

HEILIANE DE BRITO FONTANA

**FORÇA DE REAÇÃO DO SOLO NA CORRIDA ESTACIONÁRIA EM
AMBIENTE AQUÁTICO E TERRESTRE: EFEITO DA IMERSÃO, DA
CADÊNCIA DO MOVIMENTO E DA DENSIDADE CORPORAL**

FLORIANÓPOLIS – SC

2011

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE E DO ESPORTE – CEFID
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO
HUMANO – PPGCMH

HEILIANE DE BRITO FONTANA

FORÇA DE REAÇÃO DO SOLO NA CORRIDA ESTACIONÁRIA EM
AMBIENTE AQUÁTICO E TERRESTRE: EFEITO DA IMERSÃO, DA
CADÊNCIA DO MOVIMENTO E DA DENSIDADE CORPORAL

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

Orientador: Prof. Dr. Helio Roesler

FLORIANÓPOLIS – SC

2011

HEILIANE DE BRITO FONTANA

**FORÇA DE REAÇÃO DO SOLO NA CORRIDA ESTACIONÁRIA EM
AMBIENTE AQUÁTICO E TERRESTRE: EFEITO DA IMERSÃO, DA
CADÊNCIA DO MOVIMENTO E DA DENSIDADE CORPORAL**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Movimento Humano – Biomecânica, no Curso de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Banca Examinadora:

Orientador: _____
Prof. Dr. Helio Roesler
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro: _____
Prof. Dr. Sérgio Augusto Cunha
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Membro: _____
Prof. Dr. Antônio Renato Pereira Moro
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Membro: _____
Prof. Dr. Marcos Amaral de Noronha
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro: _____
Prof. Dra. Suzana Matheus Pereira
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Florianópolis, 28 de fevereiro de 2011.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que de maneira direta ou indireta contribuíram na realização desse trabalho.

Em especial, agradeço a minha família, aos amigos e ao meu namorado, por compreenderem minha ausência, permitindo que me dedicasse aos estudos. Agradeço a minha mãe, Celiane de Brito Fontana, quem, neste período e em outros da minha vida, cuida dos “bastidores” com muito amor e dedicação. Ao meu pai, Heitor Roberto Fontana, quem também sempre me estimulou aos estudos, me encorajando e me dando condições de ir além. Muito obrigada pelo amor incondicional... Amo muito vocês (...)!

Ao meu orientador, Professor Helio Roesler, pela combinação de qualidades que o levam a ser um grande amigo e tutor, por acreditar em mim e compartilhar seu conhecimento; muito obrigada!

À equipe do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática, a todos que participaram das coletas de dados nos finais de semana (e feriadão), muito obrigada! Em especial, agradeço a Caroline Ruschel e ao Alessandro Haupenthal, pelo dia-a-dia agradável e produtivo, me sinto privilegiada por ter pessoas tão competentes ao meu lado.

Estendo meus agradecimentos aos demais Professores e também aos Técnicos do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte da Universidade do Estado de Santa Catarina, os quais me deram condições de solucionar problemas teóricos e/ou práticos no decorrer das pesquisas.

Por fim, sou grata a CAPES pela bolsa de estudos que possibilitou que eu me dedicasse integralmente ao mestrado.

**“Dê a quem você ama: asas para voar,
raízes para voltar e motivos para ficar”**

Dalai Lama

“A cada dia que vivo, mais me convenço que o desperdício da vida está no amor que não damos, nas forças que não usamos, na prudência egoísta que nada arrisca (...)”

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Este estudo objetivou analisar o pico máximo da componente vertical ($F_{y_{máx}}$) da força de reação do solo durante a corrida estacionária em ambiente aquático e terrestre. Os efeitos da imersão (solo, nível de imersão do quadril e nível de imersão do xifóide), da cadência do movimento (oito cadências pré-estabelecidas e uma máxima em cada imersão) e da densidade corporal dos participantes no $F_{y_{máx}}$ foram analisados. Participaram da pesquisa 32 sujeitos saudáveis, com idade entre 20 e 35 anos. As coletas de dados foram realizadas na piscina e no Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática do CEFID/UEDESC. Foram utilizadas duas plataformas de força extensométricas conectadas ao sistema de aquisição de dados ADS2000-IP. Foram adquiridos 35 segundos de corrida estacionária em cada situação de análise, com intervalo de um minuto entre as execuções. A máxima cadência alcançada ($Cad_{máx}$) em cada imersão foi verificada através da Transformada de Fourier (FFT). O processamento dos dados foi realizado por meio de rotinas criadas no *software* Scilab 4.1.2 e analisados com a utilização da estatística descritiva e inferencial ($p \leq 0,05$). Um modelo de predição para $F_{y_{máx}}$ a partir da cadência, do nível de imersão e da densidade corporal foi desenvolvido através da regressão múltipla pelo método *stepwise*. Maiores intensidades de $Cad_{máx}$ foram encontradas no solo, seguido pelo nível de imersão do quadril e do xifóide respectivamente. Tanto o nível de imersão, bem como a cadência do movimento e a densidade corporal dos sujeitos tiveram efeito significativo sobre $F_{y_{máx}}$. Embora os valores de $F_{y_{máx}}$ tenham se mostrado maiores no solo, seguido pelo quadril, independentemente da cadência utilizada; houve uma interação significativa entre o efeito da imersão e o efeito da cadência do movimento: no solo, quanto maior a cadência, mais intenso foi $F_{y_{máx}}$; no entanto, para os níveis do quadril e do xifóide, a intensidade de $F_{y_{máx}}$ diminuiu quando a corrida estacionária foi realizada em cadências maiores que 130 bpm no nível do xifóide ou maiores que 145 bpm no quadril. Em relação ao efeito da densidade, verificou-se que os sujeitos menos densos apresentaram menor intensidade de $F_{y_{máx}}$. Dois modelos válidos de predição de $F_{y_{máx}}$ foram desenvolvidos. O primeiro foi proposto para a predição na corrida estacionária no solo e no ambiente aquático, sendo capaz de explicar 75% da variação de $F_{y_{máx}}$. O segundo foi desenvolvido exclusivamente para o ambiente aquático e foi capaz de determinar 69% da variação de $F_{y_{máx}}$. Embora o segundo modelo tenha apresentado um coeficiente de determinação menor, o resíduo envolvido na predição também foi menor, o que o torna mais adequado para uso na prática clínica. Os resultados confirmam que o ambiente aquático pode e deve ser utilizado como uma alternativa para a redução de $F_{y_{máx}}$ na corrida estacionária; no entanto, o controle da cadência do movimento, do nível de imersão e, em uma menor intensidade, da densidade corporal se faz necessário. Além disso, conclui-se que a escolha da cadência do exercício deve levar em conta os diferentes níveis de imersão e que a presença de uma deflexão na curva cadência *versus* $F_{y_{máx}}$ pode ser uma ferramenta interessante na prescrição da corrida estacionária no ambiente aquático. O efeito significativo da densidade corporal em $F_{y_{máx}}$ sugere uma prescrição diferenciada para pessoas com sobrepeso e/ou obesas.

Palavras chave: Biomecânica. Exercícios aquáticos. Corrida estacionária.

ABSTRACT

FONTANA, Heiliane de Brito. **Ground Reaction Forces during Stationary Running in water and on land:** Effect of immersion level, movement cadence and body density. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano – Comportamento Motor) Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Florianópolis, 2011

This study aimed to analyze the vertical component peak ($F_{y_{\text{máx}}}$) of ground reaction forces during stationary running in water and on land. 32 healthy subjects, aged between 20 and 35 years, participated in the study. The sessions were held in the Aquatic Biomechanics Research Laboratory and at the swimming pool of CEFID/UEDESC. Force data were acquired through force plates which were connected to the signal conditioner and A/D convertor ADS2000-IP. The effects of immersion (land, hip level and chest level of immersion), movement cadence (eight sub-maximal cadences and one maximal cadence at each level of immersion) and of body density were analyzed. 35 seconds of stationary running at each analysis situation were acquired, with an interval of one minute between trials. The maximum cadence reached by subjects ($Cad_{\text{máx}}$) was verified through Fast Fourier Transform (FFT). All curves were exported and analyzed through a processing routine created with the Scilab 4.1.2 software. Descriptive and inferential statistics were used. A predictive model of $F_{y_{\text{máx}}}$ was created through the multiple regression (stepwise) analysis of immersion level, movement cadence and body density. Higher $Cad_{\text{máx}}$ were found during on-land stationary running, followed by hip and chest immersion respectively. Not only level of immersion, but also cadence and body density, showed a significant effect on $F_{y_{\text{máx}}}$. Although $F_{y_{\text{máx}}}$ values were higher on land regardless of the movement cadence, there was a significant interaction between levels of immersion and cadence: on land, $F_{y_{\text{máx}}}$ increased linearly with increasing cadence; while, at hip and chest immersion, $F_{y_{\text{máx}}}$ increased up to a certain point, where it started to decrease with increasing cadence. This limit point was observed at 130 bpm at chest level of immersion and at 145 bpm when immersed to the hip. Regarding the effect of body density, the results show that less dense subjects present lower values of $F_{y_{\text{máx}}}$. Two valid predictive models were developed. The first one was for both on-land and water stationary running, being capable of determining 75% of $F_{y_{\text{máx}}}$ variability. The second one was developed exclusively for water stationary running and explicated 69% of $F_{y_{\text{máx}}}$ variability. Although the second model presented a lower determination coefficient, it also showed the lower levels of residue, which indicates that this model is more adequate for $F_{y_{\text{máx}}}$ prediction. The results confirm that the water environment can be used as an alternative for $F_{y_{\text{máx}}}$ reduction during stationary running; however, there is need of controlling the level of immersion, the movement cadence and, to a lesser extent, the body density of subjects. The choice of which cadence to use depends on the immersion level. The presence of a limit on the increasing effect of cadence on $F_{y_{\text{máx}}}$ can be an interesting tool when prescribing stationary running in water. The significant effect of body density on $F_{y_{\text{máx}}}$ suggests a differenced prescription for obese or overweight people.

Keywords: Biomechanics. Aquatic exercises. Stationary running.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FRS – Força de reação do solo

F_y – Componente vertical da força de reação do solo

F_{y máx} – Valor máximo da componente vertical da força de reação do solo durante a realização do contato com a plataforma

Cad_{máx} – Máxima cadência atingida na corrida estacionária

PC – Peso corporal

bpm – Unidade de medida de cadência, batimentos por minuto

Abreviaturas usadas na equação de predição:

CAD – Cadência do movimento

PROF – Profundidade de imersão

EST – Estatura do indivíduo

DENS – Densidade corporal

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Representação esquemática da porcentagem de aplicação do peso nas diferentes situações estudadas pelos autores..... 28**
- Figura 2 Exemplos da curva da componente vertical da FRS da marcha no solo e em diferentes níveis de imersão. 29**
- Figura 3– Exemplos da curva de FRS e do sinal eletromiográfico durante a marcha fora e dentro da água nas velocidades lenta e rápida. Onde: TA – Tibial anterior, GAS – Gastrocnêmio, SOL – Soleo, PC – Peso corporal. 30**
- Figura 4 – Exemplos das curvas da componente vertical da FRS e da variação angular para a marcha realizada em ambiente terrestre e aquático, em diferentes velocidades. 31**
- Figura 5 – Mudanças que ocorrem na componente vertical da força de reação do solo em decorrência da variação da profundidade de imersão. 33**
- Figura 6 – Curva da componente vertical da FRS para a corrida realizada em ambiente aquático no nível de imersão do quadril (preto) e do processo xifóide (cinza). 34**
- Figura 7 Gráfico dos valores de média e desvio padrão para a F_y máxima na aterrissagem dos saltos com meio agachamento (SMA), com contramovimento (SCM), em profundidade partindo de 0,2 m (SP20) e em profundidade partindo de 0,4 m (SP40) nas condições de análise. 36**
- Figura 8 – Força vertical máxima na corrida estacionária – normalizada pelos valores obtidos no solo, com alteração do nível de imersão e da cadência de execução. Body weight = peso coporal; dry land = solo; hip = quadril; chest = peito..... 37**
- Figura 9 – Pico máximo da componente vertical da força de reação do solo. Variável adquirida a partir da análise dinamométrica da corrida estacionária..... 42**

- Figura 10 – Foto de uma das plataformas de força utilizada no estudo..... 43**
- Figura 11 – Foto do sistema ADS2000-IP conectado ao microcomputador portátil..... 44**
- Figura 12 – Esquema para representar o ajuste do nível de imersão à estrutura anatômica de referências. Foram representados três níveis de imersão sendo, da esquerda para a direita: peito (processo xifóide), quadril (trocâter maior do fêmur) e solo..... 46**
- Figura 13 – Média e desvio padrão da cadência máxima ($Cad_{m\acute{a}x}$) em batimentos por minuto (bpm) da corrida estacionária no solo, no nível de imersão do processo xifóide e no nível de imersão do quadril. Símbolo “ \neq ” indica diferença significativa ($p < 0.001$) entre os níveis na ANOVA medidas repetidas com comparação múltipla de Bonferroni. 51**
- Figura 14 Média e desvio padrão do pico máximo da componente vertical da FRS ($Fy_{m\acute{a}x}$) em Peso Corporal (PC) durante a corrida estacionária executada em cadências máximas no solo, no nível de imersão do processo xifóide e no nível de imersão do quadril. Símbolo “ \neq ” indica diferença significativa ($p < 0.001$) entre os níveis na medidas repetidas ANCOVA (cadência como covariável) com comparação múltipla de Bonferroni. 52**
- Figura 15 – Média e desvio padrão do pico máximo da componente vertical da FRS ($Fy_{m\acute{a}x}$) em Peso Corporal (PC) durante a corrida estacionária executada em diferentes cadências (expressas em batimentos por minuto (bpm)) no solo, no nível de imersão do processo xifóide e no nível de imersão do quadril. 54**
- Figura 16 – Media dos valores de $Fy_{m\acute{a}x}$ de diferentes exercícios aquáticos (caminhada – em amarelo, corrida – em vermelho, corrida estacionária – em verde, e saltos em cinza) em diferentes níveis de imersão. Símbolo * indica os valores reportados com base neste estudo..... 56**
- Figura 17 – Efeito da cadência (expressa em batimentos por minuto (bpm)) sobre o pico máximo da componente vertical da FRS ($Fy_{m\acute{a}x}$) durante a corrida estacionária no solo e nos níveis de imersão do quadril e do xifóide. Linhas tracejadas indicam os respectivos desvios padrão. Note que as médias verificadas e calculadas para cada cadência estão interligadas por uma linha. Apesar do intervalo compreendido entre as cadências**

analisadas não ter sido verificado, optou-se por traçar uma linha para melhor visualização do efeito.	58
Figura 18 – Gráficos de dispersão para as variáveis $Fy_{m\acute{a}x}$ (expressa em peso corporal (PC)) e Cadência do movimento (expressa em batimentos por minuto (bpm)) durante a corrida estacionária no solo (A), no nível de imersão do quadril (B) e no nível de imersão do xifóide (C). Os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2) estão expostos no canto inferior direito de cada gráfico.	61
Figura 19 - Gráficos de dispersão para $Fy_{m\acute{a}x}$ (expresso em peso corporal (PC)) e as variáveis independentes: [A] Cadência do movimento (expressa em batimentos por minuto (bpm)), [B] densidade corporal (g/ml) e [C] nível de imersão/estatura (adimensional resultante da razão entre a profundidade em metros e a estatura do sujeito também em metros (m/m)).....	66
Figura 20 – Histograma: resíduo padronizado da regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $Fy_{m\acute{a}x}$ durante a corrida estacionária.	68
Figura 21 – Comparação entre a curva de probabilidade acumulada esperada e a curva de probabilidade acumulada observada para o resíduo padronizado da regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $Fy_{m\acute{a}x}$ durante a corrida estacionária.	69
Figura 22 – Gráfico de dispersão dos Resíduos em função do valor predito na regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $Fy_{m\acute{a}x}$ durante a corrida estacionária.	70
Figura 23 – Histograma: resíduo padronizado da regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $Fy_{m\acute{a}x}$ durante a corrida estacionária na água.....	72
Figura 24 – Comparação entre a curva de probabilidade acumulada esperada e a curva de probabilidade acumulada observada para o resíduo padronizado da regressão linear	

múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $F_{y_{máx}}$ durante a corrida estacionária na água..... 72

Figura 25 – Gráfico de dispersão dos Resíduos em função do valor predito na regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $F_{y_{máx}}$ durante a corrida estacionária na água..... 73

Figura 26 – Curva de predição (através da regressão múltipla) dos valores médios do pico máximo da componente vertical da FRS ($F_{y_{máx}}$) em diferentes cadências na corrida estacionária no nível do quadril e do xifóide: comparação com os valores observados. Linhas pontilhadas indicam o limite inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança (95%)..... 75

Figura 27 Curva de predição (através da regressão múltipla) do pico máximo da componente vertical da FRS ($F_{y_{máx}}$) para um sujeito em diferentes cadências na corrida estacionária no nível do quadril e do xifóide: comparação com os valores observados. Linhas pontilhadas indicam o limite inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança (95%). 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos sujeitos do estudo	40
Tabela 2 - Médias e desvios padrão da intensidade do pico máximo da componente vertical ($F_{y_{máx}}$) em peso corporal (PC) de acordo com a densidade corporal durante a corrida estacionária no solo, no nível de imersão do quadril e no nível do xifóide.	63
Tabela 3 – Resultados da correlação e valores máximos e mínimos do pico da componente vertical da FRS ($F_{y_{máx}}$) e das variáveis preditoras nível de imersão, cadência e densidade	65
Tabela 4 – Análise de regressão múltipla (<i>stepwise</i>) para Nível de Imersão, Cadência e Densidade corporal na predição do pico máximo da componente vertical da FRS ($F_{y_{máx}}$) durante a corrida estacionária. Coeficientes não padronizados (B) e padronizados (β). 67	67
Tabela 5 – Análise de regressão múltipla (<i>stepwise</i>) para Nível de Imersão, Cadência e Densidade corporal na predição do pico máximo da componente vertical da FRS ($F_{y_{máx}}$) durante a corrida estacionária no ambiente aquático. Coeficientes não padronizados (B) e padronizados (β).	71
Tabela 6 – Comparação entre dois modelos para a predição de $F_{y_{máx}}$ na corrida estacionária: 1º, Modelo de predição para o ambiente aquático e terrestre. 2º, Modelo de predição exclusivo para o ambiente aquático.	74
Tabela 7 – Características do sujeito que participou da simulação.....	76
Tabela 8 – Tabela descritiva do pico máximo da componente vertical ($F_{y_{máx}}$) da força de reação do solo em peso corporal (PC). Valores referentes a corrida estacionária executada por 3 grupos de sujeitos (1/3 mais denso, referências e 1/3 menos denso) em oito cadências distintas em cada nível de imersão (solo, quadril e xifóide).....	96

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. PROBLEMA.....	16
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. <i>Objetivo geral</i>	18
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	19
1.3. HIPÓTESES	19
1.4. JUSTIFICATIVA	20
1.5. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	23
1.6. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	23
2. REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1. EXERCÍCIOS AQUÁTICOS	24
2.1.1. <i>Força de reação do solo nos exercícios aquáticos</i>	26
3. MÉTODO	39
3.1. CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA	39
3.2. PARTICIPANTES DA PESQUISA	40
3.3. DEFINIÇÃO CONCEITUAL E OPERACIONAL DAS VARIÁVEIS	40
3.3.1. <i>Variáveis independentes</i>	40
3.3.2. <i>Variáveis dependentes</i>	41
3.4. INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	42
3.4.1. <i>Plataformas de força</i>	42

3.4.2. Sistema de aquisição e processamento de dados ADS2000-IP.....	43
3.4.3. Balança digital, estadiômetro, fita métrica e adipômetro científico.....	44
3.4.4. Metrônomo	44
3.5. VARIÁVEIS DE CONTROLE.....	45
3.6. PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS	45
3.6.1. Preparação dos instrumentos.....	45
3.6.2. Situações analisadas	46
3.6.3. Coleta de dados	47
3.7. PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	48
3.8. TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	48
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	50
4.1 ANÁLISE DA COMPONENTE VERTICAL DA FRS EM CADÊNCIAS MÁXIMAS ...	50
4.1.1. Caracterização e comparação da máxima cadência de execução da corrida estacionária nos diferentes níveis de imersão.....	50
4.1.2. Caracterização e comparação do pico máximo da componente vertical da FRS durante a corrida estacionária em cadência máxima nos diferentes níveis de imersão..	52
4.2. ANÁLISE DO EFEITO DO NÍVEL DE IMERSÃO, DA CADÊNCIA DO MOVIMENTO E DA DENSIDADE CORPORAL NO PICO MÁXIMO DA COMPONENTE VERTICAL DA FRS.....	53
4.2.1. Efeito do nível de imersão	53
4.2.2. Efeito da cadência do movimento.....	57
4.2.3. Efeito da densidade corporal	62
4.3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PREDIÇÃO PARA O PICO MÁXIMO DA COMPONENTE VERTICAL DA FRS	64
4.3.1. Desenvolvimento de um modelo de predição para o pico máximo da componente vertical da FRS: modelo exclusivo para o ambiente aquático.....	70
4.4. UTILIZAÇÃO DO MODELO DE PREDIÇÃO – SIMULAÇÃO.	75
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICES	94
ANEXOS	97

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMA

O Grupo de Pesquisas em Biomecânica Aquática iniciou o estudo da marcha na água em 2000 com a análise da componente vertical da força de reação do solo (FRS) na hidrocinésioterapia (BRITO *et al.*, 2000). Em 2002 foi validado o procedimento de coleta de dados da marcha subaquática (SCHUTZ *et al.*, 2002), e em 2003 foi publicado o resultado de um estudo sobre as variáveis temporais e as forças verticais (ROESLER *et al.*, 2003). A partir disso, foram realizados estudos da marcha para verificar as componentes da força de reação do solo em diversas situações, variando-se nível de imersão, velocidade do movimento e posicionamento de membros superiores (BRITO *et al.*, 2004; ROESLER *et al.*, 2006). No ano de 2008, a linha de pesquisa tornou-se mais ampla e passou a contemplar uma variedade de exercícios aquáticos, tais como o salto (RUSCHEL, 2009) a corrida (HAUPENTHAL *et al.*, 2010) e a corrida estacionária (FONTANA, 2008). A ênfase do estudo dos exercícios aquáticos por este laboratório é devida à sua crescente indicação como forma alternativa de exercício para pessoas com restrição de impacto, como freqüentemente ocorre em aulas de hidroginástica e em sessões de hidroterapia.

