b>Fixo</b>	33.33	33.33	33.33				
<b>Prop.</b>	42.50	15.00	42.50				
<b>Geral</b>	33.09	33.09	33.81	0.993	<0.001		
<b>T1</b>	43.75	22.92	33.33	0.210	0.226	0.046	
<b>T3</b>	21.28	40.43	38.30	0.212	<0.001		
<b>Recreativo</b>	42.62	26.23	31.15	0.274	0.031	0.010	
<b>Nacional</b>	18.00	48.00	34.00	0.034	<0.001		
<b>T1F</b>	45.00	20.00	35.00	0.387	0.731	T1F x T3F	T1F x T1M
<b>T1M</b>	40.74	22.22	37.04	0.459	0.563	0.366	0.956
<b>T3F</b>	30.00	40.00	30.00	0.819	0.007	T1M x T3M	T3F x T3M
<b>T3M</b>	18.52	48.15	33.33	0.169	<0.001	0.087	0.652
<b>T1J</b>	35.71	35.71	28.57	0.931	0.091	T1J x T3J	T1J x T1A
<b>T1A</b>	51.43	17.14	31.43	0.044	0.412	0.211	0.313
<b>T3J</b>	7.69	53.85	38.46	0.116	<0.001	T1A x T3A	T3J x T3A
<b>T3A</b>	25.71	37.14	37.14	0.633	0.001	0.057	0.215

Freq Relativa – Frequência Relativa; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil; T1F – 1º Tercil Feminino; T1M – 1º Tercil Masculino; T3F – 3º Tercil Feminino; T3M – 3º Tercil Masculino; T1J – 1º Tercil Jovens; T1A – 1º Tercil Adultos; T3J – 3º Tercil Jovens; T3A – 3º Tercil Adultos.

**Tabela 22 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da fase entre membros no momento A entre as categorias, sexos e níveis de habilidade para o teste de nado completo sem paraquedas**

Fase perna A	Em fase (asc.)	Em fase (desc.)	Fora de Fase (asc.)	Fora de Fase (desc.)	p <sub>fixo</sub>	p <sub>prop</sub>	p	p
<b>Fixo</b>	25.00	25.00	25.00	25.00				
<b>Prop.</b>	11.76	11.76	38.24	38.24				
<b>Geral</b>	8.21	8.21	47.76	35.82	<0.001	0.100		
<b>T1</b>	4.17	8.33	35.42	52.08	<0.001	0.149	0.063	
<b>T3</b>	9.30	9.30	55.81	25.58	<0.001	0.126		
<b>Recreativo</b>	3.28	8.20	37.70	50.82	<0.001	0.075	<0.001	
<b>Nacional</b>	13.33	13.33	60.00	13.33	<0.001	0.005		
<b>T1F</b>	5.00	5.00	35.00	55.00	0.002	0.380	T1F x T3F	T1F x T1M
<b>T1M</b>	3.70	11.11	48.15	37.04	0.002	0.532	0.437	0.593
<b>T3F</b>	5.26	15.79	47.37	31.58	0.052	0.664	T1M x T3M	T3F x T3M
<b>T3M</b>	12.50	0.00	62.50	25.00	<0.001	0.054	0.162	0.200
<b>T1J</b>	7.14	0.00	50.00	42.86	0.014	0.478	T1J x T3J	T1J x T1A
<b>T1A</b>	5.71	11.43	34.29	48.57	0.001	0.530	0.312	0.303
<b>T3J</b>	11.11	0.00	77.78	11.11	0.003	0.091	T1A x T3A	T3J x T3A
<b>T3A</b>	8.57	11.43	51.43	28.57	0.001	0.431	0.360	0.141

Fase Perna A – Fase da perna no momento A do Índice de Coordenação; asc. – Ascendente; desc. – Descendente; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil; T1F – 1º Tercil Feminino; T1M – 1º Tercil Masculino; T3F – 3º Tercil Feminino; T3M – 3º Tercil Masculino; T1J – 1º Tercil Jovens; T1A – 1º Tercil Adultos; T3J – 3º Tercil Jovens; T3A – 3º Tercil Adultos.

**Tabela 23 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da fase entre membros no momento B entre as categorias, sexos e níveis de habilidade para o teste de nado completo sem paraquedas**

Fase perna B	Em fase (asc.)	Em fase (desc.)	Fora de Fase (asc.)	Fora de Fase (desc.)	p <sub>fixo</sub>	p <sub>prop</sub>	p	p
<b>Fixo</b>	25.00	25.00	25.00	25.00				
<b>Prop.</b>	11.76	11.76	38.24	38.24				
<b>Geral</b>	7.46	11.94	49.25	31.34	<0.001	0.046		
<b>T1</b>	4.17	8.33	54.17	33.33	<0.001	0.097	0.379	
<b>T3</b>	11.63	13.95	44.19	30.23	0.007	0.730		
<b>Recreativo</b>	6.56	11.48	52.46	29.51	<0.001	0.119	0.865	
<b>Nacional</b>	8.89	13.33	44.44	33.33	0.002	0.766		
<b>T1F</b>	0.00	15.00	55.00	30.00	0.004	0.226	T1F x T3F	T1F x T1M
<b>T1M</b>	7.41	7.41	55.56	29.63	0.001	0.320	0.671	0.504
<b>T3F</b>	5.26	15.79	42.11	36.84	0.075	0.794	T1M x T3M	T3F x T3M
<b>T3M</b>	8.33	16.67	45.83	29.17	0.053	0.657	0.718	0.945
<b>T1J</b>	7.14	0.00	57.14	35.71	0.008	0.358	T1J x T3J	T1J x T1A
<b>T1A</b>	5.71	8.57	57.14	28.57	<0.001	0.138	0.395	0.506
<b>T3J</b>	11.11	11.11	55.56	22.22	0.189	0.725	T1A x T3A	T3J x T3A
<b>T3A</b>	11.43	14.29	40.00	34.29	0.036	0.947	0.492	0.771

Fase Perna B – Fase da pernada no momento B do Índice de Coordenação; asc. – Ascendente; desc. – Descendente; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil; T1F – 1º Tercil Feminino; T1M – 1º Tercil Masculino; T3F – 3º Tercil Feminino; T3M – 3º Tercil Masculino; T1J – 1º Tercil Jovens; T1A – 1º Tercil Adultos; T3J – 3º Tercil Jovens; T3A – 3º Tercil Adultos.

**Tabela 24 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da fase entre membros no momento C entre as categorias, sexos e níveis de habilidade para o teste de nado completo sem paraquedas**

Fase perna C	Em fase (asc.)	Em fase (desc.)	Fora de Fase (asc.)	Fora de Fase (desc.)	P <sub>fixo</sub>	P <sub>prop</sub>	p	p
<b>Fixo</b>	25.00	25.00	25.00	25.00				
<b>Prop</b>	11.76	11.76	38.24	38.24				
<b>Geral</b>	7.46	19.40	28.36	44.78	<0.001	0.003		
<b>T1</b>	8.33	14.58	33.33	43.75	0.001	0.685	0.397	
<b>T3</b>	4.65	25.58	23.26	46.51	0.002	0.007		
<b>Recreativo</b>	6.56	13.11	34.43	45.90	<0.001	0.446	0.214	
<b>Nacional</b>	6.67	26.67	20.00	46.67	0.002	0.003		
<b>T1F</b>	5.00	20.00	35.00	40.00	0.112	0.572	T1F x T3F	T1F x T1M
<b>T1M</b>	11.11	14.81	29.63	44.44	0.057	0.796	0.521	0.829
<b>T3F</b>	10.53	36.84	21.05	31.58	0.376	0.008	T1M x T3M	T3F x T3M
<b>T3M</b>	0.00	20.83	33.33	45.83	0.012	0.171	0.368	0.331
<b>T1J</b>	0.00	28.57	14.29	57.14	0.019	0.038	T1J x T3J	T1J x T1A
<b>T1A</b>	8.57	11.43	40.00	40.00	0.005	0.948	0.284	0.054
<b>T3J</b>	0.00	11.11	44.44	44.44	0.129	0.743	T1A x T3A	T3J x T3A
<b>T3A</b>	8.57	31.43	17.14	42.86	0.021	0.001	0.090	0.207

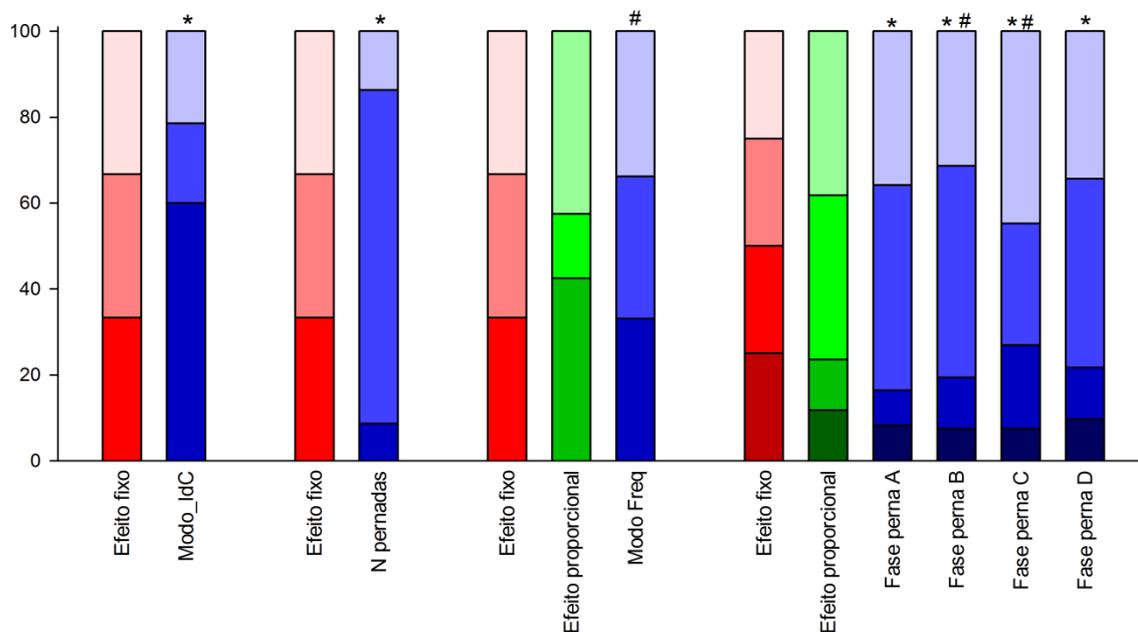
Fase Perna C – Fase da pernada no momento C do Índice de Coordenação; asc. – Ascendente; desc. – Descendente; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil; T1F – 1º Tercil Feminino; T1M – 1º Tercil Masculino; T3F – 3º Tercil Feminino; T3M – 3º Tercil Masculino; T1J – 1º Tercil Jovens; T1A – 1º Tercil Adultos; T3J – 3º Tercil Jovens; T3A – 3º Tercil Adultos.

**Tabela 25 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da fase entre membros no momento D entre as categorias, sexos e níveis de habilidade para o teste de nado completo sem paraquedas**

Fase perna D	Em fase (asc.)	Em fase (desc.)	Fora de Fase (asc.)	Fora de Fase (desc.)	p <sub>fixo</sub>	p <sub>prop</sub>	p	p
<b>Fixo</b>	25.00	25.00	25.00	25.00				
<b>Prop.</b>	11.76	11.76	38.24	38.24				
<b>Geral</b>	9.70	11.94	44.03	34.33	<0.001	0.533		
<b>T1</b>	8.33	20.83	31.25	39.58	0.015	0.214	0.009	
<b>T3</b>	9.30	4.65	62.79	23.26	<0.001	0.010		
<b>Recreativo</b>	9.84	14.75	32.79	42.62	0.001	0.697	0.049	
<b>Nacional</b>	6.67	4.44	57.78	31.11	<0.001	0.043		
<b>T1F</b>	0.00	20.00	40.00	40.00	0.032	0.316	T1F x T3F	T1F x T1M
<b>T1M</b>	11.11	14.81	11.11	62.96	<0.001	0.021	0.220	0.050
<b>T3F</b>	15.79	10.53	47.37	26.32	0.109	0.704	T1M x T3M	T3F x T3M
<b>T3M</b>	12.50	0.00	58.33	29.17	<0.001	0.117	0.002	0.454
<b>T1J</b>	14.29	0.00	21.43	64.29	0.005	0.155	T1J x T3J	T1J x T1A
<b>T1A</b>	8.57	22.86	31.43	37.14	0.090	0.221	0.280	0.042
<b>T3J</b>	11.11	0.00	55.56	33.33	0.087	0.610	T1A x T3A	T3J x T3A
<b>T3A</b>	8.57	5.71	62.86	22.86	<0.001	0.028	0.037	0.602

Fase Perna D – Fase da pernada no momento D do Índice de Coordenação; asc. – Ascendente; desc. – Descendente; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil; T1F – 1º Tercil Feminino; T1M – 1º Tercil Masculino; T3F – 3º Tercil Feminino; T3M – 3º Tercil Masculino; T1J – 1º Tercil Jovens; T1A – 1º Tercil Adultos; T3J – 3º Tercil Jovens; T3A – 3º Tercil Adultos.

As comparações das distribuições de ocorrência dos modos de coordenação analisados entre todos os voluntários é apresentada na figura 41.



Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; IdC – Índice de Coordenação; N pernadas – Número de pernadas por ciclo; Freq – Frequência Relativa; Fase Perna A, B, C ou D – Fase da perna no momento A, B, C ou D do Índice de Coordenação; \* - Diferença significativa em relação ao efeito fixo ( $p < 0.05$ ); # - Diferença significativa em relação ao efeito proporcional ( $p < 0.05$ ).

**Figura 41 - Distribuições de ocorrência dos modos de coordenação entre todos os voluntários para o teste de nado completo sem paraquedas**

A maioria dos participantes do estudo optaram por uma coordenação em catch-up para as braçadas (60%), tal concentração de participantes neste modo de coordenação não seria esperada caso os participantes determinassem seu modo de coordenação de maneira arbitrária ( $p < 0.001$ ), confirmando que restritores físicos ou energéticos seriam responsáveis pelo modo de coordenação de braços (SEIFERT; CHOLLET; BARDY, 2004).

O mesmo ocorreu para o número de pernadas, a maioria dos nadadores optou pela coordenação de 3 pernadas por ciclo de braçada (77.7%), significativamente diferente do esperado para uma escolha aleatória ( $p < 0.001$ ). A coordenação de 3 pernada é sabidamente a predominante em nadadores habilidosos, e mesmo aqueles que utilizam uma coordenação de menos pernadas em suas provas tendem a migrar para a coordenação de 3 pernadas quando são

solicitados a nadar em maior velocidade (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000; HUE; BENAVENTE; CHOLLET, 2003; MILLET et al., 2002). A coordenação em mais do que 3 pernada é raramente observada em nadadores habilidosos, podendo ser portanto associada aos indivíduos com menor habilidade, devido a uma necessidade aumentada de sustentação ou equilíbrio.

Com relação a frequência relativa foi observada uma distribuição semelhante entre os três modos de coordenação propostos. Como a frequência relativa pode variar entre  $\pm 0.5$ , inicialmente foi verificado se os valores apresentados pelos participante era igualmente distribuído entre esta faixa de valores. Os resultados demonstraram que o modo de coordenação sincronizado ( $\sim 0$ ) ocorre mais vezes do que esperado (33,9%;  $p < 0.001$ ), indicando que os nadadores tentam manter as funções das pernadas estáveis entre os ciclos de braçada o que seria esperado para todas as funções da pernada já relatadas na literatura (MAGLISCHO, 1999).

Sabendo que a atribuição de modo de coordenação a um voluntário não ocorria de maneira aleatória, verificou-se se a escolha do modo de coordenação adotado seria aleatória. Os resultados demonstraram que a distribuição apresentada era aleatória ( $p = 0.993$ ) indicando não haver predileção entre eles para os participantes.

O mesmo procedimento foi aplicado na comparação entre as relações das fases entre os membros. Como para cada fase da braçada a fase da pernada poderia variar entre 0 e 360, inicialmente foi verificado se os valores apresentados pelos participante era igualmente distribuído entre esta faixa de valores. Foi observado que para as fases B e C da braçada algum fator conduziu a escolha da fase da pernada para uma tendência não aleatória ( $p = 0.043$  e  $0.003$ , respectivamente). Para a fase B da braçada um movimento fora de fase ascendente da pernada ocorreu mais do que o previsto (46,25%), já para a fase C da braçada as coordenações em fase descendente (19,4%) e fora de fase descendente (44,78%) ocorreram mais que o previsto.

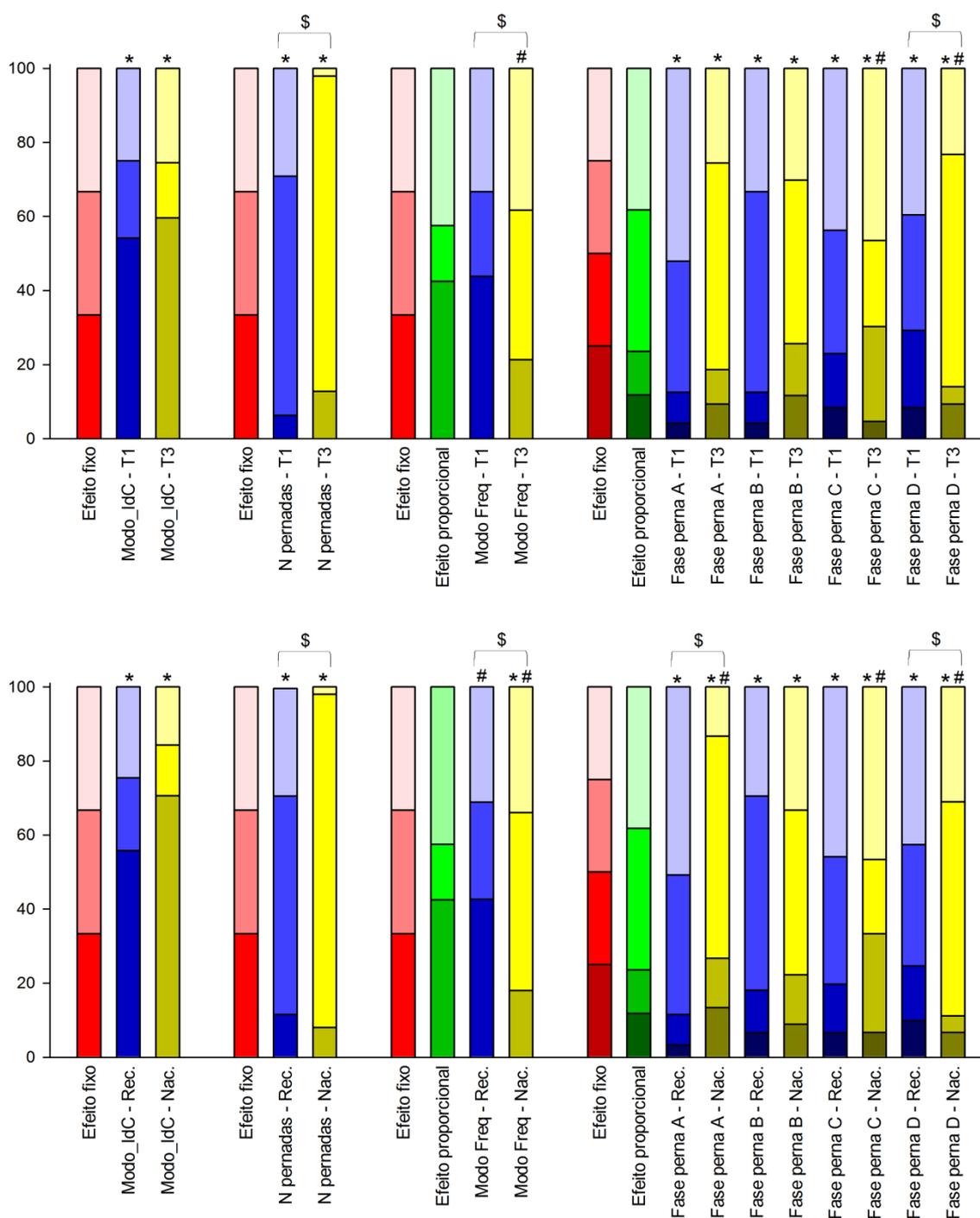
Na comparação entre a escolha da fase da pernada, para todas as fases da braçada a distribuição de ocorrências foi diferente da aleatória, porém esta informação só é relevante para as fases B e C da braçada, visto que para as fases A e D parece não ter havido outro fator de influência na fase da pernada senão o mero acaso ( $p = 0.100$  e  $0.533$  respectivamente). Nas fases B e C os modos de

coordenação fora de fase aprecem ter sido os preferidos, sendo utilizados prioritariamente o ascendente para a fase B e o descendente para a fase C.

É importante ressaltar que para esta primeira comparação foram analisados todos os participantes, independente da categoria, sexo, nível de habilidade ou desempenho. Desta forma, a não observância de um desvio de distribuição pode significar que ou todos os subgrupos aderem de maneira igualitária aos diferentes modos de coordenação ou que diferentes subgrupos fazem escolhas por diferentes modos de coordenação de maneira a anular estas diferenças para um grupo como um todo. Esta mesma lógica também tem de ser aplicada para os casos onde algum modo de coordenação foi predominante. Este efeito poderia ser devido tanto a uma predominância geral em todos os subgrupos para um determinado modo de coordenação, quanto para indicar que a maior parte dos subgrupos tenha feito uma mesma opção.

Para tentar definir o que de fato influenciou a escolha do modo de coordenação a mesma análise também foi realizadas entre os níveis de habilidade, entre categorias e sexo.

As comparações das distribuições de ocorrência dos modos de coordenação entre os nadadores de diferentes níveis de habilidade é apresentadas na figura 42.



Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; IdC – Índice de Coordenação; N pernas – Número de pernas por ciclo; Freq – Frequência Relativa; Fase Perna A, B, C ou D – Fase da perna no momento A, B, C ou D do Índice de Coordenação; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil; Rec. - Recreativo; Nac. - Nacional; \* - Diferença significativa em relação ao efeito fixo ( $p < 0.05$ ); # - Diferença significativa em relação ao efeito proporcional ( $p < 0.05$ ); \$ - Diferença significativa em relação aos níveis de desempenho ou experiência ( $p < 0,05$ ).

**Figura 42 - Distribuições de ocorrência dos modos de coordenação entre os diferentes níveis de habilidade para o teste de nado completo sem paraquedas**

O modo de coordenação em catch-up apresentou ocorrência significativamente maior para todos os níveis de desempenho e experiência. No entanto não foram encontradas diferenças entre os modos de coordenação escolhidos quando comparados os grupos com maior e menor experiência ou habilidade. Seria esperado que o 3º Tercil de desempenho apresentasse maior ocorrência de coordenação em sobreposição do que o 1º Tercil de desempenho (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000; MILLET et al., 2002). A ausência desta diferença poderia ser explicada pela influencia das diferentes categorias e sexos que constituem os grupos analisados, outra possibilidade seria que mesmo possuindo um maior desempenho este grupo não teria atingido velocidade suficiente para causar a necessidade de uma transição dos modos de coordenação.

Com relação ao número de pernadas utilizados por ciclo de braçada, todos os níveis de desempenho e experiência apresentaram uma ocorrência significativamente maior de 3 pernadas por ciclo. Essa ocorrência também foi significativamente maior para os grupos nacional e 3º Tercil, quando comparados aos grupos recreativos e 1º Tercil. Desta forma, parece que mesmo em níveis iniciais de habilidade o modo de coordenação de 3 pernadas por ciclo já é o mais adotado embora a coordenação com mais pernadas ainda sejam utilizadas por alguns nadadores. Com o aumento do desempenho e da experiência dos nadadores, o predomínio da coordenação de 3 pernadas se torna quase completo, e a coordenação com duas pernadas por ciclo sendo praticamente a única outra opção utilizada.

Com relação a frequência relativa o 1º Tercil de desempenho não apresentou diferença significativa em relação a uma atribuição arbitrária entre os modos de coordenação. Isso significa que estes indivíduos executam as ações de perna e braço de maneira independente, sem se aproveitar de mecanismos de interação entre os membros. Todos os demais grupos apresentaram uma atribuição ao modo sincronizado significativamente superior aquela esperada aleatoriamente. Porém apenas o grupo nacional fez uma escolha significativamente maior pelo modo de coordenação sincronizado em relação aos demais modos. Além disso, tanto o 3º Tercil quanto o grupo nacional apresentaram maior ocorrência do modo sincronizado do que o 1º Tercil e o grupo recreativo.

Estes resultados suportam a hipótese de que a interação entre as ações de membros superiores e inferiores é importante na natação, e que os nadadores mais

habilidosos procuram executar as ações de membros inferiores de forma semelhante entre os ciclos de braçada. Além disso parece que a experiência é mais determinante para aquisição desta habilidade do que o desempenho, já que embora o 3º Tercil tenha aumentado a ocorrência da sincronização, este aumento não foi suficiente para diferenciar este modo das coordenações adiantadas ou atrasadas.

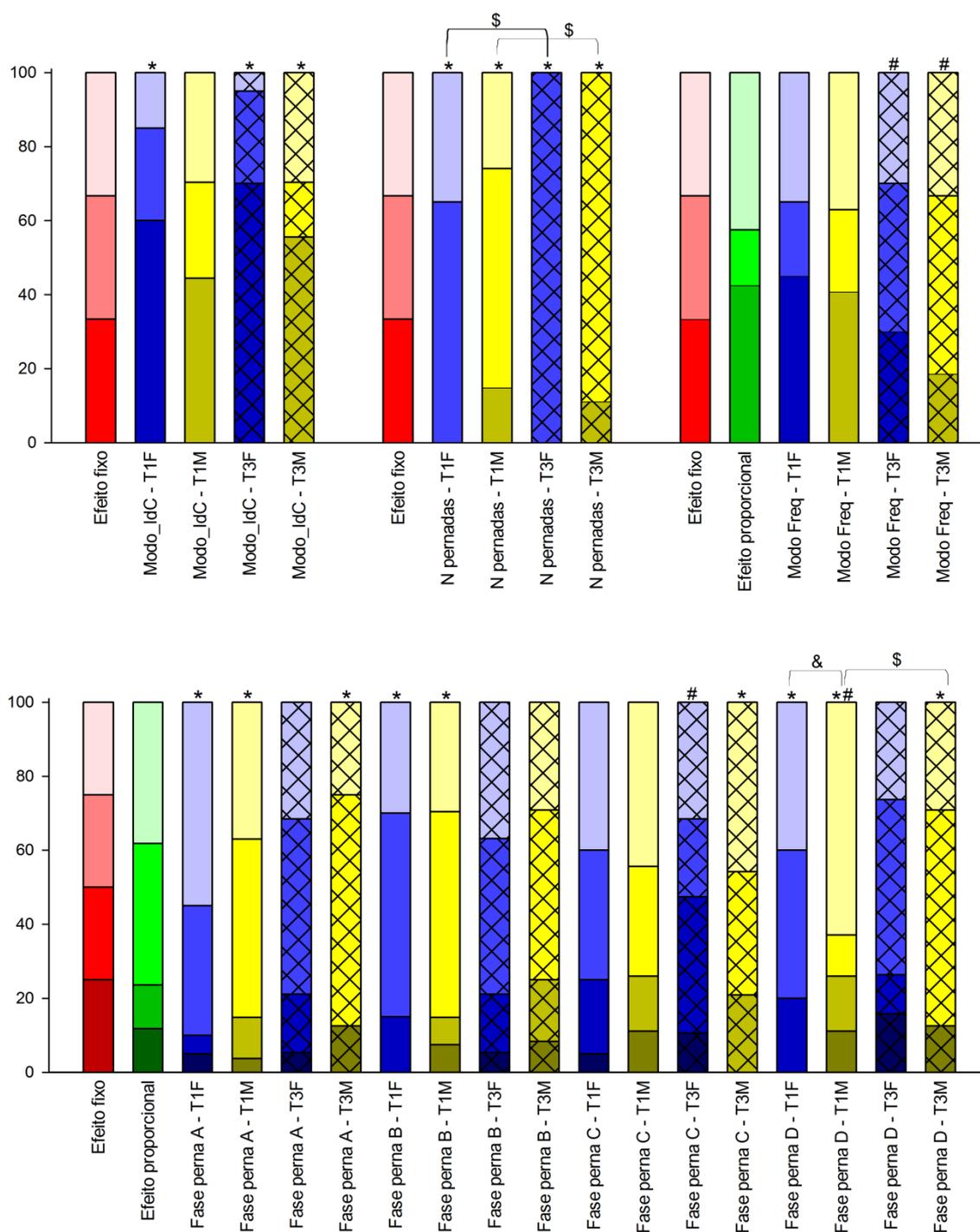
Os indivíduos pertencentes ao 1º Tercil de desempenho e ao grupo recreativo apresentaram ocorrência aleatória entre a relação das fases entre os membros. Tal resultado é previsível visto que estes grupo não eram capazes de manter uma coordenação de membros inferiores estável entre os ciclos de braçada, como demonstrou a análise da frequência relativa.