A hidroginástica vem a cada ano arrecadando mais adeptos, principalmente dentre a população idosa e/ou obesa. Essas populações podem apresentar desconforto osteomuscular após algum exercício como caminhada ou corrida, ficando pouco à vontade para se exercitar em ambiente terrestre (PÖYHÖNEN *et al.*, 2001b, TAKESHIMA *et al.*, 2002, MASUMOTO *et al.*, 2004, SILVA *et al.*, 2008, MEREDITH-JONES *et al.*, 2009, LIM *et al.*, 2010). Atualmente, não somente essas populações especiais como também os atletas estão cada vez mais optando pelos exercícios aquáticos como forma de atividade física, principalmente para manutenção ou recuperação do condicionamento entre dois eventos competitivos ou mesmo como treinamento para melhora do desempenho esportivo

(THEIN *et al.*, 1998, ROBINSON *et al.* 2004, DOWZER *et al.*, 2006, TAKAHASHI *et al.*, 2006, KANEDA *et al.*, 2007).

Outra utilização dos exercícios em ambiente aquático é no processo de reabilitação funcional terapêutica. As propriedades físicas da água permitem que a mobilização ativa e a descarga de peso sejam adiantadas. Nesse processo, o fisioterapeuta antecipa as atividades na água e prepara o paciente para posteriormente realizá-las em solo (RUOTI; MORRIS; COLE, 2000; KUORI, 2000, KIM *et al.*, 2010, DE CARLI *et al.*, 2009, BECKER, 2009). Sendo assim, exercícios aquáticos, como a corrida estacionária, estão sendo utilizados em programas de tratamento e/ou condicionamento físico para um grande número de pessoas (KANEDA *et al.*, 2007).

Embasamento para a prescrição da corrida estacionária em ambiente aquático é presente na literatura no que concernem as variáveis fisiológicas envolvidas. Os estudos retratam variáveis fisiológicas tais como frequência cardíaca, pressão arterial, nível de Lactato, consumo de oxigênio e índice de esforço percebido. Esse estudos também verificaram o efeito da variação do nível de imersão e da cadência de execução do exercício nessas variáveis. (KOSONEN *et al.*, 2006, BARBOSA *et al.*, 2007, CONTI *et al.*, 2008, ALBERTON *et al.*, 2009, ALBERTON *et al.*, 2010). No âmbito da biomecânica, a corrida estacionária já foi analisada a fim de verificar a ativação muscular com variação da cadência de execução no ambiente terrestre e aquático (ALBERTON, 2007). No entanto, apesar do alívio da carga axial sobre as articulações ser a principal vantagem da utilização do ambiente aquático para a prática de atividade física, pouco se sabe a respeito da força de reação do solo durante a corrida estacionária (FONTANA *et al.*, s/d).

O alívio de carga nas articulações durante o exercício em ambiente aquático é baseado, principalmente, na ação do empuxo. O empuxo é uma força exercida por um fluido sobre corpos totalmente ou parcialmente submersos (MUNSON *et al.*, 2004). Essa força possui intensidade equivalente ao peso do volume de líquido deslocado pelo corpo, e sua direção é para cima, sendo capaz de atenuar a componente vertical da força de reação do solo (FRS). Devido a sua maior magnitude de força em relação às outras, a componente vertical é considerada a principal componente da FRS (ROSE E GAMBLE, 1998). Para Amadio e Duarte (1996) essa é a componente que melhor caracteriza a carga sobre o aparelho locomotor.

Em 2008, foi realizado um estudo exploratório a cerca da FRS na corrida estacionária (FONTANA *et al.*, s/d). Nesse estudo, selecionou-se um grupo de 22 sujeitos que se apresentavam dentro de uma faixa de densidade corporal pré-estabelecida e solicitou-se que os mesmos realizassem a corrida estacionária a 90 bpm, 110 bpm e 130 bpm no solo e nos níveis de imersão do quadril e do xifóide. Baseados nesse estudo, profissionais que prescrevem a corrida estacionária em ambiente aquático possuem valores de referência para as componentes da FRS nesses níveis de imersão e cadências, podendo assim orientar esse exercício com fundamentação. No entanto, ainda é desconhecido o efeito nível de imersão, da frequência do movimento e da densidade corporal na componente vertical da FRS durante a corrida estacionária e, portanto, não se consegue prever a intensidade da carga vertical imposta sobre o aparelho locomotor durante esse exercício.

Os modelos estatísticos de predição em biomecânica estão cada vez mais em voga, sendo utilizados para a estimação das forças internas (CHRIS *et al.*, 2008), predição das forças de reação do solo a partir da pressão plantar (FONG *et al.*, 2008) e a análise da postura (AUDU *et al.*, 2007). Isso se deve à facilidade de realizar a manipulação das variáveis no modelo em comparação com a aquisição dos dados destas variáveis na prática clínica ou laboratorial.

Dentro deste contexto, optou-se por analisar a seguinte questão: “Qual o efeito da imersão, da cadência do movimento e da densidade corporal do individuo na componente vertical da FRS durante a corrida estacionária subaquática? E, ainda, “quão bem um modelo estatístico baseado nessas variáveis é capaz de prever o pico máximo da componente vertical da FRS durante a corrida estacionária?”

1.2. OBJETIVOS

Para realizar este estudo foram formulados os seguintes objetivos:

1.2.1. *Objetivo geral*

Analisar o efeito do nível de imersão, da cadência de execução e da densidade corporal no pico máximo da componente vertical da FRS na corrida estacionária em ambiente aquático e terrestre.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar e comparar a máxima cadência de execução ($Cad_{m\acute{a}x}$) da corrida estacionária nos níveis de imersão do quadril, do xifóide e no solo.
- Caracterizar e comparar o pico máximo da componente vertical da FRS (Fy_{Max}) durante a corrida estacionária em cadência máxima nos níveis de imersão do quadril, do xifóide e no solo.
- Caracterizar o Fy_{Max} na corrida estacionária em três níveis de imersão (imersão no nível do peito, do quadril e sem imersão – solo) e em oito cadências pré-estabelecidas.
- Analisar o efeito do nível de imersão, da cadência do movimento e da densidade corporal do praticante no $Fy_{m\acute{a}x}$ durante a corrida estacionária;
- Desenvolver um modelo estatístico para predição de $Fy_{m\acute{a}x}$ na corrida estacionária a partir das variáveis nível de imersão, cadência de execução e densidade corporal do sujeito

1.3. HIPÓTESES

Para este estudo foram formuladas as seguintes hipóteses:

1. O nível de imersão possui efeito significativo sobre a componente vertical da FRS. O aumento do nível de imersão acarreta em uma diminuição do $Fy_{m\acute{a}x}$ independente da cadência do movimento.
2. A cadência possui efeito significativo sobre a componente vertical da FRS. Esse efeito é dependente do nível de imersão utilizado. No solo, o aumento da cadência acarreta em um aumento do $Fy_{m\acute{a}x}$. No entanto, no nível de imersão do quadril e do xifóide; este aumento ocorre até um limite no qual a intensidade do $Fy_{m\acute{a}x}$ se estabiliza, ou mesmo, diminui.

3. A densidade corporal do indivíduo praticante possui efeito significativo sobre a componente vertical da FRS. Indivíduos mais densos apresentam maiores valores $F_{y_{\text{máx}}}$. No solo, não é esperado esse efeito da densidade.
4. Um modelo estatístico considerando as variáveis nível de imersão, cadência de movimento e densidade corporal é capaz de prever, com validade, o pico vertical da força de reação do solo durante a execução da corrida estacionária na água e no solo.

1.4. JUSTIFICATIVA

A terapia ou o exercício aquático ganharam popularidade e aceitação (TAKESHIMA *et al.*, 2000, MASUMOTO *et al.*, 2004, KANEDA *et al.*, 2007, SILVA *et al.*, 2008, MEREDITH-JONES *et al.*, 2009, LIM *et al.*, 2010). A corrida estacionária dentro da água, como uma componente primordial e presente na maior parte dos protocolos de reabilitação e ou treinamento na água, é pouco explorada na literatura em termos de variáveis biomecânicas quantitativas (ALBERTON, 2007), dificultando, assim, a atuação dos fisioterapeutas e educadores físicos na prescrição deste exercício. Alguns autores relacionam a escassez de estudos que analisam a FRS na água à dificuldade de equipamento/material adequado para esta medição e análise, e não ao desinteresse da comunidade científica nesta área, pois diariamente profissionais da educação física e da fisioterapia prescrevem exercícios aquáticos (ERVILHA *et al.*, 1996, PÖYHÖNEN *et al.*, 2001, CAMPOS, 2001, DUARTE, 2001).

Devido a essa escassez de estudos biomecânicos a respeito da FRS e, ao mesmo tempo, ao interesse dos profissionais que trabalham com prescrição de exercícios aquáticos de conhecer as forças atuantes no indivíduo durante a prática de exercício; são encontrados na literatura valores incertos sobre esses parâmetros, muitas vezes baseados em situações não dinâmicas (ANDREWS *et al.*, 2000), na tentativa de suprir essa procura pelos profissionais.

Apesar da força que atua no indivíduo estar diminuída pela ação do empuxo, ainda existe o contato com o solo na corrida estacionária subaquática, e assim, para a realização

do movimento e para o sujeito vencer a resistência da água existe as componentes da FRS (DOWZER *et al.*, 1998). Essas forças, apesar de serem menores que fora da água, podem ser excessivas dependendo da condição ou problema que o paciente apresenta.

A prescrição de exercícios aquáticos com a finalidade de controlar cargas presentes durante a prática de algum exercício é embasada principalmente nas propriedades físicas da água e na mecânica dos fluidos. O empuxo é caracterizado por uma força presente sob um corpo submerso que tende a emergi-lo com uma intensidade que é igual ao peso do volume de líquido deslocado. Devido a essa relação direta entre volume submerso e o empuxo, a forma mais comum de controlar o empuxo e, conseqüentemente, a carga sobre as articulações se dá através da alteração do nível de imersão. Apesar de os profissionais que prescrevem os exercícios aquáticos estarem cientes de que o quanto mais imerso o indivíduo estiver, menor é a intensidade da carga atuante sob seu corpo; não se sabe exatamente como essa relação ocorre ou qual é a intensidade dessa carga em cada nível de imersão durante a corrida estacionária.

Além do nível de imersão, a velocidade com a qual um movimento, tal como a corrida ou caminhada, é realizado influencia a intensidade da FRS independentemente do ambiente selecionado para sua execução, principalmente no que diz respeito à componente ântero-posterior da FRS (KELLER *et al.*, 1996; MIYOSHI *et al.*, 2003; MIYOSHI *et al.*, 2005, ROESLER *et al.*, 2006; ROESLER *et al.*, 2006, HAUPENTHAL *et al.*, 2010). Diferentemente da corrida ou caminhada, a corrida estacionária não apresenta um deslocamento ântero-posterior; não havendo, portanto, necessidade de vencer a resistência da água a fim de deslocar-se para frente. A baixa intensidade da componente ântero-posterior da FRS durante a execução da corrida estacionária, bem como sua independência em relação à variação do nível de imersão e da cadência de execução, já foi descrita anteriormente (FONTANA, s/d). Por outro lado, a cadência de execução na corrida estacionária parece apresentar um efeito significativo sobre a componente vertical da FRS (FONTANA, s/d). É possível verificar uma tendência a atingir um ponto de deflexão na curva cadência *versus* pico de força da componente vertical, de modo a sugerir que o aumento da cadência seja capaz de aumentar a intensidade do pico máximo da componente vertical somente até um certo ponto, a partir do qual essa intensidade do $F_{y_{máx}}$ diminuiria ou se estabilizaria. Essa hipótese surgiu de um estudo que avaliou $F_{y_{máx}}$ durante a corrida

estacionária a 90, 110 e 130 bpm e acredita-se que, a fim de verificar esse ponto de deflexão, cadências superiores a 130 bpm devam ser analisadas..

Os estudos já realizados em relação à FRS durante os exercícios aquáticos controlaram, através de critérios de inclusão, ou ao menos descreveram a densidade corporal dos sujeitos, ou o percentual de gordura dos participantes, uma vez que se acredita que diferentes densidades corporais sejam capazes de alterar a FRS (BRITO *et al.*, 2004, ROESLER *et al.*, 2006, BARELA *et al.*, 2006, TRIPLLET *et al.*, 2009, COLADO *et al.*, 2010). A densidade corporal tem relação direta com o peso aparente, também chamado de peso hidrostático; de modo que, quanto mais denso o indivíduo maior é seu peso aparente e, portanto, maior é a componente vertical da FRS (HARRISON & BULSTRODE, 1987). No entanto, apesar de os praticantes de hidroginástica e hidroterapia serem em sua maioria pessoas acima do peso ideal, os valores de referência para caminhada, corrida com deslocamento, corrida estacionária e salto presentes na literatura são embasados em uma faixa específica de densidade corporal. Em situações não dinâmicas, a relação entre densidade corporal e a componente vertical da FRS já foi estudada (KRUEL *et al.*, 1995). Cabe verificar se estas diferenças de densidade corporal são capazes de causar uma variação na força durante o exercício de corrida estacionária. Se ocorrer uma variação na força durante a realização da corrida estacionária na água, deve haver a prescrição diferenciada na corrida estacionária subaquática.

A quantificação das componentes da FRS dentro da água fornece a força resultante atuando no indivíduo que está se exercitando. Isto é crucial para embasar o trabalho de treinamento e reabilitação no meio aquático. Uma vez quantificada a força que está atuando sobre o indivíduo, pode ser escolhido o exercício adequado a cada paciente/atleta ou aluno. Apesar disto, são escassos os estudos que abordam este tipo de análise (BATES e HANSON, 1998, RUOTI, MORRIS e COLE, 2000, KUORI, 2000, CAMPION, 2000).

A criação de um modelo estatístico de predição que bem represente a componente vertical da FRS pode ser de grande valia para os profissionais que prescrevem a corrida estacionária. Esse modelo será baseado em medidas simples, que podem ser facilmente realizadas na prática clínica e será, possivelmente, capaz de predizer uma medida de difícil mensuração que necessita de instrumentos adequados e de custo elevado para sua verificação (PÖYHÖNEN *et al.*, 2001, CAMPOS, 2001, DUARTE, 2001, FONG *et al.*, 2008).

1.5. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo delimitou-se à análise da componente vertical da FRS na corrida estacionária em ambiente terrestre e aquático, executada com amplitude controlada (ângulo de flexão de quadril a 90 graus) nos níveis de imersão do esterno, do quadril e no solo. Outro fator a ser relatado é que o modelo estatístico criado deve ser utilizado somente para populações com características semelhantes aos indivíduos que participaram desse estudo, bem como, somente para as situações que entraram na criação deste modelo.

1.6. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Alguns aspectos podem ser considerados como limitantes durante a realização desse estudo:

- A variação do nível de imersão foi limitada. Uma maior variação deste fator permitiria um melhor entendimento de seu efeito e, possivelmente, resultaria em um modelo de predição mais exato.
- Não foram consideradas variáveis cinemáticas durante a execução da corrida estacionária. Uma análise cinemática do ângulo de flexão do quadril e do joelho, bem como, o deslocamento do centro de gravidade durante a corrida estacionária poderiam elucidar parte da variabilidade do dado.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. EXERCÍCIOS AQUÁTICOS

Os exercícios aquáticos ganharam popularidade e aceitação tanto para a manutenção da saúde e aquisição de condicionamento físico como para a reabilitação (TAKESHIMA *et al.*, 2001; MASUMOTO *et al.*, 2004; KANEDA *et al.*, 2007), principalmente entre indivíduos idosos, gestantes, obesos e aqueles acometidos por doenças como a osteoporose, artrite e fibromialgia, que ao se exercitar em ambiente terrestre podem apresentar desconforto osteomuscular (PÖYHÖNEN *et al.*, 2001; ALTENEDER; HORNBECK, 2003).

Para os sujeitos que procuram a melhora ou manutenção da saúde, a água provê um meio seguro (menor chance de quedas, evento traumático ou risco cardíaco) e confortável para a realização de exercícios, além de constituir um ambiente social (TAKESHIMA *et al.*, 2001). Os benefícios advindos da prática de atividade física na água são muitos, tais como a melhora da força muscular (PETRICK *et al.*, 2001; FOLEY *et al.*, 2003), do equilíbrio (SIMMONS; HANSEN, 1996; THEIN *et al.*, 2000), do condicionamento aeróbio (THEIN *et al.*, 2000; CHU *et al.*, 2004), da flexibilidade e da composição corporal (TAKESHIMA *et al.*, 2001). E, além disso, a sensação de bem estar causada pela temperatura da água e a minimização da sudorese e da exposição do corpo durante a prática proporcionam benefícios relativos à melhora da qualidade de vida (TAKESHIMA *et al.*, 2001; DEVEREUX *et al.*, 2005).

No caso dos atletas, há situações em que ocorre a substituição dos treinos em ambiente terrestre por sessões de treinamento dentro da água, objetivando não só a manutenção e/ou melhora do condicionamento, mas também o restabelecimento de alguma função (THEIN *et al.*, 2000, TRIPPLET *et al.*, 2009).

Em se tratando de reabilitação, a fisioterapia aquática é bastante utilizada em processos de recuperação funcional nos casos de fraturas de fêmur e tíbia, de pós-operatórios de próteses, de reconstruções de ligamentos e tendões, de problemas de coluna, etc. (BATES; HANSON, 1998, RUOTI; MORRIS; COLE, 2000, KELLY, 2000, KUORI, 2000, CAMPION, 2000). Nesses processos, o fisioterapeuta se vale de algumas condições peculiares do meio aquático para antecipar as atividades adequadas e preparar o paciente para posteriormente realizá-las em terra. Na água, após uma lesão ou processo cirúrgico, o paciente pode ficar em pé, iniciar o treinamento da marcha ou corrida e ainda realizar exercícios de fortalecimento em cadeia cinética fechada antes de executá-los em ambiente terrestre (SKINNER; THOMSON, 1985; DULCY, 1988 *apud* BATES; HANSON, 1988).

De acordo com O'Neill (2000), ao realizar a reabilitação de lesões no ambiente aquático, os atletas podem manter sua “memória muscular”, ao continuar executando atividades que tenham o mesmo padrão de movimento esportivo. Quando a dor, a mobilidade, a força e a resistência retornarem às condições normais, as capacidades de agilidade, coordenação, velocidade e explosão podem ser retreinadas mais facilmente.

A grande maioria dos benefícios que o meio aquático proporciona para o condicionamento geral do corpo e para o processo de reabilitação funcional estão relacionados com as propriedades físicas da água. A pressão hidrostática, o empuxo e a resistência da água são fatores que, combinados, promovem um ambiente que produz menos estresse sobre os ossos, músculos e articulações, permitindo a realização de exercícios com maior amplitude de movimento (KONLIAN, 1999).

Sem dúvida, a condição mais importante proporcionada pelas propriedades da água é a redução do peso aparente, devido à ação do empuxo, principal responsável pela sustentação do peso corporal. A força empuxo é uma força com a mesma direção que a força peso (produto da massa de um corpo pela ação da gravidade), mas com sentido contrário, e é enunciada como o princípio de Arquimedes. Conforme esse princípio, um corpo que está parcial ou totalmente submerso na água experimentará uma força de empuxo para cima que é igual ao peso do volume de água deslocado por esse corpo (TIPLER, 2000).

Dessa forma, é mais fácil suportar o corpo na água do que no ambiente terrestre e, em consequência disso, os movimentos são tipicamente realizados mais lentamente na água e por isso podem ser melhor controlados, além de serem menores as forças de

impacto agindo sobre o sistema musculoesquelético (SHELDAHL, 1986; BARELA *et al.*, 2006).

Os movimentos no ambiente aquático são geralmente mais lentos do que em ambiente terrestre devido às forças de arrasto produzidas em virtude da resistência e da viscosidade da água. Quando um corpo ou seus segmentos se movimentam imersos no meio líquido, as forças de arrasto atuam na mesma direção do movimento, mas com sentido contrário, o que proporciona resistência. A força de arrasto depende de fatores como a densidade da água, a área frontal projetada e velocidade do corpo em movimento (TIPLER, 2000). A velocidade é o fator que mais interfere na força de arrasto: ao se duplicar a velocidade de locomoção na água, por exemplo, se quadruplica a força de arrasto.