Para o grupo nacional a atribuição a uma coordenação da pernada para as fases A, C e D da braçada não ocorreu de maneira arbitrária, já para o 3º Tercil tal comportamento foi observado apenas para as fases C e D. Em todos os casos onde a atribuição do modo de coordenação não foi arbitrária a escolha entre os modos também foi significativamente diferente do esperado para uma distribuição aleatória.

Para a fase D da braçada o modo de coordenação de pernada predominante foi descendente fora de fase tanto para o 3º Tercil quanto para o grupo nacional. O mesmo modo de coordenação também foi observado para a fase A da braçada no grupo nacional. Para fase C da braçada os modos de coordenação de pernada predominantes para ambos os grupos foram descendente em fase e descendente fora de fase.

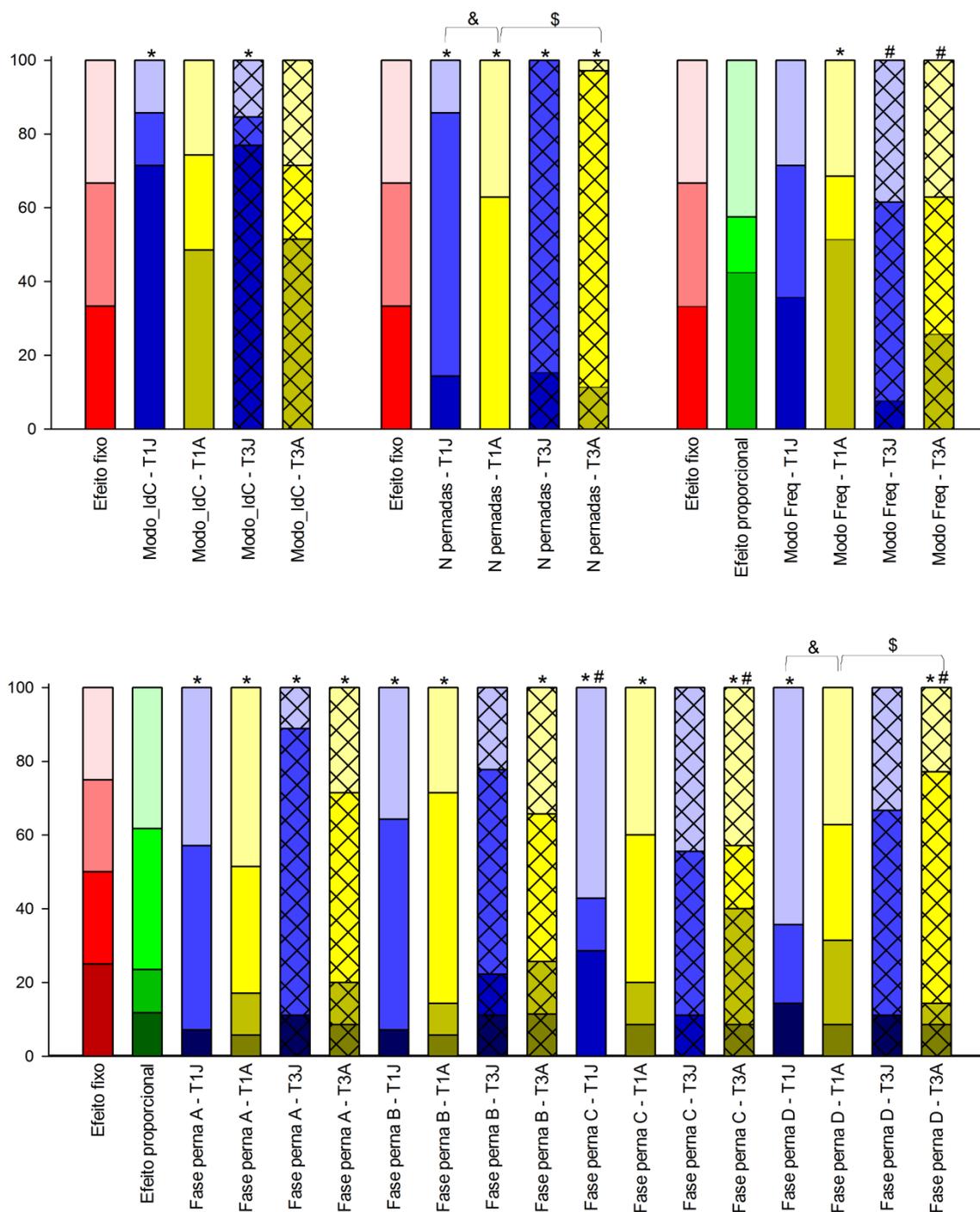
As fases C e D da braçada apresentaram a maior convergência de coordenação com os movimentos de pernada para os grupos de maior habilidade. Estas fases correspondem respectivamente aos momentos onde a mão do nadador cruza a linha do ombro e quando a mão do nadador sai da água, delimitando a fase propulsiva da braçada conhecida como empurrão (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000). É esperado que a liberação de vórtices propulsivos das mãos ocorram nesta fase do movimento de braçada (MATSUUCHI et al., 2009), assim esta convergência da coordenação de pernas seria esperada caso os indivíduos fossem capazes de interagir com estes vórtices produzidos pelas mãos.

As comparações das distribuições de ocorrência dos modos de coordenação para os sexos e categorias entre os nadadores de diferentes níveis de habilidade são apresentadas nas figuras 43 e 44.



Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; IdC – Índice de Coordenação; N pernadas – Número de pernadas por ciclo; Freq – Frequência Relativa; Fase Perna A, B, C ou D – Fase da perna no momento A, B, C ou D do Índice de Coordenação; T1F – 1º Tercil Feminino; T1M – 1º Tercil Masculino; T3F – 3º Tercil Feminino; T3M – 3º Tercil Masculino; \* - Diferença significativa em relação ao efeito fixo ( $p < 0,05$ ); # - Diferença significativa em relação ao efeito proporcional ( $p < 0,05$ ); \$ - Diferença significativa em relação aos níveis de desempenho para o mesmo sexo ( $p < 0,05$ ); & - Diferença significativa em relação aos sexos para o mesmo nível de desempenho ( $p < 0,05$ ).

**Figura 43 - Distribuições de ocorrência dos modos de coordenação para cada sexo entre os diferentes níveis de desempenho para o teste de nado completo sem paraquedas**



Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; IdC – Índice de Coordenação; N pernadas – Número de pernadas por ciclo; Freq – Frequência Relativa; Fase Perna A, B, C ou D – Fase da perna no momento A, B, C ou D do Índice de Coordenação; T1J – 1º Tercil Jovens; T1A – 1º Tercil Adultos; T3J – 3º Tercil Jovens; T3A – 3º Tercil Adultos; \* - Diferença significativa em relação ao efeito fixo ( $p < 0.05$ ); # - Diferença significativa em relação ao efeito proporcional ( $p < 0.05$ ); \$ - Diferença significativa em relação aos níveis de desempenho para a mesma categoria ( $p < 0.05$ ); & - Diferença significativa em relação às categorias para o mesmo nível de desempenho ( $p < 0.05$ ).

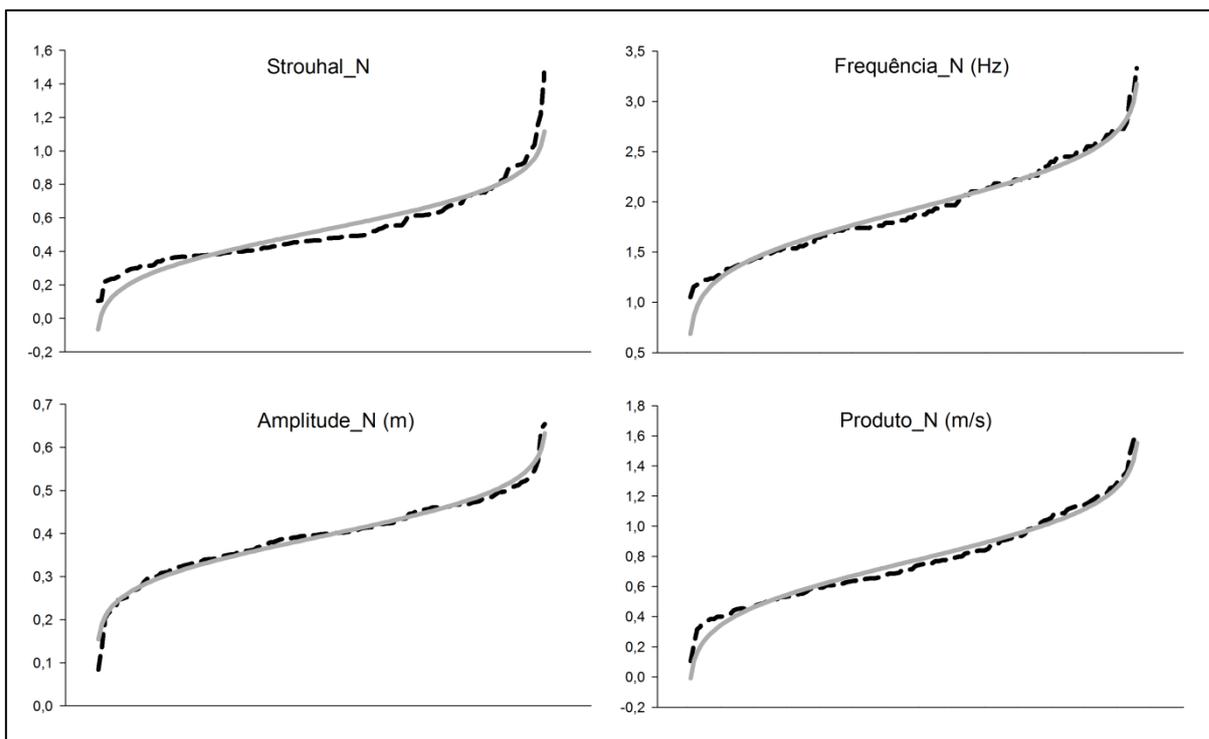
**Figura 44 - Distribuições de ocorrência dos modos de coordenação para cada categoria entre os diferentes níveis de desempenho para o teste de nado completo sem paraquedas**

As comparações baseadas nos sexos e categorias apresentaram um comportamento geral semelhante ao observado nas comparações baseadas apenas no desempenho dos voluntários e parecem sugerir que estes fatores (sexo e categoria) não influenciariam a escolha dos modos de coordenação para nenhuma variável analisada. No entanto estes resultados tem de ser interpretados com cautela.

Os graus de liberdade para uma distribuição Qui Quadrado são determinados pelo número de classes e não pelo número de indivíduos, porém o número de indivíduos afeta a sensibilidade de cada termo da somatória dos desvios observados, desta forma uma recomendação genérica é de que o número amostral seja de pelo menos dez vezes o número de classes comparadas (SAMPAIO, 2007). Para as análises entre sexo e categoria este critério só foi satisfeito para os adultos nas comparações entre os modos de índice de coordenação, número de pernadas e frequência relativa. De fato, o intervalo de confiança a 95% das ocorrência de cada modo nas comparações entre os níveis de desempenho foi de em média de  $\pm 12\%$ , enquanto quando o sexo e a categoria foram considerados este intervalo de confiança foi de em média  $\pm 27\%$ .

Desta forma a probabilidade de ocorrência de erro do tipo II nesta comparação é aumentada e falsos negativos podem ter sido observados. Um exemplo baseado na literatura é de que é esperado que a prevalência de adoção de um índice de coordenação em sobreposição em homens é maior do que em mulheres (SEIFERT; BOULESTEIX; CHOLLET, 2004; SEIFERT; CHOLLET; BARDY, 2004), o que corrobora com os valores encontrados, 29,63% x 5% para o 3º Tercil e 29,63% x 15% para o 1º Tercil, mesmo assim o nível de significância pré estabelecido não foi atingido para estas comparações.

As distribuições cumulativas das características médias utilizadas para o calculo do número de Strouhal do nado durante o teste de nado completo sem paraquedas são apresentadas na figura 45.



Strouhal\_N – Número de Strouhal do nado; Frequência\_N – Inverso do período entre a fase C da braçada e a pernada seguinte; Amplitude\_N – Diferença entre a posição vertical do pé na pernada seguinte a fase C da braçada e o comprimento de membros inferiores; Produto\_N – Produto entre a frequência\_N e a amplitude\_N.

**Figura 45 - Distribuições cumulativas do número de Strouhal do nado e de seus componentes para o teste de nado completo sem paraquedas**

A tabela 26 apresenta a comparação das características médias utilizadas para o cálculo do número de Strouhal do nado durante o teste de nado completo sem paraquedas entre os diferentes níveis de habilidade.

**Tabela 26 – Comparação das características do Strouhal do Nado entre os níveis de habilidade para o teste de nado completo sem paraquedas**

	Experiência		p	Desempenho		
	Nacional	Recreativo		1º Tercil	3º Tercil	p
<b>Strouhal_N</b>	0.461 ± 0.156	0.573 ± 0.275	0.014	0.616 ± 0.282	0.443 ± 0.142	<0.001
<b>Freq_N (Hz)</b>	1.918 ± 0.378	1.894 ± 0.534	0.794	1.870 ± 0.55	1.955 ± 0.374	0.390
<b>Amp_N (m)</b>	0.413 ± 0.092	0.370 ± 0.096	0.020	0.376 ± 0.099	0.404 ± 0.089	0.160
<b>Produto (m/s)</b>	0.799 ± 0.262	0.720 ± 0.333	0.182	0.725 ± 0.343	0.798 ± 0.257	0.252

Strouhal\_N – Número de Strouhal do nado; Freq\_N – Inverso do período entre a fase C da braçada e a pernada seguinte; Amp\_N – Diferença entre a posição vertical do pé na pernada seguinte a fase C da braçada e o comprimento de membros inferiores; Produto – Produto entre a frequência\_N e a amplitude\_N.

O Strouhal do nado não altera a equação do número de Strouhal, mas utiliza amplitudes e frequências características diferentes daquelas já utilizadas para

nadadores. Estes parâmetros foram selecionados para caracterizar uma possível interação dos vórtices gerados por membros superiores e inferiores. Para tanto a frequência utilizada foi a que caracterizava o intervalo de tempo entre as ações propulsivas de membros superiores e inferiores. Como referencia para delimitação deste intervalo a fase C da braçada no índice de coordenação, que indica a transição entre os movimentos de puxar e empurrar durante a braçada (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000).

Embora a liberação de vórtices pareça não ocorrer exatamente nesta fase da braçada, o momento de liberação de vórtices parece acontecer em um momento relativamente estável da braçada, após a fase C. Desta forma o erro temporal constante seria esperado a determinação deste intervalo. Vale ressaltar que, como discutido anteriormente, o objetivo da análise dimensional é caracterizar o fenômeno em função do grupamento analisado e a partir deste conhecimento identificar pontos de interesse, desta forma tal erro apenas deslocaria estes valores para mais ou para menos, sem interferir no comportamento geral da curva ou alterar sua interpretação. O próprio número de Strouhal já foi utilizado como sendo o inverso do utilizado atualmente, e neste caso a estabilidade de um sistema de vórtices em um escoamento não viscoso seria de 3.55 ao invés de 0.28, porém isto não implica em nenhuma alteração do fenômeno observado (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004; RAYLEIGH, 1915a; ROSEN, 1959).

A amplitude selecionada para caracterizar a distância entre os sistemas de vórtices foi a diferença entre o comprimento do membro inferior e a profundidade do pé no momento da finalização da pernada. Novamente, não é esperado que a liberação de vórtices ocorra com o braço estendido e verticalmente orientado para baixo, no entanto se o momento de liberação do vórtice ocorrer em uma fase estável da braçada, o comprimento do braço seria relacionado a esta posição por uma função seno, introduzindo um erro sistemático na medida, porém sem alterar sua interpretação.

A frequência observada entre as ações de membros superiores e inferiores não foi diferente entre os diferentes níveis de habilidade, seja para o desempenho seja para experiência. Já a amplitude característica utilizada foi significativamente maior para o grupo nacional em relação ao recreativo, enquanto não houve diferença para os diferentes níveis de desempenho. Este comportamento do grupo nacional pode caracterizar uma tentativa de controlar a redução do Strouhal do nado

causada pelo aumento da velocidade, uma vez que o Strouhal do nado foi maior para os grupos de maior habilidade segundo ambos os critérios. Nesta hipótese, o comportamento dos nadadores parece ser o de atingir um Strouhal do nado de aproximadamente 0.45, e não o de gerar o menor valor possível. Porém o produto entre frequência e amplitude que compõe o numerador do Strouhal do nado não sofreu alterações significativas entre os níveis de habilidade, o que coloca em dúvida a efetividade do aumento da amplitude em controlar a redução do Strouhal do nado.

É importante ressaltar que o Strouhal do nado foi calculado a partir de parâmetros médios do nado. Desta forma para que alguma convergência fosse observada nos dados seria necessário não apenas que os nadadores buscassem utilizar as condições de escoamento caracterizadas por este parâmetro mas também que eles fossem capazes de utilizá-las em todos os ciclos de braçada ou de pelo menos na maioria deles.

Um critério para que isto fosse possível seria uma fase relativa sincronizada, o que ocorreu de forma sistemática para os grupo de maior habilidade, porém mesmo para estes grupos a sincronia ocorreu em apenas 50% dos nadadores. Também seria necessário que a liberação dos vórtices pelos membros superiores ocorresse em uma fase estável da braçada, o que não foi avaliado para esta amostra, porém dificilmente seria apresentada por todos os participantes, vista a heterogeneidade da amostra. Ambas as alterações intra-cíclicas mencionadas induziriam variabilidade nos resultados do Strouhal do nado, dificultando a identificação de uma convergência.

De maneira geral os grupos de maior habilidade parecem ser os mais eficientes, baseando-se no coeficiente de arrasto e no *stroke index*. Estes grupos também apresentaram maiores valores de índice de coordenação, principalmente os de maior desempenho. Estas observações estão de acordo com o reportado na literatura. As diferenças entre sexos e categorias observadas para estes parâmetros também vão de encontro ao reportado por outros estudos.

No entanto a categoria e o sexo parecem não influencia a coordenação de membros inferiores ou a coordenação de membros, este parâmetros parecem ter sido influenciado apenas pelo nível de desempenho ou habilidade. O número de Strouhal parece apresentar uma convergência para aproximadamente 0,5, visto que os ajustes de frequência e amplitude de pernada parecem controlar sua redução para os nadadores de maior desempenho.

A amplitude de pernada parece atingir um valor estável nos estágios iniciais de aprendizado, restando a frequência de pernada para controlar esta coordenação. Esta por sua vez esta intimamente relacionada a frequência de braçada, como demonstrado pelo número de pernadas por ciclo e a frequência relativa entre elas, sugerindo uma coordenação complexa destes movimentos, embora também seja relatado que nadadores habilidosos aumentam sua velocidade a partir do aumento da frequência, corroborando indiretamente para um controle do número de Strouhal.

Os nadadores mais habilidosos visam coordenar os movimentos de membros superiores e inferiores através da sincronização da frequência relativa, enquanto os iniciantes parecem executar movimentos de braços e pernas de maneira independente. Mesmo assim, embora tenham sido identificados diferentes padrões de pernadas dentro de um ciclo, elas não ocorriam de maneira constante. No entanto esta divergência pode ser efeito do grande número de nadadores da amostra que apresentavam frequência relativa adiantada ou atrasada.

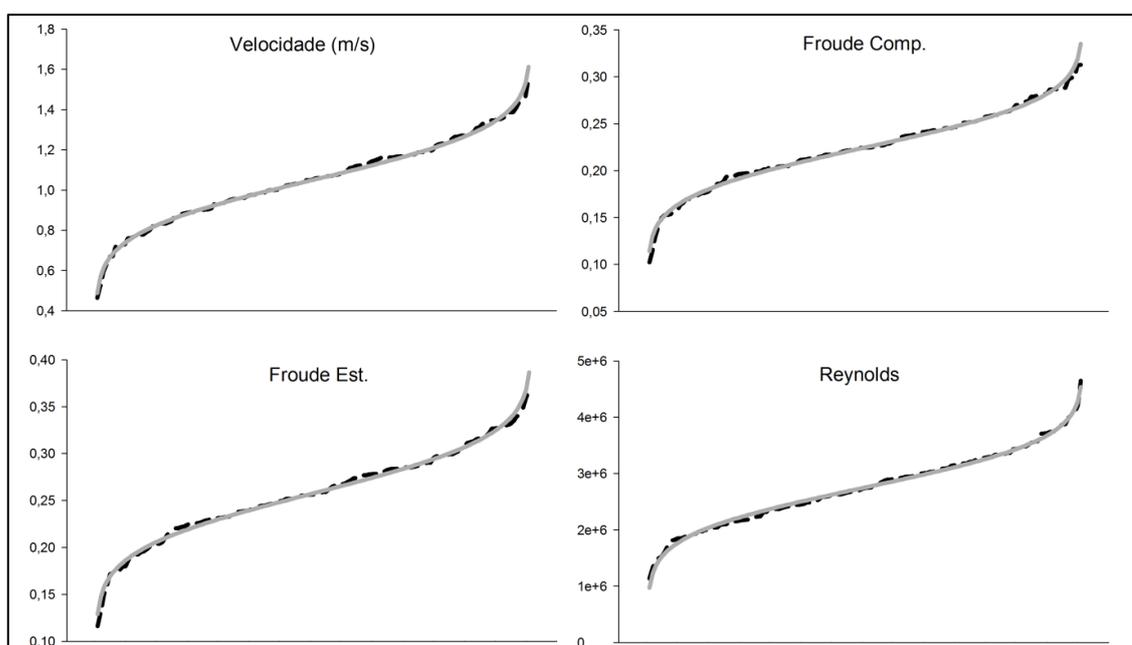
Os nadadores mais experientes também apresentavam uma coordenação da fase entre os membros durante a finalização da braçada, sugerindo alguma coordenação específica entre membros para a fase do empurrão da braçada. Esta possível coordenação poderia ser uma tentativa de interação dos vórtices produzidos por membros superiores e inferiores, no entanto, nenhuma convergência clara ou tentativa de controle foi observada para o parâmetro proposto para avaliar este fenômeno, o Strouhal do nado. Três possibilidades poderiam explicar este fato: (i) Apenas nadadores mais habilidosos e com coordenações estáveis poderiam se aproveitar deste mecanismo; (ii) os parâmetros selecionados para o cálculo do Strouhal do nado não representavam este fenômeno e; (iii) nadadores não são capazes de produzir uma interação entre os vórtices de membros superiores e inferiores.

No geral os grupos de maior habilidade apresentaram um número de fixo de pernadas dentro ciclos de braçada e os movimento de braços e pernas eram sincronizados de modo a garantir que em todos os ciclos a coordenação de movimentos fosse a mesma, e esta coordenação constante parece privilegiar a ocorrência da finalização de uma pernadas durante uma fase propulsiva crítica da braçada, sugerindo que algum mecanismo de interação entre membros seja possível, sendo assim as hipóteses (i) e (ii) mais plausíveis.

### 4.3 COMPARAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE MEMBROS EM CONDIÇÕES COM LIMITAÇÃO DE VELOCIDADE

#### 4.3.1 Sobre as características do escoamento

As distribuições cumulativas das características do escoamento durante o nado com limitação de velocidade são apresentadas na figura 46.



Linha Pontilhada - Distribuição da variável; Linha Sólida - Distribuição normal com mesma média e desvio padrão; Froude Comp. - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; Froude Est. - Número de Froude calculado pela estatura do nadador.

**Figura 46 - Distribuições cumulativas das características do escoamento durante o nado com limitação de velocidade**

A tabela 27 apresenta a comparação das características do escoamento entre as condições com e sem limitação de velocidade

**Tabela 27 - Comparação das características do escoamento entre as condições com e sem limitação de velocidade**

	Condição		
	CP	CS	p
<b>Froude Comp.</b>	0.225 ± 0.041	0.325 ± 0.058	<0.001
<b>Froude Est.</b>	0.258 ± 0.048	0.373 ± 0.068	<0.001
<b>Reynolds</b>	2.753 ± 0.662	3.982 ± 0.919	<0.001

CS - Teste de nado completo sem paraquedas; CP - Teste de nado completo com paraquedas; Froude Comp. - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; Froude Est. - Número de Froude calculado pela estatura do nadador.

Todos os parâmetros adimensionais comparados apresentaram uma redução na condição de nado com paraquedas. Esta alteração é resultado da redução da velocidade, que é uma variável utilizada para o cálculo tanto do número de Froude quanto do número de Reynolds.

Embora o número de Reynolds tenha apresentado uma diminuição significativa, provavelmente o escoamento se manteve turbulento. Na verdade para qualquer condição de nado em humanos seria esperado um escoamento turbulento devido à baixa viscosidade cinemática da água (LI; ZHAN, 2015; MOLLENDORF et al., 2004; MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004; TOUSSAINT et al., 2000; ZAÏDI et al., 2008).

Embora não tenha sido encontrado nenhum estudo de caracterização do arrasto em função do número de Froude para humanos, a literatura indica que valores entre 0.4 e 0.45 seriam críticos para nadadores (BARBOSA et al., 2014; KJENDLIE; STALLMAN, 2008; NAEMI; EASSON; SANDERS, 2010; SEIFERT et al., 2015; TOUSSAINT, 2002; VENNELL; PEASE; WILSON, 2006), desta forma a redução do número de Froude observada indicaria que os nadadores encontrariam uma condição de menor resistência ao deslocamento por parte do escoamento. No entanto, o paraquedas fornecia um arrasto adicional de forma que o nadador se encontrava executando os movimentos do nado em velocidade normal, porém com uma menor velocidade de deslocamento, o que provavelmente aumentou a quantidade de energia cinética transmitida do nadador para água, aumentando o arrasto de onda (MAGLISCHO, 1999; STAGER; TANNER, 2008; VORONTSOV; RUMYANTSEV, 2000b).

As tabelas 28 e 29 apresentam as comparações das características do escoamento entre as condições com e sem limitação de velocidade em função do nível de habilidade dos nadadores.

**Tabela 28 - Comparação das características do escoamento entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de desempenho**

	1º Tercil		3º Tercil		p		
	CS	CP	CS	CP	Grupo	Teste	Int.
<b>Vel. (m/s)</b>	-	0.852 ± 0.150	-	1.217 ± 0.149	<0.001	-	-
<b>Froude Comp.</b>	0.259 ± 0.042 <sup>A</sup>	0.186 ± 0.031	0.382 ± 0.017 <sup>AB</sup>	0.257 ± 0.029 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Froude Est.</b>	0.295 ± 0.048 <sup>A</sup>	0.212 ± 0.036	0.440 ± 0.020 <sup>AB</sup>	0.296 ± 0.033 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Reynolds</b>	2.987 ± 0.552 <sup>A</sup>	2.152 ± 0.448	4.845 ± 0.534 <sup>AB</sup>	3.266 ± 0.525 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001

CS - Teste de nado completo sem paraquedas; CP - Teste de nado completo com paraquedas; Froude Comp. - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; Froude Est. - Número de Froude calculado pela estatura do nadador; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as categorias de um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho de uma categoria.

**Tabela 29 - Comparação das características do escoamento entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de experiência**

	Nacional		Recreativo		p		
	CS	CP	CS	CP	Grupo	Teste	Int.
<b>Vel. (m/s)</b>	-	1.174 ± 0.163	-	0.925 ± 0.183	<0.001	-	-
<b>Froude Comp.</b>	0.370 ± 0.026 <sup>A</sup>	0.248 ± 0.031	0.279 ± 0.053 <sup>AB</sup>	0.201 ± 0.037 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Froude Est.</b>	0.426 ± 0.030 <sup>A</sup>	0.286 ± 0.036	0.319 ± 0.060 <sup>AB</sup>	0.229 ± 0.042 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Reynolds</b>	4.677 ± 0.586 <sup>A</sup>	3.150 ± 0.563	3.276 ± 0.725 <sup>AB</sup>	2.359 ± 0.544 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001

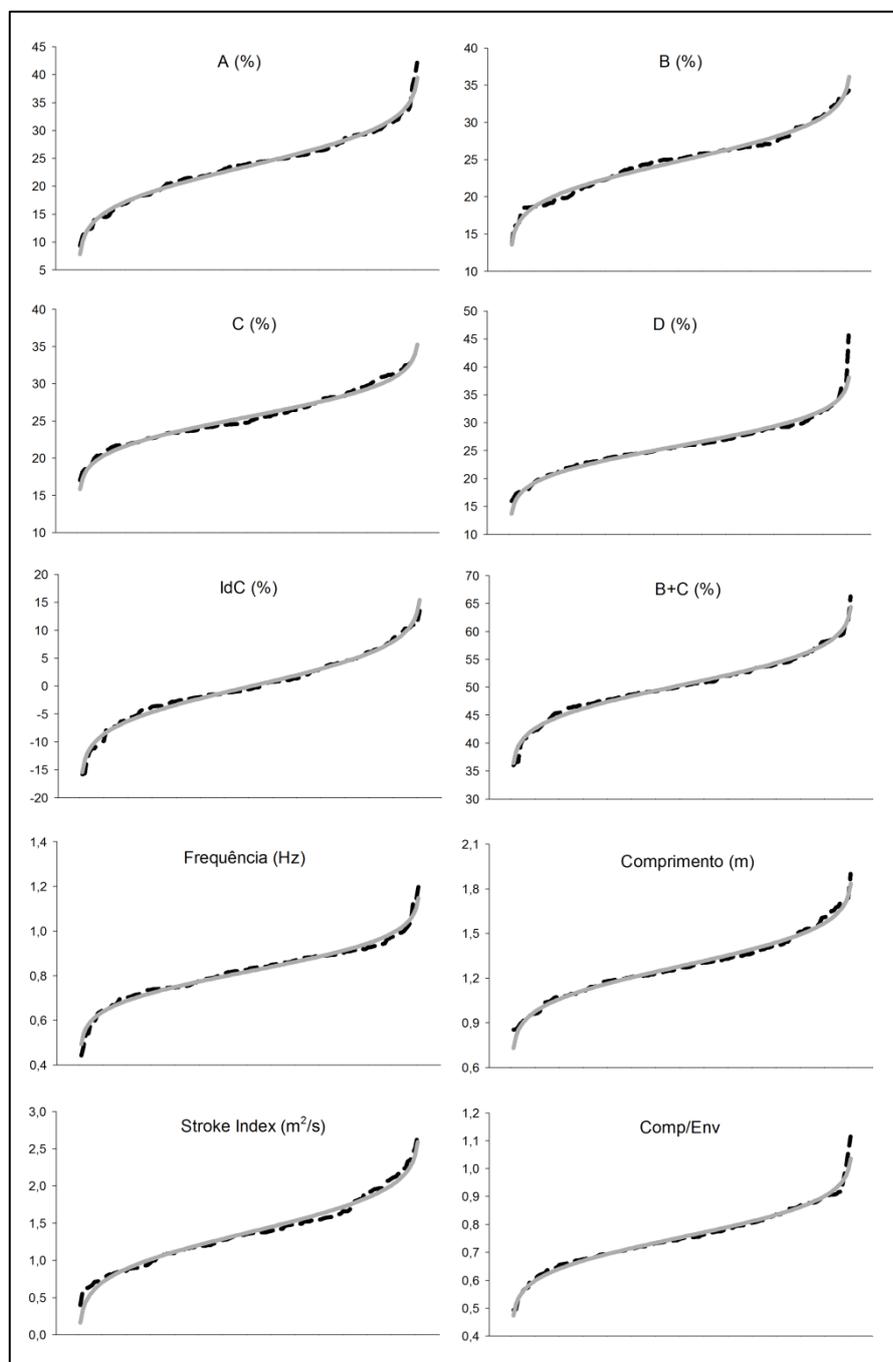
CS - Teste de nado completo sem paraquedas; CP - Teste de nado completo com paraquedas; Froude Comp. - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; Froude Est. - Número de Froude calculado pela estatura do nadador; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as categorias de um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho de uma categoria.

A velocidade de deslocamento foi significativamente maior para os grupos mais habilidosos. Todas as demais características do escoamento analisadas apresentaram interação significativa entre as condições do teste e o nível de habilidade dos participantes. Para ambos os critérios de habilidade (experiência e desempenho), os valores apresentados na condição com limitação de velocidade eram inferiores, além disso, os grupos de maior habilidade apresentaram maiores valores de Froude e Reynolds.

Como mencionado anteriormente, as alterações da velocidade são causadoras das alterações dos grupamentos adimensionais, desta forma já era previsto uma redução de todos os parâmetros e que os grupos de maior habilidade apresentariam valores superiores de Froude e Reynolds devido a sua velocidade superior. No entanto a interação significativa entre os fatores indicam que a redução observada para os grupos de maior desempenho foi significativamente maior, sem que chegasse a se igualar as características do escoamento observadas para os indivíduos de menor habilidade.

### 4.3.2 Sobre as características das braçadas

As distribuições cumulativas das características da braçada durante o nado com limitação de velocidade são apresentadas na figura 47.



Linha Pontilhada - Distribuição da variável; Linha Sólida - Distribuição normal com mesma média e desvio padrão; A - Duração relativa da fase de agarre; B - Duração relativa da fase de puxada; C - Duração relativa da fase do empurrão; D - Duração relativa da fase de recuperação; IdC - Índice de Coordenação; B+C - Duração relativa da fase propulsiva; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura

**Figura 47 - Distribuições cumulativas das características da braçada durante o nado com limitação de velocidade**

A tabela 30 apresenta a comparação das características da braçada entre as condições com e sem limitação de velocidade em função do nível de desempenho.

**Tabela 30 - Comparação das características das braçadas entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de desempenho**

	1º Tercil		3º Tercil		p		
	CS	CP	CS	CP	Grupo	Teste	Int.
<b>A (%)</b>	25.902 ± 7.234	24.561 ± 5.860	22.566 ± 6.700	21.702 ± 5.872	0.016	0.070	0.587
<b>B (%)</b>	22.525 ± 5.303	23.913 ± 3.927	24.160 ± 4.700	26.389 ± 4.365	0.025	<0.001	0.143
<b>C (%)</b>	24.643 ± 4.240	26.304 ± 4.035	23.058 ± 3.071	25.160 ± 3.309	0.053	<0.001	0.428
<b>D (%)</b>	26.930 ± 6.674 <sup>A</sup>	25.223 ± 5.339	30.217 ± 5.355 <sup>AB</sup>	26.749 ± 4.328	0.025	<0.001	0.015
<b>IdC (%)</b>	-2.412 ± 6.922	-0.862 ± 6.195 <sup>A</sup>	-2.320 ± 5.829	1.205 ± 5.786 <sup>A</sup>	0.367	<0.001	0.009
<b>B+C (%)</b>	47.168 ± 7.260	50.217 ± 5.451	47.217 ± 5.735	51.549 ± 5.552	0.574	<0.001	0.105
<b>Freq. (Hz)</b>	0.797 ± 0.152	0.755 ± 0.131	0.939 ± 0.086	0.882 ± 0.079	<0.001	<0.001	0.259
<b>Comp. (m)</b>	1.514 ± 0.251 <sup>A</sup>	1.141 ± 0.171	1.945 ± 0.220 <sup>AB</sup>	1.386 ± 0.175 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Comp/Env</b>	0.923 ± 0.148 <sup>A</sup>	0.695 ± 0.102	1.112 ± 0.103 <sup>AB</sup>	0.792 ± 0.082 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001
<b>SI (m<sup>2</sup>/s)</b>	1.806 ± 0.456 <sup>A</sup>	0.984 ± 0.276	3.535 ± 0.566 <sup>AB</sup>	1.707 ± 0.403 <sup>B</sup>	<0.001	<0.001	<0.001

CS - Teste de nado completo sem paraquedas; CP - Teste de nado completo com paraquedas; A - Duração relativa da fase de agarre; B - Duração relativa da fase de puxada; C - Duração relativa da fase do empurrão; D - Duração relativa da fase de recuperação; IdC - Índice de Coordenação; B+C - Duração relativa da fase propulsiva; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; SI - *Stroke Index*; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as condições para um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho para uma condição.

Para ambos os níveis de desempenho a frequência de braçada apresentou uma redução significativa na condição com limitação de velocidade. Também foi observada uma redução significativa nos parâmetros associados ao comprimento da braçada (comprimento, comprimento normalizado e *stroke index*) o que mostra que a redução de velocidade observada produziu redução tanto da frequência quanto do comprimento de braçada. No entanto a redução dos parâmetros relacionados ao comprimento da braçada foi maior para o grupo de maior desempenho, como mostrou a interação significativa entre os fatores, isso pode sugerir que os grupos de maior desempenho priorizaram o controle da frequência em detrimento do comprimento.

Uma redução na frequência causaria uma redução da velocidade dos movimentos ou um aumento da duração das fases passivas da braçada, ambos os casos resultando em uma redução ainda maior do comprimento da braçada, por uma redução da força propulsiva para o primeiro caso (R.E. SCHLEIHAUF, 1979), ou por uma redução da eficiência do deslize causada pelo arrasto adicional (SEIFERT;

BOULESTEIX; CHOLLET, 2004; SEIFERT; CHOLLET; BARDY, 2004). De fato houve um aumento da duração relativa da fase propulsiva da braçada para a condição com limitação de velocidade e o grupo de maior desempenho apresentou menor duração das fases A e D da braçada, corroborando com a hipótese anterior.

Estas alterações das durações relativas das fases das braçadas culminaram em um aumento do índice de coordenação para a condição com limitação de velocidade para ambo os grupos. No entanto este aumento foi maior para o grupo de melhor desempenho, que chegou a mudar o modo de coordenação para sobreposição. Estes resultados estão de acordo com os relatados na literatura para utilização de paraquedas (GOURGOULIS et al., 2010; TELLES et al., 2011). Embora a percepção da necessidade de se produzir força propulsiva de maneira contínua seja observada mesmo para os iniciantes, parece que os indivíduos de melhor desempenho tem uma maior consciência de como produzir estas alterações.

A tabela 31 apresenta a comparação das características da braçada entre as condições com e sem limitação de velocidade em função do nível de experiência.

**Tabela 31 - Comparação das características das braçadas entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de experiência**

	Nacional		Recreativo		p		
	CS	CP	CS	CP	Grupo	Teste	Int.
<b>A (%)</b>	23.792 ± 7.341	22.144 ± 6.194	25.518 ± 6.613	24.47 ± 5.749	0.086	<0.001	0.433
<b>B (%)</b>	23.006 ± 4.854	25.587 ± 4.478	22.352 ± 5.198	23.469 ± 4.140	0.103	<0.001	0.012
<b>C (%)</b>	22.696 ± 2.868	25.363 ± 3.217	24.846 ± 3.921	26.488 ± 3.713	0.008	<0.001	0.060
<b>D (%)</b>	30.506 ± 5.174	26.906 ± 3.937	27.284 ± 6.343	25.573 ± 5.104	0.016	<0.001	0.011
<b>IdC (%)</b>	-4.075 ± 5.483	0.010 ± 6.075 <sup>A</sup>	-2.489 ± 6.492	-0.656 ± 5.780 <sup>A</sup>	0.671	<0.001	0.002
<b>B+C (%)</b>	45.702 ± 5.747	50.950 ± 5.325 <sup>A</sup>	47.198 ± 6.795	49.957 ± 5.408 <sup>A</sup>	0.810	<0.001	0.002
<b>Freq. (Hz)</b>	0.899 ± 0.079	0.845 ± 0.076	0.832 ± 0.166	0.787 ± 0.147	0.008	<0.001	0.519
<b>Comp. (m)</b>	1.956 ± 0.201 <sup>AB</sup>	1.392 ± 0.167 <sup>B</sup>	1.568 ± 0.260 <sup>A</sup>	1.187 ± 0.185	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Comp/Env</b>	1.119 ± 0.098 <sup>AB</sup>	0.796 ± 0.077 <sup>B</sup>	0.949 ± 0.153 <sup>A</sup>	0.718 ± 0.106	<0.001	<0.001	<0.001
<b>SI (m<sup>2</sup>/s)</b>	3.434 ± 0.574 <sup>AB</sup>	1.656 ± 0.409 <sup>B</sup>	2.042 ± 0.596 <sup>A</sup>	1.113 ± 0.340	<0.001	<0.001	<0.001

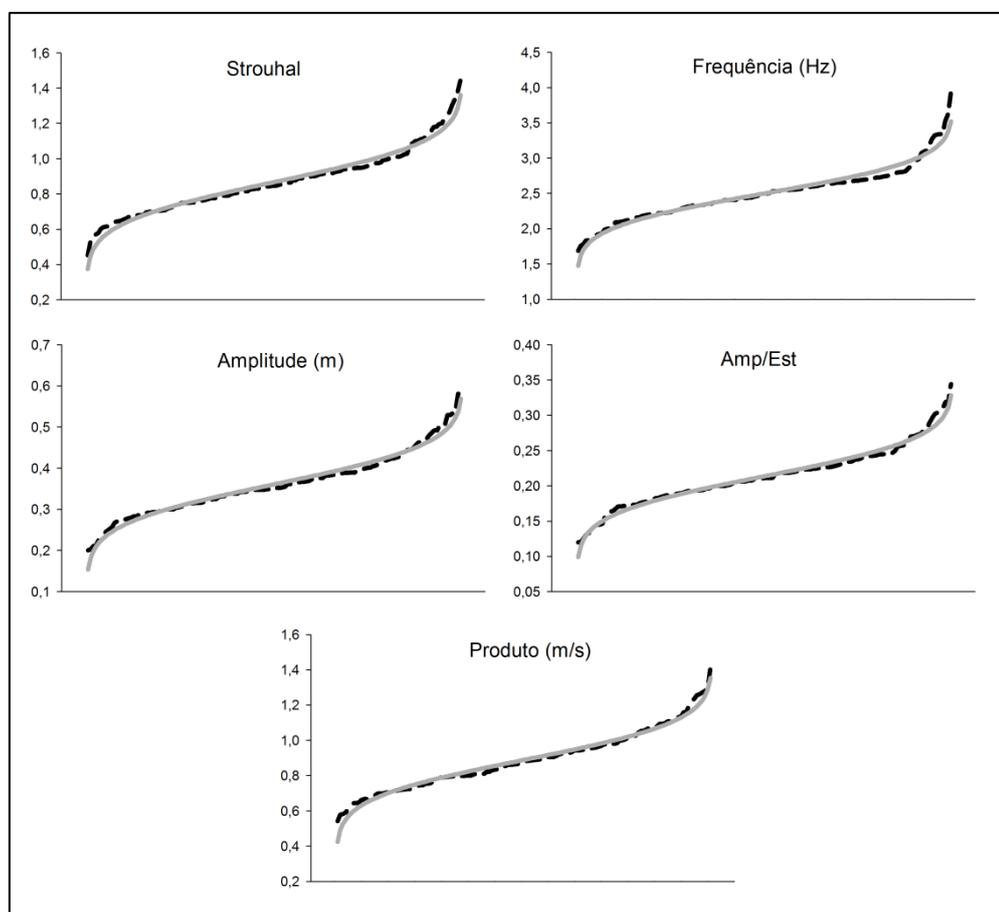
CS - Teste de nado completo sem paraquedas; CP - Teste de nado completo com paraquedas; A - Duração relativa da fase de agarre; B - Duração relativa da fase de puxada; C - Duração relativa da fase do empurrão; D - Duração relativa da fase de recuperação; IdC - Índice de Coordenação; B+C - Duração relativa da fase propulsiva; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; SI - *Stroke Index*; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as condições para um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho para uma condição.

A mesma dinâmica entre frequência e comprimento observado para os diferentes níveis de desempenho, também ocorreu para os níveis de experiência. A

coordenação da braçada também ocorreu de forma semelhante, no entanto o grupo de maior experiência apresentou ajuste semelhante ao grupo de menor experiência na duração relativa da fase propulsiva e no índice de coordenação. O fato de os indivíduos mais experientes não apresentarem a mesma adaptação que os de melhor desempenho para o índice de coordenação está de acordo com o reportado na literatura, já que o parâmetro crítico para mudança do índice de coordenação é a velocidade (CHOLLET; CHALIES; CHATARD, 2000; SEIFERT; CHOLLET; BARDY, 2004)

#### 4.3.3 Sobre as características das pernadas

As distribuições cumulativas das características da pernada durante o nado com limitação de velocidade são apresentadas na figura 48.



Linha Pontilhada - Distribuição da variável; Linha Sólida - Distribuição normal com mesma média e desvio padrão; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura; Produto - Produto entre a frequência e a amplitude de pernada

**Figura 48 - Distribuição cumulativa das características das pernadas durante o teste de nado com limitação de velocidade**

A tabela 32 apresenta a comparação das características da pernada entre as condições com e sem limitação de velocidade em função do nível de desempenho.

**Tabela 32 - Comparação das características das pernadas entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de desempenho**

	1º Tercil		3º Tercil		Grupo	p	
	CS	CP	CS	CP		Teste	Int.
<b>Freq. (Hz)</b>	2.550 ± 0.438	2.413 ± 0.433	2.734 ± 0.327	2.592 ± 0.296	0.014	<0.001	0.937
<b>Amp. (m)</b>	0.340 ± 0.065	0.351 ± 0.074	0.355 ± 0.082	0.374 ± 0.080	0.199	0.009	0.419
<b>Produto (m/s)</b>	0.849 ± 0.119	0.827 ± 0.141	0.961 ± 0.207	0.959 ± 0.185	<0.001	0.426	0.481
<b>Amp/Est</b>	0.207 ± 0.038	0.213 ± 0.042	0.206 ± 0.046	0.217 ± 0.045	0.799	0.010	0.420
<b>Strouhal</b>	0.734 ± 0.151	0.990 ± 0.191	0.531 ± 0.108	0.795 ± 0.161	<0.001	<0.001	0.777

CS - Teste de nado completo sem paraquedas; CP - Teste de nado completo com paraquedas; Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura.

Houve um aumento do número de Strouhal para a condição com limitação de velocidade para ambos os grupos. Esta alteração é devida a alteração da velocidade de escoamento, da mesma forma como já relatado para os números de Froude e Reynolds.

Embora o produto entre frequência e amplitude de pernada não tenha diferido entre as condições de teste, é possível que tenha havido alguma tentativa de controle do aumento do número de Strouhal através da alteração da frequência e amplitude individualmente. Foi observado um aumento significativo da amplitude de pernada para a condição com limitação de velocidade, no entanto este aumento foi contrabalanceado por uma redução da frequência de pernada, inviabilizando o controle do aumento do número de Strouhal, caso esta tenha sido realmente a intenção dos nadadores.

Outras hipóteses a respeito destes ajustes seriam com relação ao arrasto aumentado e com relação à redução da frequência de braçada. No primeiro caso, os nadadores teriam percebido o arrasto adicional independentemente da posição de seus corpos e julgado que para estas condições o aumento da propulsão devido a amplitude de pernada compensaria o arrasto causado pela maior área exposta ao escoamento (NICOLAS et al., 2007), neste caso a redução da frequência ocorreria devido ao maior tempo necessário para se produzir um ciclo de maior amplitude. Considerando a frequência de braçada, poderia se hipotetizar uma sequência inversa, a redução da frequência de braçada causou uma redução na frequência de

pernada para que a coordenação entre membros fosse mantida, desta forma com uma maior duração da pernada seria necessário um aumento da amplitude ou redução da velocidade, sendo que os nadadores teriam escolhido pelo aumento da amplitude.

Os dados sobre a frequência e amplitude de pernada na condição com apenas ação de pernas apresentaram o mesmo comportamento, mesmo não havendo ação de braços, o que depõe contra a hipótese da influencia da frequência de braçada neste ajuste. Estes dados serão apresentados no próximo capítulo.

A tabela 33 apresenta a comparação das características da pernada entre as condições com e sem limitação de velocidade em função do nível de experiência.

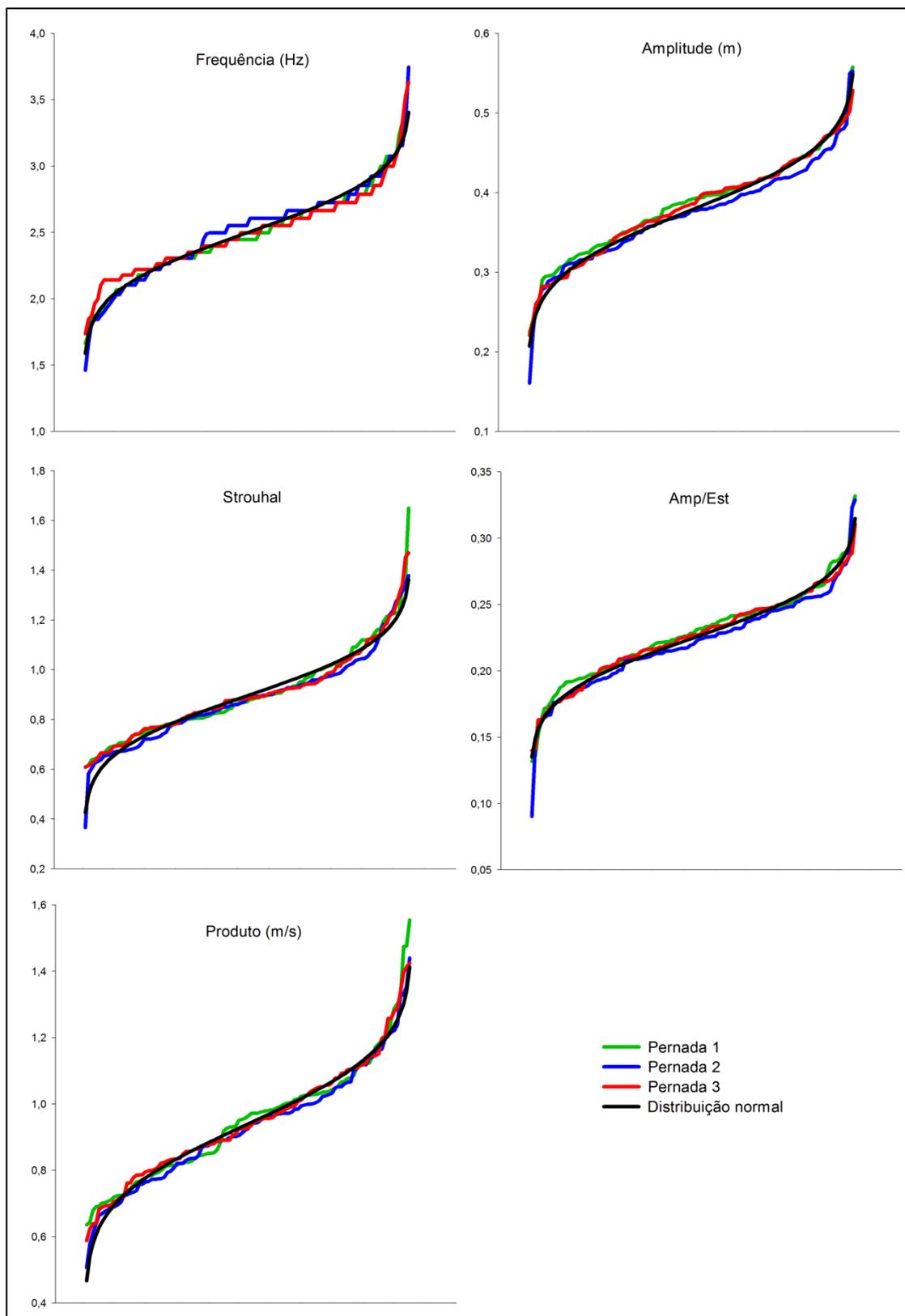
**Tabela 33 - Comparação das características das pernadas entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de experiência**

	Nacional		Recreativo		Grupo	p	
	CS	CP	CS	CP		Teste	Int.
<b>Freq. (Hz)</b>	2.673 ± 0.316	2.481 ± 0.273	2.600 ± 0.480	2.460 ± 0.444	0.526	<0.001	0.279
<b>Amp. (m)</b>	0.344 ± 0.085	0.374 ± 0.084 <sup>A</sup>	0.349 ± 0.079	0.355 ± 0.079	0.682	<0.001	0.019
<b>Produto (m/s)</b>	0.914 ± 0.221	0.923 ± 0.204	0.884 ± 0.160	0.854 ± 0.156	0.152	0.579	0.112
<b>Amp/Est</b>	0.201 ± 0.047	0.218 ± 0.047 <sup>A</sup>	0.209 ± 0.044	0.213 ± 0.043	0.746	<0.001	0.019
<b>Strouhal</b>	0.521 ± 0.109	0.790 ± 0.163	0.707 ± 0.156	0.944 ± 0.184	<0.001	<0.001	0.173

CS - Teste de nado completo sem paraquedas; CP - Teste de nado completo com paraquedas; Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as condições para um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho para uma condição.

A comparação entre os níveis de experiência apresentaram resultados semelhantes à comparação dos níveis de desempenho, a exceção da amplitude de pernada, que só foi maior para o grupo de maior experiência. Isso pode indicar que a experiência seria o fator principal para a capacidade do individuo de identificar as alterações técnicas necessárias para determinada condição.

A figura 49 apresenta a distribuição cumulativa das características de cada pernada dentro de um ciclo de braçada durante o nado com limitação de velocidade para os voluntários que executavam 3 pernadas por ciclo.



Amp/Est - Amplitude da pernada normalizada pela estatura.

**Figura 49 - Distribuição cumulativa das características de cada pernada dentro de um ciclo de braçada durante o nado com limitação de velocidade para os voluntários que executavam 3 pernadas por ciclo**

As tabelas 34 e 35 apresentam a comparação das características individuais das pernadas durante o teste de nado completo com paraquedas entre os diferentes níveis de habilidade para os indivíduos que utilizam 3 pernadas por ciclo de braçada.

**Tabela 34 - Comparação das características de cada pernada de um ciclo de braçada entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de desempenho de acordo com a sequência temporal**

		Freq. (Hz)	Amp. (m)	Amp/Est	Produto (m/s)	Strouhal
1º Tercil	Pernada 1	2.257 ± 0.328	0.379 ± 0.067	0.231 ± 0.037	0.846 ± 0.139	1.032 ± 0.205
	Pernada 2	2.337 ± 0.409	0.373 ± 0.067	0.227 ± 0.038	0.853 ± 0.129	1.039 ± 0.182
	Pernada 3	2.348 ± 0.292	0.368 ± 0.074	0.224 ± 0.040	0.851 ± 0.137	1.040 ± 0.204
3º Tercil	Pernada 1	2.618 ± 0.294	0.384 ± 0.062	0.223 ± 0.034	0.999 ± 0.173	0.829 ± 0.147
	Pernada 2	2.659 ± 0.259	0.374 ± 0.065	0.218 ± 0.038	0.991 ± 0.186	0.823 ± 0.157
	Pernada 3	2.595 ± 0.272	0.389 ± 0.060	0.227 ± 0.033	1.005 ± 0.158	0.833 ± 0.130
	Desemp.	<0.001	0.527	0.507	<0.001	<0.001
p	Pernada	0.350	0.465	0.507	0.897	0.898
	Interação	0.381	0.288	0.270	0.830	0.884

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; Desemp. – Nível de desempenho.