Apesar de atenuadas as forças resultantes que atuam sobre indivíduo através ação do empuxo, estas ainda estão presentes. Quando há o contato com o solo, por exemplo, para que seja possível a realização do movimento e para que o indivíduo seja capaz de vencer a resistência da água, faz-se necessário a presença das componentes da FRS (DOWZER *et al.*, 1998). A magnitude dessas componentes, apesar de menor do que os valores observados fora da água, pode ser excessiva dependendo da condição ou problema que o indivíduo apresenta (BATES & HANSON, 1998; RUOTI *et al.*, 2000; KELLY, 2000; KUORI, 2000; CAMPION, 2000).

A seguir serão apresentados os resultados de estudos que investigaram as características da componente vertical das forças de reação do solo em diferentes tipos de exercícios aquáticos. Tendo em vista que o objeto deste estudo é a análise da componente vertical da FRS na corrida estacionária, não serão abordadas informações sobre as componentes ântero-posterior e médio-lateral da FRS.

2.1.1. Força de reação do solo nos exercícios aquáticos

Diversos estudos investigaram a redução do peso aparente, através da análise da componente vertical da FRS, na realização da caminhada dentro da água, comparando os valores encontrados em ambiente aquático com os valores observados no ambiente terrestre, e também comparando valores encontrados em diferentes níveis de imersão (HARRISON, 1992; NAKASAWA *et al.*, 1994; YANO *et al.*, 1995; YAMAMOTO *et al.*, 1995; BRITO *et al.*, 2004; ROESLER *et al.*, 2006). Porém, outros exercícios bastante

comuns em programas de hidroginástica e de reabilitação aquática, como a corrida com deslocamento, os saltos e a corrida estacionária, são pouco explorados em termos de variáveis dinâmicas (BRITO *et al.*, 2007; HAUPENTHAL *et al.*, 2010; FONTANA, 2008; RUSCHEL, 2009), e, na maioria das vezes, os estudos analisam variáveis fisiológicas (CHRISTIE *et al.*, 1990; YOUNG *et al.*, 1995; HALL *et al.*, 1998; SHIMIZU *et al.*, 1998; ODA *et al.*, 1999; SHONO *et al.*, 2001; RHODES, 2001; REILLY; DOWZER; CABLE, 2003; CHU; WANG *et al.*, 2006), cinemáticas (TARTARUGA *et al.*, 2004; SILVA FILHO; FERNANDES; DA COSTA, 2005; PLATONOU, 2005) e eletromiográficas (MASUMOTO *et al.*, 2004; ALBERTON, 2007; KANEDA *et al.*, 2007; MASUMOTO; MERCER, 2008).

A quantificação da força resultante atuante sobre o indivíduo submerso com a finalidade de embasar cientificamente os processos de prescrição de atividades aquáticas e de recuperação funcional terapêutica em piscina pode ser remetida ao estudo de Harrison e Bulstrode (1987). Os autores, nesse estudo, mensuraram o peso hidrostático de indivíduos em diversos níveis de imersão. Entretanto, se sabia que os valores iriam variar quando os indivíduos estivessem em movimento.

Anos mais tarde, Harrison, Hillmann e Bulstrode (1992) realizaram o primeiro estudo sobre a componente vertical da força de reação do solo na marcha dentro da água, com a intenção de comparar os valores da força resultante nas condições estática e dinâmica. Os autores analisaram os valores da força de nove sujeitos (seis homens e três mulheres, com estatura variando de 1,65 a 1,82 m) em três condições: estática, caminhando lentamente e caminhando rapidamente. Cada condição foi realizada em profundidades de 1,1 e 1,3 m. A Figura 1 representa a porcentagem de aplicação do peso em cada uma das situações estudadas pelos autores. Para a profundidade de 1,3m os valores da componente vertical da força de reação do solo foram de 0,5 a 0,75N/PC para as situações rápidas e 0,25 a 0,5N/PC para as situações lentas. Apesar das limitações do equipamento de medição disponível na época, uma balança eletrônica de banheiro adaptada, o estudo conseguiu estimar a força resultante nas diferentes situações propostas e os resultados encontrados ainda são amplamente citados na literatura como base para a prescrição de atividades aquáticas (BATES; HANSON, 1998; RUOTI; MORIS; COLE, 2000; KUORI, 2000; CAMPION, 2000).

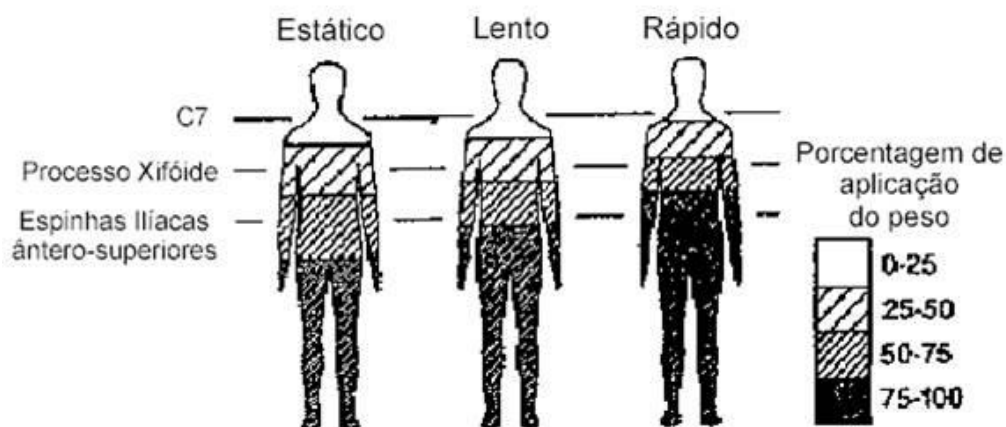


Figura 1 – Representação esquemática da porcentagem de aplicação do peso nas diferentes situações estudadas pelos autores.

Fonte: Harrison, Hillman e Bulstrode, 1992.

A variação dos valores da força de sustentação foi de 0,5 a 0,75 vezes o peso corporal (PC) quando os indivíduos caminhavam a uma velocidade rápida e de 0,25 a 0,5 PC em velocidade lenta. Devido às limitações do equipamento e ao pequeno número de sujeitos do experimento, a margem de segurança para cada situação foi estabelecida em 0,25 PC, valor que atualmente pode ser considerado pouco preciso, à medida que precisamos determinar quanta carga o indivíduo/paciente pode suportar durante a execução de atividades dentro da água, seja objetivando o condicionamento físico ou a recuperação funcional terapêutica.

O equipamento utilizado por Harrison, Hillmann e Bulstrode (1992) foi aos poucos sendo substituído por instrumentos de medição mais precisos, especialmente construídos para os fins a que se destinam. Nakasawa *et al.* (1994), Yano *et al.* (1995) e Yamamoto *et al.* (1995) realizaram estudos sobre as componentes da FRS durante a marcha em terra e na água utilizando plataformas de força resistentes à água. No Brasil, o Grupo de Pesquisas em Biomecânica Aquática do CEFID/UEDESC iniciou o estudo da marcha dentro da água em 2000 (BRITO *et al.*, 2000; SCHUTZ *et al.*, 2002; ROESLER *et al.*, 2003; BRITO *et al.*, 2004; ROESLER *et al.*, 2006), com a utilização de plataformas de força subaquáticas projetadas e construídas por Roesler (1997).

No estudo de Nakasawa *et al.* (1994) analisou-se a componente vertical da FRS da marcha de seis indivíduos (quatro homens e duas mulheres) fora e dentro da água em quatro níveis de imersão (0,4 m, 0,7 m, 1,0 m e 1,2 m), a uma velocidade auto-selecionada.

A Figura 2 apresenta as curvas da FRS em função do tempo, com os valores de força divididos pelo peso corporal dos sujeitos (procedimento de normalização pelo peso corporal). Nota-se que os valores das forças diminuem e que a duração do contato (tempo de apoio) aumenta conforme aumenta a profundidade de imersão. Os autores relatam que na maior imersão estudada (1,2 m), os valores máximos da componente vertical da FRS corresponderam em média a 40% do peso corporal dos indivíduos, variando entre um terço e a metade dos valores encontrados para a caminhada no ambiente terrestre.

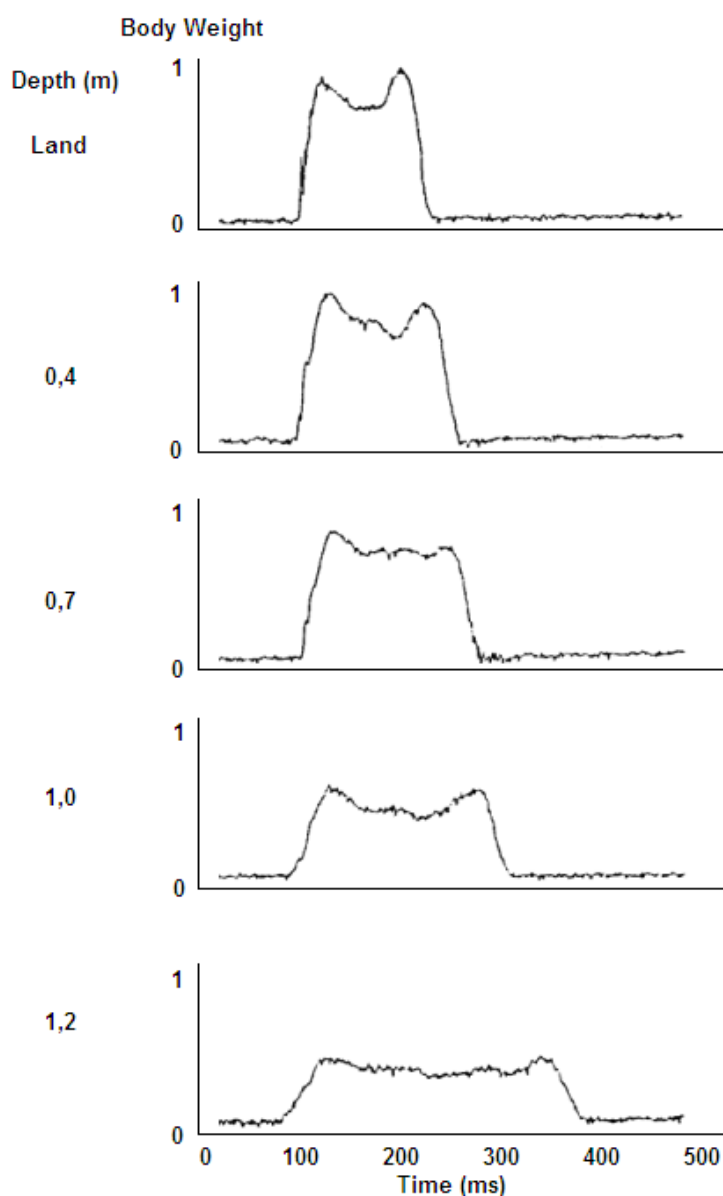


Figura 2 Exemplos da curva da componente vertical da FRS da marcha no solo e em diferentes níveis de imersão

Fonte: Nakasawa *et al.* (1994)

Yano *et al.* (1995) estudaram a força de reação do solo e a atividade dos músculos sóleo, tibial anterior e gastrocnêmio medial durante o andar dentro e fora da água, em velocidades elegidas como rápida e lenta. Concordando com os achados de Nakasawa *et al.* (1994), os autores demonstraram a redução dos valores da FRS e o aumento do tempo de apoio, principalmente na velocidade lenta (Figura 3).

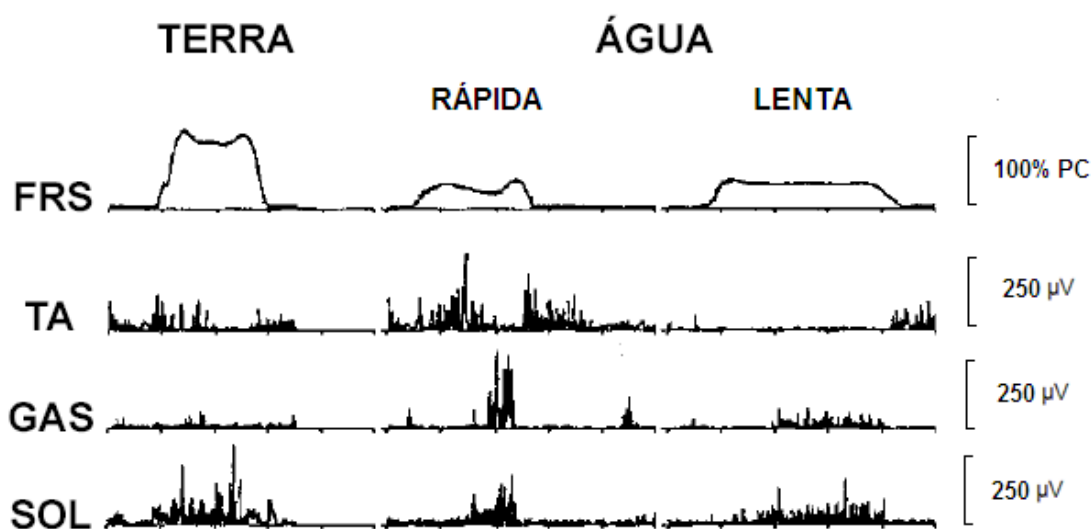


Figura 3– Exemplos da curva de FRS e do sinal eletromiográfico durante a marcha fora e dentro da água nas velocidades lenta e rápida. Onde: TA – Tibial anterior, GAS – Gastrocnêmio, SOL – Soleo, PC – Peso corporal.

Fonte: Adaptado de Yano *et al.* (1995)

Ao observar os dados eletromiográficos do estudo de Yano *et al.* (1995), nota-se a maior atividade dos músculos tibial anterior e gastrocnêmio para a velocidade rápida, fato diretamente relacionado à resistência da água causada pelas forças de arrasto em resposta ao aumento da velocidade de deslocamento. Por esse motivo, ao prescrever o tipo, a profundidade de imersão, o ritmo e/ou a velocidade de execução de um exercício aquático, os profissionais devem considerar a capacidade de produção de força muscular do indivíduo, para que este consiga vencer a resistência da água e se deslocar na direção necessária.

Ainda em 1995, Yamamoto *et al.* analisaram a marcha de 3 sujeitos através da força de reação vertical e da variação angular do quadril, joelho e tornozelo. Os sujeitos caminharam em ambiente terrestre e em ambiente aquático (imersos a uma profundidade

de 1,2 m), em três velocidades: lenta, confortável e rápida. A Figura 4 apresenta os gráficos referentes à componente vertical da FRS e ao deslocamento angular nas diferentes condições do estudo.

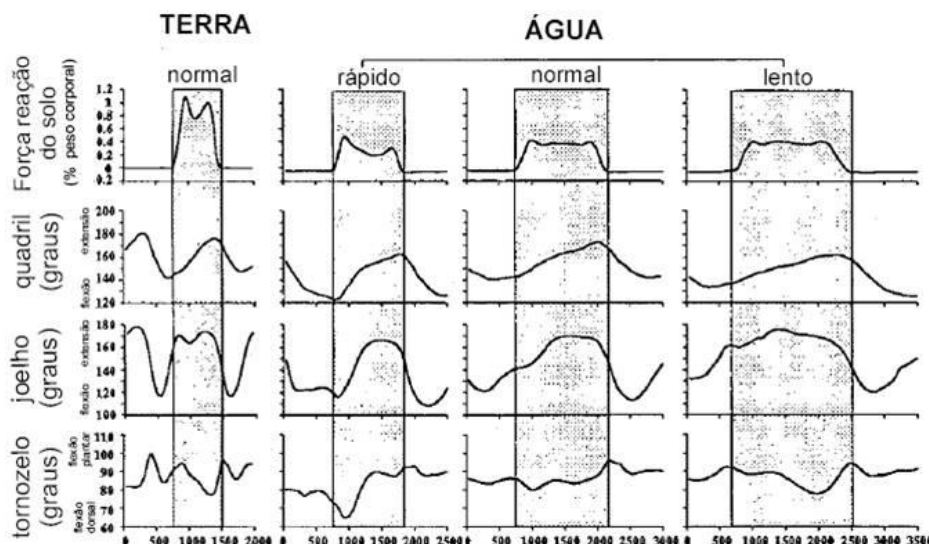


Figura 4 – Exemplos das curvas da componente vertical da FRS e da variação angular para a marcha realizada em ambiente terrestre e aquático, em diferentes velocidades.

Fonte: Yamamoto *et al.* (1995)

Pode ser observado na Figura 4 que a curva da componente vertical da FRS da marcha subaquática tem um padrão diferente quando comparadas as velocidades rápida e lenta. Na velocidade rápida, os picos de força estão mais definidos e ocorre uma deflexão na curva, o que não foi observado para a velocidade lenta.

Concordando com os achados de Nakasawa *et al.* (1994), os maiores valores da força vertical para a marcha subaquática (nas velocidades lenta e normal) corresponderam, em média, a 40% do peso corporal dos sujeitos. Já na velocidade rápida, os maiores valores registrados corresponderam a aproximadamente 50% do peso corporal dos indivíduos. Yamamoto *et al.* (1995) ainda observaram padrões diferenciados de movimentação articular quando comparados os ambientes e as velocidades de caminhada.

Alguns anos mais tarde, em 1997, foi desenvolvida no Brasil a primeira plataforma subaquática para aquisição de forças e momentos nos três eixos coordenados (ROESLER, 1997). Desde então, plataformas semelhantes àquela são os principais instrumentos utilizados pelo Grupo de Pesquisas em Biomecânica Aquática do CEFID/UEDESC para a análise das componentes da FRS durante a execução de exercícios aquáticos.

Um dos principais objetos de estudo do referido grupo de pesquisa é a comparação das forças agindo sobre o indivíduo em diferentes níveis de imersão, que pode ser utilizada como subsídio para a prescrição dos exercícios aquáticos, uma vez que a principal estratégia utilizada por profissionais para o controle de cargas dentro da água é a variação da profundidade.

Em relação à caminhada na água, estudos preliminares foram desenvolvidos para a determinação de protocolos de avaliação (BRITO *et al.*, 2000; SCHUTZ *et al.*, 2002). A partir de então, os trabalhos realizados contemplaram análises da componente vertical da FRS da marcha subaquática (1) de homens e mulheres de diferentes faixas etárias (ROESLER *et al.*, 2003); (2) de sujeitos imersos nas profundidades do joelho e do quadril (BRITO *et al.*, 2004); (3) de sujeitos imersos no nível do esterno (SOUZA *et al.*, 2005); (4) de crianças normais imersas no nível do processo xifóide (SOUZA, 2006); (5) de sujeitos com diferentes características antropométricas, com e sem o balanço de membros superiores, imersos nos níveis do manúbrio, do processo xifóide e do ponto intermediário entre eles (ROESLER *et al.*, 2006); e (6) de crianças com mielomeningocele imersas no nível do processo xifóide (CARNEIRO *et al.*, 2007).

A Figura 5 representa as curvas médias da componente vertical da FRS da marcha de 11 sujeitos, em ambiente terrestre e em dois níveis de imersão no ambiente aquático (BRITO *et al.*, 2004). Os valores médios da força vertical encontrados pelos autores para o primeiro pico corresponderam a 101%, 87% e 43% do peso corporal dos indivíduos para a caminhada no solo, no nível de imersão do joelho e no nível de imersão do quadril, respectivamente. Os valores encontrados para o segundo pico foram de 107%, 90% e 44%, respectivamente.

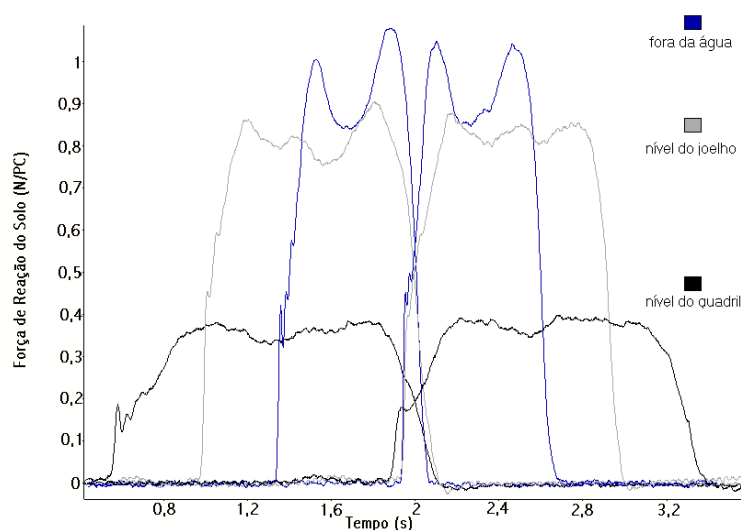


Figura 5 – Mudanças que ocorrem na componente vertical da força de reação do solo em decorrência da variação da profundidade de imersão.

Fonte: Brito *et al.*, 2004.

Roesler *et al.* (2006), para a caminhada com os membros superiores dentro da água, estendidos ao longo do corpo, encontraram valores médios de força vertical correspondentes a 20% e a 24% do peso corporal para o grupo dos sujeitos imersos no nível do manúbrio, em velocidades lenta e rápida, respectivamente; a 25% e 26% do peso corporal para o grupo dos sujeitos imersos no nível do ponto intermediário entre o manúbrio e o processo xifóide, em velocidades lenta e rápida, respectivamente; e a 31% e 33% do peso corporal para o grupo dos sujeitos imersos no nível do processo xifóide, em velocidades lenta e rápida, respectivamente.