**Tabela 35 - Comparação das características de cada pernada de um ciclo de braçada entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de experiência de acordo com a sequência temporal**

		Freq. (Hz)	Amp. (m)	Amp/Est	Produto (m/s)	Strouhal
Nacional	Pernada 1	2.522 ± 0.264	0.384 ± 0.054	0.224 ± 0.029	0.968 ± 0.175	0.832 ± 0.136
	Pernada 2	2.547 ± 0.293	0.366 ± 0.068	0.214 ± 0.039	0.930 ± 0.201	0.798 ± 0.150
	Pernada 3	2.534 ± 0.277	0.380 ± 0.056	0.222 ± 0.030	0.964 ± 0.180	0.827 ± 0.129
Recreativo	Pernada 1	2.393 ± 0.440	0.386 ± 0.073	0.233 ± 0.041	0.911 ± 0.200	1.002 ± 0.197
	Pernada 2	2.437 ± 0.463	0.373 ± 0.064	0.225 ± 0.036	0.893 ± 0.155	0.985 ± 0.166
	Pernada 3	2.409 ± 0.326	0.379 ± 0.074	0.228 ± 0.039	0.905 ± 0.183	0.995 ± 0.182
	Grupo	0.074	0.846	0.228	0.194	<0.001
p	Pernada	0.641	0.045 <sup>BC</sup>	0.063	0.137	0.160
	Interação	0.960	0.805	0.796	0.708	0.761

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; Desemp. – Nível de desempenho; <sup>A</sup> – Diferença entre as pernadas 1 e 3; <sup>B</sup> – Diferença entre as pernadas 1 e 2; <sup>C</sup> – Diferença entre as pernadas 2 e 3.

O número de Strouhal novamente aumentou em função do nível de habilidade dos nadadores, refletindo o efeito da velocidade, e os indivíduos de melhor desempenho apresentaram uma maior frequência de pernada. A amplitude de pernada na comparação entre os níveis de experiência foi a única variável a

apresentar diferenças entre as pernadas, sendo que a segunda pernada do ciclo apresentava menor amplitude que as demais.

A tabela 36 apresenta a comparação das características individuais das pernadas ordenada pelo número de Strouhal durante o teste de nado completo com paraquedas entre os diferentes níveis de desempenho para os indivíduos que utilizam 3 pernadas por ciclo de braçada.

**Tabela 36 - Comparação das características de cada pernada de um ciclo de braçada entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de desempenho de acordo com o número de Strouhal**

		Freq. (Hz)	Amp. (m)	Amp/Est	Produto (m/s)	Strouhal
	<b>Pernada 1</b>	2.473 ± 0.321	0.401 ± 0.063	0.245 ± 0.035	0.909 ± 0.129	1.111 ± 0.206
<b>1º Tercil</b>	<b>Pernada 2</b>	2.328 ± 0.316	0.375 ± 0.067	0.228 ± 0.036	0.847 ± 0.127	1.033 ± 0.187
	<b>Pernada 3</b>	2.141 ± 0.324	0.344 ± 0.066	0.209 ± 0.035	0.794 ± 0.121	0.967 ± 0.169
	<b>Pernada 1</b>	2.816 ± 0.248	0.409 ± 0.056	0.238 ± 0.030	1.067 ± 0.168	0.884 ± 0.140
<b>3º Tercil</b>	<b>Pernada 2</b>	2.628 ± 0.226	0.386 ± 0.058	0.225 ± 0.033	1.004 ± 0.151	0.833 ± 0.131
	<b>Pernada 3</b>	2.428 ± 0.199	0.352 ± 0.060	0.205 ± 0.034	0.924 ± 0.167	0.767 ± 0.140
	<b>Desemp.</b>	<0.001	0.527	0.507	<0.001	<0.001
<b>p</b>	<b>Pernada</b>	<0.001 <sup>ABC</sup>				
	<b>Interação</b>	0.563	0.905	0.806	0.223	0.171

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; Desemp. - Nível de desempenho; <sup>A</sup> - Diferença entre as pernadas 1 e 3; <sup>B</sup> - Diferença entre as pernadas 1 e 2; <sup>C</sup> - Diferença entre as pernadas 2 e 3.

Considerando as pernadas ordenadas pelo número de Strouhal, todas foram diferentes entre si para todos os parâmetros analisados. Comparando com os resultados da sequencia temporal das pernadas este resultado indica que os indivíduos utilizavam diferentes formas de organização das pernadas dentro de um ciclo de braçada. Com relação ao nível de desempenho, apenas a amplitude de pernada e a amplitude de pernada normalizada pela estatura não apresentaram diferença significativa. Isto indica que o controle da amplitude pode ser regulado por fatores antropométricos (BAINBRIDGE, 1957; NICOLAS et al., 2007).

Para esta comparação o produto entre frequência e amplitude de pernada foi maior para o grupo de melhor desempenho, esta alteração aumenta o número de Strouhal. Desta forma, caso o intuito desta alteração fosse o de controlar o número de Strouhal a tentativa seria de produzir o maior valor possível, e não de controlar seu aumento. Por outro lado, considerando as hipóteses do controle da amplitude,

este resultado indicaria que a amplitude é ajustada independentemente do número de Strouhal, o que indicaria uma impossibilidade da utilização de mecanismos dependentes da interação do escoamento para estes indivíduos nestas condições.

A tabela 37 apresenta a comparação das características individuais das pernadas ordenada pelo número de Strouhal durante o teste de nado completo com paraquedas entre os diferentes níveis de experiência para os indivíduos que utilizam 3 pernadas por ciclo de braçada.

**Tabela 37 - Comparação das características de cada pernada de um ciclo de braçada entre as condições com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de experiência de acordo com o número de Strouhal**

		Freq. (Hz)	Amp. (m)	Amp/Est	Produto (m/s)	Strouhal
<b>Nacional</b>	<b>Pernada 1</b>	2.698 ± 0.304	0.400 ± 0.055	0.234 ± 0.030 <sup>AB</sup>	1.024 ± 0.189	0.878 ± 0.137
	<b>Pernada 2</b>	2.525 ± 0.207	0.381 ± 0.056	0.223 ± 0.030 <sup>C</sup>	0.957 ± 0.167	0.822 ± 0.123
	<b>Pernada 3</b>	2.380 ± 0.215	0.349 ± 0.059	0.204 ± 0.032	0.881 ± 0.174	0.756 ± 0.131
<b>Recreativo</b>	<b>Pernada 1</b>	2.607 ± 0.425	0.412 ± 0.061	0.249 ± 0.033 <sup>ABD</sup>	0.971 ± 0.187	1.069 ± 0.189
	<b>Pernada 2</b>	2.423 ± 0.362	0.383 ± 0.067	0.231 ± 0.035 <sup>C</sup>	0.902 ± 0.170	0.992 ± 0.171
	<b>Pernada 3</b>	2.210 ± 0.349	0.342 ± 0.066	0.206 ± 0.036	0.836 ± 0.155	0.92 ± 0.153
	<b>Grupo</b>	0.074	0.846	0.238	0.194	<0.001
<b>p</b>	<b>Pernada</b>	<0.001 <sup>ABC</sup>	<0.001 <sup>ABC</sup>	<0.001	<0.001 <sup>ABC</sup>	<0.001 <sup>ABC</sup>
	<b>Interação</b>	0.141	0.072	0.037	0.838	0.257

Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto; Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est Amplitude da pernada normalizada pela estatura; Desemp. – Nível de desempenho; <sup>A</sup> – Diferença entre as pernadas 1 e 3; <sup>B</sup> – Diferença entre as pernadas 1 e 2; <sup>C</sup> – Diferença entre as pernadas 2 e 3; <sup>D</sup> - Diferença entre os grupos para uma mesma pernada

Na comparação entre os diferentes níveis de experiência, a amplitude de pernada normalizada pela estatura apresentou interação significativa entre os fatores, sendo que apenas para pernada de maior número de Strouhal a amplitude normalizada foi maior para os indivíduos do grupo recreativo. É possível que este aumento da amplitude seja responsável pelo maior valor de Strouhal observado para esta pernada, corroborando com a hipótese de que os ajustes de amplitude são realizados de forma independente do número de Strouhal, já que o fato deste resultado ter ocorrido para o grupo menos experiente indica que provavelmente este ajuste é prejudicial ao desempenho ou a eficiência, e que esta característica desaparece com o aumento da experiência.

#### 4.3.4 Sobre a coordenação entre membros

Os resultados das comparações de distribuição de probabilidade dos modos de coordenação analisados são apresentados nas tabelas 38 a 44.

**Tabela 38 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação do índice de coordenação entre os níveis de habilidade para o teste de nado com limitação de velocidade**

Modo_IdC	Catch-up	Oposição	Sobreposição	p <sub>fixo</sub>	p
<b>Fixo</b>	33.33	33.33	33.33		
<b>Geral</b>	34.04	32.62	33.33	0.979	
<b>T1</b>	37.50	35.42	27.08	0.646	0.225
<b>T3</b>	27.08	29.17	43.75	0.305	
<b>Recreativo</b>	39.34	32.79	27.87	0.291	0.299
<b>Nacional</b>	35.29	23.53	41.18	0.545	

IdC – Índice de Coordenação; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil.

**Tabela 39 – Comparação das ocorrências do número de pernadas por ciclo entre os níveis de habilidade para o teste de nado com limitação de velocidade**

N pernadas	2	3	4+	p <sub>fixo</sub>	p
<b>Fixo</b>	33.33	33.33	33.33		
<b>Geral</b>	7.09	78.01	14.89	<0.001	
<b>T1</b>	10.42	58.33	31.25	<0.001	0.001
<b>T3</b>	6.25	91.67	2.08	<0.001	
<b>Recreativo</b>	13.11	57.38	29.51	<0.001	<0.001
<b>Nacional</b>	3.92	94.12	1.96	<0.001	

N pernada – Número de pernadas por ciclo; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil.

**Tabela 40 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da frequência relativa entre os níveis de habilidade para o teste de nado com limitação de velocidade**

Freq Relativa	Atrasado	Sincronizado	Adiantado	p <sub>fixo</sub>	p <sub>prop</sub>	p
<b>Fixo</b>	33.33	33.33	33.33			
<b>Proporcional</b>	42.50	15.00	42.50			
<b>Geral</b>	29.79	48.23	21.99	<0.001	<0.001	
<b>T1</b>	39.58	33.33	27.08	0.570	0.001	0.004
<b>T3</b>	16.67	66.67	16.67	<0.001	<0.001	
<b>Recreativo</b>	40.98	26.23	32.79	<0.001	<0.001	<0,001
<b>Nacional</b>	23.53	66.67	9.80	0.368	0.038	

Freq Relativa – Frequência Relativa; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil.

**Tabela 41 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da fase entre membros no momento A entre os níveis de habilidade para o teste de nado com limitação de velocidade**

Fase perna A	Em fase (asc.)	Em fase (desc.)	Fora de Fase (asc.)	Fora de Fase (desc.)	p <sub>fixo</sub>	p <sub>prop</sub>	p
<b>Fixo</b>	25.00	25.00	25.00	25.00			
<b>Proporcional</b>	11.76	11.76	38.24	38.24			
<b>Geral</b>	12.69	8.96	40.30	38.06	<0,001	0.767	
<b>T1</b>	4.26	14.89	40.43	40.43	<0,001	0.430	0.043
<b>T3</b>	17.39	2.17	41.30	39.13	<0,001	0.175	
<b>Recreativo</b>	6.78	16.95	33.90	42.37	<0,001	0.003	0.002
<b>Nacional</b>	25.53	2.13	46.81	25.53	<0,001	0.369	

Fase Perna A – Fase da pernada no momento A do Índice de Coordenação; asc. – Ascendente; desc. – Descendente; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil.

**Tabela 42 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da fase entre membros no momento B entre os níveis de habilidade para o teste de nado com limitação de velocidade**

Fase perna B	Em fase (asc.)	Em fase (desc.)	Fora de Fase (asc.)	Fora de Fase (desc.)	p <sub>fixo</sub>	p <sub>prop</sub>	p
<b>Fixo</b>	25.00	25.00	25.00	25.00			
<b>Proporcional</b>	11.76	11.76	38.24	38.24			
<b>Geral</b>	5.22	19.40	35.82	39.55	<0,001	0.008	
<b>T1</b>	0.00	17.02	38.30	44.68	<0,001	0.067	0.175
<b>T3</b>	8.70	21.74	30.43	39.13	0.026	0.171	
<b>Recreativo</b>	1.69	18.64	32.20	47.46	0.007	0.663	0.378
<b>Nacional</b>	8.51	17.02	36.17	38.30	<0,001	0.025	

Fase Perna B – Fase da pernada no momento B do Índice de Coordenação; asc. – Ascendente; desc. – Descendente; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil.

**Tabela 43 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da fase entre membros no momento C entre os níveis de habilidade para o teste de nado com limitação de velocidade**

Fase perna C	Em fase (asc.)	Em fase (desc.)	Fora de Fase (asc.)	Fora de Fase (desc.)	P <sub>fixo</sub>	P <sub>prop</sub>	P
<b>Fixo</b>	25.00	25.00	25.00	25.00			
<b>Proporcional</b>	11.76	11.76	38.24	38.24			
<b>Geral</b>	8.96	15.67	37.31	38.06	<0.001	0.445	
<b>T1</b>	10.64	12.77	34.04	42.55	0.003	0.911	0.303
<b>T3</b>	2.17	17.39	43.48	36.96	<0,001	0.159	
<b>Recreativo</b>	8.47	13.56	32.20	45.76	0.004	0.306	0.558
<b>Nacional</b>	6.38	19.15	40.43	34.04	<0,001	0.544	

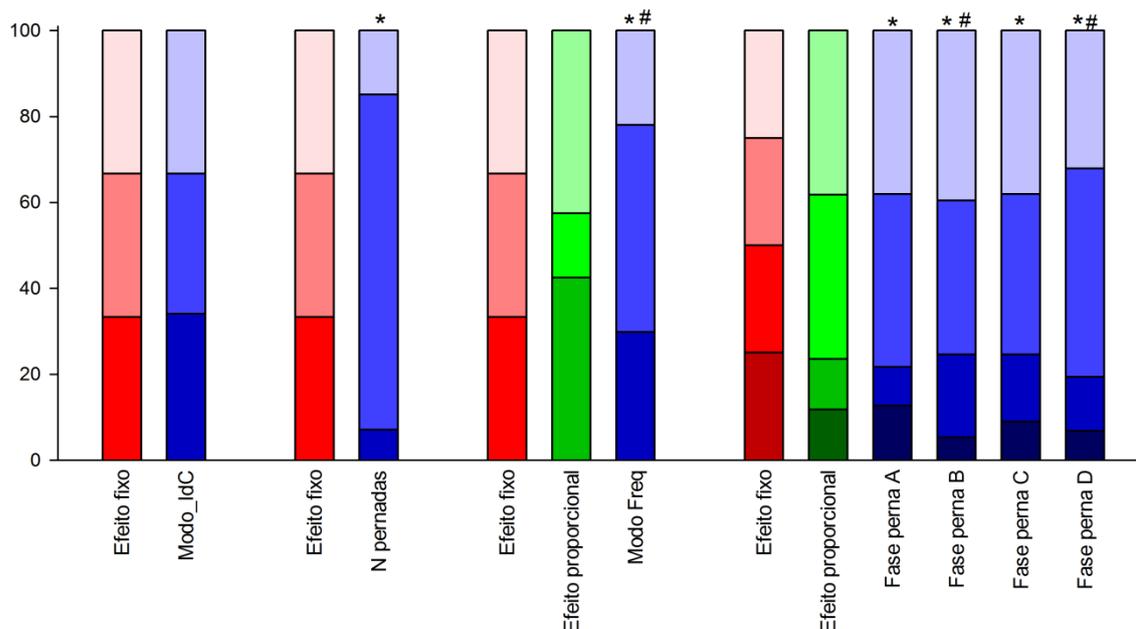
Fase Perna C – Fase da pernada no momento C do Índice de Coordenação; asc. – Ascendente; desc. – Descendente; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil.

**Tabela 44 – Comparação das ocorrências dos modos de coordenação da fase entre membros no momento D entre os níveis de habilidade para o teste de nado com limitação de velocidade**

Fase perna D	Em fase (asc.)	Em fase (desc.)	Fora de Fase (asc.)	Fora de Fase (desc.)	P <sub>fixo</sub>	P <sub>prop</sub>	P
<b>Fixo</b>	25.00	25.00	25.00	25.00			
<b>Proporcional</b>	11.76	11.76	38.24	38.24			
<b>Geral</b>	6.72	12.69	48.51	32.09	<0.001	0.046	
<b>T1</b>	8.51	19.15	42.55	29.79	0.007	0.294	0.338
<b>T3</b>	4.35	8.70	56.52	30.43	<0,001	0.064	
<b>Recreativo</b>	8.47	15.25	38.98	37.29	<0,001	0.002	0.062
<b>Nacional</b>	2.13	10.64	63.83	23.40	0.001	0.758	

Fase Perna D – Fase da pernada no momento D do Índice de Coordenação; asc. – Ascendente; desc. – Descendente; Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; Geral – Todos os voluntários; T1 – 1º Tercil; T3 – 3º Tercil.

As comparações das distribuições de ocorrência dos modos de coordenação analisados entre todos os voluntários na condição com limitação de velocidade é apresentadas na figura 50.



Fixo – Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando os modos igualmente prováveis; Proporcional - Probabilidade de ocorrência de cada modo de coordenação considerando as larguras de bandas; IdC – Índice de Coordenação; N pernadas – Número de pernadas por ciclo; Freq – Frequência Relativa; Fase Perna A, B, C ou D – Fase da perna no momento A, B, C ou D do Índice de Coordenação; \* - Diferença significativa em relação ao efeito fixo ( $p < 0.05$ ); # - Diferença significativa em relação ao efeito proporcional ( $p < 0.05$ ).

**Figura 50 - Distribuições de ocorrência dos modos de coordenação para o nado com limitação de velocidade**

O modo de coordenação associado ao índice de coordenação ocorreu de modo aleatório entre os voluntários. No entanto, como para a condição de nado livre houve uma prevalência da coordenação em catch-up, a mudança observada pode indicar uma tentativa generalizada de aumento do índice de coordenação onde os indivíduos terminaram igualmente divididos ao redor do modo de oposição.

O número de pernadas manteve o predomínio da coordenação de 3 pernadas por ciclo de braçada.

O modo de coordenação associado à frequência relativa novamente não foi adotado ao acaso, no entanto para esta condição, a escolha entre os modos também não ocorreu de maneira arbitrária, privilegiando a seleção do modo sincronizado. Esta mudança de comportamento pode estar relacionada às menores frequências de braçada e perna utilizadas nas condições com limites de velocidade, neste caso os movimentos mais lentos permitiram que mais nadadores fossem capazes de atingir a sincronização entre membros. Considerando esta hipótese, existiriam nadadores que já identificaram a necessidade de sincronizar

seus movimentos mas ainda não tem a habilidade necessária para fazê-lo, desta forma condições com menos complexidade permitiriam a estes indivíduos atingirem a sincronização.

Para a coordenação das fases da pernada, apenas para os momentos B e D da braçada a fase da pernada não foi adotada de maneira aleatória. Nestes pontos a escolha da fase também não foi arbitrária sendo predominante a coordenação em fase descendente para o momento B e fora de fase ascendente para a fase D.

As comparações das distribuições de ocorrência dos modos de coordenação analisados entre níveis de habilidade na condição com limitação de velocidade é apresentadas na figura 51.



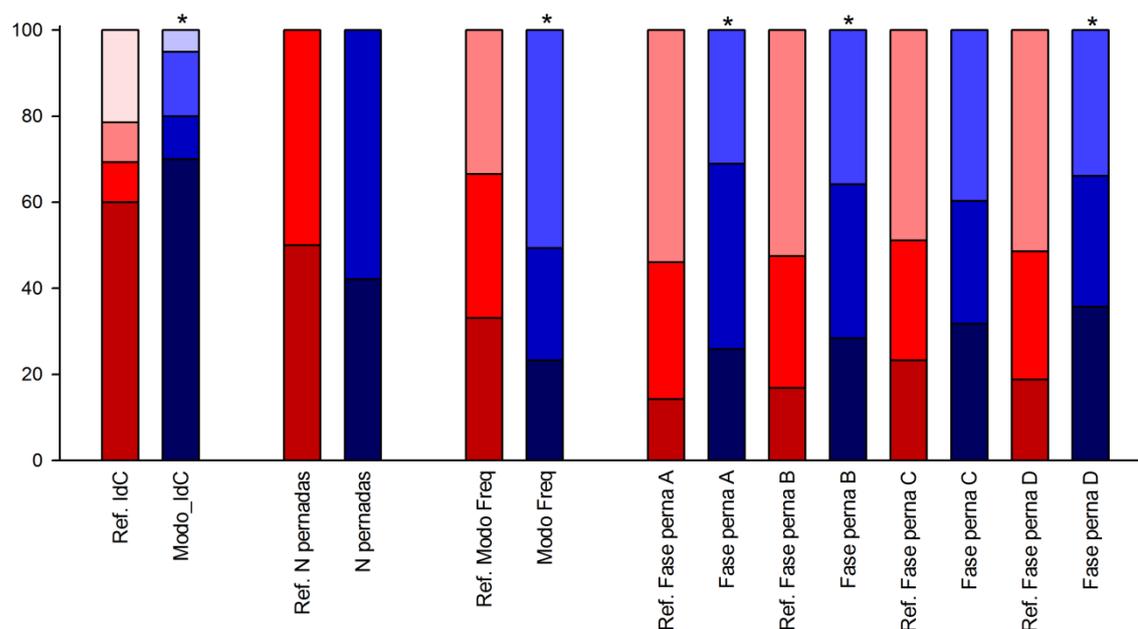
Para ambos os níveis de desempenho e experiência, o modo de coordenação do índice de coordenação apresentou o mesmo comportamento da análise geral. Também não houve diferença entre a prevalência dos modos de coordenação nos diferentes grupos. A alteração do índice de coordenação na condição com limitação de velocidade não ocorreu em função da velocidade, mas sim pela necessidade de maior continuidade da propulsão causada pelo arrasto adicional do paraquedas, sendo esta a provável razão para semelhança da resposta de indivíduos de diferentes níveis de desempenho e experiência. Este resultado também confirma a hipótese de que esta percepção da necessidade de se reduzir as fases passivas na braçada já existe nos níveis iniciais de aprendizado. De fato, o controle dos movimentos baseado na aceleração já é um mecanismo conhecido (ZAGO; LACQUANITI, 2005).

A condição de limitação de velocidade não alterou o número de pernadas por ciclo para nenhum nível de habilidade, sendo a coordenação de 3 pernadas por ciclo a prevalente.

A adoção de um modo de coordenação para a frequência relativa não correu de forma arbitrária para nenhum nível de habilidade, no entanto apenas os grupos nacional e de 3º tercil de desempenho apresentaram uma escolha não aleatória para sincronização. Este modo de coordenação também apresentava maior ocorrência para estes grupos quando comparados com os de menor habilidade.

Na relação entre a fase da pernada e as fases da braçada, os grupos de maior habilidade apresentarão uma adoção menor da coordenação em fase descendente no momento A da braçada quando comparado aos grupos de menor habilidade. Nesta fase houve um aumento das coordenações em fase ascendente ou ascendente, indicando que os indivíduos buscavam que a finalização da pernada coincidissem com a fase A, numa provável tentativa de aumentar a propulsão nesta fase (PACHOLAK et al., 2014), mantendo uma maior continuidade das ações propulsivas.

As comparações das ocorrências de mudança dos modos de coordenação entre as condições de nado com e sem limitação de velocidade são apresentadas na figura 52.

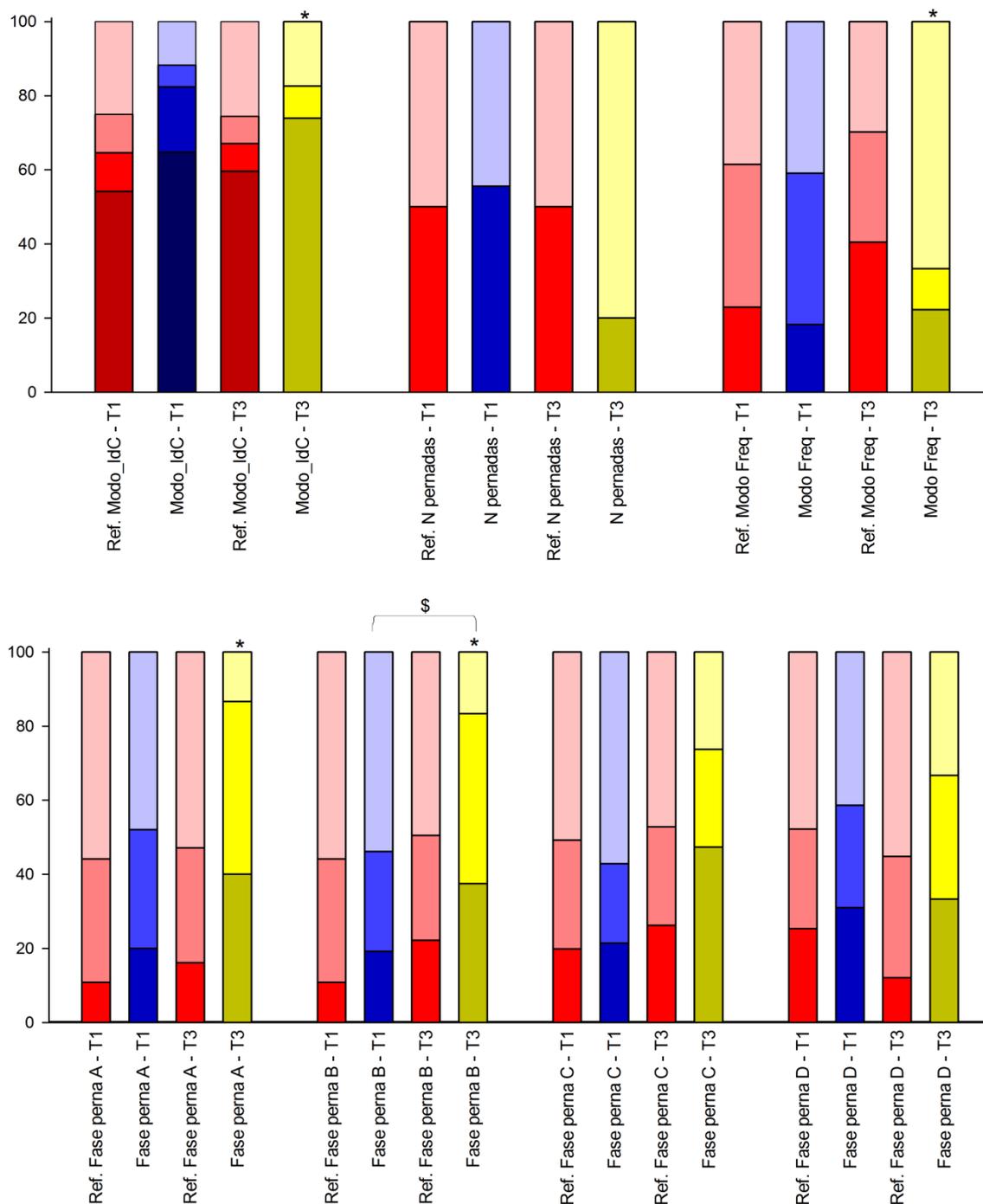


Ref – Probabilidade de ocorrência de cada mudança de modo de coordenação considerando os modos apresentados no teste de nado livre sem paraquedas e as mudanças de modos igualmente prováveis dentro da largura das bandas; IdC – Índice de Coordenação; N pernadas – Número de pernadas por ciclo; Freq – Frequência Relativa; Fase Perna A, B, C ou D – Fase da perna no momento A, B, C ou D do Índice de Coordenação; \* - Diferença significativa em relação à referência ( $p < 0.05$ ).

**Figura 52 - Comparação da distribuições de ocorrência de mudança dos modos de coordenação entre as condições de nado com e sem limitação de velocidade**

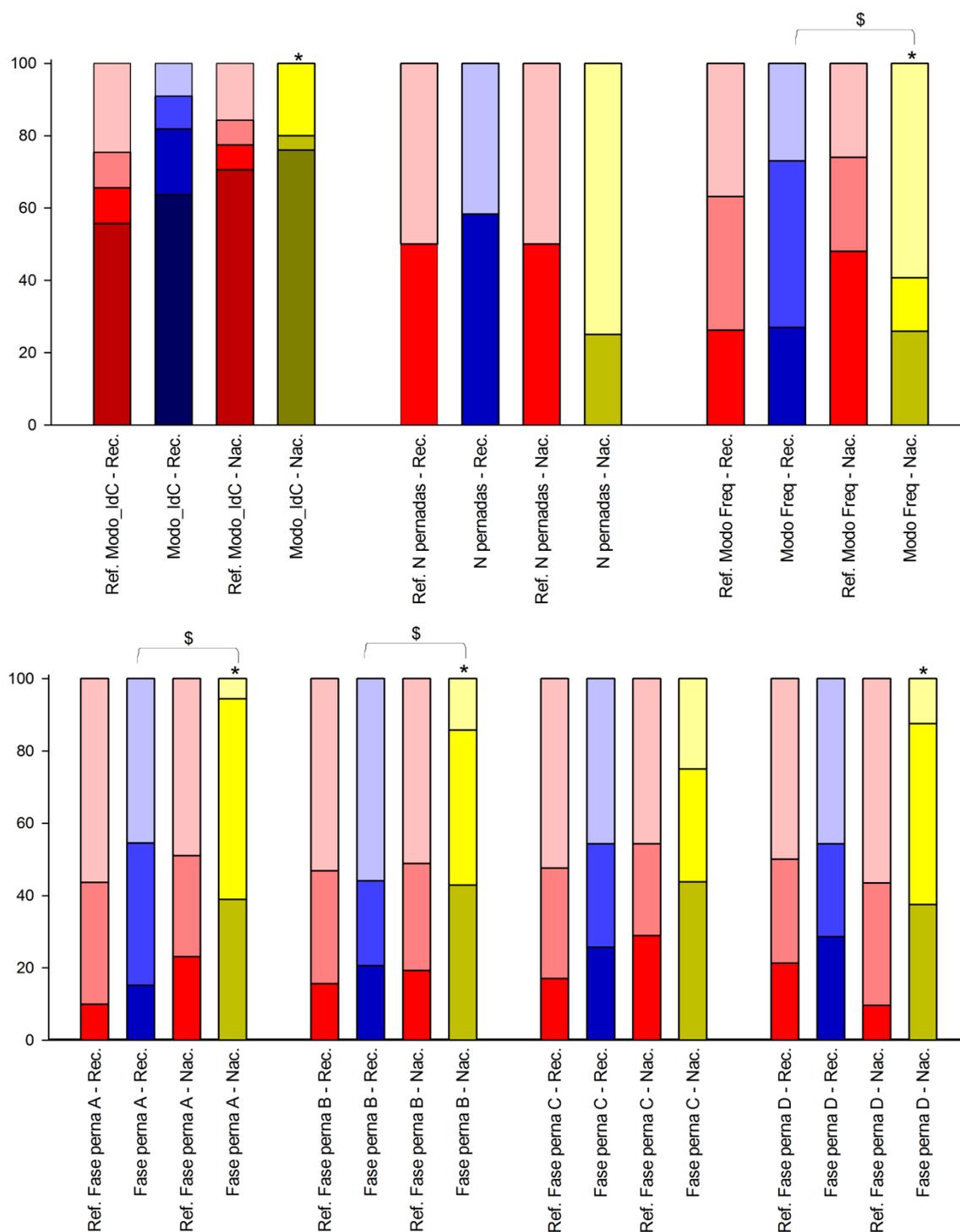
A principal alteração entre os modos de coordenação foi a transição da coordenação em catch um para oposição ou sobreposição. Mesmo esta sendo a alteração com maior prevalência se consideradas apenas mudanças aleatória, os valores observados ainda foram significativamente maiores. O arrasto adicional fornecido pelo paraquedas obrigou os nadadores a buscarem maior quantidade e continuidade de força propulsiva conforme relata a literatura (SEIFERT; CHOLLET; BARDY, 2004; TELLES et al., 2011). Também foi observada uma maior transição para um modo de frequência relativa sincronizado. As mudanças entre número de pernadas parecem ter ocorrido aleatoriamente.

As comparações das ocorrências de mudança dos modos de coordenação entre as condições de nado com e sem limitação de velocidade analisados entre os níveis de habilidade são apresentadas na figura 53.e 54



Ref – Referência da probabilidade de ocorrência de cada mudança de modo de coordenação considerando os modos apresentados no teste de nado livre sem paraquedas e as mudanças de modos igualmente prováveis; IdC – Índice de Coordenação; N pernadas – Número de pernadas por ciclo; Freq – Frequência Relativa; Fase Perna A, B, C ou D – Fase da perna no momento A, B, C ou D do Índice de Coordenação; T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; \* - Diferença significativa em relação à referência ( $p < 0,05$ ); \$ - Diferença significativa em relação aos níveis de desempenho ( $p < 0,05$ ).

**Figura 53 - Comparação da distribuições de ocorrência de mudança dos modos de coordenação entre as condições de nado com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de desempenho**



Ref – Referência da probabilidade de ocorrência de cada mudança de modo de coordenação considerando os modos apresentados no teste de nado livre sem paraquedas e as mudanças de modos igualmente prováveis; IdC – Índice de Coordenação; N pernadas – Número de pernadas por ciclo; Freq – Frequência Relativa; Fase Perna A, B, C ou D – Fase da perna no momento A, B, C ou D do Índice de Coordenação; Rec - Recreativo; Nac - Nacional; \* - Diferença significativa em relação à referência ( $p < 0,05$ ); \$ - Diferença significativa em relação aos níveis de experiência ( $p < 0,05$ ).

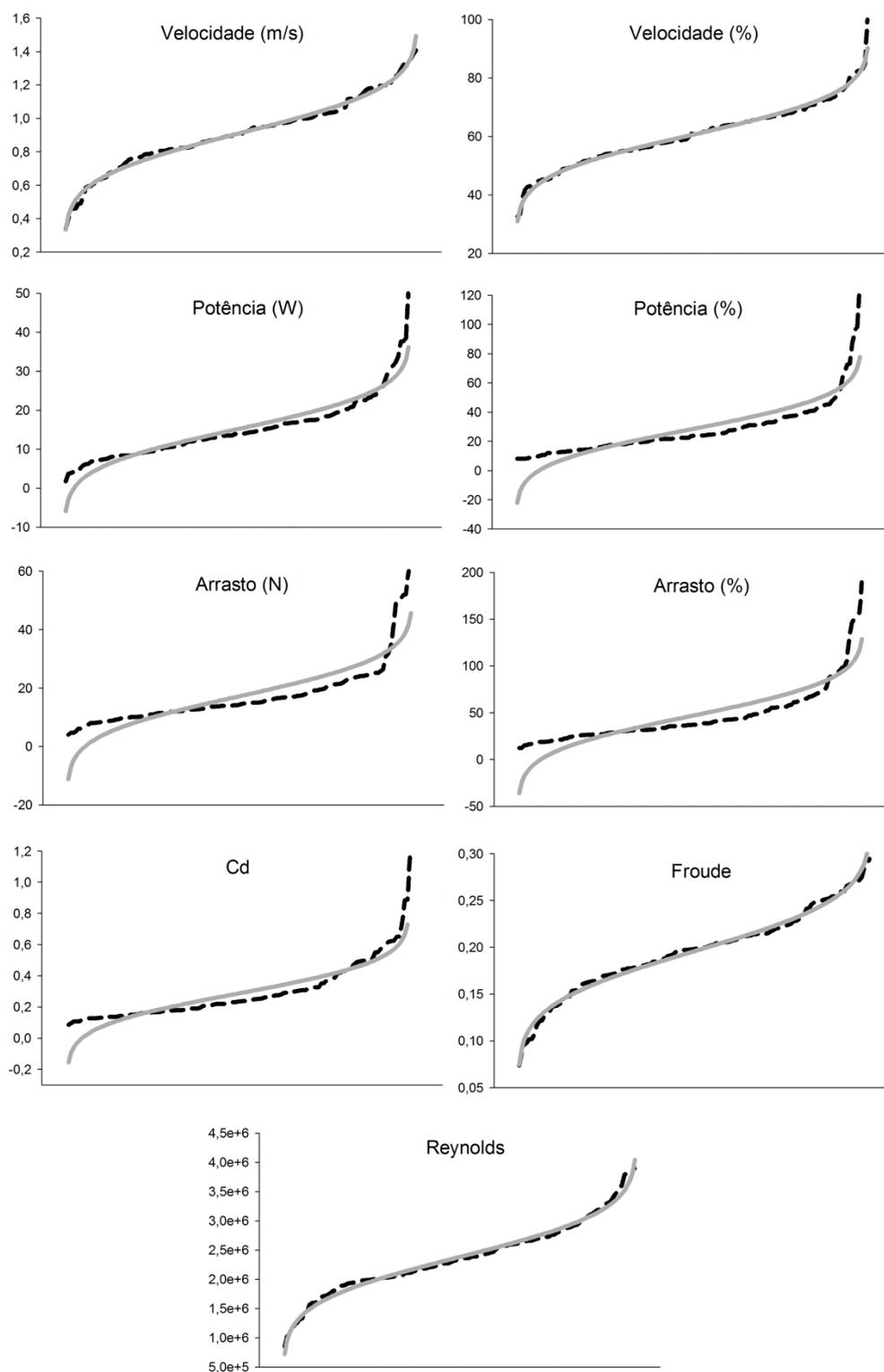
**Figura 54 - Comparação da distribuições de ocorrência de mudança dos modos de coordenação entre as condições de nado com e sem limitação de velocidade para os diferentes níveis de experiência**

A modificação da coordenação em catch-up para oposição ou sobreposição só ocorreu de maneira diferente da esperada ao acaso para os grupos de maior habilidade. O mesmo ocorreu para o modo de coordenação da frequência relativa, onde a mudança para sincronização também foi maior para o grupo nacional e o 3º Tercil. Isto indica que o nível de habilidade foi decisivo para determinar as mudanças dos modos de coordenação. Para a coordenação da fase entre os membros, houve uma mudança diferente da esperada ao acaso para as fases A e B. No entanto, tanto a alteração de uma coordenação em fase para uma coordenação fora de fase; quanto a alteração de uma coordenação fora de fase para uma coordenação em fase, mudanças diametralmente opostas, apresentaram ocorrência superiores. Desta forma embora pareça ter havido alguma intenção de realizar esta mudança, e que provavelmente ela esteja associada a tentativa de aumento da propulsão por membros inferiores da fase de agarre, mesmo os nadadores mais habilidosos não convergiram nas estratégias de como fazê-lo.

#### 4.4 COMPARAÇÃO DA AÇÃO DE PERNAS EM CONDIÇÕES COM E SEM AÇÃO DE BRAÇOS

##### 4.4.1 Sobre as características do escoamento

As distribuições cumulativas das características do escoamento durante o nado com apenas ação de pernas são apresentadas na figura 56.



Linha Pontilhada - Distribuição da variável; Linha Sólida - Distribuição normal com mesma média e desvio padrão; Velocidade, Potencia e Arrasto (%) - Percentual apresentado em relação a condição de nado completo sem paraquedas; Froude - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; Cd - Coeficiente de arrasto.

**Figura 56 - Distribuições cumulativas das características do escoamento durante o teste de nado com apenas ação de pernas**

A tabela 45 apresenta a comparação das características do escoamento na condição de apenas ação de pernas em função do nível de habilidade.

**Tabela 45 - Comparação das características do escoamento entre os níveis de habilidade durante o teste de nado completo sem paraquedas**

	Experiência		p	Desempenho		
	Nacional	Recreativo		1º Tercil	3º Tercil	p
<b>Vel. (m/s)</b>	1.066 ± 0.163	0.777 ± 0.182	<0.001	0.747 ± 0.167	1.083 ± 0.153	<0.001
<b>Vel. (%)</b>	61.237 ± 8.301	61.081 ± 12.788	0.941	63.431 ± 12.742	60.129 ± 8.166	0.137
<b>Pot. (W)</b>	16.341 ± 6.804	12.637 ± 6.389	0.006	10.899 ± 6.017	18.123 ± 7.722	<0.001
<b>Pot. (%)</b>	22.474 ± 10.300	29.281 ± 16.372	0.015	30.958 ± 18.354	22.398 ± 10.484	0.008
<b>Arrasto (N)</b>	15.111 ± 5.372	15.172 ± 7.124	0.962	13.911 ± 6.781	16.811 ± 7.280	0.058
<b>Arrasto (%)</b>	36.652 ± 15.344	46.072 ± 23.447	0.020	47.895 ± 29.260	37.667 ± 17.239	0.046
<b>Cd</b>	0.212 ± 0.091	0.368 ± 0.187	<0.001	0.357 ± 0.189	0.222 ± 0.113	<0.001
<b>Froude</b>	0.226 ± 0.032	0.169 ± 0.040	<0.001	0.163 ± 0.038	0.229 ± 0.031	<0.001
<b>Reynolds</b>	2.849 ± 0.515	1.966 ± 0.466	<0.001	1.872 ± 0.410	2.896 ± 0.487	<0.001

Vel - Velocidade; Pot - Potencia; Vel, Pot e Arrasto (%) - Percentual apresentado em relação a condição de nado completo sem paraquedas; Cd - Coeficiente de arrasto; Froude - Número de Froude calculado pelo comprimento do nadador; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as categorias de um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho de uma categoria.

A velocidade do deslocamento utilizando apenas a ação de pernas também foi maior para os grupos de maior habilidade, no entanto para todos os grupos esta velocidade corresponde a aproximadamente 60% da velocidade produzida com a ação conjunta dos membros, valores semelhantes aos encontrados na literatura (BUCHER, 1974).

O arrasto entre os grupos foi semelhante, o que indica que os nadadores mais habilidosos adotaram uma posição mais eficiente durante o teste, visto que eles produziram o mesmo arrasto para uma velocidade maior. De fato o coeficiente de arrasto apresentado pelos nadadores mais habilidosos foi significativamente menor.

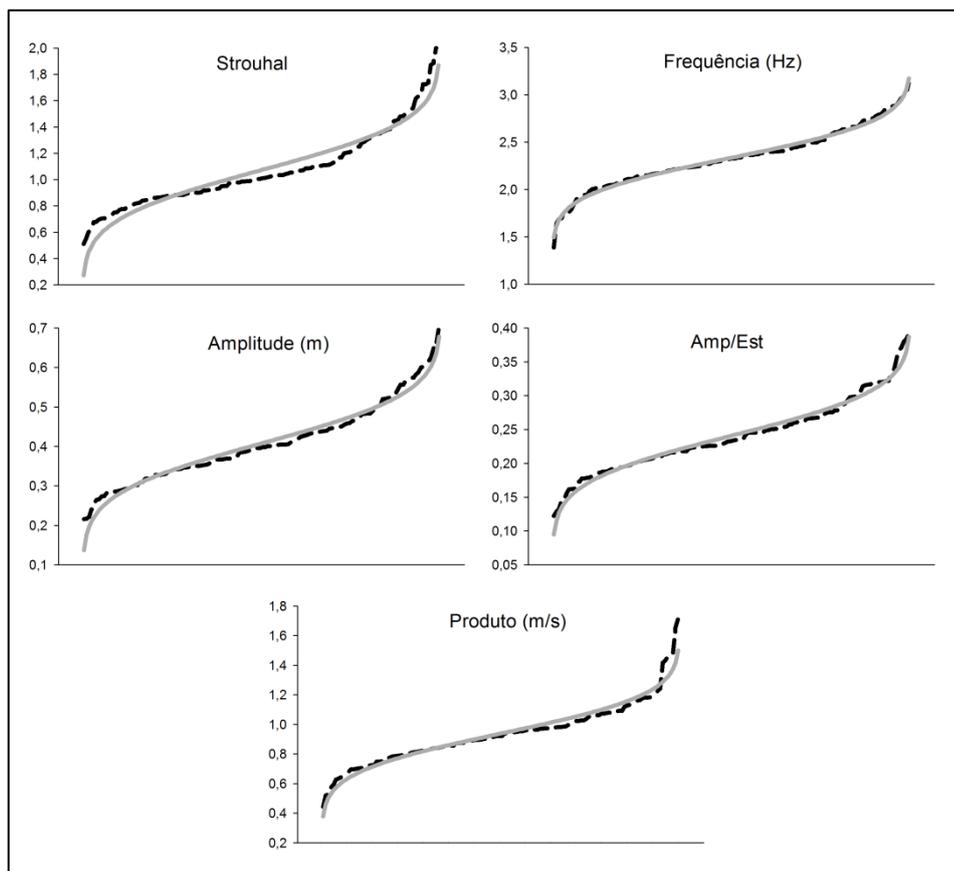
No entanto estes valores representavam uma parcela menor do arrasto total para os indivíduos dos grupos de maior habilidade. Isso indicaria que a ação de braçadas geraria proporcionalmente mais arrasto para os nadadores mais habilidosos, porém como a técnica destes nadadores é mais eficiente, como demonstrado pelo coeficiente de arrasto para o nado completo, o maior arrasto seria então o resultado de um maior incremento absoluto da velocidade quando comparado aos nadadores menos habilidosos.

Considerando estes resultados fica evidente que apesar da similaridade da proporção da velocidade encontrada entre os grupos a ação de pernadas apresenta uma maior contribuição na força propulsiva para os grupos de menor habilidade. Isto também poderia ser sustentado apenas pela diferença observadas na velocidade absoluta, visto que a relação entre arrasto e velocidade é exponencial, a potência produzida pela ação dos braços seria maior para os grupos de maior habilidade (KARPOVICH, 1935). De fato os grupos de maior habilidade apresentaram uma potência proporcionalmente menor, ainda que a potência absoluta para estes nadadores tenha sido superior.

Como esperado os grupamentos adimensionais apresentaram valores maiores para os nadadores mais habilidosos em decorrência da maior velocidade apresentada por estes. No entanto, também não seriam esperadas mudanças nas condições de escoamento para esta condição baseando-se no número de Reynolds observadas (LI; ZHAN, 2015; MOLLENDORF et al., 2004; MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004; TOUSSAINT et al., 2000; ZAÏDI et al., 2008).

#### 4.4.2 Sobre as características das pernadas

As distribuições cumulativas das características da pernada durante o nado com apenas ação de pernas são apresentadas na figura 57.



Linha Pontilhada - Distribuição da variável; Linha Sólida - Distribuição normal com mesma média e desvio padrão; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura; Produto - Produto entre a frequência e a amplitude de pernada

**Figura 57 - Distribuição cumulativa das características das pernadas durante o teste de nado com apenas ação de pernas**

A tabela 46 apresenta a comparação das características das pernada entre as condições com e sem ações de braços.

**Tabela 46 - Comparação entre as características das pernada entre as condições de nado completo e com apenas ação de pernas**

	Condição		
	CS	PS	p
<b>Freq. (Hz)</b>	2.649 ± 0.389	2.335 ± 0.312	<0.001
<b>Amp. (m)</b>	0.344 ± 0.075	0.407 ± 0.1	<0.001
<b>Produto (m/s)</b>	0.899 ± 0.181	0.937 ± 0.208	0.007
<b>Amp/Est</b>	0.204 ± 0.041	0.241 ± 0.054	<0.001
<b>Strouhal</b>	0.611 ± 0.155	1.071 ± 0.297	<0.001

CS- Nado completo sem paraquedas; PS - Nado com ação de pernas apenas sem paraquedas; Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura

Todas as características das pernadas observadas foram diferentes entre as condições com e sem ações de braços. Embora o número de Strouhal tenha aumentado em parte como resultado da redução da velocidade, o produto da frequência e da amplitude de pernada também aumentou significativamente indicando que os ajustes técnicos adotados pelos nadadores também contribuíram para o aumento do número de Strouhal.

Isoladamente a frequência de pernada foi reduzida e a amplitude aumentada, um ajuste semelhante aquele observado nas condições com limitação de velocidade. Este resultado portando suporta a hipótese de que a redução da frequência observada na condições de limitação da velocidade foi devida ao maior tempo necessário para executar um ciclo de pernada de maior amplitude, em detrimento da hipótese que relacionava a redução da frequência de pernada à redução da frequência de braçada observada, visto que a condição de nado sem ação de braços também apresentou menor frequência de pernada.

Isso sugere que a amplitude tenha sido aumentada visando um aumento da propulsão gerada por membros inferiores, no entanto não exclui a possibilidade de que o aumento adicional do número de Strouhal produzido por esta alteração técnica não seja também benéfico a propulsão ou eficiência. As condições de escoamento na condição sem ação de braços são diferentes e portanto a interação com o escoamento também deve ocorrer de modo diferente. Na condição de nado sem ação de braços não existem os vórtices gerados pelos membros superiores, e a periodicidade e direção da liberação dos vórtices do escoamento ao redor do corpo são diferentes o que faz que com uma faixa de Strouhal diferente seja necessária para o aproveitamento das condições do escoamento.

Portanto é inconclusivo se os ajustes de frequência e amplitude de pernada observados apenas visavam o incremento direto da propulsão ou se esta nova coordenação fornecia alguma vantagem mecânica adicional.

As tabelas 47 e 48 apresentam a comparação das características da pernada entre as condições com e sem utilização da braçada em função do nível de desempenho e experiência.

**Tabela 47 - Comparação das características das pernadas entre as condições de nado completo e com apenas ação de pernas para os diferentes níveis de desempenho**

	1º Tercil		3º Tercil		p		
	CS	PS	CS	PS	Grupo	Teste	Int.
<b>Freq. (Hz)</b>	2.550 ± 0.438	2.258 ± 0.389	2.734 ± 0.327	2.415 ± 0.240	0.006	<0.001	0.791
<b>Amp. (m)</b>	0.340 ± 0.065	0.382 ± 0.095 <sup>A</sup>	0.355 ± 0.082	0.445 ± 0.108 <sup>AB</sup>	0.023	<0.001	0.003
<b>Prod. (m/s)</b>	0.849 ± 0.119	0.843 ± 0.164	0.961 ± 0.207 <sup>B</sup>	1.064 ± 0.238 <sup>AB</sup>	<0.001	0.002	<0.001
<b>Strouhal</b>	0.734 ± 0.151	1.177 ± 0.316	0.531 ± 0.108	1.000 ± 0.261	<0.001	<0.001	0.64
<b>Amp/Est</b>	0.207 ± 0.038	0.232 ± 0.053 <sup>A</sup>	0.206 ± 0.046	0.258 ± 0.058 <sup>AB</sup>	0.163	<0.001	0.005

CS- Nado completo sem paraquedas; PS - Nado com ação de pernas apenas sem paraquedas; Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as condições para um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho para uma condição.

**Tabela 48 - Comparação das características das pernadas entre as condições de nado completo e com apenas ação de pernas para os diferentes níveis de experiência**

	Nacional		Recreativo		p		
	CS	PS	CS	PS	Grupo	Teste	Int.
<b>Freq. (Hz)</b>	2.673 ± 0.316	2.350 ± 0.210	2.600 ± 0.480	2.288 ± 0.395	0.248	<0.001	0.96
<b>Amp. (m)</b>	0.344 ± 0.085	0.440 ± 0.110 <sup>AB</sup>	0.349 ± 0.079	0.388 ± 0.099 <sup>A</sup>	0.166	<0.001	<0.001
<b>Prod. (m/s)</b>	0.914 ± 0.221	1.027 ± 0.252 <sup>AB</sup>	0.884 ± 0.160	0.865 ± 0.165	0.007	0.002	<0.001
<b>Strouhal</b>	0.521 ± 0.109	0.978 ± 0.253	0.707 ± 0.156	1.168 ± 0.328	<0.001	<0.001	0.965
<b>Amp/Est</b>	0.201 ± 0.047	0.257 ± 0.060 <sup>AB</sup>	0.209 ± 0.044	0.233 ± 0.055 <sup>A</sup>	0.451	<0.001	<0.001

CS- Nado completo sem paraquedas; PS - Nado com ação de pernas apenas sem paraquedas; Freq - Frequência de pernada; Amp - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e a amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura; <sup>A</sup> - Diferença significativa na comparação entre as condições para um nível de desempenho; <sup>B</sup> - Diferença significativa na comparação entre os níveis de desempenho para uma condição.

Para ambos os grupos houve uma interação significativa entre os fatores para o produto entre frequência e amplitude de pernada, sendo que o incremento desta variável ocorreu apenas para os grupos de maior habilidade.

A amplitude da pernada aumentou para ambos os grupos porém os grupos mais habilidosos apresentaram um aumento significativamente maior. Já a frequência de pernada apresentou redução no teste com apenas ação de pernas tanto para o grupo de experiência quanto para o grupo de desempenho. Um "*main effect*" para os grupos de desempenho também foi observado, onde a frequência de pernada adotada pelo 3º Tercil foi maior.

Como o produto da frequência pela amplitude de pernada está relacionado a energia cinética produzida pelos membros inferiores, a alteração desta variável para os grupos mais habilidosos poderia estar relacionada tanto a uma tentativa de

controle do número de Strouhal, quanto a uma maior capacidade de gerar potência pelos indivíduos mais habilidosos. Neste caso a redução da frequência de pernada causada pelo aumento da amplitude seria regida pela capacidade energética dos nadadores.

Todos os parâmetros analisados na comparação entre as condições de nado completo e com apenas ação de pernas foram diferentes. Isto indica que para qualquer nível de experiência ou desempenho os nadadores utilizam uma coordenação diferente quanto não existe ação de braçada. No entanto não foi possível concluir a respeito das causas desta alteração de coordenação.

Não foi possível identificar uma convergência dos nadadores para alguma faixa do número de Strouhal, havendo 3 possibilidades para esta observação: (i) para condições com apenas ação de pernada os nadadores buscam atingir o maior número de Strouhal possível; (ii) nadadores mais habilidosos do que os que compuseram este estudo podem convergir para um número de Strouhal superior aos observado e; (iii) o número de Strouhal não é controlado pelos nadadores para esta condição, sendo os resultados observados meramente uma consequência da redução da velocidade.

O aumento do produto da frequência pela amplitude de pernada observadas para os grupos mais habilidosos pode suportar as duas primeiras hipóteses indicando uma tentativa destes nadadores de aumentar o número de Strouhal. Embora esta alteração também possa ser apenas um mecanismo propulsivo diferente, onde a redução do arrasto permitiu uma maior amplitude de pernada e as diferenças na capacidade de produzir potência dos membros inferiores determinou as diferenças da frequência, e neste caso esta alteração suportaria a terceira hipótese relativa ao número de Strouhal.

#### 4.5 RELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE FROUDE COM A COORDENAÇÃO DE MEMBROS

A tabela 49 apresenta o coeficiente de correlação estimados entre o número de Froude e os parâmetros relacionados à coordenação de membros.