Os mesmos autores, ao analisar a caminhada com os membros superiores fora da água, encontraram valores médios de força vertical correspondentes a 28% e a 30% do peso corporal para o grupo dos sujeitos imersos no nível do manúbrio, em velocidades lenta e rápida, respectivamente; a 32% e 34% do peso corporal para o grupo dos sujeitos imersos no nível do ponto intermediário entre o manúbrio e o processo xifóide, em velocidades lenta e rápida, respectivamente; e a 37% e 41% do peso corporal para o grupo dos sujeitos imersos no nível do processo xifóide, em velocidades lenta e rápida, respectivamente.

Atualmente o grupo de pesquisas em Biomecânica Aquática do CEFID vem se dedicando ao estudo da corrida aquática, devido à ampla utilização desse tipo de exercício em protocolos de condicionamento físico e reabilitação. Fontana *et al.* (2008), em um

estudo preliminar, propuseram um protocolo para a análise dinamométrica da corrida em ambiente aquático. Em seguida, Hauptenthal (2008) analisou os valores da componente vertical da FRS para a corrida aquática de homens e mulheres em diferentes níveis de imersão, a uma velocidade auto-selecionada. Com os sujeitos imersos no nível do processo xifóide, a magnitude da força vertical correspondeu, em média, a 80% do peso corporal dos sujeitos. Reduzida a profundidade para o nível do quadril, o valor médio aumentou para 98% do peso corporal dos indivíduos (Figura 6).

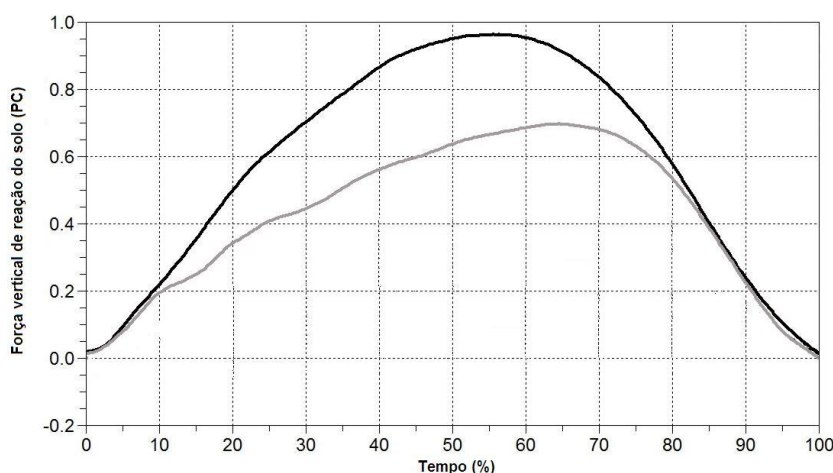


Figura 6 – Curva da componente vertical da FRS para a corrida realizada em ambiente aquático no nível de imersão do quadril (preto) e do processo xifóide (cinza).

Fonte: Hauptenthal (2008)

Hauptenthal (2008) também comparou os valores da força vertical da corrida aquática de homens em mulheres, em três velocidades: (1) lenta, a 0,6 m/s; (2) auto-selecionada; e (3) rápida, correspondente à velocidade máxima dos sujeitos. A corrida foi realizada nos níveis de imersão do processo xifóide e da crista ilíaca dos sujeitos. De acordo com o autor, os homens realizaram a corrida mais rapidamente que as mulheres, tanto na condição auto-selecionada quanto na condição rápida. Para os dois níveis de imersão, a velocidade máxima das mulheres foi igual à velocidade auto-selecionada dos homens (0,92 m/s na imersão da crista ilíaca e 0,70 m/s na imersão do processo xifóide). Os resultados demonstram que há diferença significativa entre os valores de força não só devido à variação da imersão, mas também devido ao sexo e à variação da velocidade. Entretanto, segundo o autor, quando controlada a velocidade (como foi o caso da velocidade lenta, pré-estabelecida), não ocorreram diferenças significativas entre os dois níveis de imersão para sujeitos do mesmo sexo.

Outra variável analisada por Haupenthal (2008) foi a taxa de aplicação da força. Para a corrida na água, os valores da taxa de aplicação da carga, mesmo em velocidade máxima, foram menores do que os valores observados para a caminhada e para a corrida em ambiente terrestre. Além disso, a taxa é diminuída com o aumento do nível de imersão. Sabendo que quanto maior é o valor da taxa, maior é a intensidade da carga agindo sobre o corpo em um menor espaço de tempo, pode-se dizer que, além de promover a redução da magnitude das cargas, a água também promove a intensidade de aplicação dessas cargas.

No mesmo estudo, ao comparar homens e mulheres, Haupenthal (2008) observou que para a corrida aquática em um mesmo nível de imersão e a uma mesma velocidade, as mulheres apresentaram maiores valores para a componente vertical da FRS e para a taxa de aplicação de carga do que os homens, sugerindo que o sexo deve ser um fator considerado quando da prescrição desse exercício na água.

Além da corrida, os saltos em ambiente aquático também estão presentes em programas de exercícios que objetivam o aumento de massa óssea de mulheres osteopênicas ou com risco de osteoporose (BRAVO, 1997; AY; YURTKURAN, 2005), o condicionamento físico, a prevenção de quedas de idosos (RUOTI; TROUP; BERGER, 1994) e a reabilitação de atletas (THEIN, 1998).

Ruschel (2009) analisou as características da componente vertical da força de reação do solo em diferentes tipos de salto vertical: saltos com meio agachamento, com contramovimento, em profundidade partindo de 0,2 m e em profundidade partindo de 0,4 m. Dentre as variáveis analisadas, encontra-se o pico máximo da componente vertical da FRS durante a aterrissagem dos saltos. Conforme mostra a Figura 7, para o SMA e o SCM os valores do pico máximo da componente vertical foram significativamente maiores no solo, seguidos da imersão do peito e da imersão do quadril. No SP20 e no SP40, houve redução significativa do solo para a água, porém não foram encontradas diferenças significativas entre os níveis de imersão.

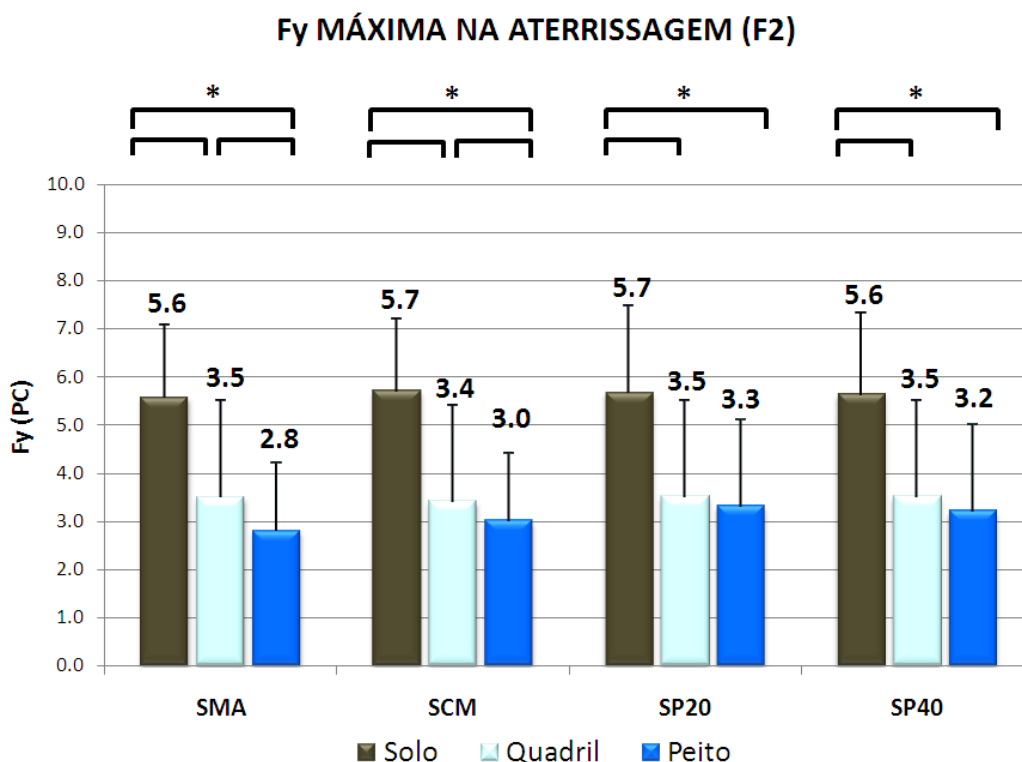


Figura 7 Gráfico dos valores de média e desvio padrão para a Fy máxima na aterrissagem dos saltos com meio agachamento (SMA), com contramovimento (SCM), em profundidade partindo de 0,2 m (SP20) e em profundidade partindo de 0,4 m (SP40) nas condições de análise.

Ainda no estudo de Ruschel (2009), comparou-se os valores de pico máximo da componente vertical durante a aterrissagem entre os sexos feminino e masculino. De maneira geral, em todos os tipos de salto e em todas as condições de análise foram observados valores semelhantes para os homens em relação às mulheres. Para as execuções no solo, os valores observados para os homens foram significativamente maiores do que aqueles observados para as mulheres. Na água, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhuma comparação.

Outro exercício integrante de protocolos de treinamento e/ou reabilitação aquático é a corrida estacionária, algumas vezes chamada de “corrida no lugar” ou “*skipping*”. Fontana *et al.* (s/d) analisou a componente vertical da FRS durante a execução desse exercício, realizado no ambiente terrestre e no ambiente aquático nos níveis de imersão do processo xifóide e do quadril, em cadências de 90, 110 e 130 bpm.

A Figura 8 representa os valores percentuais da força vertical máxima no quadril e no esterno em relação aos valores obtidos para a corrida estacionária no solo.

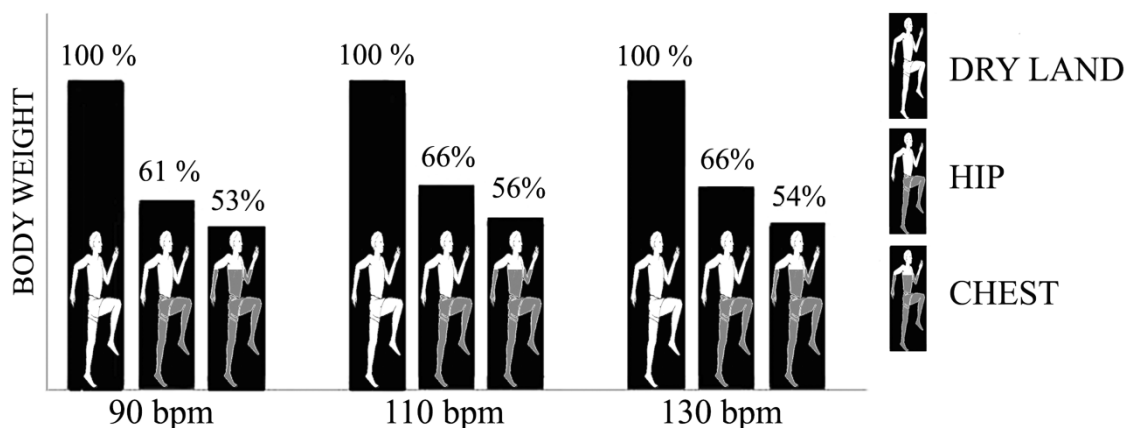


Figura 8 – Força vertical máxima na corrida estacionária – normalizada pelos valores obtidos no solo, com alteração do nível de imersão e da cadência de execução. Body weight = peso corporal; dry land = solo; hip = quadril; chest = peito.

Fonte: Fontana, s/d. – Artigo sob avaliação de periódico.

A alteração do ambiente de realização do exercício (nível do processo xifóide, nível do quadril e em ambiente terrestre) acarretou em intensidades da componente vertical distintas, de modo que, quanto maior o nível de imersão, menores os valores de força. Essa redução da intensidade da componente vertical da FRS possibilita, entre outras estratégias, a antecipação de alguma atividade em ambiente aquático, contribuindo, assim, para uma recuperação/manutenção funcional mais eficiente.

Já em relação à cadência de execução, foi possível observar diferenças estatísticas somente entre 90 bpm e 110 bpm durante a corrida estacionária em ambiente aquático. No solo, as três cadências analisadas apresentaram picos de força vertical estatisticamente diferentes. A ausência de diferença significativa entre as cadências mais altas no ambiente aquático sugere que o aumento da cadência de execução desse exercício provoca um aumento da FRS somente em cadência mais baixas. Os autores levantam a hipótese de que o aumento da cadência não leva a um aumento linear da componente vertical de FRS durante a corrida estacionária em ambiente aquático, de modo que, a partir de uma certa cadência de execução, a componente vertical da FRS não mais seria elevada, podendo haver, até mesmo, uma deflexão na curva cadência *versus* pico máximo da componente vertical.

Não foram encontradas outras informações acerca da análise da FRS na corrida estacionária em ambiente aquático. Identificou-se, portanto, uma lacuna a ser preenchida, a fim de embasar a prescrição desse tipo de exercício para sujeitos com densidade corporal

variada, considerando também diferentes níveis de imersão na água e diferentes cadências de execução do movimento.

3. MÉTODO

Neste capítulo estão apresentados os processos que foram utilizados para este estudo, classificados da seguinte maneira: características do estudo, participantes da pesquisa, variáveis do estudo, instrumentos de medida, variáveis de controle, procedimentos para a coleta de dados, processamento dos dados e tratamento estatístico.

3.1. CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA

Uma vez que esta pesquisa consiste na determinação de um objeto de estudo (FRS na corrida estacionária), na seleção de variáveis que sejam capazes de influenciá-lo (densidade corporal, nível de imersão e cadência de execução) e na definição de formas de controle e de observação dos efeitos que essas variáveis produzem no objeto; esta pesquisa é caracterizada como experimental (GIL, 1991). Na pesquisa experimental, o pesquisador manipula deliberadamente algum aspecto da realidade, dentro de condições anteriormente definidas, a fim de observar se produzem certos efeitos (RUDIO, 1986). Essa pesquisa ainda pode ser classificada como “experimental com um único grupo” ou “quasi-experimental”, pois o experimento foi realizado sem haver necessidade de um grupo controle (GIL, 1991).

Foram analisados os efeitos do nível de imersão, da cadência de execução do movimento e da densidade corporal dos sujeitos praticantes (variáveis independentes) no pico de da componente vertical (variável dependente).

Aos sujeitos, foi solicitada a corrida estacionária em três variações de nível de imersão (esterno, quadril e sem imersão – no solo) e em nove variações da cadência de execução para cada nível (uma cadência máxima e oito cadências pré-estabelecidas). A fim de vencer o objetivo de verificar a influência da densidade corporal nas variáveis dependentes desse estudo, tornou-se necessária uma variabilidade intra-grupo nesse quesito, uma vez que, ao contrário das demais variáveis independentes desse estudo (nível de imersão e frequência de

execução), é impraticável a manipulação direta da densidade corporal dos sujeitos, sendo, portanto, uma variável independente atributo da população.

3.2. PARTICIPANTES DA PESQUISA

Participaram deste estudo 32 adultos saudáveis, de ambos os sexos (16 homens e 16 mulheres) e com idade entre 20 e 35 anos. A escolha dos sujeitos foi não-probabilística do tipo intencional.

Foram incluídos no estudo os participantes que atenderam aos seguintes critérios de inclusão: (a) concordar em participar do estudo; (b) não relatar, durante o primeiro contato/entrevista, qualquer queixa de comprometimento músculo-esquelético e (c) ser adaptado ao meio líquido. Considera-se adaptado ao meio líquido o sujeito capaz de se equilibrar, flutuar, mergulhar e realizar deslocamentos dentro da água (VELASCO, 1994; NAVARRO, 1995; SANTOS, 1996).

A Tabela 1 apresenta as características antropométricas gerais dos participantes e também dos homens e das mulheres separadamente.

Tabela 1 – Características dos sujeitos do estudo

	n	Idade (anos)	Massa (kg)	Estatutura (m)	Densidade (g/ml)
Sujeitos	32	25 ± 4	70,7 ± 12,7	1,72 ± 0,09	1,0549 ± 0,0180
Homens	16	26 ± 5	77,4 ± 10,9	1,79 ± 0,06	1,0669 ± 0,0031
Mulheres	16	24 ± 4	63,1 ± 12,8	1,65 ± 0,05	1,0408 ± 0,0033

3.3. DEFINIÇÃO CONCEITUAL E OPERACIONAL DAS VARIÁVEIS

3.3.1. Variáveis independentes

- Nível de imersão:* Define-se pela altura em relação a uma linha horizontal e imersão, por ato ou efeito de mergulhar. Portanto, nível de imersão define-se pela altura da linha horizontal formada pela água. Os níveis analisados neste trabalho foram: solo, nível referente ao peito (processo xifóide do esterno) e nível referente ao quadril (trocânter maior do fêmur). Para o modelo de predição, a variável nível de imersão foi

chamada de razão de imersão. Operacionalmente, a razão de imersão corresponde a proporção do corpo imerso na água; ou seja, a altura do ponto anatômico de referência em metros (m) dividida pela estatura também em metros (m). O nível de imersão trata-se de uma variável independente ativa, uma vez que foi realizada a sua manipulação.

- b) Cadência do movimento: Freqüência com que se completam as fases de um movimento, ritmo. Operacionalmente, foi obtida através da Transformada de Fourier (FFT) do sinal e definida como o número de toques realizados por ambos os pés em um minuto. No SI é expressa em Hz, no entanto nesse estudo optou-se pela unidade batimentos por minuto (bpm). A cadência do movimento trata-se de uma variável independente ativa, uma vez que foi realizada a sua manipulação.
- c) Densidade corporal: Densidade define-se pela massa correspondente a uma unidade de volume de um corpo, nesse caso, o corpo humano. Operacionalmente foi obtida através da mensuração de dobras cutâneas seguindo o protocolo proposto por Pollock *et al*, 1990 para a avaliação da densidade corporal nas mulheres e o protocolo proposto por Pollock *et al* em 1978 para avaliação em homens. Será expressa em (g/ml). A densidade corporal trata-se de uma variável independente do tipo atributo, uma vez que apesar de ser considerada uma variável preditora do fenômeno, não foi manipulada.

3.3.2. Variáveis dependentes

As variáveis deste estudo, que serão obtidas a partir da análise, são descritas a seguir:

- a) Pico de força vertical ($F_{y_{max}}$): é o valor máximo da componente vertical da FRS durante a realização do contato com a plataforma. Apesar de este valor ser um adimensional, resultado da divisão do valor da componente vertical da FRS (N) dividida pelo peso corporal do participante (N). Optou-se por expressar o valor em peso corporal (PC) como em outros estudos relativos à marcha e corrida (AMADIO e DUARTE, 1996; HAMILL e KNUTZEN, 1999; NIGG e HERZOG, 1994; ZATSIORSKY, 2004; NOVACHECK, 1998; HAUPENTHAL *et al.*, 2010).

- b) Cadência máxima (Cad_{max}): Frequência máxima com que se completam as fases de um movimento, ritmo. Operacionalmente foi definido como o número máximo de toques realizados por ambos os pés com o chão em um minuto medidos a partir dos primeiros 6 segundos de execução. No SI é expressa em Hz, no entanto nesse estudo optou-se pela unidade batimentos por minuto (bpm). A verificação da cadência máxima foi realizada através da Transformada rápida de Fourier da curva obtida na análise dinamométrica da corrida estacionária em máxima cadência.

Na figura abaixo, está indicada a principal variável dependente do estudo: $F_{y_{max}}$.

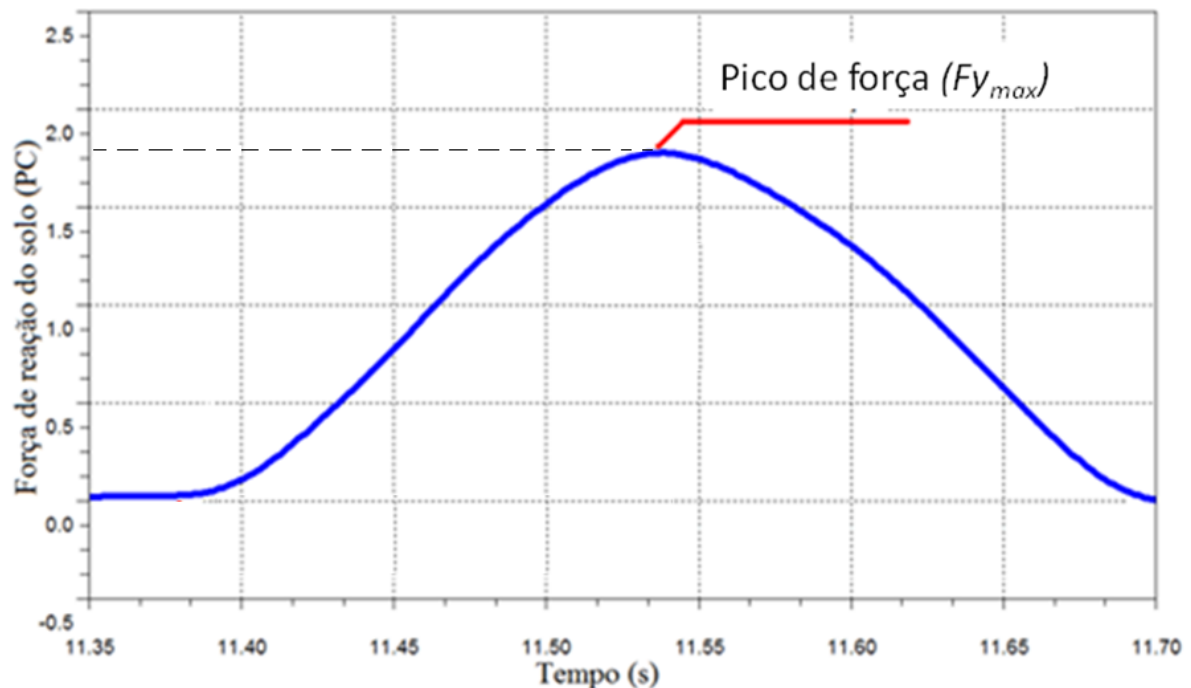


Figura 9 – Pico máximo da componente vertical da força de reação do solo. Variável adquirida a partir da análise dinamométrica da corrida estacionária.