**Tabela 49 - Correlação entre o número de Froude e os parâmetros relacionados à coordenação de membros**

	Froude Comprimento			Froude Estatura		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	-0.70	48.72	<0,01	-0.70	49.56	<0,01
<b>St_N</b>	-0.37	13.40	<0,01	-0.36	12.74	<0,01
<b>St_max</b>	-0.66	42.90	<0,01	-0.66	43.69	<0,01
<b>St_min</b>	-0.65	42.64	<0,01	-0.66	43.69	<0,01
<b>Potência</b>	0.51	26.21	<0,01	0.52	26.63	<0,01
<b>A</b>	-0.17	2.79	0.05	-0.16	2.56	0.06
<b>D</b>	0.15	2.16	0.08	0.15	2.37	0.07
<b>B+C</b>	0.05	0.20	0.60	0.03	0.09	0.73
<b>IdC</b>	0.06	0.32	0.51	0.04	0.20	0.60
<b>Freq_Br</b>	0.59	34.81	<0,01	0.58	33.29	<0,01
<b>Comp_Br</b>	0.63	39.69	<0,01	0.64	41.34	<0,01
<b>SI</b>	0.89	79.03	<0,01	0.90	80.46	<0,01
<b>Comp/Env</b>	0.54	29.16	<0,01	0.55	30.14	<0,01
<b>Freq_Rel</b>	-0.28	7.73	<0,01	-0.28	7.95	<0,01
<b>Freq_Pr</b>	0.25	6.10	<0,01	0.25	6.15	<0,01
<b>Amp_Pr</b>	0.07	0.44	0.43	0.06	0.32	0.51
<b>Produto</b>	0.29	8.58	<0,01	0.28	8.01	<0,01
<b>Amp/Est</b>	-0.02	0.05	0.79	-0.03	0.12	0.69

r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

O grande número amostral permite que pequenos coeficientes de determinação apresentem significância estatística, esta não é uma limitação do teste mas sim uma característica inerente ao teste que deve ser corretamente analisada. A significância estatística de um coeficiente de correlação não diz respeito a

magnitude da associação das variáveis mas apenas se ela é ou não nula. Desta forma uma correlação que explique 1% da variabilidade de uma variável e que tenha alta confiabilidade pode apresentar significância estatística.

Todos os parâmetros analisados neste estudo apresentam uma complexa interdependência entre si de forma que é esperado um grande número de correlações significativas. Portanto apenas aquelas com maior coeficiente de determinação serão discutidas.

Houve uma correlação significativa entre o número de Froude e a potencia de nado, o que já era esperado visto a natureza do número de Froude (KJENDLIE; STALLMAN, 2008; MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004)

O *stroke index* apresentou o maior coeficiente de determinação para as correlações com o número de Froude. Este parâmetro é utilizado como um indicador indireto da eficiência de nado (COSTILL et al., 1985), indicando que os nadadores de maior desempenho seriam os mais eficiente. Tal relação seria esperada, embora não se tenha encontrado trabalhos que relatassem tal relação.

O número de Strouhal também apresentou altos valores para o coeficiente de determinação em uma correlação inversamente proporcional. Para os nadadores analisado neste estudo foi verificada uma convergência dos valores de Strouhal em aproximadamente 0.5 entre os mais habilidosos, desta forma para esta amostra era esperada um correlação linear inversamente proporcional entre estes parâmetros. No entanto não se sabe se nadadores com desempenhos superiores aos estudados apresentaria um número de Strouhal menor (sustentando a relação inversamente proporcional e indicando que o valor de número de Strouhal deveria ser o menor possível) ou manteriam a convergência em 0.5 (refutando esta relação e identificando uma faixa ótima para o nado crawl).

As tabelas 50 e 51 apresentam os coeficientes de correlação estimados entre o número de Froude e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade.

**Tabela 50 - Correlação entre o número de Froude e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de desempenho**

	Froude Comprimento						Froude Estatura					
	T1			T3			T1			T3		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	-0.81	66.26	<0,01	0.01	0.01	0.94	-0.81	66.10	<0,01	-0.05	0.28	0.72
<b>St_N</b>	-0.15	2.13	0.32	-0.31	9.80	0.04	-0.13	1.74	0.37	-0.25	6.10	0.10
<b>St_max</b>	-0.60	35.76	<0,01	-0.33	10.63	0.04	-0.59	35.05	<0,01	-0.33	10.69	0.04
<b>St_min</b>	-0.57	32.95	<0,01	-0.20	3.88	0.23	-0.56	31.36	<0,01	-0.22	5.02	0.17
<b>Potência</b>	0.25	6.20	0.09	0.35	12.18	0.02	0.26	6.76	0.07	0.39	15.21	0.01
<b>A</b>	0.03	0.10	0.84	-0.09	0.85	0.54	0.04	0.17	0.78	-0.08	0.72	0.57
<b>D</b>	-0.22	5.02	0.13	0.04	0.17	0.78	-0.22	4.84	0.13	0.05	0.27	0.73
<b>B+C</b>	0.18	3.06	0.23	0.07	0.47	0.65	0.16	2.59	0.27	0.05	0.26	0.73
<b>IdC</b>	0.26	6.55	0.08	0.08	0.64	0.59	0.25	6.05	0.09	0.06	0.32	0.71
<b>Freq_Br</b>	0.67	44.62	<0,01	-0.18	3.17	0.23	0.66	43.16	<0,01	-0.21	4.20	0.17
<b>Comp_Br</b>	0.19	3.69	0.19	0.59	34.46	<0,01	0.21	4.41	0.15	0.62	38.94	<0,01
<b>SI</b>	0.74	54.61	<0,01	0.75	56.10	<0,01	0.75	56.70	<0,01	0.79	62.25	<0,01
<b>Comp/Env</b>	0.17	2.96	0.24	0.50	24.90	<0,01	0.18	3.35	0.21	0.48	22.75	<0,01
<b>Freq_Rel</b>	-0.13	1.74	0.37	-0.19	3.61	0.20	-0.14	1.88	0.35	-0.19	3.50	0.20
<b>Freq_Pr</b>	0.21	4.20	0.16	0.00	0.00	0.98	0.21	4.54	0.15	0.05	0.24	0.74
<b>Amp_Pr</b>	-0.07	0.51	0.63	0.23	5.24	0.12	-0.08	0.57	0.61	0.16	2.50	0.28
<b>Produto</b>	0.21	4.41	0.15	0.26	6.86	0.07	0.22	4.62	0.14	0.21	4.45	0.15
<b>Amp/Est</b>	-0.09	0.78	0.55	0.16	2.69	0.27	-0.09	0.90	0.52	0.08	0.63	0.59

T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 51 - Correlação entre o número de Froude e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de experiência**

	Froude Comprimento						Froude Estatura					
	Nacional			Recreativo			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.16	2.46	0.28	-0.73	53.58	<0,01	0.11	1.21	0.45	-0.74	54.02	<0,01
<b>St_N</b>	-0.40	15.84	0.01	-0.29	8.12	0.03	-0.36	13.25	0.01	-0.28	7.62	0.03
<b>St_max</b>	-0.09	0.86	0.57	-0.60	36.36	<0,01	-0.10	1.02	0.53	-0.61	37.09	<0,01
<b>St_min</b>	-0.04	0.16	0.80	-0.56	31.02	<0,01	-0.06	0.42	0.69	-0.56	31.58	<0,01
<b>Potência</b>	0.44	19.54	<0,01	0.45	20.61	<0,01	0.47	22.28	<0,01	0.45	20.52	<0,01
<b>A</b>	-0.24	5.62	0.09	0.01	0.00	0.96	-0.21	4.24	0.15	0.01	0.01	0.93
<b>D</b>	0.00	0.00	0.97	-0.13	1.80	0.30	0.00	0.00	1.00	-0.12	1.51	0.34
<b>B+C</b>	0.30	8.88	0.03	0.12	1.39	0.36	0.26	6.97	0.06	0.10	1.08	0.42
<b>IdC</b>	0.31	9.30	0.03	0.17	2.72	0.20	0.29	8.18	0.04	0.16	2.43	0.23
<b>Freq_Br</b>	0.29	8.41	0.04	0.70	49.14	<0,01	0.29	8.64	0.04	0.69	47.47	<0,01
<b>Comp_Br</b>	0.50	25.20	<0,01	0.33	10.63	0.01	0.51	25.70	<0,01	0.34	11.83	0.01
<b>SI</b>	0.79	61.62	<0,01	0.83	68.72	<0,01	0.80	63.20	<0,01	0.84	70.73	<0,01
<b>Comp/Env</b>	0.36	12.67	0.01	0.27	7.34	0.03	0.34	11.36	0.02	0.29	8.18	0.03
<b>Freq_Rel</b>	-0.16	2.66	0.25	-0.07	0.53	0.58	-0.14	1.99	0.32	-0.08	0.61	0.55
<b>Freq_Pr</b>	0.24	5.86	0.09	0.25	6.00	0.06	0.25	6.35	0.08	0.25	6.20	0.05
<b>Amp_Pr</b>	0.34	11.56	0.02	0.07	0.55	0.57	0.30	9.00	0.03	0.07	0.50	0.59
<b>Produto</b>	0.46	20.79	<0,01	0.36	13.03	<0,01	0.42	17.56	<0,01	0.36	12.89	<0,01
<b>Amp/Est</b>	0.30	8.70	0.04	0.01	0.02	0.91	0.25	6.30	0.08	0.01	0.01	0.94

r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

Quando a correlação foi avaliada separadamente entre os níveis de habilidade foi observada que a relação entre o número de Froude e o *stroke index* permanece alta para todos os níveis, no entanto a relação inversa entre o número de Froude e o número de Strouhal só acontece para os níveis mais baixos. Tanto o 3º tercil quanto o grupo nacional apresentam coeficiente de determinação praticamente nulos. Isso confirma a hipótese de que os nadadores buscam um valor de Strouhal de aproximadamente 0,5, e não o menor valor possível.

Também foi observado um aumento do coeficiente de determinação da relação entre o número de Strouhal e o produto da frequência e amplitude de

braçada para a comparação por níveis de experiência. Isto indica que a experiência do nadador influencia de diferentes formas esta coordenação, já que estes efeitos não foram identificados na comparação global. Além disso essa relação foi maior para o grupo Nacional, indicando uma maior capacidade de controle do número de Strouhal para os nadadores mais experientes.

As tabelas 52 a 54 apresentam os coeficientes de correlação parciais estimados entre o número de Froude e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade tendo como variável de controle a velocidade.

**Tabela 52 - Correlação parcial entre o número de Froude e os parâmetros relacionados à coordenação de membros tendo como variável de controle a velocidade**

	Froude Comprimento			Froude Estatura		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	-0.37	14.06	<0,01	-0.46	21.21	<0,01
<b>St_N</b>	-0.21	4.42	0.01	-0.16	2.54	0.07
<b>St_max</b>	-0.30	9.23	<0,01	-0.36	13.23	<0,01
<b>St_min</b>	-0.26	6.57	0.01	-0.34	11.41	<0,01
<b>Potência</b>	-0.34	11.69	<0,01	-0.35	11.99	<0,01
<b>A</b>	0.01	0.01	0.91	0.07	0.48	0.42
<b>D</b>	0.02	0.03	0.83	0.08	0.59	0.37
<b>B+C</b>	-0.03	0.08	0.74	-0.15	2.21	0.08
<b>IdC</b>	0.02	0.05	0.79	-0.06	0.41	0.45
<b>Freq_Br</b>	0.28	8.10	<0,01	0.19	3.68	0.02
<b>Comp_Br</b>	-0.27	7.26	<0,01	-0.18	3.39	0.03
<b>SI</b>	-0.34	11.54	<0,01	-0.25	6.42	<0,01
<b>Comp/Env</b>	0.17	2.73	0.05	0.24	5.80	<0,01
<b>Freq_Rel</b>	-0.04	0.20	0.60	-0.08	0.59	0.37
<b>Freq_Pr</b>	0.01	0.01	0.90	0.02	0.03	0.84
<b>Amp_Pr</b>	-0.25	6.49	<0,01	-0.35	12.60	<0,01
<b>Produto</b>	-0.28	7.73	<0,01	-0.39	15.01	<0,01
<b>Amp/Est</b>	-0.06	0.33	0.50	-0.15	2.12	0.09

r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 53 - Correlação parcial entre o número de Froude e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de desempenho tendo como variável de controle a velocidade**

	Froude Comprimento						Froude Estatura					
	T1			T3			T1			T3		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	-0.50	24.52	<0,01	-0.04	0.16	0.79	-0.52	26.74	<0,01	-0.21	4.48	0.15
<b>St_N</b>	-0.26	6.75	0.08	-0.36	13.11	0.02	-0.22	4.73	0.14	-0.24	5.83	0.11
<b>St_max</b>	-0.43	18.53	0.02	-0.20	4.07	0.22	-0.45	20.53	0.02	-0.21	4.35	0.21
<b>St_min</b>	-0.49	23.68	0.01	-0.02	0.04	0.91	-0.49	23.63	0.01	-0.06	0.40	0.71
<b>Potência</b>	-0.34	11.32	0.02	-0.14	2.08	0.33	-0.31	9.88	0.03	-0.10	1.08	0.49
<b>A</b>	-0.04	0.14	0.80	0.02	0.06	0.88	0.02	0.04	0.90	0.07	0.44	0.66
<b>D</b>	0.13	1.60	0.40	-0.01	0.02	0.93	0.18	3.14	0.23	0.01	0.01	0.95
<b>B+C</b>	-0.08	0.58	0.61	-0.01	0.02	0.92	-0.18	3.23	0.23	-0.09	0.74	0.57
<b>IdC</b>	0.01	0.00	0.97	0.01	0.01	0.96	-0.06	0.36	0.69	-0.07	0.46	0.65
<b>Freq_Br</b>	0.22	4.95	0.13	0.06	0.34	0.70	0.15	2.13	0.33	0.02	0.06	0.87
<b>Comp_Br</b>	-0.22	5.06	0.13	-0.06	0.31	0.71	-0.15	2.15	0.33	-0.03	0.10	0.83
<b>SI</b>	-0.27	7.36	0.07	-0.05	0.21	0.76	-0.19	3.56	0.20	-0.02	0.06	0.87
<b>Comp/Env</b>	0.14	1.85	0.36	0.40	16.29	0.01	0.22	4.69	0.14	0.38	14.41	0.01
<b>Freq_Rel</b>	0.07	0.43	0.66	-0.20	4.11	0.17	0.03	0.11	0.82	-0.21	4.25	0.16
<b>Freq_Pr</b>	-0.09	0.73	0.57	-0.12	1.35	0.44	-0.05	0.27	0.73	-0.02	0.05	0.88
<b>Amp_Pr</b>	-0.28	7.68	0.06	0.04	0.15	0.80	-0.33	10.93	0.02	-0.17	2.81	0.26
<b>Produto</b>	-0.47	21.97	<0,01	-0.03	0.10	0.83	-0.50	24.84	<0,01	-0.21	4.23	0.17
<b>Amp/Est</b>	-0.04	0.12	0.81	0.18	3.08	0.24	-0.07	0.54	0.62	-0.02	0.03	0.91

T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 54 - Correlação parcial entre o número de Froude e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de experiência tendo como variável de controle a velocidade**

	Froude Comprimento						Froude Estatura					
	Nacional			Recreativo			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	-0.01	0.00	0.96	-0.54	28.86	<0,01	-0.18	3.14	0.22	-0.61	36.90	<0,01
<b>St_N</b>	-0.33	10.71	0.03	-0.14	1.92	0.29	-0.23	5.31	0.12	-0.08	0.62	0.55
<b>St_max</b>	-0.03	0.11	0.84	-0.47	22.01	0.01	-0.06	0.36	0.71	-0.54	29.36	<0,01
<b>St_min</b>	0.01	0.02	0.94	-0.49	23.90	<0,01	-0.06	0.41	0.69	-0.57	32.24	<0,01
<b>Potência</b>	-0.29	8.62	0.04	-0.39	15.04	<0,01	-0.23	5.32	0.11	-0.44	19.48	<0,01
<b>A</b>	0.00	0.00	1.00	0.05	0.22	0.72	0.13	1.59	0.38	0.09	0.82	0.49
<b>D</b>	-0.04	0.17	0.78	-0.05	0.26	0.70	-0.07	0.48	0.63	0.03	0.07	0.84
<b>B+C</b>	0.04	0.16	0.79	0.00	0.00	0.99	-0.10	0.97	0.50	-0.11	1.30	0.39
<b>IdC</b>	0.05	0.23	0.74	0.04	0.17	0.75	-0.03	0.09	0.84	-0.04	0.12	0.79
<b>Freq_Br</b>	0.25	6.30	0.08	0.15	2.21	0.26	0.29	8.61	0.04	0.02	0.03	0.89
<b>Comp_Br</b>	-0.23	5.31	0.11	-0.17	2.87	0.20	-0.27	7.37	0.06	-0.04	0.12	0.79
<b>SI</b>	-0.23	5.38	0.11	-0.20	3.85	0.13	-0.27	7.52	0.05	-0.06	0.31	0.67
<b>Comp/Env</b>	0.29	8.22	0.04	0.19	3.72	0.14	0.23	5.29	0.11	0.33	10.63	0.01
<b>Freq_Rel</b>	-0.24	5.85	0.09	-0.06	0.34	0.66	-0.18	3.16	0.22	-0.11	1.23	0.40
<b>Freq_Pr</b>	0.06	0.31	0.71	-0.02	0.04	0.88	0.09	0.89	0.52	0.00	0.00	1.00
<b>Amp_Pr</b>	-0.02	0.05	0.88	-0.37	13.60	<0,01	-0.19	3.71	0.18	-0.42	18.05	<0,01
<b>Produto</b>	-0.01	0.01	0.95	-0.52	26.65	<0,01	-0.18	3.20	0.22	-0.58	33.69	<0,01
<b>Amp/Est</b>	0.14	2.06	0.33	-0.18	3.34	0.16	-0.01	0.02	0.93	-0.23	5.26	0.08

r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

As correlações parciais permitem remover a influencia de uma terceira da relação principal que se deseja analisar. Esse efeito é desejável nesta análise devido a influencia da velocidade em vários parâmetros utilizados, como os adimensionais e a potência de nado. No entanto a velocidade é o "padrão ouro" do desempenho de natação, de forma que todas as características técnicas de nado são realmente ajustadas em função da velocidade, desta fora o aprendizado e aperfeiçoamento da técnica são fatores que se confundem com o ganho da velocidade. Desta forma a redução dos coeficiente de determinação observada era esperada.

É interessante notar que a redução dos coeficientes de determinação é mais evidentes nos grupos mais habilidosos, ocorrendo inclusive aumentos do coeficiente de determinação para algumas variáveis dos grupos menos habilidosos. O produto entre a frequência e amplitude de pernada apresentou o mais evidente aumento para os grupo não habilidosos. Isso pode indicar que no início da aprendizagem algumas coordenações são adquiridas sem uma consequente melhora da velocidade, provavelmente estas alterações técnicas podem trazer outros benefícios como maior equilíbrio ou eficiência. Esta alteração do produto também é refletida também na manutenção da relação com o número de Strouhal, uma vez que esta variável representa o numerador deste grupamento adimensional, e a influencia de seu denominador, a velocidade, foi removida.

Os dois modos de calculo do número de Froude apresentaram correlações similares entre as variáveis, da mesma forma como apresentaram o mesmo comportamento entre todas as comparações realizadas. Desta forma embora os dois comprimentos característicos estejam presentes dentro de um ciclo de braçada, a escolha entre eles parece ser indiferente, de forma que a utilização de ambos é desnecessária.

A análise de correlação confirmou que o número de Froude reflete o aumento de potência e eficiência dos nadadores. As correlações entre os diferentes níveis também suportam a hipótese de que parece haver um valor de ótimo do número de Strouhal para o nado crawl. Não parece haver qualquer limitação da capacidade de produção de energia na adoção de uma coordenação relacionada ao aproveitamento da interação de vórtices, uma vez que os nadadores de menor desempenho, que não atingiram esta faixa ótima do número de Strouhal, apresentam uma correlação negativa entre estes parâmetros. O nível de experiência dos nadadores parece ser mais importante para que esta faixa de Strouhal de aproximadamente 0,5 seja atingida, uma vez que a mesma relação inversa foi observada para este os nadadores menos experiente, além disso estes nadadores também apresentavam ajustes técnicos não relacionados ao ganho de velocidade. Já os nadadores mais eficientes foram aqueles que parecerem tentar controlar mais o número de Strouhal.

#### 4.6 RELAÇÃO ENTRE O ARRASTO E A COORDENAÇÃO DE MEMBROS

A tabela 55 apresenta o coeficiente de correlação estimados entre o Arrasto e o coeficiente de arrasto; e os parâmetros relacionados à coordenação de membros.

**Tabela 55 - Correlação entre o Arrasto e Coeficiente de arrasto; e os parâmetros relacionados à coordenação de membros**

	Arrasto			Cd		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	-0.01	0.02	0.87	0.46	21.16	<0,01
<b>St_N</b>	-0.16	2.46	0.07	0.15	2.13	0.09
<b>St_max</b>	-0.04	0.13	0.72	0.31	9.80	<0,01
<b>St_min</b>	-0.03	0.10	0.76	0.31	9.73	<0,01
<b>Potência</b>	0.95	90.82	<0,01	0.23	5.06	0.01
<b>A</b>	-0.11	1.21	0.20	0.02	0.05	0.80
<b>D</b>	-0.04	0.14	0.67	-0.03	0.12	0.69
<b>B+C</b>	0.16	2.50	0.06	0.01	0.01	0.92
<b>IdC</b>	0.17	2.86	0.05	0.04	0.13	0.67
<b>Freq_Br</b>	0.25	6.45	<0,01	-0.27	7.34	<0,01
<b>Comp_Br</b>	0.17	2.72	0.05	-0.36	12.82	<0,01
<b>SI</b>	0.30	8.76	<0,01	-0.43	18.40	<0,01
<b>Comp/Env</b>	0.00	0.00	0.97	-0.33	10.89	<0,01
<b>Freq_Rel</b>	0.03	0.09	0.73	0.19	3.69	0.02
<b>Freq_Pr</b>	0.01	0.01	0.89	-0.20	4.04	0.02
<b>Amp_Pr</b>	0.33	10.76	<0,01	0.08	0.62	0.36
<b>Produto</b>	0.37	13.54	<0,01	-0.07	0.54	0.39
<b>Amp/Est</b>	0.23	5.38	0.01	0.12	1.32	0.18

r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

Para as correlações com o arrasto a maior correlação observada foi com a potencia de nado. Na verdade o calculo da potência parte dos valores de arrasto o que torna essa correlação redundante. As demais correlações significativas apresentadas possuem baixo coeficiente de determinação, sendo o produto entre a frequência e a amplitude de pernada a variável com maior efeito, 13.54%, esta

variável esta relacionada a energia cinética produzida por membros inferiores, portanto sua relação com o arrasto poderia ser relacionada a transmissão de energia de forma inadequada para o escoamento ou a uma amplitude excessivamente grande que aumentasse a área exposta ao escoamento, visto que a amplitude pernada apresentou um coeficiente de determinação similar. No entanto os coeficientes de determinação são muito baixos.

Para o coeficiente de arrasto as variáveis de maior coeficiente de determinação foram o *stroke index* e o número de Strouhal, evocando a relação destas variáveis com a eficiência de nado (COSTILL et al., 1985; TAYLOR; NUDDS; THOMAS, 2003).

As tabelas 56 e 57 apresentam os coeficientes de correlação estimados entre o arrasto e coeficiente de arrasto; e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade.

**Tabela 56 - Correlação entre o arrasto e o coeficiente de arrasto; e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de desempenho**

	Arrasto						Cd					
	T1			T3			T1			T3		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	-0.02	0.02	0.92	0.14	1.96	0.34	0.41	16.56	<0,01	0.09	0.74	0.56
<b>St_N</b>	0.04	0.13	0.81	-0.10	0.93	0.53	0.11	1.25	0.45	-0.13	1.69	0.40
<b>St_max</b>	0.04	0.20	0.82	-0.02	0.04	0.90	0.18	3.39	0.34	0.04	0.13	0.83
<b>St_min</b>	0.07	0.56	0.70	-0.01	0.02	0.93	0.17	2.76	0.39	0.07	0.44	0.69
<b>Potência</b>	0.96	92.54	<0,01	0.99	98.60	<0,01	0.51	25.91	<0,01	0.82	67.57	<0,01
<b>A</b>	-0.08	0.61	0.60	-0.08	0.65	0.59	-0.07	0.55	0.62	-0.04	0.13	0.81
<b>D</b>	-0.05	0.25	0.74	-0.13	1.69	0.38	0.12	1.51	0.41	-0.12	1.44	0.42
<b>B+C</b>	0.12	1.54	0.40	0.22	4.67	0.14	-0.04	0.15	0.79	0.15	2.37	0.30
<b>IdC</b>	0.25	6.35	0.08	0.11	1.30	0.45	0.00	0.00	0.98	0.04	0.14	0.80
<b>Freq_Br</b>	0.07	0.55	0.62	0.18	3.17	0.23	-0.27	7.13	0.07	0.29	8.29	0.05
<b>Comp_Br</b>	0.00	0.00	0.98	0.05	0.24	0.74	-0.23	5.20	0.12	-0.23	5.06	0.13
<b>SI</b>	0.07	0.44	0.66	0.18	3.24	0.23	-0.43	18.32	<0,01	-0.16	2.40	0.30
<b>Comp/Env</b>	-0.08	0.70	0.57	-0.15	2.13	0.33	-0.18	3.39	0.21	-0.23	5.24	0.12
<b>Freq_Rel</b>	-0.06	0.37	0.68	0.23	5.20	0.12	0.12	1.54	0.40	0.24	5.62	0.11
<b>Freq_Pr</b>	-0.09	0.77	0.55	-0.09	0.76	0.56	-0.16	2.69	0.27	-0.19	3.46	0.21
<b>Amp_Pr</b>	0.19	3.57	0.20	0.26	6.92	0.07	0.03	0.06	0.87	0.18	3.10	0.23
<b>Produto</b>	0.14	1.85	0.36	0.23	5.43	0.11	-0.16	2.56	0.28	0.08	0.57	0.61
<b>Amp/Est</b>	0.11	1.14	0.47	0.20	4.12	0.17	0.03	0.08	0.85	0.20	4.12	0.17

T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 57 - Correlação entre o arrasto e o coeficiente de arrasto; e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de experiência**

	Arrasto						Cd					
	Nacional			Recreativo			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.24	5.62	0.10	0.07	0.46	0.60	0.12	1.51	0.39	0.46	20.88	<0,01
<b>St_N</b>	-0.12	1.49	0.41	-0.15	2.25	0.25	-0.06	0.36	0.69	0.13	1.64	0.33
<b>St_max</b>	0.08	0.61	0.63	0.05	0.24	0.79	0.10	1.08	0.52	0.23	5.34	0.20
<b>St_min</b>	0.08	0.63	0.62	0.14	1.88	0.45	0.10	0.92	0.55	0.23	5.38	0.19
<b>Potência</b>	0.99	98.41	<0,01	0.94	88.55	<0,01	0.77	59.75	<0,01	0.31	9.42	0.02
<b>A</b>	-0.05	0.28	0.71	-0.11	1.21	0.40	0.13	1.66	0.37	-0.06	0.35	0.65
<b>D</b>	-0.20	3.92	0.16	-0.09	0.87	0.47	-0.27	7.08	0.06	0.07	0.46	0.60
<b>B+C</b>	0.25	6.05	0.08	0.19	3.76	0.13	0.08	0.57	0.60	-0.01	0.00	0.96
<b>IdC</b>	0.13	1.72	0.36	0.28	7.78	0.03	-0.04	0.15	0.79	0.03	0.08	0.83
<b>Freq_Br</b>	0.23	5.20	0.11	0.24	5.95	0.06	0.19	3.65	0.18	-0.28	8.01	0.03
<b>Comp_Br</b>	0.15	2.25	0.30	-0.02	0.04	0.87	-0.17	2.89	0.23	-0.30	9.18	0.02
<b>SI</b>	0.33	10.76	0.02	0.14	2.02	0.28	-0.09	0.85	0.52	-0.47	22.18	<0,01
<b>Comp/Env</b>	-0.14	1.82	0.35	-0.16	2.43	0.23	-0.25	6.40	0.07	-0.27	7.02	0.04
<b>Freq_Rel</b>	0.15	2.10	0.31	0.09	0.77	0.50	0.15	2.13	0.31	0.12	1.39	0.37
<b>Freq_Pr</b>	0.06	0.40	0.66	-0.08	0.61	0.55	-0.11	1.23	0.44	-0.20	4.00	0.12
<b>Amp_Pr</b>	0.33	10.82	0.02	0.40	15.68	<0,01	0.17	2.79	0.25	0.04	0.19	0.74
<b>Produto</b>	0.36	12.89	0.01	0.43	18.15	<0,01	0.11	1.12	0.47	-0.13	1.72	0.32
<b>Amp/Est</b>	0.25	6.40	0.08	0.31	9.67	0.01	0.17	2.86	0.24	0.06	0.37	0.64

r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

A relação entre potência a arrasto permaneceu elevada para todos os níveis de habilidade, novamente devido ao vício da estimativa da potência. No entanto os grupos mais habilidosos também apresentaram altas correlações entre a potência e o coeficiente de arrasto. Isso indica que quando estes nadadores aumentam seus coeficientes de arrasto eles também aumentam a relação entre propulsão a e arrasto, produzindo maior potência. O mesmo não ocorre para nadadores menos habilidosos, isso indica que para estes nadadores é possível que a alteração do coeficiente de arrasto não afeta a relação entre propulsão a e arrasto de maneira ótima.