3.4. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Os instrumentos utilizados para obtenção dos dados do estudo são descritos a seguir.

3.4.1. Plataformas de força

Para a obtenção das variáveis do estudo foram utilizadas duas plataformas de força, construídas com base no estudo de Roesler (1997). As plataformas são confeccionadas com

extensômetros de resistência elétrica (*strain gauges*) e possuem dimensões de 0,4 m de largura, 0,4 m de comprimento e 0,1 m de altura, carga máxima/sensibilidade de 4000/2 N, frequência natural de 300 Hz e erro menor que 1% (Figura 10). Os componentes de uma das plataformas são à prova d'água, e por isso permitem sua utilização no ambiente aquático. Os procedimentos de calibração das plataformas são descritos detalhadamente por Roesler (1997).



Figura 10 – Foto de uma das plataformas de força utilizada no estudo.

3.4.2. Sistema de aquisição e processamento de dados ADS2000-IP

As plataformas de força foram conectadas ao sistema de aquisição, condicionamento, transformação e processamento de sinais ADS2000-IP (AC2122, Lynx Tecnologia Eletrônica LTDA) composto por (a) uma placa condicionadora de 16 canais para ponte de Wheatstone; (b) um conversor analógico-digital de 16 bits e limite máximo de 60 kHz; (c) *software* AqDados 7.02; e (d) um microcomputador portátil (Figura 11). Foi utilizada uma taxa de aquisição de 1000 Hz.



Figura 11 – Foto do sistema ADS2000-IP conectado ao microcomputador portátil.

3.4.3. Balança digital, estadiômetro, fita métrica e adipômetro científico

Para a obtenção das medidas antropométricas dos sujeitos (massa, estatura, altura do processo xifóide ao solo, altura do trocânter ao solo e dobras cutâneas) foram utilizados: (a) uma balança digital com resolução de 0,1 kg (modelo MEA-08128, da Plenna); (b) um estadiômetro com resolução de 0,01 m (modelo profissional, da Sanny); (c) uma fita métrica com resolução de 0,01 m; e (d) um adipômetro científico com resolução de 0,1 mm (CESCORF). Para obtenção da densidade corporal dos homens foi utilizada a equação geral de regressão proposta por Jackson e Pollock (1978), que considera a soma das dobras cutâneas do tórax, abdômen e coxa. Para as mulheres, utilizou-se a equação geral de regressão proposta por Jackson, Pollock e Ward (1980), que considera a soma das dobras cutâneas da coxa, tricipital e supra-íliaca.

3.4.4. Metrônomo

Um metrônomo foi utilizado para o controle da cadência do movimento. O mesmo produz pulsos sonoros de frequência regular, os quais serviram de referência para a cadência de execução do movimento realizado pelos sujeitos. Esse método foi empregado anteriormente por Yamamoto *et al.* (1995), Roesler *et al.* (2006) e Aberton *et al.* (2010).

3.5. VARIÁVEIS DE CONTROLE

Com a finalidade de assegurar a qualidade dos dados, foram controladas as seguintes variáveis:

- a) Nível de fadiga: os participantes foram orientados para não realizarem atividade física nos dois dias antecedentes à coleta de dados e um intervalo de um minuto e meio de descanso foi respeitado entre as execuções.
- b) Temperatura da água: a temperatura da piscina permaneceu em $28^{\circ} \pm 1^{\circ}$ C durante a coleta;
- c) Amplitude de movimento: Foi solicitado ao indivíduo que realizasse a corrida estacionária de maneira a flexionar o quadril a 90 graus. Um profissional experiente em exercícios aquáticos foi responsável por observar o movimento e solicitar sua adequação se necessário.

3.6. PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS

Todos os testes foram realizados nas dependências da piscina e do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática do CEFID/UDESC. A seguir são apresentadas informações sobre a preparação dos instrumentos, as situações de análise e os procedimentos adotados para a coleta de dados.

3.6.1. Preparação dos instrumentos

Para as análises em ambiente terrestre, uma das plataformas de força foi fixada no centro de um suporte de madeira (1,00 m de largura, 1,00 m de comprimento e 0,10 m de altura) para garantir maior segurança e conforto para o participante durante a execução da corrida estacionária, evitando possíveis quedas devido a desequilíbrios.

Para as análises em ambiente aquático, a outra plataforma de força foi posicionada no fundo de uma piscina térmica, fixada no centro de um suporte de madeira semelhante ao descrito anteriormente. A plataforma e a moldura foram recobertas por um material antiderrapante, para que os sujeitos não escorregassem durante os testes (o mesmo material foi utilizado para recobrir a plataforma utilizada nas coletas no ambiente terrestre, a fim de evitar possíveis influências da superfície na medição das forças). O conjunto plataforma-

O intervalo de cadências estabelecido representa o compreendido entre a cadência mínima e a cadência máxima para cada nível de imersão obtido através de um estudo piloto. Além das oito cadências pré estabelecidas, foi solicitado que o indivíduo realizasse a corrida estacionária no maior ritmo possível (cadência máxima) em cada nível de imersão, sem utilização do metrônomo.

A escolha dos níveis de imersão foi feita no sentido de facilitar o trabalho de prescrição do exercício em ambiente aquático, através da utilização de pontos anatômico que podem ser facilmente identificados pelo educador físico ou fisioterapeuta.

3.6.3. Coleta de dados

Os sujeitos do estudo (aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina sob o protocolo nº 52/2008) foram informados dos procedimentos da coleta de dados e receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Após concordarem em participar do estudo, mediante assinatura do termo, foi então agendada a data de realização da coleta de dados. No momento do agendamento foi solicitado aos sujeitos que não realizassem nenhum tipo de atividade física nos dois dias que antecederam a coleta de dados.

Ao chegar ao local de coleta os sujeitos preencheram os dados de identificação pessoal. Foram então obtidas as medidas antropométricas dos sujeitos: massa, estatura, altura do processo xifóide, altura do trocânter do fêmur e dobras cutâneas (tricipital, supra-ílica e coxa para as mulheres e tórax, abdominal e coxa para os homens).

Após a realização das medidas antropométricas, os sujeitos foram instruídos quanto aos procedimentos da coleta e quanto à execução do movimento. Primeiramente, foi realizada a coleta de dados em ambiente terrestre e posteriormente em ambiente aquático.

A ordem de execução do movimento dentre os diferentes níveis de imersão e cadências foi randomizada.

Para a realização da corrida estacionária nas cadências propostas por esse estudo, os participantes foram instruídos a realizar o toque do pé no fundo da piscina a cada som do metrônomo. Além disso, foi solicitado que o sujeito realizasse a corrida estacionária flexionando o quadril até aproximadamente 90 graus.

A partir destes procedimentos foram coletadas 30 curvas para cada indivíduo em cada situação exposta no Quadro 1 da corrida estacionária.

3.7. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após a aquisição, os dados foram armazenados e exportados através do *software* AqDAnalysis 7.0.14 (Lynx Tecnologia Eletrônica LTDA), para serem tratados com a utilização do *software* Scilab 4.1.2 (INRIA). Neste software, foram criadas as rotinas de programação para a análise dos dados:

- A) Corte inicial – para cada sujeito em cada situação foram excluídas as 10 primeiras curvas, permanecendo as próximas 15 curvas para análise.
- B) Análise da frequência do movimento – foi realizada a transformada de Fourier (FFT) para adquirir a frequência do movimento (um erro quadrático médio de 2 bpm foi verificado para as cadências pré estabelecidas).
- C) Tratamento inicial - (1) aplicação do coeficiente de calibração e filtragem (filtro passa baixa FFT tipo *Butterworth* na frequência de corte 20 Hz para os dados obtidos no ambiente aquático e 40 Hz para os obtidos no ambiente terrestre – frequência determinada a partir da análise da densidade espectral de potência do sinal onde foi verificado que 99 % do sinal estava contido abaixo dessa frequência; (2) normalização pelo peso corporal fora da água (para visualização da redução dos valores de força e comparação com os valores fora da água); (3) recorte das curvas para cada passo.
- D) Tratamento final: (1) Identificação do pico de força da componente vertical, (2) calculo da média; (3) exportação das variáveis analisadas.

3.8. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Primeiramente, foi realizada a análise exploratória dos dados a fim obter uma familiarização com a distribuição e comportamento dos dados e a fim de identificar possíveis valores discrepantes (mais que 3 desvios padrão da média). Tais valores foram excluídos da análise (2 casos). Para a caracterização dos dados foi utilizada a estatística descritiva, com a identificação dos valores de média (\bar{X}) e desvio padrão (s).

Foi verificado o efeito do nível de imersão na Cad_{max} executada pelos sujeitos através da ANOVA medidas repetidas, como também o efeito do nível de imersão no $Fy_{máx}$ durante a corrida estacionária em cadências máximas através da ANCOVA (cadência como covariável).

A comparação do $Fy_{máx}$ nos diferentes níveis de imersão para cada cadência pré-estabelecida foi realizada através da ANOVA medidas repetidas. A correlação de Pearson entre cadência e $Fy_{máx}$, bem como entre a densidade e $Fy_{máx}$ foi verificada. Foi adotado um nível de significância de $p < 0,05$ para todos os testes estatísticos.

A análise conjunta do efeito do nível de imersão, da cadência e da densidade corporal dos indivíduos sob Fy_{max} foi realizada através da Regressão Linear Múltipla. O modelo final de predição de Fy_{max} foi desenvolvido a partir do método stepwise, considerando-se um $p < 0,05$ como critério de entrada da variável no modelo e um $p > 0,10$ como critério de exclusão da variável do modelo. A validade e adequação dos modelos foram avaliadas através da análise dos resíduos e do coeficiente de determinação.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A fim de responder aos objetivos específicos do estudo este capítulo foi organizado em tópicos com os respectivos resultados e discussões. Desse modo, primeiramente fez-se a caracterização e a comparação da cadência máxima ($Cad_{m\acute{a}x}$) nos diferentes nívéis de imersão, bem como a caracterização e a comparação do pico máximo da componente vertical da FRS ($Fy_{m\acute{a}x}$) durante a corrida estacionária em cadência máxima. Em um segundo momento, o efeito de cada variável independente do estudo sobre $Fy_{m\acute{a}x}$ foi analisado separadamente a fim de obter um melhor entendimento da relação entre as variáveis. Por fim, são apresentados os resultados referentes à construção do modelo de predição para $Fy_{m\acute{a}x}$, bem como, um item a respeito de sua utilização na prescrição da corrida estacionária. Uma tabela contendo o resumo da descrição dos dados do estudo é apresentada no APÊNDICE II.

4.1 ANÁLISE DA COMPONENTE VERTICAL DA FRS EM CADÊNCIAS MÁXIMAS

São apresentados a seguir os resultados referentes à corrida estacionária realizada em cadências máximas no nível de imersão do processo xifóide, do quadril e no solo.

4.1.1. Caracterização e comparação da máxima cadência de execução da corrida estacionária nos diferentes nívéis de imersão

Foram verificadas as frequências máximas atingidas pelos participantes, Cad_{max} , com a utilização da Transformada de Fourier (FFT). O resumo destes resultados é apresentado na Figura 13 para os nívéis de imersão do quadril, do xifóide e no solo.

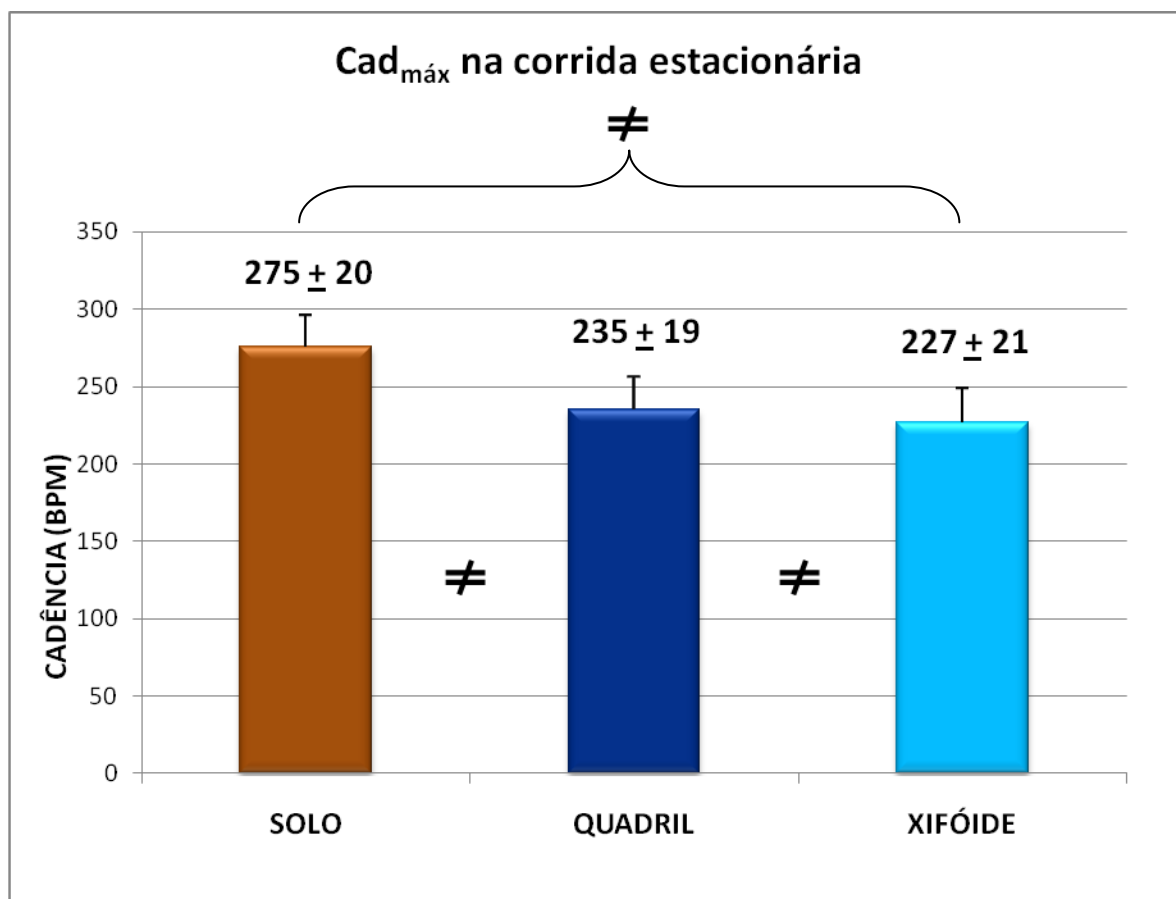


Figura 13 – Média e desvio padrão da cadência máxima (Cad_{máx}) em batimentos por minuto (bpm) da corrida estacionária no solo, no nível de imersão do processo xifóide e no nível de imersão do quadril. Símbolo “≠” indica diferença significativa ($p < 0.001$) entre os níveis na ANOVA medidas repetidas com comparação múltipla de Bonferroni.

Conforme esperado, as maiores cadências de execução da corrida estacionária foram encontradas no solo, seguido pelo nível de imersão do quadril e, por último, pelo nível do xifóide ($p < 0,001$). Essa relação inversa entre imersão e velocidade máxima do movimento já foi descrita para outros movimentos na água, como a marcha para frente, a marcha para trás, o deslocamento lateral e a corrida com deslocamento (CHEVUTSCHI, 2009; HAUPENTHAL, 2008).

Devido a maior densidade apresentada pela água quando comparada ao ar, o ambiente aquático proporciona uma maior resistência ao movimento. Essa resistência é dependente também de outros fatores como a velocidade e a área frontal projetada durante o movimento (POYHONEN *et al.*, 2000). Como o movimento da corrida estacionária concentra-se principalmente em membros inferiores, a diferença na Cad_{máx} entre os níveis de imersão foi menor do que a diferença que esses apresentaram em relação ao solo (Figura 13). Os valores expostos podem ser usados como referência no planejamento e prescrição de programas de exercícios aquáticos, de modo que a velocidade do movimento proposto, induzida pelo ritmo

imposto pela música (no caso das aulas de hidroginástica), não esteja acima da cadência considerada máxima para aquele nível de imersão.

4.1.2. Caracterização e comparação do pico máximo da componente vertical da FRS durante a corrida estacionária em cadência máxima nos diferentes níveis de imersão.

Na Figura 14 são mostrados os valores do $Fy_{\text{máx}}$ durante a corrida estacionária executada em cadências máximas nos níveis de imersão do quadril, do xifóide e do solo.

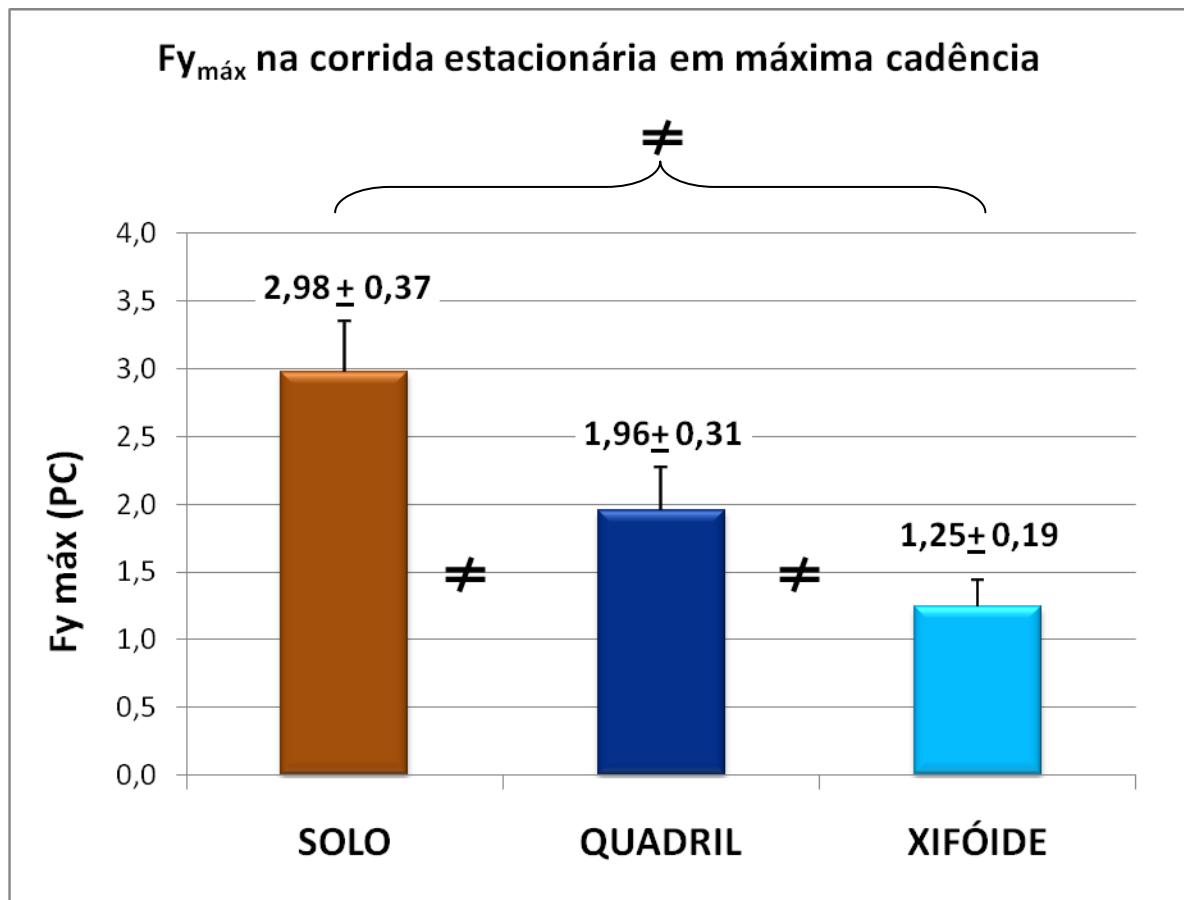


Figura 14 Média e desvio padrão do pico máximo da componente vertical da FRS ($Fy_{\text{máx}}$) em Peso Corporal (PC) durante a corrida estacionária executada em cadências máximas no solo, no nível de imersão do processo xifóide e no nível de imersão do quadril. Símbolo “ \neq ” indica diferença significativa ($p < 0.001$) entre os níveis na medidas repetidas ANCOVA (cadência como covariável) com comparação múltipla de Bonferroni.

Pode ser observado um efeito significativo da imersão ($p < 0.001$) sobre $Fy_{\text{máx}}$, de modo que quanto maior a imersão, menor é a intensidade de $Fy_{\text{máx}}$. Por se tratar de uma análise de uma atividade em cadência máxima, e não pré-estabelecida, as diferentes intensidades de $Fy_{\text{máx}}$ entre os níveis de imersão poderiam estar sendo influenciadas por diferentes intensidades de $Cad_{\text{máx}}$ (Figura 13). Contudo, através da análise da covariância, foi possível verificar que a $Cad_{\text{máx}}$ não demonstrou efeito significativo sobre $Fy_{\text{máx}}$.