As tabelas 58 a 60 apresentam os coeficientes de correlação parciais estimados entre o arrasto e coeficiente de arrasto; e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade tendo como variável de controle a velocidade.

**Tabela 58 - Correlação parcial entre o arrasto e coeficiente de arrasto; e os parâmetros relacionados à coordenação de membros tendo como variável de controle a velocidade**

	Arrasto			Cd		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.30	9.22	<0,01	0.22	4.79	0.01
<b>St_N</b>	-0.04	0.16	0.65	-0.02	0.03	0.85
<b>St_max</b>	0.25	6.05	0.01	0.11	1.13	0.29
<b>St_min</b>	0.26	6.71	0.01	0.11	1.12	0.30
<b>Potência</b>	0.98	95.86	0.00	0.68	46.29	0.00
<b>A</b>	-0.06	0.31	0.52	-0.07	0.48	0.42
<b>D</b>	-0.09	0.88	0.27	0.04	0.16	0.64
<b>B+C</b>	0.15	2.23	0.08	0.04	0.14	0.66
<b>IdC</b>	0.16	2.57	0.06	0.07	0.49	0.41
<b>Freq_Br</b>	0.07	0.56	0.38	-0.01	0.00	0.95
<b>Comp_Br</b>	-0.10	0.91	0.26	-0.06	0.37	0.48
<b>SI</b>	-0.06	0.36	0.48	0.03	0.09	0.73
<b>Comp/Env</b>	-0.22	5.01	0.01	-0.10	1.09	0.22
<b>Freq_Rel</b>	0.14	1.86	0.11	0.07	0.52	0.40
<b>Freq_Pr</b>	-0.08	0.65	0.34	-0.10	0.95	0.25
<b>Amp_Pr</b>	0.31	9.76	<0,01	0.15	2.22	0.08
<b>Produto</b>	0.28	8.10	<0,01	0.11	1.14	0.21
<b>Amp/Est</b>	0.25	6.40	<0,01	0.12	1.55	0.14

r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 59 - Correlação parcial entre o arrasto e coeficiente de arrasto; e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de desempenho tendo como variável de controle a velocidade**

	Arrasto						Cd					
	T1			T3			T1			T3		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.09	0.82	0.55	0.14	1.93	0.35	0.06	0.33	0.70	0.09	0.77	0.56
<b>St_N</b>	0.04	0.20	0.76	-0.04	0.15	0.80	0.07	0.53	0.63	-0.13	1.73	0.39
<b>St_max</b>	-0.03	0.09	0.88	0.16	2.57	0.34	-0.07	0.43	0.74	0.10	1.04	0.54
<b>St_min</b>	0.01	0.02	0.95	0.14	1.94	0.40	-0.06	0.38	0.75	0.13	1.60	0.45
<b>Potência</b>	0.99	97.31	<0,01	1.00	99.58	<0,01	0.80	64.21	<0,01	0.93	86.13	<0,01
<b>A</b>	-0.08	0.68	0.58	-0.04	0.15	0.80	-0.06	0.39	0.68	-0.04	0.14	0.81
<b>D</b>	-0.03	0.07	0.86	-0.16	2.63	0.28	0.00	0.00	0.99	-0.12	1.43	0.43
<b>B+C</b>	0.11	1.18	0.47	0.20	3.89	0.19	0.06	0.42	0.67	0.16	2.41	0.30
<b>IdC</b>	0.24	5.61	0.11	0.09	0.76	0.56	0.16	2.43	0.30	0.04	0.14	0.80
<b>Freq_Br</b>	0.02	0.05	0.88	0.28	7.86	0.06	0.08	0.59	0.61	0.28	8.04	0.06
<b>Comp_Br</b>	-0.03	0.09	0.84	-0.30	9.11	0.04	-0.13	1.75	0.38	-0.31	9.55	0.04
<b>SI</b>	-0.01	0.01	0.94	-0.30	8.72	0.05	-0.08	0.65	0.59	-0.30	9.10	0.04
<b>Comp/Env</b>	-0.10	0.97	0.51	-0.32	10.48	0.03	-0.12	1.54	0.41	-0.25	6.13	0.10
<b>Freq_Rel</b>	-0.05	0.22	0.75	0.29	8.53	0.05	0.06	0.38	0.68	0.24	5.70	0.11
<b>Freq_Pr</b>	-0.11	1.26	0.45	-0.12	1.46	0.42	-0.06	0.40	0.67	-0.19	3.47	0.21
<b>Amp_Pr</b>	0.19	3.71	0.19	0.19	3.68	0.20	0.02	0.03	0.90	0.18	3.29	0.22
<b>Produto</b>	0.11	1.30	0.45	0.13	1.72	0.38	-0.02	0.03	0.91	0.08	0.63	0.60
<b>Amp/Est</b>	0.12	1.37	0.43	0.18	3.38	0.22	-0.01	0.02	0.93	0.20	4.18	0.17

T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 60 - Correlação parcial entre o arrasto e coeficiente de arrasto; e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de experiência tendo como variável de controle a velocidade**

	Arrasto						Cd					
	Nacional			Recreativo			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.18	3.32	0.21	0.32	10.15	0.01	0.12	1.54	0.40	0.19	3.46	0.15
<b>St_N</b>	0.03	0.09	0.84	-0.09	0.89	0.47	-0.06	0.33	0.71	-0.01	0.01	0.96
<b>St_max</b>	0.15	2.24	0.36	0.15	2.30	0.41	0.11	1.24	0.49	0.01	0.01	0.95
<b>St_min</b>	0.13	1.75	0.42	0.24	5.90	0.18	0.11	1.22	0.50	0.04	0.17	0.82
<b>Potência</b>	1.00	99.35	<0,01	0.98	96.41	<0,01	0.92	84.27	<0,01	0.75	56.42	<0,01
<b>A</b>	0.08	0.57	0.60	-0.11	1.28	0.39	0.14	1.92	0.34	-0.07	0.46	0.61
<b>D</b>	-0.23	5.50	0.10	-0.07	0.43	0.62	-0.27	7.12	0.06	0.00	0.00	0.97
<b>B+C</b>	0.12	1.54	0.39	0.17	2.96	0.19	0.07	0.53	0.62	0.06	0.39	0.64
<b>IdC</b>	-0.01	0.02	0.92	0.25	6.33	0.05	-0.05	0.22	0.74	0.13	1.61	0.33
<b>Freq_Br</b>	0.14	1.90	0.34	0.12	1.36	0.38	0.18	3.40	0.20	0.10	1.00	0.45
<b>Comp_Br</b>	-0.18	3.21	0.21	-0.12	1.34	0.38	-0.23	5.23	0.11	-0.16	2.47	0.23
<b>SI</b>	-0.17	2.98	0.23	-0.11	1.32	0.38	-0.22	4.95	0.12	-0.10	1.01	0.44
<b>Comp/Env</b>	-0.31	9.77	0.03	-0.23	5.07	0.08	-0.27	7.42	0.06	-0.17	2.77	0.20
<b>Freq_Rel</b>	0.21	4.45	0.14	0.11	1.12	0.42	0.15	2.22	0.30	0.10	0.99	0.45
<b>Freq_Pr</b>	-0.05	0.27	0.72	-0.15	2.11	0.27	-0.12	1.35	0.43	-0.09	0.81	0.50
<b>Amp_Pr</b>	0.19	3.76	0.18	0.38	14.49	<0,01	0.18	3.07	0.23	0.13	1.59	0.34
<b>Produto</b>	0.18	3.08	0.23	0.37	13.72	<0,01	0.12	1.33	0.43	0.11	1.21	0.40
<b>Amp/Est</b>	0.16	2.43	0.28	0.31	9.70	0.02	0.17	3.02	0.23	0.10	0.91	0.47

r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

Para as correlação parciais apenas a potencia apresentou coeficiente de determinação elevados. como o efeito da velocidade é removido desta análise, até mesmo o coeficiente de arrasto apresentou altas correções com a potência mesmo para os grupos menos habilidoso. Isso ocorre devido a própria natureza do coeficiente de arrasto, que representa o arrasto de maneira independente do tamanho e velocidade do corpo.

As análises das correlações do arrasto e do coeficiente de arrasto demonstraram que os nadadores mais habilidosos são capazes de controlar seu

coeficiente de arrasto de maneira a beneficiar a potência gerada. Parece não haver relação entre o arrasto e uma possível utilização de uma coordenação relacionada à interação de vórtices. As análises aplicadas não seriam capazes de identificar a possibilidade de haver um limite de arrasto responsável por causar alguma alteração técnica, no entanto a análise da literatura mostra que esta influencia seria improvável, visto que mesmo em nadadores de alto nível existe grande variabilidade do arrasto total devido a diferentes estratégias utilizadas para produção de potência (KOLMOGOROV; DUPLISHCHEVA, 1992).

#### 4.7 RELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS E A COORDENAÇÃO DE MEMBROS

A tabela 61 apresenta o coeficiente de correlação estimada entre as características antropométricas e os parâmetros de nado selecionados.

**Tabela 61 - Correlação entre as características antropométricas e os parâmetros relacionados à coordenação de membros**

	Comprimento			Altura			Envergadura		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	-0.12	1.46	0.16	0.00	0.00	0.99	-0.07	0.48	0.42
<b>St_N</b>	0.02	0.03	0.85	0.00	0.00	0.99	-0.02	0.03	0.85
<b>St_max</b>	-0.19	3.61	0.06	-0.09	0.85	0.36	-0.16	2.43	0.12
<b>St_min</b>	-0.22	4.71	0.03	-0.11	1.19	0.28	-0.19	3.42	0.06
<b>Potência</b>	0.52	26.94	<0,01	0.49	24.11	<0,01	0.48	23.23	<0,01
<b>A</b>	-0.08	0.64	0.35	-0.12	1.42	0.16	-0.07	0.48	0.41
<b>D</b>	0.02	0.05	0.79	-0.04	0.17	0.63	-0.02	0.03	0.85
<b>B+C</b>	0.07	0.45	0.43	0.17	2.96	0.04	0.09	0.86	0.28
<b>IdC</b>	0.02	0.03	0.85	0.09	0.75	0.31	0.02	0.02	0.86
<b>Freq_Br</b>	0.11	1.25	0.19	0.13	1.72	0.12	0.14	1.82	0.11
<b>Comp_Br</b>	0.52	26.52	<0,01	0.41	16.73	<0,01	0.48	22.94	<0,01
<b>SI</b>	0.59	34.22	<0,01	0.49	23.81	<0,01	0.56	31.36	<0,01
<b>Comp/Env</b>	0.15	2.28	0.08	0.04	0.17	0.63	0.08	0.70	0.33
<b>Freq_Rel</b>	-0.10	1.02	0.23	-0.05	0.23	0.57	-0.08	0.68	0.33
<b>Freq_Pr</b>	0.14	2.07	0.09	0.12	1.46	0.16	0.14	1.93	0.10
<b>Amp_Pr</b>	0.26	6.92	<0,01	0.35	12.04	<0,01	0.32	10.43	<0,01
<b>Produto</b>	0.40	16.24	<0,01	0.47	22.37	<0,01	0.46	21.07	<0,01
<b>Amp/Est</b>	0.03	0.07	0.75	0.10	1.04	0.23	0.09	0.89	0.27

r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 61 (continuação) - Correlação entre as características antropométricas e os parâmetros relacionados à coordenação de membros**

	CSA			Superfície			MMII		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.20	4.04	0.02	0.21	4.24	0.01	0.04	0.13	0.67
<b>St_N</b>	0.05	0.30	0.53	0.06	0.31	0.52	0.02	0.02	0.86
<b>St_max</b>	0.09	0.75	0.39	0.09	0.84	0.36	-0.06	0.35	0.55
<b>St_min</b>	0.08	0.62	0.43	0.08	0.71	0.40	-0.08	0.64	0.43
<b>Potência</b>	0.44	19.36	<0,01	0.44	19.01	<0,01	0.41	16.48	<0,01
<b>A</b>	-0.05	0.25	0.56	-0.05	0.22	0.58	-0.06	0.33	0.50
<b>D</b>	-0.18	3.31	0.03	-0.19	3.42	0.03	-0.06	0.34	0.49
<b>B+C</b>	0.23	5.24	0.01	0.23	5.29	0.01	0.12	1.42	0.16
<b>IdC</b>	0.19	3.46	0.03	0.19	3.53	0.03	0.03	0.11	0.70
<b>Freq_Br</b>	0.09	0.75	0.31	0.08	0.72	0.32	0.01	0.01	0.92
<b>Comp_Br</b>	0.16	2.62	0.06	0.15	2.37	0.07	0.39	15.21	<0,01
<b>SI</b>	0.21	4.33	0.01	0.20	3.96	0.02	0.41	16.65	<0,01
<b>Comp/Env</b>	-0.14	1.96	0.10	-0.15	2.10	0.09	0.04	0.13	0.67
<b>Freq_Rel</b>	0.03	0.09	0.72	0.03	0.11	0.70	-0.06	0.36	0.48
<b>Freq_Pr</b>	0.12	1.42	0.16	0.12	1.39	0.16	0.07	0.51	0.40
<b>Amp_Pr</b>	0.36	12.60	<0,01	0.35	12.46	<0,01	0.32	10.37	<0,01
<b>Produto</b>	0.46	21.44	<0,01	0.46	21.07	<0,01	0.41	17.06	<0,01
<b>Amp/Est</b>	0.17	2.82	0.05	0.17	2.86	0.05	0.10	1.02	0.24

CSA - Área de secção transversa; MMII - Comprimento de membros inferiores; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

A variáveis comprimento, estatura e envergadura apresentaram os maiores coeficientes de determinação para o *stroke index* e para a potência, corroborando com outros estudos que relacionam estas variáveis com o desempenho de nadadores (CHATARD; LAVOIE; LACOURL, 1990; CLARYS, 1979).

As variáveis relacionadas ao volume corporal, máxima área de secção transversa e área de superfície corporal, apresentaram correlação com o produto entre amplitude e frequência de pernada e com a amplitude da pernada. Estas variáveis são relacionadas à resistência ao escoamento (CASPERSEN et al., 2010; CLARYS, 1979; NICOLAS; BIDEAU, 2009) e portanto reforças as correlações

observado entre estas variáveis e o arrasto, apesar dos baixos coeficiente de determinação observados.

As tabelas 62 a 67 apresentam os coeficientes de correlação estimados entre as características antropométricas e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade.

**Tabela 62 - Correlação entre o comprimento e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade**

	Comprimento											
	T1			T3			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.15	2.19	0.32	0.05	0.23	0.75	0.11	1.17	0.46	0.14	1.85	0.30
<b>St_N</b>	0.27	7.08	0.07	0.14	2.04	0.35	0.07	0.44	0.66	0.08	0.62	0.55
<b>St_max</b>	0.14	1.96	0.47	-0.04	0.19	0.79	-0.02	0.05	0.89	0.11	1.25	0.53
<b>St_min</b>	0.21	4.58	0.27	-0.14	1.82	0.41	-0.03	0.07	0.87	0.17	2.82	0.35
<b>Potência</b>	0.35	12.53	0.01	0.41	17.06	<0,01	0.52	26.83	<0,01	0.45	20.07	<0,01
<b>A</b>	0.08	0.70	0.57	-0.12	1.44	0.42	-0.16	2.62	0.26	0.00	0.00	1.00
<b>D</b>	-0.24	5.52	0.11	0.06	0.35	0.69	0.05	0.24	0.73	-0.07	0.50	0.59
<b>B+C</b>	0.13	1.77	0.37	0.08	0.72	0.57	0.16	2.66	0.25	0.07	0.43	0.62
<b>IdC</b>	0.06	0.39	0.67	0.06	0.42	0.67	0.15	2.28	0.29	0.04	0.14	0.77
<b>Freq_Br</b>	-0.04	0.15	0.79	-0.21	4.33	0.16	-0.07	0.54	0.61	0.11	1.21	0.40
<b>Comp_Br</b>	0.26	6.86	0.07	0.51	25.91	<0,01	0.49	24.30	<0,01	0.27	7.08	0.04
<b>SI</b>	0.31	9.67	0.03	0.62	38.44	<0,01	0.59	35.05	<0,01	0.36	12.74	<0,01
<b>Comp/Env</b>	-0.10	1.04	0.49	-0.01	0.01	0.95	-0.06	0.39	0.66	-0.10	0.91	0.46
<b>Freq_Rel</b>	-0.06	0.37	0.68	0.08	0.57	0.61	0.14	1.99	0.32	0.05	0.24	0.71
<b>Freq_Pr</b>	0.17	2.86	0.25	0.13	1.74	0.37	0.09	0.89	0.51	0.13	1.69	0.32
<b>Amp_Pr</b>	0.22	4.84	0.13	0.14	1.90	0.35	0.23	5.38	0.11	0.34	11.70	0.01
<b>Produto</b>	0.48	22.75	<0,01	0.24	5.76	0.10	0.29	8.41	0.04	0.55	29.81	<0,01
<b>Amp/Est</b>	-0.03	0.11	0.82	-0.07	0.45	0.65	0.04	0.16	0.78	0.14	1.85	0.30

T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 63 - Correlação entre o estatura e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade**

	Estatura											
	T1			T3			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.19	3.69	0.19	0.17	2.86	0.25	0.24	5.66	0.10	0.16	2.66	0.21
<b>St_N</b>	0.21	4.49	0.15	0.07	0.46	0.66	0.00	0.00	0.98	0.01	0.01	0.93
<b>St_max</b>	0.22	4.71	0.26	-0.04	0.15	0.82	0.00	0.00	0.98	0.15	2.16	0.41
<b>St_min</b>	0.27	7.08	0.16	-0.10	0.99	0.55	0.05	0.24	0.76	0.21	4.20	0.25
<b>Potência</b>	0.32	10.43	0.03	0.39	14.82	0.01	0.47	22.00	<0,01	0.49	24.30	<0,01
<b>A</b>	0.03	0.07	0.86	-0.14	2.07	0.34	-0.26	6.60	0.07	-0.04	0.13	0.78
<b>D</b>	-0.28	7.56	0.06	0.05	0.21	0.76	0.07	0.50	0.62	-0.15	2.10	0.26
<b>B+C</b>	0.23	5.15	0.12	0.13	1.56	0.40	0.27	7.02	0.06	0.17	2.92	0.19
<b>IdC</b>	0.11	1.28	0.45	0.11	1.28	0.45	0.20	4.12	0.15	0.11	1.14	0.41
<b>Freq_Br</b>	0.00	0.00	1.00	-0.18	3.28	0.22	-0.10	1.08	0.47	0.21	4.33	0.11
<b>Comp_Br</b>	0.17	2.86	0.25	0.49	23.72	<0,01	0.50	25.30	<0,01	0.16	2.50	0.22
<b>SI</b>	0.23	5.24	0.12	0.60	36.24	<0,01	0.59	34.69	<0,01	0.31	9.67	0.01
<b>Comp/Env</b>	-0.20	3.80	0.18	0.00	0.00	0.98	-0.04	0.12	0.81	-0.21	4.33	0.11
<b>Freq_Rel</b>	-0.04	0.15	0.80	0.09	0.84	0.54	0.10	1.02	0.48	0.09	0.82	0.49
<b>Freq_Pr</b>	0.13	1.66	0.38	0.07	0.54	0.62	0.07	0.47	0.64	0.12	1.32	0.38
<b>Amp_Pr</b>	0.27	7.45	0.06	0.28	7.56	0.06	0.35	12.32	0.01	0.39	15.44	<0,01
<b>Produto</b>	0.50	24.60	0.00	0.36	12.60	0.01	0.40	16.08	<0,01	0.60	36.24	<0,01
<b>Amp/Est</b>	0.01	0.00	0.97	0.06	0.40	0.67	0.15	2.31	0.29	0.18	3.13	0.17

T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 64 - Correlação entre o envergadura e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade**

	Envergadura											
	T1			T3			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.12	1.42	0.42	0.06	0.33	0.70	0.21	4.20	0.15	0.16	2.50	0.23
<b>St_N</b>	0.19	3.42	0.21	0.11	1.10	0.49	0.02	0.03	0.90	0.03	0.08	0.82
<b>St_max</b>	0.17	2.82	0.38	-0.10	0.98	0.55	0.00	0.00	0.99	0.18	3.39	0.30
<b>St_min</b>	0.22	4.71	0.26	-0.22	4.80	0.18	0.00	0.00	0.98	0.21	4.54	0.23
<b>Potência</b>	0.23	5.29	0.12	0.37	13.69	0.01	0.49	24.21	<0,01	0.39	15.37	<0,01
<b>A</b>	0.05	0.22	0.75	-0.06	0.42	0.67	-0.10	1.08	0.47	-0.04	0.17	0.75
<b>D</b>	-0.25	6.10	0.09	0.06	0.41	0.67	0.01	0.01	0.95	-0.12	1.44	0.36
<b>B+C</b>	0.18	3.24	0.22	0.02	0.03	0.91	0.13	1.56	0.38	0.15	2.31	0.24
<b>IdC</b>	0.11	1.12	0.47	-0.06	0.33	0.70	0.07	0.45	0.64	0.07	0.54	0.57
<b>Freq_Br</b>	0.05	0.30	0.71	-0.30	8.76	0.04	-0.09	0.73	0.55	0.15	2.37	0.24
<b>Comp_Br</b>	0.21	4.33	0.16	0.58	33.64	<0,01	0.52	26.73	<0,01	0.22	4.93	0.08
<b>SI</b>	0.30	8.94	0.04	0.68	45.56	<0,01	0.62	38.07	<0,01	0.33	10.76	0.01
<b>Comp/Env</b>	-0.19	3.50	0.20	0.05	0.26	0.74	-0.07	0.48	0.63	-0.17	2.76	0.20
<b>Freq_Rel</b>	-0.10	1.04	0.49	0.06	0.35	0.69	0.13	1.61	0.38	0.06	0.33	0.66
<b>Freq_Pr</b>	0.15	2.37	0.30	0.08	0.57	0.61	0.05	0.23	0.74	0.15	2.19	0.25
<b>Amp_Pr</b>	0.26	6.97	0.07	0.19	3.46	0.21	0.35	12.11	0.01	0.37	13.91	<0,01
<b>Produto</b>	0.51	26.01	<0,01	0.26	6.71	0.08	0.38	14.59	0.01	0.60	35.64	<0,01
<b>Amp/Est</b>	0.02	0.04	0.90	-0.01	0.01	0.95	0.17	2.76	0.25	0.17	2.86	0.19

T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 65 - Correlação entre o área de secção transversa e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade**

	CSA											
	T1			T3			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.20	3.84	0.18	0.24	5.81	0.10	0.34	11.83	0.01	0.22	4.75	0.09
<b>St_N</b>	0.18	3.24	0.22	0.10	1.06	0.50	0.01	0.01	0.95	-0.01	0.01	0.94
<b>St_max</b>	0.13	1.66	0.51	0.08	0.70	0.61	0.09	0.89	0.56	0.09	0.76	0.63
<b>St_min</b>	0.18	3.31	0.34	0.03	0.07	0.88	0.12	1.32	0.48	0.16	2.43	0.39
<b>Potência</b>	0.20	4.16	0.16	0.47	22.18	<0,01	0.62	37.82	<0,01	0.39	15.37	<0,01
<b>A</b>	0.04	0.15	0.79	0.00	0.00	1.00	-0.15	2.10	0.31	-0.03	0.08	0.83
<b>D</b>	-0.25	6.15	0.09	-0.14	1.99	0.35	-0.05	0.30	0.70	-0.18	3.39	0.16
<b>B+C</b>	0.19	3.57	0.20	0.13	1.74	0.38	0.23	5.48	0.10	0.20	3.96	0.12
<b>IdC</b>	0.17	2.89	0.25	0.17	2.89	0.25	0.17	2.89	0.23	0.21	4.24	0.11
<b>Freq_Br</b>	-0.12	1.35	0.43	-0.02	0.04	0.90	0.08	0.62	0.58	0.10	0.99	0.45
<b>Comp_Br</b>	0.18	3.24	0.22	0.25	6.00	0.10	0.36	12.82	0.01	0.11	1.25	0.39
<b>SI</b>	0.14	2.07	0.33	0.35	12.25	0.02	0.50	25.10	<0,01	0.18	3.06	0.18
<b>Comp/Env</b>	-0.11	1.23	0.45	-0.16	2.53	0.29	-0.12	1.51	0.39	-0.19	3.46	0.15
<b>Freq_Rel</b>	-0.16	2.56	0.28	0.15	2.31	0.30	0.12	1.46	0.40	0.06	0.34	0.66
<b>Freq_Pr</b>	0.03	0.08	0.85	0.02	0.05	0.88	0.12	1.32	0.43	0.09	0.73	0.51
<b>Amp_Pr</b>	0.26	6.50	0.08	0.31	9.86	0.03	0.42	17.81	<0,01	0.34	11.76	0.01
<b>Produto</b>	0.33	10.76	0.02	0.36	13.18	0.01	0.49	24.11	<0,01	0.50	24.50	<0,01
<b>Amp/Est</b>	0.05	0.21	0.76	0.15	2.28	0.31	0.26	6.66	0.07	0.18	3.24	0.17

CSA - área de secção transversa; T1 - 1<sup>o</sup> Tercil; T3 - 3<sup>o</sup> Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 66 - Correlação entre a área de superfície corporal e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade**

	Superfície											
	T1			T3			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.20	3.80	0.19	0.24	5.81	0.10	0.35	11.97	0.01	0.22	4.75	0.09
<b>St_N</b>	0.18	3.17	0.23	0.10	1.06	0.50	0.01	0.01	0.95	-0.01	0.01	0.94
<b>St_max</b>	0.13	1.56	0.52	0.09	0.76	0.60	0.10	0.94	0.55	0.08	0.72	0.64
<b>St_min</b>	0.18	3.20	0.35	0.03	0.09	0.86	0.12	1.35	0.47	0.15	2.37	0.39
<b>Potência</b>	0.20	4.00	0.17	0.47	22.09	<0,01	0.62	37.95	<0,01	0.39	14.98	<0,01
<b>A</b>	0.04	0.15	0.79	0.00	0.00	0.98	-0.14	1.96	0.33	-0.03	0.08	0.83
<b>D</b>	-0.25	6.05	0.09	-0.15	2.10	0.33	-0.06	0.34	0.69	-0.18	3.39	0.16
<b>B+C</b>	0.19	3.50	0.20	0.13	1.74	0.38	0.23	5.38	0.10	0.20	3.96	0.13
<b>IdC</b>	0.17	2.92	0.25	0.17	2.92	0.25	0.17	2.86	0.24	0.21	4.28	0.11
<b>Freq_Br</b>	-0.12	1.39	0.42	-0.01	0.02	0.93	0.08	0.70	0.56	0.10	0.93	0.46
<b>Comp_Br</b>	0.18	3.24	0.22	0.24	5.57	0.11	0.35	12.39	0.01	0.11	1.21	0.40
<b>SI</b>	0.14	1.96	0.34	0.34	11.56	0.02	0.50	24.60	<0,01	0.17	2.92	0.19
<b>Comp/Env</b>	-0.11	1.17	0.47	-0.16	2.66	0.27	-0.13	1.56	0.38	-0.18	3.39	0.16
<b>Freq_Rel</b>	-0.16	2.62	0.27	0.15	2.34	0.30	0.12	1.46	0.40	0.06	0.33	0.66
<b>Freq_Pr</b>	0.03	0.06	0.86	0.02	0.04	0.89	0.12	1.35	0.42	0.08	0.71	0.52
<b>Amp_Pr</b>	0.25	6.40	0.08	0.31	9.80	0.03	0.42	17.81	<0,01	0.34	11.49	0.01
<b>Produto</b>	0.32	10.37	0.03	0.36	13.03	0.01	0.49	24.11	<0,01	0.49	23.91	<0,01
<b>Amp/Est</b>	0.05	0.22	0.75	0.15	2.31	0.30	0.26	6.76	0.07	0.18	3.20	0.17