Quando comparados à corrida estacionária a 90 bpm, 110 bpm e 130 bpm (FONTANA, *et al.* s/d), os valores médios de $F_{y_{\text{máx}}}$ durante a corrida estacionária em máxima cadência mostraram-se superiores nos três níveis de imersão. No entanto, cabe ressaltar que os dados relatados por esses autores são referentes a corrida estacionária realizada sem o controle da amplitude do movimento; ao contrário do ocorrido no atual estudo.

4.2. ANÁLISE DO EFEITO DO NÍVEL DE IMERSÃO, DA CADÊNCIA DO MOVIMENTO E DA DENSIDADE CORPORAL NO PICO MÁXIMO DA COMPONENTE VERTICAL DA FRS

Nesse item são apresentados os resultados referentes a corrida estacionária realizada em cadências pré-estabelecidas no nível de imersão do processo xifóide, do quadril e no solo.

4.2.1. Efeito do nível de imersão

Uma das condições mais importantes proporcionadas pelas propriedades físicas da água é a redução do peso aparente proporcionada pela ação do empuxo. Em situações dinâmicas, como no caso dos exercícios aquáticos, apesar de atenuadas as forças resultantes do contato com o solo, estas ainda estão presentes. A magnitude dessas componentes, apesar de menor do que os valores observados fora da água, pode ser excessiva dependendo da condição ou problema que o indivíduo apresenta e, além disso, varia de acordo com o nível de imersão adotado (BATES; HANSON, 1998; RUOTI; MORRIS; COLE, 2000; KELLY, 2000; KUORI, 2000; CAMPION, 2000).

Os exercícios aquáticos vêm sendo descritos na literatura como forma eficaz no controle da descarga de peso durante a caminhada e a corrida, no entanto os autores salientam a necessidade de um ajuste correto do nível de imersão a fim de garantir que a FRS não seja superior àquela suportada pela condição do indivíduo. Em movimentos com deslocamento horizontal, o ajuste do nível de imersão possui efeito principalmente sobre a intensidade da componente vertical da FRS e, por outro lado, o ajuste da velocidade resulta em mudanças principalmente na componente ântero-posterior da FRS (ROESLER *et al.*, 2006). Na corrida estacionária, Fontana *et al.* (s/d) verificaram que ambos, o ajuste do nível de imersão e o ajuste da velocidade – nesse caso, cadência – não tiveram efeito sobre a componente ântero-posterior da FRS.

A Figura 15 apresenta os valores do pico máximo da componente vertical ($F_{y_{\text{máx}}}$) durante a corrida estacionária realizada em seis cadências distintas¹ no solo e nos níveis de imersão do quadril e do xifóide.

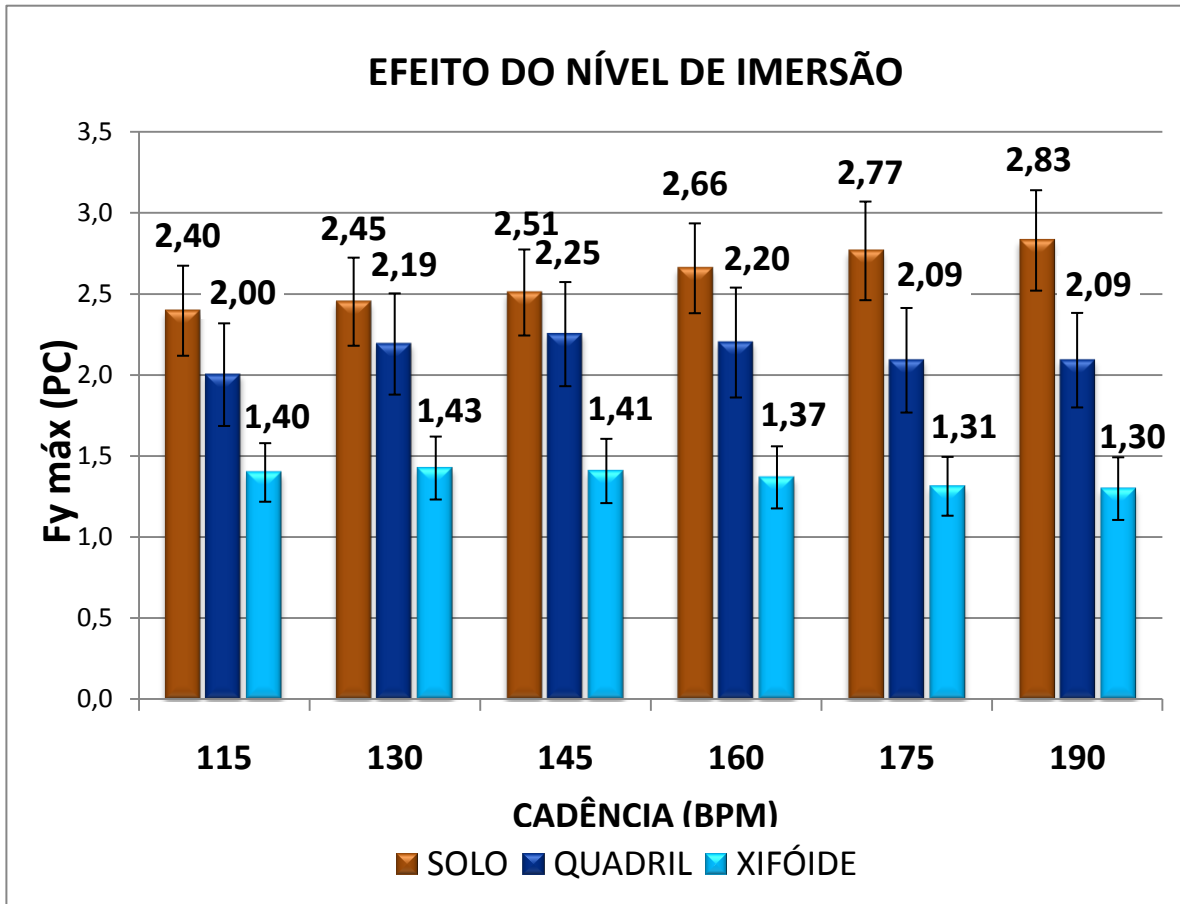


Figura 15 – Média e desvio padrão do pico máximo da componente vertical da FRS ($F_{y_{\text{máx}}}$) em Peso Corporal (PC) durante a corrida estacionária executada em diferentes cadências (expressas em batimentos por minuto (bpm)) no solo, no nível de imersão do processo xifóide e no nível de imersão do quadril.

É possível observar que o efeito do nível de imersão sobre $F_{y_{\text{máx}}}$ torna-se mais expressivo a medida que a cadência aumenta. A interação entre nível de imersão e cadência foi comprovada através da ANOVA medidas repetidas com dois fatores (nível de imersão*cadência $p = 0,002$). Uma vez que a interação foi verificada, optou-se por analisar o efeito do nível de imersão separadamente em cada cadência (ANOVA medidas repetidas com 1 fator, nível de imersão, para cada cadência analisada). Esta análise indicou um efeito significativo para o nível de imersão, sendo $F_{y_{\text{máx}}}$ maior durante a corrida estacionária realizada no solo do que no nível de imersão do quadril e do xifóide ($p < 0,001$), assim como

¹ A escolha dessas seis cadências justifica-se no fato de que somente nessas, dentre as demais analisadas, foram coletados dados referentes aos três níveis de imersão.

maiores valores de $Fy_{m\acute{a}x}$ foram encontrados no nvel de imersão do quadril do que no nvel do xifóide ($p < 0,001$).

Mesmo tendo conhecimento da interação existente entre os efeitos do nvel de imersão e da cadência do movimento, não é possível indicar qual efeito é dependente do outro, uma vez que ambas variáveis, nvel de imersão e cadência, foram manipuladas pela pesquisadora neste estudo. Sendo assim, estabelece-se uma relação de interdependência entre as mesmas e, por esse motivo, a discussão a respeito da interação entre essas duas variáveis será retomada no item que retrata o efeito da cadência sobre $Fy_{m\acute{a}x}$.

Devido a importância de conhecer o efeito de diferentes nveis de imersão sobre a intensidade de $Fy_{m\acute{a}x}$ ao prescrever uma atividade aquática com o intuito de redução de cargas mecânicas, outros estudos foram realizados com essa mesma finalidade em diferentes exercícos. Ruschel (2009), avaliou o efeito do nvel de imersão em quatro tipos de saltos na água (saltos com meio agachamento, saltos com contra-movimento, saltos em profundidade partindo de 0,2 m e em profundidade partindo de 0,4 m) e verificou que houve diferença estatisticamente significativa no $Fy_{m\acute{a}x}$ entre os nveis de imersão somente para o salto com meio agachamento (3,5 PC no nvel do quadril e 2,8 PC para o nvel do xifóide) e para o salto com contra-movimento (3,4 PC para o nvel do quadril e 3,0 PC para o nvel do xifóide). Hauptenthal *et al.* (2010) avaliou o efeito do nvel de imersão na corrida com deslocamento em velocidade auto-selecionada e não encontrou diferença significativa entre os nveis de imersão (0,98 no nvel do quadril e 0,80 PC no nvel do xifóide). No entanto, os autores salientam que a alta variabilidade da velocidade pode ter sido o motivo pelo qual o efeito do nvel de imersão não foi observado. O efeito da imersão na FRS durante a marcha subaquática também já foi estudado (NAKASAWA *et al.*, 1994; BARELA *et al.*, 2006), confirmando que $Fy_{m\acute{a}x}$ é significativamente atenuada no ambiente aquático. O aumento de $Fy_{m\acute{a}x}$ quando o nvel de imersão da marcha subaquática é passado do nvel do quadril (0,43 PC) para o nvel do joelho (0,88 PC) foi relatado através da descrição do valor médio dessa variável por Brito *et al.*, (2004). Esse efeito do nvel de imersão sobre $Fy_{m\acute{a}x}$ foi também estatisticamente verificado por Roesler *et al.* (2006). Os autores verificaram que $Fy_{m\acute{a}x}$ é significativamente menor no nvel do manúbrio do esterno (0,20 PC) quando comparado ao nvel de imersão do processo xifóide (0,31 PC).

A Figura 16 ilustra o efeito do nvel de imersão no $Fy_{m\acute{a}x}$ durante a execução desses exercícos aquáticos. Juntamente com os valores reportados na literatura, foram expostos na figura os valores obtidos neste estudo para a corrida estacionária no nvel de imersão do

xifóide e do quadril na cadência de 145 bpm – cadência essa que apresentou uma maior redução do $Fy_{máx}$ entre os níveis de imersão.

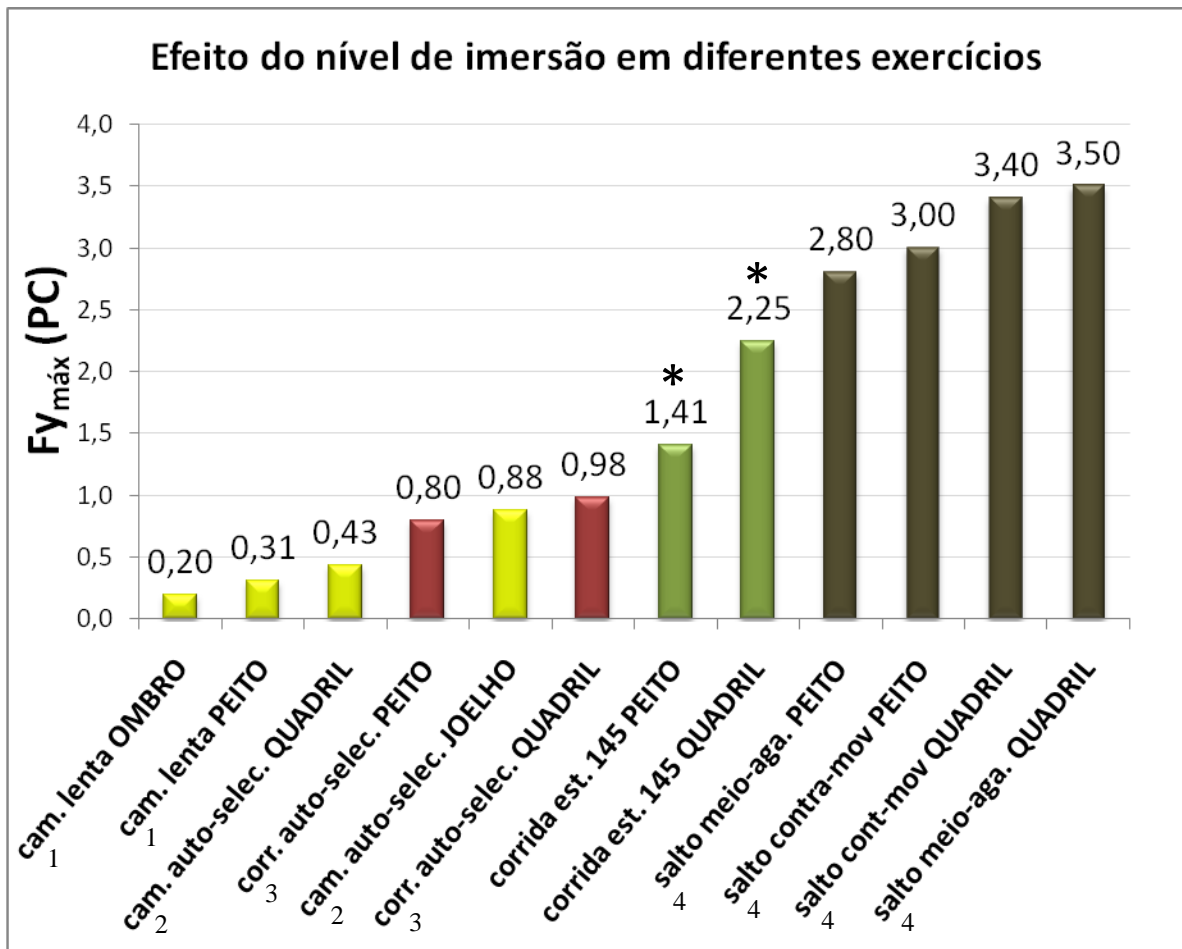


Figura 16 – Média dos valores de $Fy_{máx}$ de diferentes exercícios aquáticos (caminhada – em amarelo, corrida – em vermelho, corrida estacionária – em verde, e saltos em cinza) em diferentes níveis de imersão. Símbolo * indica os valores reportados com base neste estudo. Referências utilizadas: 1 – Roesler *et al.*, 2006; 2 – Brito *et al.*, 2004; 3 – Haupenthal *et al.*, 2010; 4 – Ruschel, 2009.

O efeito do nível de imersão na corrida estacionária foi mais expressivo, em termos de diferença entre os valores médios, do que o observado nos demais exercícios (Figura 16). Além disso, pode-se observar que, com exceção dos saltos, a corrida estacionária a 145 bpm apresentou os maiores valores de $Fy_{máx}$. Fontana *et al.* (2011) verificou que, em velocidade e cadência auto-selecionadas, a intensidade de $Fy_{máx}$ é maior para a corrida estacionária do que para a corrida com deslocamento nos níveis de imersão do quadril e do xifóide. Essa maior intensidade de $Fy_{máx}$ em ambos os níveis de imersão deve-se possivelmente ao fato da corrida estacionária ocorrer principalmente no eixo vertical, não necessitando, portanto, de um componente ântero-posterior da FRS para realização do deslocamento horizontal.

Ainda em relação a intensidade de $Fy_{máx}$ na corrida estacionária, do ponto de vista clínico, é importante salientar que apesar desse pico de força estar reduzido no ambiente

aquático, a intensidade de 2,25 vezes o peso do indivíduo ou mesmo a de 1,41 vezes o peso podem vir a ser malélicas para a recuperação de um indivíduo dependendo de sua condição física. A caminhada no solo em uma velocidade auto-selecionada., por exemplo, apresenta picos da componente vertical da FRS de aproximadamente 1,20 vezes o peso corporal do indivíduo. Portanto, um indivíduo apto a caminhar no solo não necessariamente encontra-se fisicamente preparado para realizar a corrida estacionária no nível do xifóide e, possivelmente, sofrerá uma sobrecarga abrupta, que pode ser lesiva, se realizar a corrida estacionária na água no nível de imersão do quadril, sem uma progressão mais gradual da carga. Por outro lado, um indivíduo apto a correr no solo ($F_{y_{máx}} \approx 3,0$ PC segundo Novacheck (1998)) pode usufruir de um exercício de menor impacto e, se assim desejar, preservar a demanda fisiológica – através do ajuste da cadência – quando realiza a corrida estacionária na água (ALBERTON *et al.*, 2005).

4.2.2. Efeito da cadência do movimento

Fontana *et al.*, (s/d) verificaram o efeito da cadência do movimento na intensidade de $F_{y_{máx}}$ durante a corrida estacionária a 90 bpm, 110 bpm e 130 bpm no solo e em dois níveis de imersão, quadril e xifóide. Os autores observaram que não houve diferença significativa para $F_{y_{máx}}$ entre as cadências de 110 bpm e 130 bpm em ambos os níveis de imersão, ao contrário do que ocorreu no ambiente terrestre onde $F_{y_{máx}}$ foi significativamente diferente nas três cadências. Esse resultado motivou os autores a acreditar que o efeito da cadência sobre $F_{y_{máx}}$ no ambiente aquático não seria linear (principalmente em cadências mais altas). Surgiu, então, a hipótese de que haveria um ponto de deflexão na curva cadência x $F_{y_{máx}}$, o qual seria alcançado em cadências mais elevadas.

A Figura 17 retrata o efeito da cadência da corrida estacionária sobre a intensidade de $F_{y_{máx}}$ no solo (de 115 a 220 bpm) e nos níveis de imersão do quadril (de 90 a 205 bpm) e do xifóide (de 85 a 190 bpm).

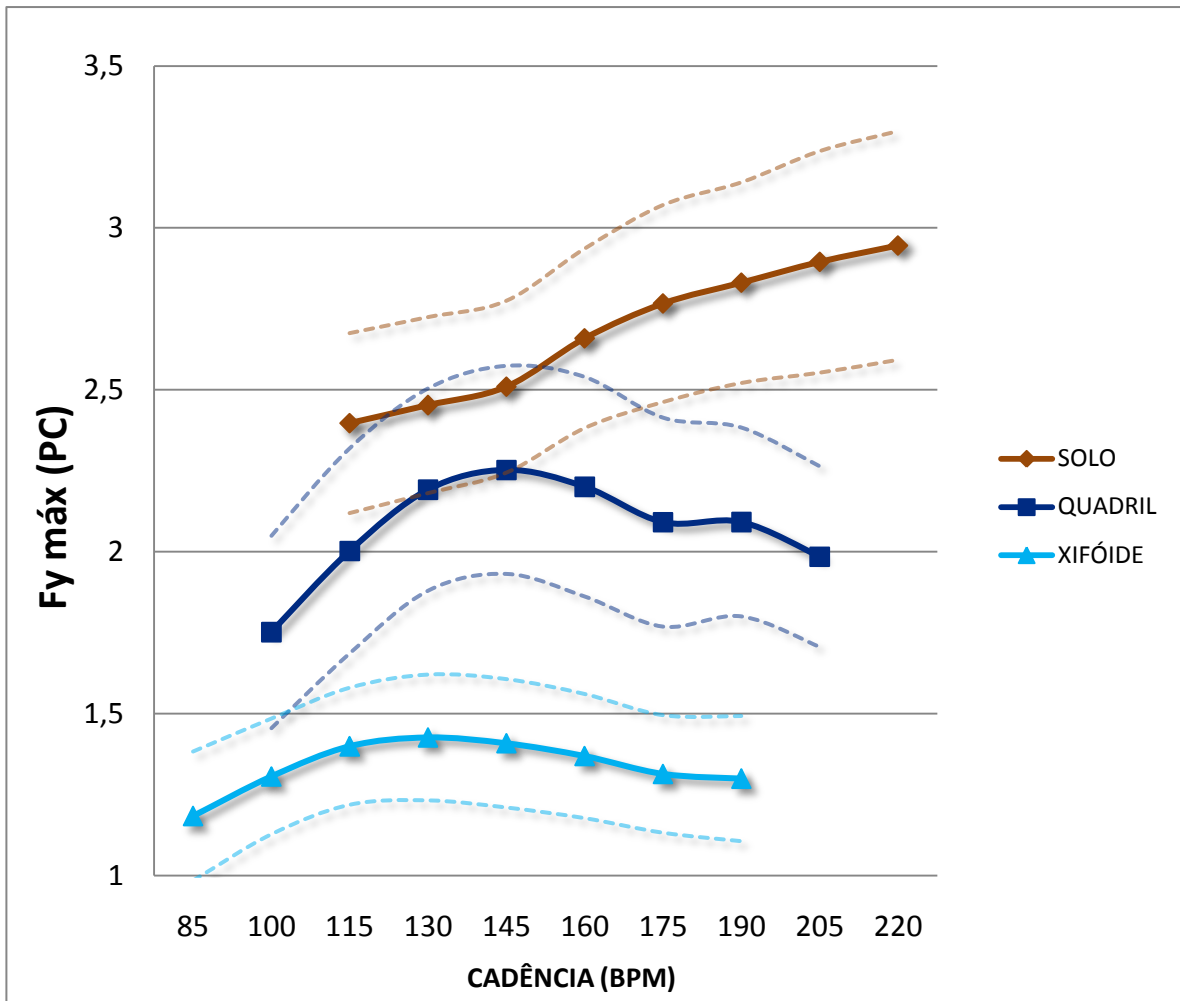


Figura 17 – Efeito da cadência (expressa em batimentos por minuto (bpm)) sobre o pico máximo da componente vertical da FRS ($F_{y\text{máx}}$) durante a corrida estacionária no solo e nos níveis de imersão do quadril e do xifóide. Linhas tracejadas indicam os respectivos desvios padrão. Note que as médias verificadas e calculadas para cada cadência estão interligadas por uma linha. Apesar do intervalo compreendido entre as cadências analisadas não ter sido verificado, optou-se por traçar uma linha para melhor visualização do efeito.

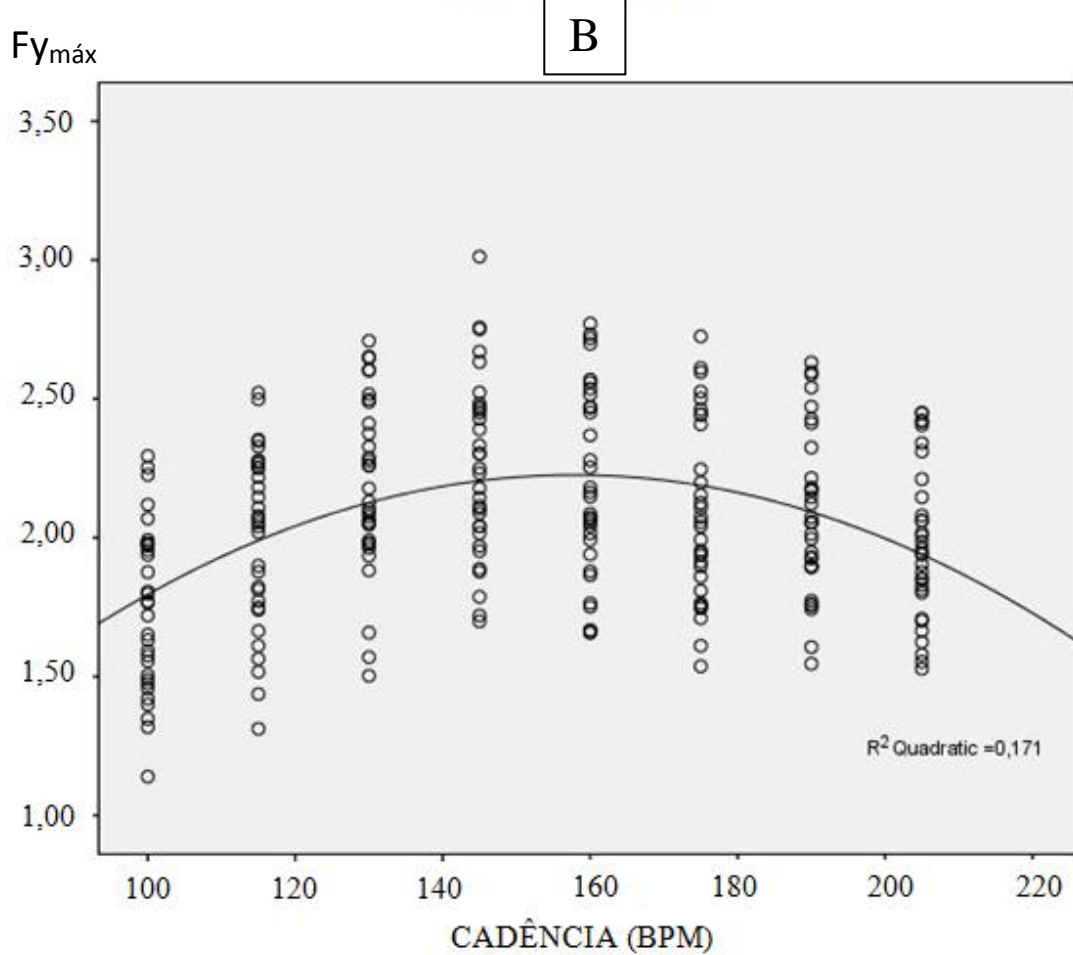
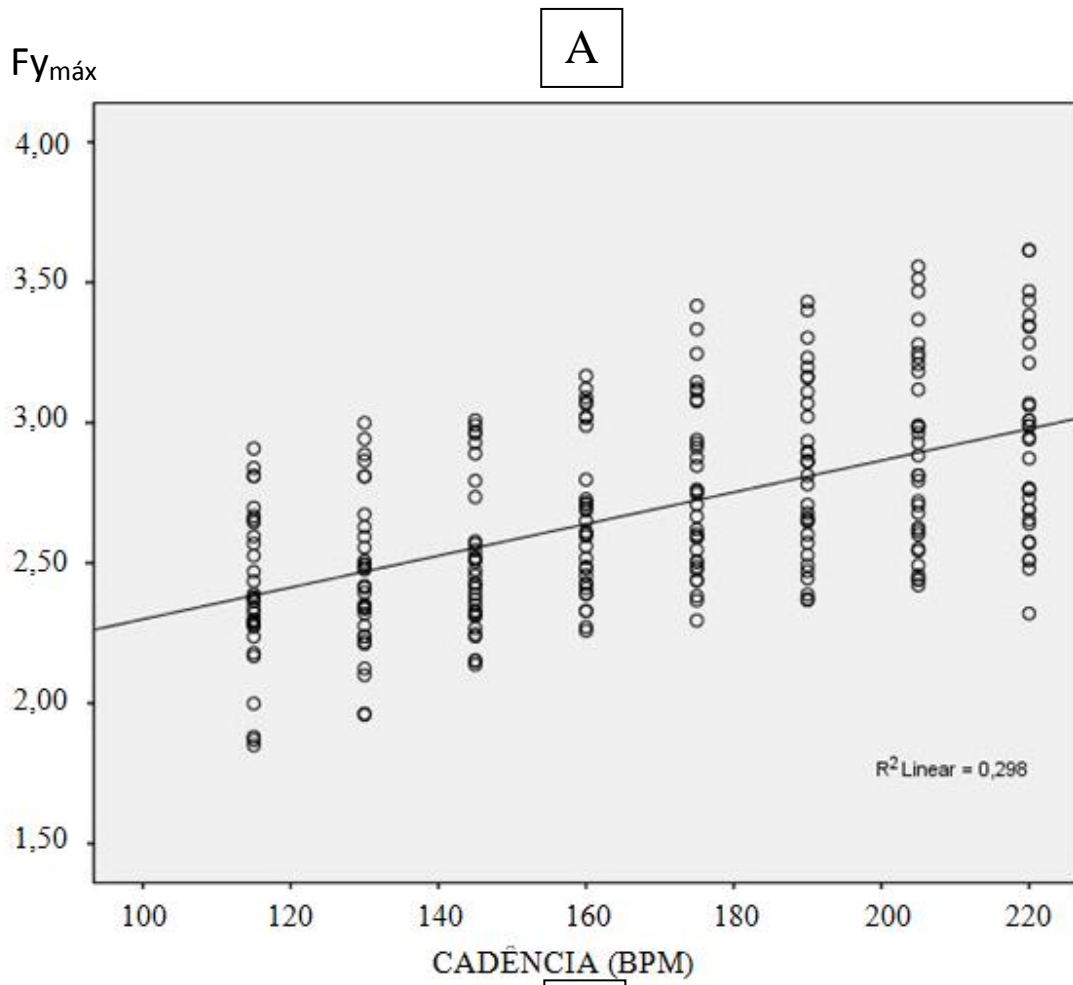
Na Figura 17, podemos visualizar que o efeito da cadência é dependente do ambiente em que o mesmo é realizado (aquático x terrestre). Essa observação já foi feita no item 5.2.1, que tratava do efeito do nível de imersão (interação significativa pela ANOVA medidas repetidas, $p = 0,002$). A explicação para esta interação está possivelmente relacionada a diferença de densidade entre os meios. Por ser cerca de 800 vezes mais densa que o ar, a água oferece uma maior resistência ao movimento. Essa resistência imposta por um fluido é dependente de outros fatores, tais como a área projetada (A) e a velocidade do deslocamento (v). Um aumento da velocidade em 3 vezes é capaz de elevar a resistência imposta por um fluido em 9 vezes ($R = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot C_d$) (POYHONEN *et al.*, 2000). Portanto, essa alta densidade da água quando comparada ao ar, potencializa o efeito da velocidade na resistência ao movimento, tornando esse efeito da velocidade mais perceptível. Acredita-se que essa

deflexão da curva possa então representar uma cadência na qual a resistência imposta pela água seria intensificada até tal ponto que ajudaria o indivíduo a flutuar, como numa espécie de nado.

Para o Fisioterapeuta ou Educador Físico que prescreve a corrida estacionária, essa deflexão na curva pode ser utilizada como uma ferramenta no momento de escolher a cadência a ser utilizada. Alberton *et al.*, (2009) verificou que as respostas cardiorrespiratórias à corrida estacionária aumentaram linearmente com o aumento da cadência. Desse modo, a fim de possibilitar uma sobrecarga fisiológica, ou mesmo manter o nível de aptidão física de um atleta lesionado, a corrida estacionária poderia ser prescrita na água em cadências mais elevadas sem acarretar em uma maior intensidade de $F_{y_{máx}}$.

De acordo com o gráfico, é possível afirmar que o ponto de deflexão da curva média dos valores de $F_{y_{máx}}$ encontra-se na cadência de 145 bpm no nível de imersão do quadril e na cadência de 130 bpm no nível do xifóide. Uma vez que desconhecemos a intensidade média de $F_{y_{máx}}$ no intervalo compreendido entre as cadências analisadas, devemos ter cautela ao determinar a localização desse ponto de deflexão. Esse ponto poderia estar no nível do quadril, por exemplo, em qualquer cadência entre 130 bpm e 160 bpm. A diferença na localização do ponto de deflexão da curva entre os níveis de imersão pode ser explicada pela maior cadência necessária para “nadar” no nível do quadril, uma vez que neste nível, quando comparado ao xifóide, a intensidade do empuxo é menor. Portanto, era esperado que o ponto de deflexão da curva cadência x $F_{y_{máx}}$ ocorresse em cadências mais altas no nível de imersão do quadril do que no xifóide.

A seguir, na Figura 18, são apresentados os gráficos de dispersão entre as variáveis cadência e $F_{y_{máx}}$ no solo (A), no nível de imersão do quadril (B) e no nível de imersão do xifóide (C).



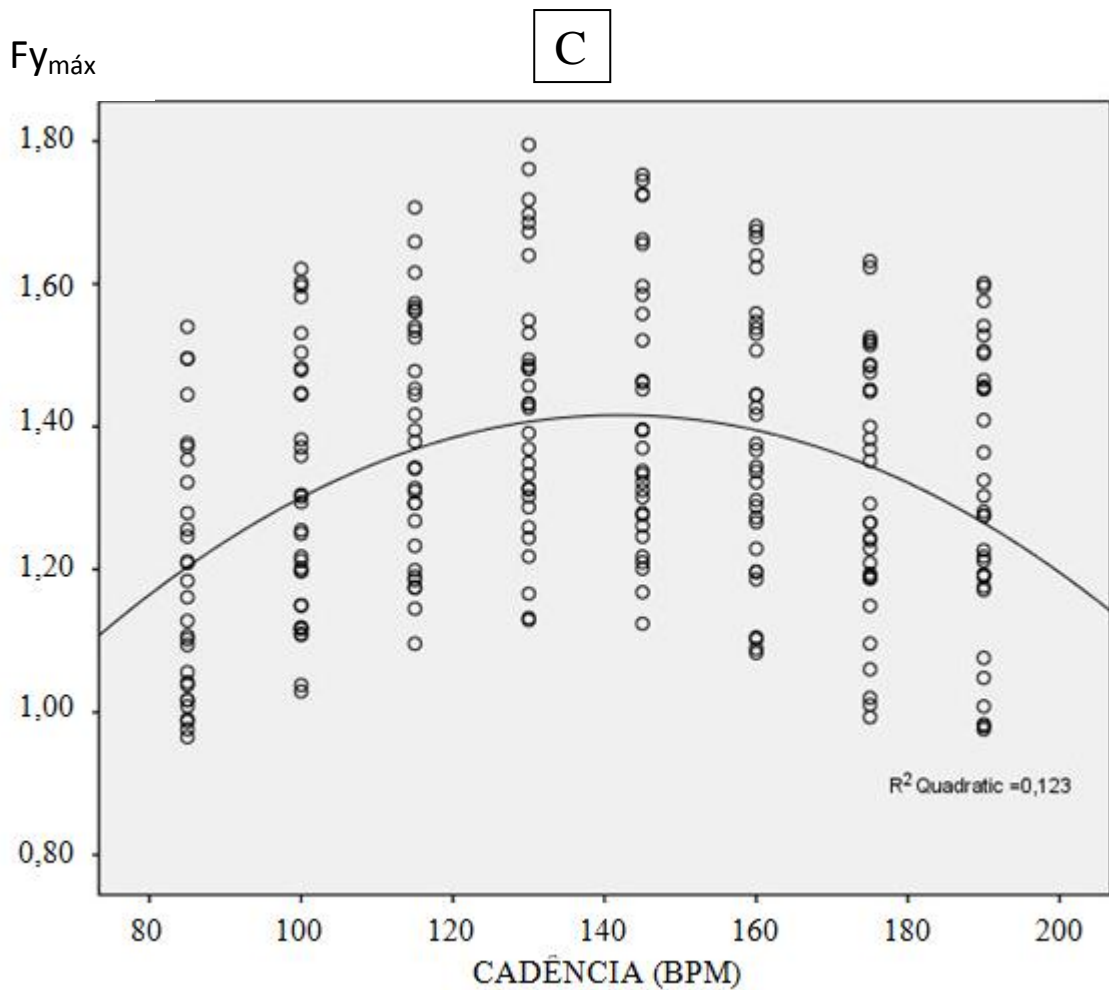


Figura 18 – Gráficos de dispersão para as variáveis $F_{y_{máx}}$ (expressa em peso corporal (PC)) e Cadência do movimento (expressa em batimentos por minuto (bpm)) durante a corrida estacionária no solo (A), no nível de imersão do quadril (B) e no nível de imersão do xifóide (C). Os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2) estão expostos no canto inferior direito de cada gráfico.

Podemos observar na Figura 18 que o modelo linear é o que melhor se adapta para explicar a dispersão dos dados no solo (A) (r de Pearson = 0,546 com $p < 0,001$). Por outro lado, quando observamos a dispersão dos dados no nível do quadril (B) e no nível do xifóide (C) verificamos que um modelo linear não se ajusta a dispersão dos dados. Aproximadamente 30% da variabilidade de $F_{y_{máx}}$ no solo pode ser explicada pela variação da cadência (observe os valores de R^2 no canto inferior direito dos gráficos). No nível do quadril e do xifóide, somente 17% e 12%, respectivamente, da variação de $F_{y_{máx}}$ pode ser explicada pela cadência através de um modelo quadrático. A presença de um ponto de deflexão na curva referente aos níveis de imersão do quadril e do xifóide vai ao encontro da hipótese que o aumento da cadência seria capaz de intensificar $F_{y_{máx}}$ somente até um certo ponto, a partir do qual $F_{y_{máx}}$ seria amenizado pelo aumento da resistência. A correlação positiva e significativa entre cadência e $F_{y_{máx}}$ no solo também confirma a hipótese de uma relação linear entre essas

variáveis nesse nível; já era esperado que, durante a corrida estacionária no solo, quanto maior fosse a cadência maior seria a intensidade de $F_{y_{máx}}$.

A relação entre FRS e velocidade para os exercícios de caminhada, corrida lenta (*jogging*) e corrida rápida no solo foi detalhadamente estudada por Keller *et al.* (1996). Tanto em homens quanto em mulheres, o $F_{y_{máx}}$ aumentou linearmente com o aumento da velocidade durante a caminhada e a corrida, de 1,2 BW até, aproximadamente, 2,5 BW a 6 m/s, permanecendo constante durante corridas mais rápidas (com projeção anterior do centro de gravidade).

Em relação ao efeito da velocidade na FRS em outros exercícios aquáticos, Roesler *et al.* (2006) verificaram que, durante a caminhada, apesar do efeito da velocidade ser mais expressivo na componente ântero-posterior, a intensidade do $F_{y_{máx}}$ foi significativamente maior na velocidade de 0,6 m/s do que na velocidade de 0,4 m/s. Hauptenthal *et al.* (2008) verificou que a velocidade também teve efeito significativo sobre $F_{y_{máx}}$ na corrida subaquática.

Ao considerar os valores reportados neste estudo como referências para escolha da correta condição de execução da corrida estacionária, o profissional que prescreve o exercício deve estar atento a variabilidade do dado. As curvas pontilhadas na Figura 17 indicam o valor de um desvio padrão da média. O intervalo compreendido entre as linhas pontilhadas representa (uma vez que a distribuição apresentou-se normal) aproximadamente 68% dos valores obtidos para aquela condição. Parte dessa variabilidade advém de atributos dos sujeitos analisados, tais como a densidade corporal.

4.2.3. Efeito da densidade corporal

Em repouso, o empuxo agindo sobre um indivíduo pode variar de 2,42% ($\pm 0,45$) do seu peso corporal quando imerso até o nível do tornozelo a 92,14% ($\pm 1,21$) na profundidade do pescoço (KRUEL, 1995). Embora esses sejam valores médios para ambos os sexos, sabe-se que as mulheres apresentam uma maior redução do peso quando submetidas a imersão, principalmente para imersões acima do joelho. Krueel (1995) verificou que essa diferença entre os percentuais de redução advém das diferenças de composição corporal entre os sexos – o maior percentual de gordura, a menor massa muscular e o menor peso ósseo das mulheres contribuem para uma menor densidade corporal nesse grupo. Portanto, sujeitos com menor densidade corporal resultam em uma menor intensidade de peso hidrostático.

Sabendo dessa relação entre densidade e peso hidrostático, os estudos já realizados sobre a FRS em exercícios aquáticos buscam controlar essa variável de modo a obter um grupo de indivíduos com densidade ou percentual de gordura dentro de um intervalo estabelecido. No entanto, não temos conhecimento de nenhum outro estudo que tenha analisado a FRS em indivíduos com densidade e percentual de gordura variados.

A correlação de *Pearson* entre as variáveis densidade e $Fy_{m\acute{a}x}$ indicou uma correlação fraca entre as variáveis ($r = 0,122$) porém significativa ($p < 0,001$), indicando que quanto menor a densidade corporal do indivíduo, menor é a intensidade de $Fy_{m\acute{a}x}$.

Para melhor descrição do efeito da densidade em $Fy_{m\acute{a}x}$, os sujeitos foram divididos em três grupos de acordo com a frequência dos dados de densidade (calculou-se o percentil 33,3% e o percentil 66,6% sendo esses 1,0432 g/ml e 1,0643 g/ml respectivamente), caracterizando dessa forma os grupos “Mais densos”, “Referências” e “Menos densos”. Os valores médios \pm desvios padrão de $Fy_{m\acute{a}x}$ para os grupos nos diferentes níveis de imersão podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Médias e desvios padrão da intensidade do pico máximo da componente vertical ($Fy_{m\acute{a}x}$) em peso corporal (PC) de acordo com a densidade corporal durante a corrida estacionária no solo, no nível de imersão do quadril e no nível do xifóide.

“Grupo”	Densidade Mínimo – Máximo	$Fy_{m\acute{a}x}$ (PC)		
		SOLO	QUADRIL	XIFÓIDE
Menos densos	(1,0166 – 1,0432)	2,42 \pm 0,24	1,92 \pm 0,28	1,27 \pm 0,25
Referências	(1,0446 – 1,0592)	2,81 \pm 0,35	2,16 \pm 0,37	1,41 \pm 0,22
Mais densos	(1,0645 – 1,0861)	2,83 \pm 0,31	2,19 \pm 0,42	1,54 \pm 0,20

O exercício aquático é uma escolha comumente realizada pelas pessoas com sobrepeso ou obesas. Essas populações podem apresentar desconforto osteomuscular após algum exercício como caminhada ou corrida, ficando pouco à vontade para se exercitar em ambiente terrestre (MASUMOTO *et al.*, 2004; PÖYHÖNEN *et al.*, 2001b; TAKESHIMA *et al.*, 2000). Neste estudo, pôde-se verificar que os indivíduos com maior sobrepeso (menos densos) foram os que apresentaram menor intensidade de $Fy_{m\acute{a}x}$. Além da questão referente às diferentes intensidades de empuxo em pessoas com diferentes densidades corporais, essa relação entre $Fy_{m\acute{a}x}$ e densidade pode ser resultante de diferentes estratégias cinemáticas, o que explicaria o efeito da densidade na corrida estacionária também no nível do solo. Por apresentarem certo desconforto ao exercitarem-se no solo, os indivíduos menos densos (com sobrepeso) podem adotar estratégias para diminuir o impacto, tais como a de diminuir o deslocamento vertical durante a execução da corrida estacionária. Tais variáveis, como altura de vôo, ângulos

articulares e deslocamento do centro de gravidade exigem uma futura análise cinemática a fim de clarear certos aspectos deste movimento.

É importante salientar que os valores do pico máximo da componente vertical estão normalizados pelo peso corporal, portanto a interpretação deve ser que, por unidade de peso corporal, os sujeitos menos densos apresentam menor intensidade de $F_{y_{máx}}$. Durante a marcha no solo, quando tratada em valores absolutos, os indivíduos obesos possuem maior intensidade de $F_{y_{máx}}$ quando comparados a sujeitos normais (BROWNING & KRAM, 2007). No entanto, quando esses valores são normalizados pelo peso corporal, não há diferença significativa entre os grupos durante esse movimento (BROWNING *et al.*, 2009).