T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

**Tabela 67 - Correlação entre o comprimento de membros inferiores e os parâmetros relacionados à coordenação de membros para os diferentes níveis de habilidade**

	MMII											
	T1			T3			Nacional			Recreativo		
	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
<b>St</b>	0.08	0.61	0.60	0.15	2.19	0.15	0.23	5.11	0.12	0.19	3.61	0.14
<b>St_N</b>	0.16	2.62	0.27	0.11	1.17	0.11	0.03	0.08	0.85	-0.01	0.02	0.92
<b>St_max</b>	0.11	1.21	0.57	-0.02	0.03	-0.02	0.02	0.06	0.88	0.14	2.02	0.43
<b>St_min</b>	0.16	2.62	0.40	-0.10	1.00	-0.10	0.04	0.16	0.80	0.19	3.57	0.29
<b>Potência</b>	0.26	6.86	0.07	0.34	11.70	0.34	0.42	17.64	<0,01	0.39	15.05	<0,01
<b>A</b>	0.11	1.23	0.45	-0.11	1.12	-0.11	-0.18	3.24	0.21	0.00	0.00	0.99
<b>D</b>	-0.30	8.88	0.04	0.05	0.25	0.05	0.04	0.18	0.77	-0.16	2.46	0.23
<b>B+C</b>	0.16	2.69	0.27	0.08	0.60	0.08	0.19	3.69	0.18	0.15	2.10	0.27
<b>IdC</b>	0.02	0.03	0.90	0.04	0.16	0.04	0.13	1.61	0.37	0.08	0.66	0.53
<b>Freq_Br</b>	-0.09	0.85	0.53	-0.22	5.02	-0.22	-0.14	2.02	0.32	0.07	0.56	0.57
<b>Comp_Br</b>	0.30	9.24	0.04	0.48	22.66	0.48	0.48	22.75	<0,01	0.18	3.31	0.16
<b>SI</b>	0.32	10.30	0.03	0.56	31.81	0.56	0.53	28.09	<0,01	0.22	4.88	0.09
<b>Comp/Env</b>	-0.04	0.20	0.76	-0.01	0.00	-0.01	-0.04	0.18	0.77	-0.17	2.89	0.19
<b>Freq_Rel</b>	-0.06	0.39	0.67	0.07	0.54	0.07	0.10	0.99	0.49	0.03	0.08	0.83
<b>Freq_Pr</b>	0.02	0.03	0.91	0.18	3.35	0.18	0.11	1.25	0.44	0.03	0.06	0.85
<b>Amp_Pr</b>	0.28	7.67	0.06	0.18	3.10	0.18	0.29	8.41	0.04	0.39	15.05	<0,01
<b>Produto</b>	0.37	13.99	0.01	0.31	9.36	0.31	0.36	12.74	0.01	0.53	27.56	<0,01
<b>Amp/Est</b>	0.04	0.12	0.81	-0.01	0.02	-0.01	0.11	1.23	0.44	0.20	3.96	0.13

MMII - comprimento de membros inferiores; T1 - 1º Tercil; T3 - 3º Tercil; r - coeficiente de correlação de Pearson; r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; St - Número de Strouhal; St\_N - Strouhal do nado; St\_max - Maior número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; St\_min - Menor número de Strouhal apresentado em um ciclo de braçada para nadadores que realizam 3 pernadas por ciclo; A - Fase de agarre do índice de coordenação; D - Fase de recuperação do índice de coordenação; B+C - Fase propulsiva do índice de coordenação; IdC - Índice de coordenação; Freq\_Br - Frequência de Braçada; Comp\_Br - Comprimento de braçada; SI - *stroke index*; Comp/Env - Comprimento de braçada normalizado pela envergadura; Freq\_Rel - Frequência relativa; Freq\_Pr - Frequência de pernada; Amp\_Pr - Amplitude de pernada; Produto - Produto entre a frequência e amplitude de pernada; Amp/Est - Amplitude de pernada normalizada pela estatura.

Todas as características antropométricas apresentaram maior correlação com o *stroke index* para os grupos de maior desempenho. É sabido que corpos maiores apresentam menor arrasto em deslocamento em superfície livre e que esta relação é governada pelo número de Froude (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004), é provável que os nadadores mais habilidosos consigam tirar proveito de seu tamanho para nadar de maneira mais eficiente. Os nadadores menos habilidosos por sua vez poderiam apresentar uma orientação ruim dos segmentos em relação ao escoamento e neste caso uma aumento das características antropométricas poderia ter um efeito contrário aumentando o arrasto (ZAMPARO et al., 1996).

A correlação com a potencia produzida também foi maior para os nadadores mais habilidosos nas variáveis comprimento, envergadura, área de secção transversa e área de superfície corporal, sugerindo que estas variáveis possam também estar relacionadas à capacidade propulsiva dos nadadores.

As variáveis comprimento, comprimento de membros inferiores, envergadura e estatura apresentaram maiores correlações com o produto da frequência e da amplitude de membros inferiores para os nadadores menos habilidosos. Isto sugere que a influencia das características antropométricas na pernada são maiores para estes nadadores.

Nenhuma variável antropométrica apresenta correlações relevantes com o número de Strouhal, o que pode indicar que não existe um restritor antropométrico para o ajuste da coordenação do número de Strouhal, embora o produto da frequência e da amplitude de membros inferiores para os nadadores menos habilidosos pareça ser influenciado por estas características. A influencia das características antropométricas no desempenho por sua vez foi confirmada.

## 5 LIMITAÇÕES

A principal limitação deste estudo foi a ausência de um método que permitisse a visualização ou avaliação dos vórtices gerados durante o nado. Desta forma, embora os resultados tenham demonstrado haver uma convergência da coordenação dos nadadores mais habilidosos para faixas específicas de um parâmetro normalmente associado ao desprendimento de vórtices (o número de Strouhal), não há evidências de que a interação com os vórtices seja a causa ou a finalidade da adoção de tal técnica, uma vez que não houve uma análise direta da vorticidade do escoamento.

A utilização de um sistema PIV poderia solucionar esta limitação, uma vez que seria possível identificar e quantificar a energia dos vórtices do escoamento, no entanto não há tal sistema disponível em nosso laboratório atualmente. Por além da indisponibilidade física do sistema, a própria complexidade da utilização do mesmo também justifica sua não utilização em um primeiro momento.

Para utilização do PIV é necessária a dispersão de material reflexivo no escoamento e posterior digitalização e cálculos de trajetória e velocidade para cada um destes elementos, o que gera dificuldades técnicas e exige alto custo computacional, desta forma estudos que utilizam o PIV para avaliar nadadores às vezes utilizam de uma única tentativa de um único nadador com regiões de análise de pequenas dimensões. Como os resultados do presente estudo demonstraram a utilização de poucos sujeitos nestas análises poderia levar a conclusões equivocadas uma vez que nem todos os nadadores apresentam o modo de coordenação mais provavelmente associado a interação de vórtices.

Desta forma, os resultados apresentados neste estudo permitem a elaboração de critérios de inclusão mais robustos para uma futura aplicação do PIV para comprovar a possível influência da interação dos vórtices na escolha dos modos de coordenação adotadas pelos nadadores, tornando a utilização desta técnica mais viável.

Outra limitação deste estudo foi a análise de apenas um hemisfério corporal, desta forma possíveis diferenças de lateralidade dos sujeitos poderiam afetar os resultados. Do ponto de vista estatístico, tal fonte de erro não deveria ser sistemática e o por isso seria eliminada em virtude do grande número amostral utilizado. Do ponto de vista metodológico, embora existam na literatura vários trabalhos que

avaliem ambos os hemisférios do corpo este sempre relatam os resultados médios, exceto aqueles que tem por objetivo especificamente comparar diferenças laterais. Além disso, como mencionado anteriormente, coletas pilotos foram conduzidas especificamente para avaliar tal efeito nos dados, uma vez que com os equipamentos disponíveis seria possível avaliar ambos hemisférios fazendo com que em cada repetição o nadador nadasse em um sentido. Estes resultados demonstraram que a variabilidade entre ciclos era maior do que a variabilidade entre hemisférios, indicando que a estratégia adotada de se registrar pelo mais ciclos de braçada (mínimo de 4 por sujeito) fornecia resultados mais representativos do que avaliar ambos hemisférios.

## 6 CONCLUSÃO

Nadadores mais habilidosos parecem tentar controlar o número de Strouhal em aproximadamente 0,5 para o nado crawl em máxima velocidade. Ao fazer isto estes nadadores coordenam as ações de membro superiores e inferiores de forma sincronizada. Esta sincronização foi avaliada pela frequência relativa e pela fase entre membros, duas medidas de coordenação propostas neste estudo que permitiram quantificar esta coordenação e foram sensíveis para diferenciar os nadadores de acordo com seu nível de habilidade.

Parece não haver restrição para adoção desta coordenação em relação ao sexo, idade, características antropométricas ou arrasto. A velocidade parece ser o fator determinante para tentativa de adoção de uma coordenação orientada ao número de Strouhal. Em velocidade muito baixas, observadas no nado com limitação de velocidade e com propulsão de membros inferiores, parece não ser possível se utilizar a interação dos vórtices liberados e a coordenação utilizada é determinada por outros mecanismos. Já para velocidade mais altas, observadas no nado livre, parece haver um número de Froude crítico, a partir de onde o número de Strouhal converge para 0,5. Antes deste valor crítico os nadadores parecem tentar minimizar ao máximo o número de Strouhal.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-AZIZ, Y. I.; KARARA, H. M. Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Object Space Coordinates in Close-Range Photogrammetry. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 81, n. 2, p. 103–107, 1 fev. 2015.

AMADIO, A. C. **Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento**. São Paulo: Laboratório de Biomecânica EEFUSP, 1996.

AMAR, J. **The human motor**. London: Routledge, 1920.

ANDERSON, J. D. Ludwig Prandtl ' s Boundary Layer. **Physics Today**, n. December, p. 42–48, 2005.

ARCHIMEDES. ON FLOATING BODIES, BOOK I. In: HEATH, T. L. (Ed.). . **The Works of Archimedes**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 253–262.

ARELLANO, R.; PARDILLO, S.; GAVILÁN, A. Usefulness of the strouhal number in evaluating human underwater undulatory swimming. **IXth international symposium on biomechanics and medicine in swimming**, n. 1994, p. 33–38, 2003.

ARELLANO, R.; PARDILLO, S.; GAVILÁN, A. Underwater undulatory swimming: kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. **Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports, Universidad de Granada**, n. 3, p. 29, 2002.

BAINBRIDGE, B. Y. R. The speed of swimming of fish as related to size and the frequency and amplitude of the tail beat. **The Journal of Experimental Biology**, v. 35, n. 1937, p. 109–133, 1957.

BALLETTI, C. et al. Calibration of Action Cameras for Photogrammetric Purposes. **Sensors**, v. 14, n. 9, p. 17471–17490, 2014.

BARBOSA, T. M. et al. Hydrodynamic profile of young swimmers: Changes over a competitive season. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, p. 1–13, 2014.

BASSETT, D. R. et al. Metabolic responses to drafting during front crawl swimming. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 23, n. 6, p. 744–7, jun. 1991.

BERGER, M. A. M.; HOLLANDER, A P.; DE GROOT, G. Technique and energy losses in front crawl swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 29, n. 11, p. 1491–1498, 1997.

BERNOULLI, D.; BERNOULLI, J. **Hydrodynamics and Hydraulics**. New York: Dover Publications, 1968.

BOASHASH, B. Estimating and interpreting the instantaneous frequency of a signal. **Proc. IEEE**, v. 80, n. 4, p. 520–538, 1992.

BROWN, D. C. Close-range camera calibration. **Photogrammetric Engineering**, v. 37, n. 8, p. 855–866, 1971.

BUCHER, W. Influence of the leg kick and the arm stroke on the total speed during the crawl stroke. In **Proceedings - International symposium on biomechanics in swimming, 2d, Brussels, 1974; Baltimore, University Park Press, 1975, p. 180-187.**, p. 180–187, 1974.

BUCKINGHAM, E. On Physically Similar Systems; Illustrations of the Use of Dimensional Equations. **Physical Review**, v. 4, n. 4, p. 345–376, 1 out. 1914.

CASPERSEN, C. et al. Added mass in human swimmers: Age and gender differences. **Journal of Biomechanics**, v. 43, p. 2369–2373, 2010.

CHALLIS, J. H. A multiphase calibration procedure for the direct linear transformation. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 11, n. 3, p. 351–358, 1995.

CHATARD, J.-C.; CHOLLET, D.; MILLET, G. P. Performance and drag during drafting swimming in highly trained triathletes. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 30, n. 8, p. 1276–80, 1998.

CHATARD, J.-C.; WILSON, B. Drafting Distance in Swimming. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 35, n. 7, p. 1176–81, 2003.

CHATARD, J. C.; LAVOIE, J. M.; LACOURL, J. R. Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 61, n. 1–2, p. 88–92, 1990.

CHOLLET; CHALIES; CHATARD. A New Index of Coordination for the Crawl: Description and Usefulness. **International Journal of Sports Medicine**, v. 21, n. 1, p. 54–59, jan. 2000.

CLARKE, T.; FRYER, J. The development of camera calibration methods and models. **The Photogrammetric Record**, v. 16, n. 91, p. 51–66, 1998.

CLARYS, J. P. Human morphology and hydrodynamics. **Swimming III**, p. 3–41, 1979.

COLWIN, C. M. **Nadando para o século XXI**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2000.

COSTILL, D. L. et al. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. **International journal of sports medicine**, v. 6, n. 5, p. 266–70, out. 1985.

COUNSILMAN, J. E. The application of Bernoulli's principle to human propulsion in water. **Biomechanics and medicine in swimming I**, p. 59–71, 1971a.

COUNSILMAN, J. E. **La Natacion: Ciencia y Tecnica**. Barcelona: Editorial hispano europea, 1971b.

CRAIG, A. B.; PENDERGAST, D. R. Relationship of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 11, n. 3, p. 278–283, 1979.

DE JESUS, K. et al. Reconstruction Accuracy Assessment of Surface and Underwater 3D Motion Analysis: A New Approach. **Computational and Mathematical Methods in Medicine**, v. 2015, n. MAY, p. 1–8, 2015.

ELOY, C. Optimal Strouhal number for swimming animals. **Journal of Fluids and Structures**, v. 30, p. 205–218, 2012.

FINA. **FINA OPEN WATER SWIMMING RULES**, 2016a. Disponível em: <<http://www.fina.org/content/open-water-swimming-rules>>

FINA. **FINA FACILITIES RULES**, 2016b. Disponível em: <<http://www.fina.org/sites/default/files/rules-print-pdf/8458.pdf>>

GOURGOULIS, V. et al. Reconstruction accuracy in underwater three-dimensional kinematic analysis. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 11, n. 2, p. 90–95, 2008.

GOURGOULIS, V. et al. Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming. **Journal of sports sciences**, v. 28, n. 919558030, p. 1165–1173, 2010.

GRAY, J. Studies in Animal Locomotion. **Journal of Experimental Biology**, v. 10, n. 1, p. 88–104, 1933.

GRAY, J. Studies In Animal Locomotion VI. The propulsive powers of the dolphin. **The Journal of Experimental Biology**, v. 13, p. 192–199, 1936.

GRIMBERG, G.; PAULS, W.; FRISCH, U. Genesis of d'Alembert's paradox and analytical elaboration of the drag problem. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, v. 237, n. 14–17, p. 1878–1886, 2008.

HEIKKILÄ, J.; SILVÉN, O. A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction. **Cvpr**, p. 1106–1112, 1997.

HOCHSTEIN, S.; BLICKHAN, R. Vortex re-capturing and kinematics in human underwater undulatory swimming. **Human Movement Science**, v. 30, n. 5, p. 998–1007, 2011.

HOLLANDER, A. P. et al. Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. **Journal of Sports Sciences**, v. 4, n. 1, p. 21–30, mar. 1986.

HOLLANDER, A. P. et al. Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming. **Swimming Science V**, p. 39–43, 1988.

HUE, O.; BENAVENTE, H.; CHOLLET, D. The effect of wet suit use by triathletes: an analysis of the different phases of arm movement. **Journal of sports sciences**, v. 21, n. 1, p. 1025–1030, 2003.

JANSSEN, M.; WILSON, B. D.; TOUSSAINT, H. M. Effects of drafting on hydrodynamic and metabolic responses in front crawl swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 41, n. 4, p. 837–843, 2009.

KARPOVICH, P. V. Analysis of the Propelling Force in the Crawl Stroke. **Research Quarterly**, v. 6, n. 2, p. 49–58, 1935.

KJENDLIE, P. L.; STALLMAN, R. K. Drag characteristics of competitive swimming children and adults. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 24, n. 1992, p. 35–42, 2008.

KLAUCK, J. Der Wasserwiderstand des menschlichen Körper bei beschleunigter Bewegung. **Kölner Beiträge zur Sportwissenschaft**, v. 5, p. 25–36, 1976.

KLAUCK, J. Turbulente Nachlaufströmung und Wasserwiderstand beim menschlichen Körper. **Kölner Beiträge zur Sportwissenschaft**, v. 8, p. 133–141, 1979.

KLAUCK, J. Man's water resistance in accelerated motion: An experimental evaluation of the added mass concept. **Proceedings of the VIII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming**, n. 1974, p. 83–88, 1998.

KOLMOGOROV, S. V. et al. Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 13, n. 1, p. 88–97, 1997.

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

LARSEN, O. W.; YANCHER, R. P.; BAER, C. Boat design and swimming performance. **Swimming Technique**, v. 18, p. 38–44, 1981.

LAUGA, E.; BRENNER, M. P.; STONE, H. A. Microfluidics: The no-slip boundary condition. **Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics**, p. 1219–1240, 2005.

LI, T.-Z.; ZHAN, J.-M. Hydrodynamic body shape analysis and their impact on swimming performance. **Acta of Bioengineering and Biomechanics**, v. 17, n. 4, p. 3–11, 2015.

LYTTLE, A. et al. **Optimal depth for streamlined gliding**. (H. A. Keskinen KL, Komi PV, Ed.) *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. **Anais...**Jyvaskyla: Jyvaskyla Printing, 1999

MAGLISCHO, E. W. **Nadando ainda mais rápido**. São Paulo: Manole, 1999.

MATSUUCHI, K. et al. Unsteady flow field around a human hand and propulsive force in swimming. **Journal of Biomechanics**, v. 42, p. 42–47, 2009.

MILLET, G.; CHOLLET, D.; CHATARD, J. C. Effects of drafting behind a two- or a six-beat kick swimmer in elite female triathletes. **European journal of applied physiology**, v. 82, n. April 2016, p. 465–471, 2000.

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

MIYASHITA, M. **Arm action in the crawl stroke**. (L. Lewille, J. P. Clarys, Eds.)Swimming II. **Anais...**Baltimore: University Park Press, 1975

MOLLENDORF, J. C. et al. Effect of swim suit design on passive drag. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, p. 1029–1035, 2004.

MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos da mecânica dos fluidos**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

NAEMI, R.; EASSON, W. J.; SANDERS, R. H. Hydrodynamic glide efficiency in swimming. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 13, n. 4, p. 444–451, 2010.

NICOLAS, G. et al. How are Strouhal number, drag, and efficiency adjusted in high level underwater monofin-swimming? **Human Movement Science**, v. 26, p. 426–442, 2007.

NICOLAS, G.; BIDEAU, B. A kinematic and dynamic comparison of surface and underwater displacement in high level monofin swimming. **Human Movement Science**, v. 28, n. 4, p. 480–493, ago. 2009.

OHASHI, H.; ISHIKAWA, N. Visualization Study of Flow Near the Trailing Edge of an Oscillating Airfoil. **Bulletin of JSME**, v. 15, n. 85, p. 840–847, 1972.

PACHOLAK, S. et al. Unsteady flow phenomena in human undulatory swimming: a numerical approach. **Sports Biomechanics**, n. September 2014, p. 1–19, 2014.

PRANGE, H. D.; SCHMIDT-NIELSEN, K. The metabolic cost of swimming in ducks. **The Journal of experimental biology**, v. 53, n. 3, p. 763–777, 1970.

PSYCHARAKIS, S. G. et al. Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 20, n. 2007, p. 128–135, 2010.

R.E. SCHLEIHAUF, J. **A Hydrodynamic Analysis of Swimming Propulsion**. (E. W. Bedingfield, J. Terauds, Eds.)Swimming III. **Anais...**Baltimore: University Park Press, 1979

RAYLEIGH. The Principle of Similitude. **Nature**, v. 95, n. 2368, p. 66–68, 18 mar. 1915a.

RAYLEIGH, LORD. Æolian tones. **Philosophical Magazine Series 6**, v. 29, n. 172, p. 433–444, abr. 1915b.

REYNOLDS, O. An Experimental Investigation of the Circumstances Which Determine Whether the Motion of Water Shall Be Direct or Sinuous, and of the Law of Resistance in Parallel Channels. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 174, n. 0, p. 935–982, 1883.

REYNOLDS, O. On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 186, p. 123–164, 1895.

ROHR, J. J.; FISH, F. E. Strouhal numbers and optimization of swimming by odontocete cetaceans. **The Journal of experimental biology**, v. 207, n. Pt 10, p. 1633–1642, 2004.

ROSEN, M. W. Water flow about a swimming fish. **US Naval Ordnance Test Station Technical Publication**, n. 2298, p. 1–96, 1959.

ROSEN, M. W. Flow visualization experiments with a dolphin. **US Naval Ordnance Test Station Technical Publication**, n. 8062, p. 1–19, 1963.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 3. ed. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2007.

SATO, Y.; HINO, T. CFD simulation of flows around a swimmer in a prone glide position. **Suiei Suichu Undo Kagaku**, v. 13, n. 1, p. 1–9, 2010.

SCHOUVEILER, L.; HOVER, F. S.; TRIANTAFYLLOU, M. S. Performance of flapping foil propulsion. **Journal of Fluids and Structures**, v. 20, n. 7 SPEC. ISS., p. 949–959, 2005.

SEIFERT, L. et al. Relationships between coordination, active drag and propelling efficiency in crawl. **Human Movement Science**, v. 39, p. 55–64, 2015.

SEIFERT, L.; BOULESTEIX, L.; CHOLLET, D. **Arm Coordination of Female and Male Elite Swimmers in Front Crawl**. Biomechanics and Medicine in Swimming IX. **Anais...2002**

SEIFERT, L.; BOULESTEIX, L.; CHOLLET, D. Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. **International Journal of Sports Medicine**, v. 25, n. 3, p. 217–223, 2004.

SEIFERT, L.; CHOLLET, D.; BARDY, B. G. Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. **Journal of sports sciences**, v. 22, n. 7, p. 651–60, 2004.

SILVA, A. J. et al. Analysis of drafting effects in swimming using computational fluid dynamics. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 7, n. September 2007, p. 60–66, 2008.

SILVATTI, A. P. et al. Comparison of different camera calibration approaches for underwater applications. **Journal of Biomechanics**, v. 45, n. 6, p. 1112–1116, 2012.

STAGER, J. M.; TANNER, D. A. **Natação**. São Paulo: Manole, 2008.

STROUHAL, V. **Über eine besondere art der tonerregung**. [s.l.] Universität Würzburg, 1878.

TAKAGI, H. et al. Unsteady hydrodynamic forces acting on a hand and its flow field during sculling motion. **Human Movement Science**, v. 38, p. 133–142, 2014.

TAKAGI, H. et al. Numerical and experimental investigations of human swimming motions. **Journal of Sports Sciences**, v. 414, n. June, 2015.

TAYLOR, G. K.; NUDDS, R. L.; THOMAS, A. L. R. Flying and swimming animals cruise at a Strouhal number tuned for high power efficiency. **Nature**, v. 425, p. 707–711, 2003.

TELLES, T. et al. Effect of hand paddles and parachute on the index of coordination of competitive crawl-strokers. **Journal of sports sciences**, v. 29, n. 936154599, p. 431–438, 2011.

TOUSSAINT, H. Wave drag in front crawl swimming. **ISBS-Conference Proceedings Archive**, v. 1, n. 1, p. 279–282, 2002.

TOUSSAINT, H. M. et al. Active drag related to velocity in male and female swimmers. **Journal of biomechanics**, v. 21, n. 5, p. 435–438, 1988.

TOUSSAINT, H. M. et al. Biomechanics of Swimming. In: GARRETT, W. E.; KIRKENDALL, D. T. (Eds.). . **Exercise and Sport Sciences**. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 2000. p. 639–660.

TOUSSAINT, H. M.; ROOS, P. E.; KOLMOGOROV, S. V. The determination of drag in front crawl swimming. **Journal of Biomechanics**, v. 37, p. 1655–1663, 2004.

TRIANAFYLLOU, G. Optimal thrust development in oscillating foils with application to fish propulsion. **Journal of Fluids and Structures**, v. 7, n. 2, p. 205–224, 1993.

TRIANAFYLLOU, M. S.; TRIANAFYLLOU, G. S.; GOPALKRISHNAN, R. Wake mechanics for thrust generation in oscillating foils. **Physics of Fluids A: Fluid Dynamics**, v. 3, n. 12, p. 2835, 1991.

TU, B. et al. High precision two-step calibration method for the fish-eye camera. **Applied optics**, v. 52, n. 7, p. C37-42, 2013.

VAUGHAN, C. L.; O'MALLEY, M. J. Froude and the contribution of naval architecture to our understanding of bipedal locomotion. **Gait and Posture**, v. 21, n. 3, p. 350–362, 2005.

VENNELL, R.; PEASE, D. L.; WILSON, B. Wave drag on human swimmers. **Journal of Biomechanics**, v. 39, p. 664–671, 2006.

VOGEL, S. **Life in moving fluids: the physical biology of flow**. Princeton: Princeton University Press, 1994.

VON KÁRMÁN, T. Ueber den Mechanismus des Widerstandes, den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erfährt. **Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse**, p. 509–517, 1911.

VORONTSOV, A. R.; RUMYANTSEV, V. A. Propulsive forces in swimming. In: ZATSIORSKY, V. M. (Ed.). . **Biomechanics in Sport**. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 2000a. p. 205 – 231.

VORONTSOV, A. R.; RUMYANTSEV, V. A. Resistive forces in swimming. In: ZATSIORSKY, V. M. (Ed.). . **Biomechanics in Sport**. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 2000b. p. 184–204.

WEBB, W. P. **Hydrodynamics and energetics of fish propulsion**. [s.l: s.n.].

XIN-FENG, W. et al. A new device for estimating active drag in swimming at maximal velocity. **Journal of sports sciences**, v. 25, n. 4, p. 375–379, 2007.

ZAGO, M.; LACQUANITI, F. Visual perception and interception of falling objects: a review of evidence for an internal model of gravity. **Journal of neural engineering**, v. 2, n. 3, p. S198-208, 2005.

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

ZAMPARO, P. et al. Effects of body size, body density, gender and growth on underwater torque. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 6, n. 5, p. 273–80, 1996.

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

ZHANG, Z. Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations. **Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision**, v. 1, n. c, p. 0–7, 1999.