4.3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PREDIÇÃO PARA O PICO MÁXIMO DA COMPONENTE VERTICAL DA FRS

O conhecimento a respeito da FRS durante a execução de exercícios aquáticos tem evoluído através de estudos que descreveram e compararam a intensidade da FRS em diversos tipos de exercício e condições de execução. Embasado nesses estudos, os profissionais que prescrevem exercícios aquáticos em sua rotina de trabalho possuem valores referenciais que ajudam a nortear a escolha da condição mais adequada de execução dos exercícios. Em busca de uma determinação da intensidade da carga envolvida, é desenvolvido nesse item um modelo de predição do pico máximo da componente vertical da FRS ($F_{y_{máx}}$) para a corrida estacionária no solo e nos níveis de imersão do quadril e do xifóide.

Um modelo, além de ser útil na predição de variáveis de difícil mensuração, é uma importante ferramenta para a compreensão da realidade de um fenômeno (GRIFFIN, 2001). Para a marcha humana, por exemplo, alguns estudos propuseram modelos para a predição dos valores da componente vertical da FRS (KELLER *et al.*, 1996; STANSFIELD *et al.*, 2006; RACIC *et al.*, 2009). Para promover uma ampla utilização do modelo e para que as variáveis que produzem os efeitos possam ser facilmente observadas e medidas, é importante que o modelo criado seja o mais simples possível (ALEXANDER, 2003). As variáveis preditoras selecionadas para a criação do modelo proposto por esse estudo foram:

- Cadência de execução: o modelo foi criado a partir de dados da corrida estacionária em oito cadências de execução para cada nível de imersão (Ver Quadro 1 na seção “Métodos”). Cadência foi expressa em batimentos por minuto (bpm).

- Densidade corporal: o modelo foi criado a partir de dados de sujeitos com diferentes densidades corporal (Ver Tabela 2 na seção “Apresentação e discussão dos resultados”). Densidade foi expressa em gramas por mililitro (g/ml).

- Razão de imersão: o modelo foi criado a partir de dados da corrida estacionária em três níveis de imersão distintos (solo, quadril e xifóide). Essa variável foi expressa através da razão entre a altura do ponto anatômico de referência e a estatura do sujeito, sendo portanto um adimensional. Para o nível do solo, essa variável teve valor igual a zero.

Na Tabela 3, podemos verificar os valores máximos e mínimos de $F_{y_{máx}}$, cadência, nível de imersão e densidade, bem como o resultado da correlação entre essas variáveis.

Tabela 3 – Resultados da correlação e valores máximos e mínimos do pico da componente vertical da FRS ($F_{y_{máx}}$) e das variáveis preditoras nível de imersão, cadência e densidade

	Mínimo	Máximo	1	2	3
$F_{y_{máx}}$ (PC)	0,88	3,62	- 0,830**	0,423**	0,122**
Variáveis Preditoras					
1. Nível de imersão §	0,00	0,73	-	- 0,323*	- 0,007
2. Cadência (bpm)	85	220		-	0,001
3. Densidade (g/ml)	1.0166	1.0861			-

* $p < 0,05$. ** $p < 0,001$. § Adimensional resultante da razão entre a profundidade em metros e a estatura do sujeito também em metros (m/m)

Dois pré-requisitos foram cumpridos para análise de regressão linear múltipla: 1) as três variáveis preditoras apresentam correlação significativa com $F_{y_{máx}}$, sugerindo, portanto, uma linearidade entre $F_{y_{máx}}$ e cada uma das variáveis preditoras e 2) não há colinearidade entre as variáveis preditoras. Embora nível de imersão e cadência estejam correlacionados significativamente (o que já era esperado, já que a escolha das cadências a serem analisadas foi feita de acordo com o nível de imersão), isso não acarretou em problemas de multicolinearidade na análise.

Na Figura 19 são apresentados os gráficos de dispersão de $F_{y_{máx}}$ em relação as variáveis independentes do estudo.

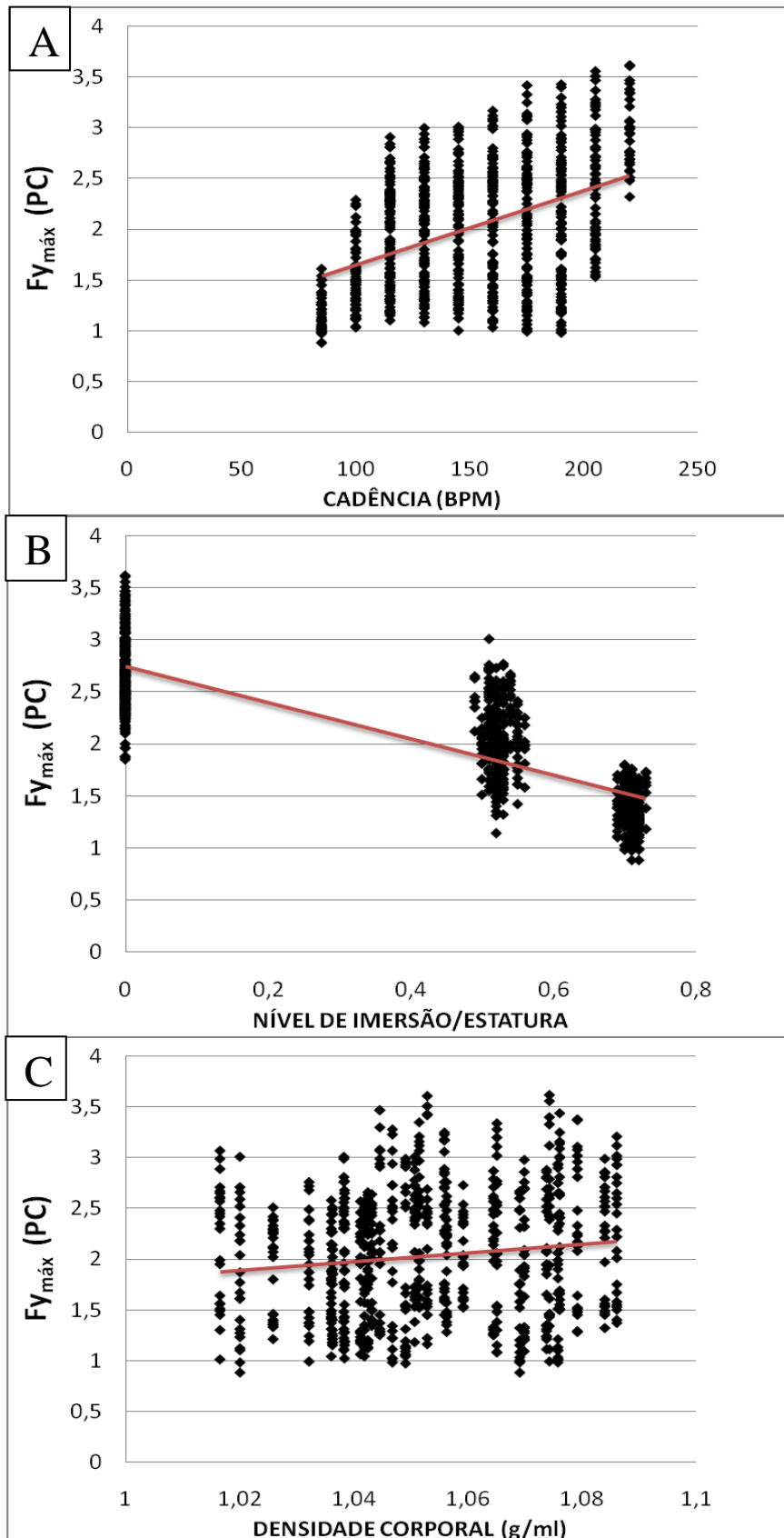


Figura 19 - Gráficos de dispersão para $F_{y_{máx}}$ (expresso em peso corporal (PC)) e as variáveis independentes: [A] Cadência do movimento (expressa em batimentos por minuto (bpm)), [B] densidade corporal (g/ml) e [C] nível de imersão/estatura (adimensional resultante da razão entre a profundidade em metros e a estatura do sujeito também em metros (m/m)).

No primeiro gráfico (A), podemos verificar que, embora tenhamos nos deparado com uma parábola ao analisarmos o efeito da cadência nos níveis de imersão do quadril e do xifóide separadamente (Ver Figura 18), a linearidade é presente na relação entre $Fy_{m\acute{a}x}$ e a cadência de execução do movimento quando consideramos os três níveis de imersão em conjunto (solo, quadril e processo xifóide). Uma relação linear, porém inversa, também pode ser observada entre a variável razão de imersão (nível de imersão/ estatura) e $Fy_{m\acute{a}x}$ (B). Como esperado, quanto menor a razão de imersão, maior é a intensidade de $Fy_{m\acute{a}x}$. É possível observar, nesse gráfico, o intervalo existente entre a imersão do quadril e o solo. O ideal seria que esse intervalo fosse preenchido por mais variações de nível de imersão, como, por exemplo, o nível de imersão do joelho, a fim de verificar se os valores nesse nível também se aproximam da linha de tendência traçada. No que concerne a relação entre densidade corporal e $Fy_{m\acute{a}x}$ (C), embora a correlação tenha sido significativa, uma intensidade de r de 0,122 classifica-a como fraca, sugerindo que essa variável possa não contribuir significativamente para a variação de $Fy_{m\acute{a}x}$ quando estiver controlada pelas demais no modelo de predição. A relação positiva entre essas variáveis também vai ao encontro das hipóteses criadas nesse estudo. Era esperado que quanto menos denso o sujeito fosse, menor fosse a intensidade $Fy_{m\acute{a}x}$.

Tendo verificado a relação entre $Fy_{m\acute{a}x}$ e as variáveis independentes, criou-se um modelo de predição a partir da regressão linear múltipla. O resultado desta análise pode ser verificado na Tabela 4

Tabela 4 – Análise de regressão múltipla (*stepwise*) para Nível de Imersão, Cadência e Densidade corporal na predição do pico máximo da componente vertical da FRS ($Fy_{m\acute{a}x}$) durante a corrida estacionária. Coeficientes não padronizados (B) e padronizados (β).

Modelo – R^2	Variáveis	B	Erro Padrão	β
-----	Constante	- 2,129	0,719	-----
1° – 0,69	Razão de Imersão	-1,659	0,042	- 0,782 *
2° – 0,72	Cadência	0,003	<0,001	0,174 *
3° – 0,75	Densidade corporal	4,159	0,679	0,116 *

* $p < 0,001$

Como podemos verificar na Tabela 5, as três variáveis independentes analisadas nesse estudo foram capazes de contribuir significativamente para a equação criada a partir da análise de regressão. Abaixo está a equação elaborada a partir dos coeficientes não padronizados expostos na Tabela 5.

$$F_{y_{\max}} = -2,129 - 1,659 \times \frac{PROF (m)}{EST (m)} + 0,003 \times CAD (bpm) + 4,159 \times DENS (g/ml)$$

Onde: *PROF* = Profundidade; *EST* = Estatura; *CAD* = Cadência do movimento e *DENS* = Densidade corporal.

Através dessa equação, é possível explicar 75% da variação de $F_{y_{\max}}$ encontrada nesse estudo. Os coeficientes padronizados (β) indicam que a variável que mais contribui para a variação de $F_{y_{\max}}$ durante a corrida estacionária é a razão de imersão (- 0,782), seguido da cadência (0,174) que, por sua vez, é seguida pela densidade corporal (0,116).

A fim de confirmar a adequação do modelo foi realizada a análise de resíduos e verificado o índice de tolerância para colinearidade das variáveis. Para que um modelo seja considerado adequado e ajustado é necessário que os resíduos possuam distribuição normal, igualdade nas variâncias (homoscedasticidade) e que sejam independentes do valor predito. Em seguida, são apresentados os resultados da análise da normalidade dos resíduos através de um histograma (Figura 20) e de um gráfico de probabilidade acumulada da curva normal (Figura 21)

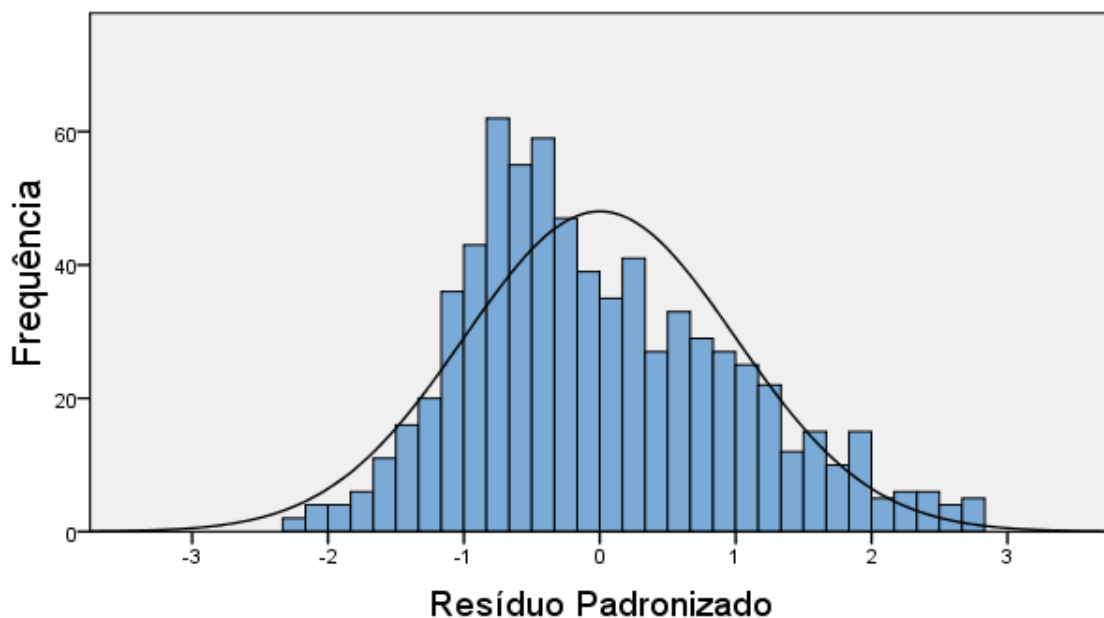


Figura 20 – Histograma: resíduo padronizado da regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $F_{y_{\max}}$ durante a corrida estacionária.

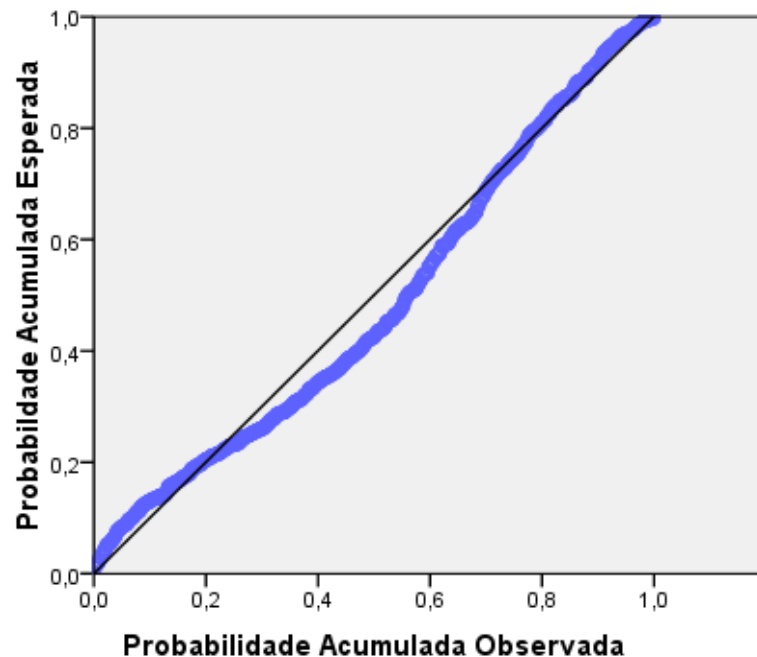


Figura 21 – Comparação entre a curva de probabilidade acumulada esperada e a curva de probabilidade acumulada observada para o resíduo padronizado da regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $F_{y_{\max}}$ durante a corrida estacionária.

Através da análise dos gráficos, é possível conferir a suposição da regressão múltipla de que os resíduos padronizados apresentam uma distribuição próxima da curva normal. Em seguida, a fim de verificar a igualdade nas variâncias, bem como, verificar a existência de possíveis pontos discrepantes na distribuição dos resíduos; é apresentado o gráfico de dispersão dos resíduos padronizados em função do valor predito (Figura 22).

Observando a dispersão do resíduo padronizado, podemos verificar que não foram encontrados valores discrepantes, todos os valores encontram-se entre o intervalo de (+3;-3). Além disso, parece haver igualdade das variâncias dos resíduos em torno do valor predito, sugerindo que não há uma relação adicional entre as variáveis que não tenha sido considerada na elaboração do modelo. Um gráfico nulo (exemplo padrão de homoscedasticidade e independência dos resíduos) assemelha-se à distribuição dos resíduos encontrada nesse estudo.

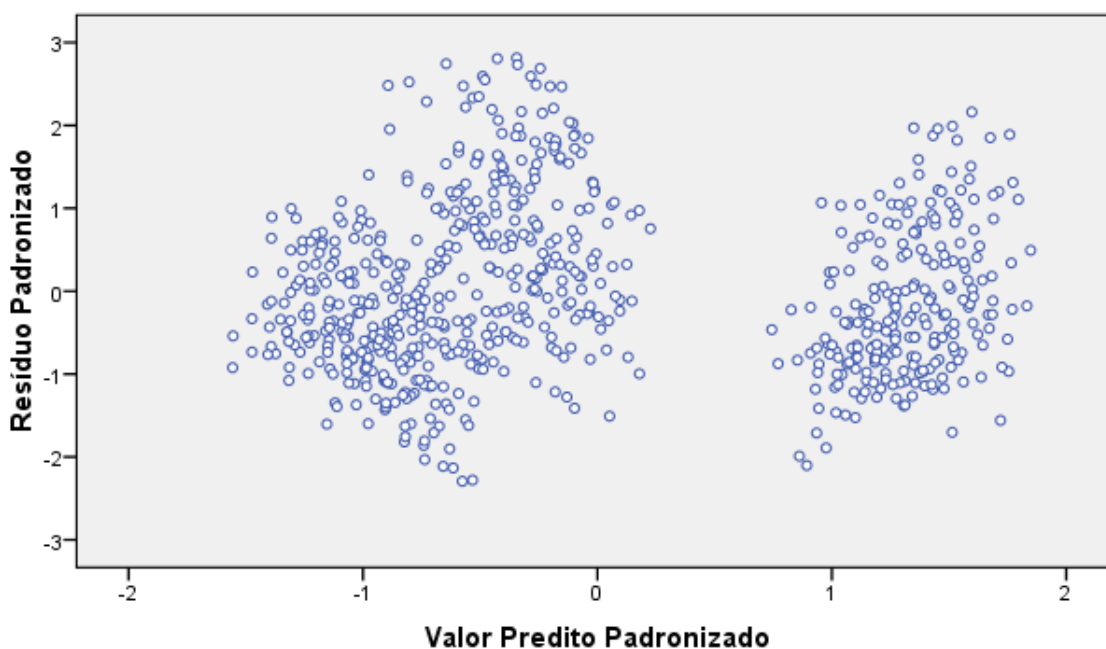


Figura 22 – Gráfico de dispersão dos Resíduos em função do valor predito na regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $F_{y_{máx}}$ durante a corrida estacionária.

Em relação a colinearidade, é desejável que o valor do índice de tolerância não seja menor do que $1 - R^2$ (LEECH *et al.*, 2005). O índice de tolerância para as variáveis independentes que entraram no modelo foi de 0,895 para profundidade e cadência e $> 0,999$ para a densidade. Uma vez que estes valores encontram-se bem acima de 0,250 ($1 - R^2$), é possível confirmar que não houve multicolinearidade na análise.

Apesar de, satisfatoriamente, a ausência de colinearidade ter sido verificada e os resíduos terem se mostrado independentes dos valores preditos; é possível observar (Figura 22) que a amplitude de variação dos resíduos no ambiente aquático (valores concentrados à esquerda do gráfico) foi maior que a do solo (valores à direita). Esse fato deve-se, possivelmente, à relação quadrática verificada entre a cadência e o $F_{y_{máx}}$ nos níveis de imersão do quadril e do xifóide (ver Figura 18 no item 5.2.1). Sendo assim, no item subsequente, é proposto um modelo somente para o ambiente aquático, em uma tentativa de reduzir o resíduo não padronizado.

4.3.1. Desenvolvimento de um modelo de predição para o pico máximo da componente vertical da FRS: modelo exclusivo para o ambiente aquático.

A proposta de um modelo exclusivo para o ambiente aquático é baseada na não linearidade da relação entre $F_{y_{máx}}$ e a cadência do movimento nos níveis de imersão do quadril e do xifóide. Essa não linearidade vai ao encontro das hipóteses deste estudo.

Acredita-se que um modelo quadrático de regressão múltipla possa ser ajustado na predição de $F_{y_{\text{máx}}}$ no ambiente aquático. O resultado desta análise pode ser verificado na Tabela 5.

Tabela 5 – Análise de regressão múltipla (*stepwise*) para Nível de Imersão, Cadência e Densidade corporal na predição do pico máximo da componente vertical da FRS ($F_{y_{\text{máx}}}$) durante a corrida estacionária no ambiente aquático. Coeficientes não padronizados (B) e padronizados (β).

<i>Modelo</i> – R^2	Variáveis	B	Erro Padrão	β
-----	Constante	0,331	0,747	-----
1° – 0,64	Razão de Imersão	- 3,842	0,129	- 0,784 *
2° – 0,65	Densidade corporal	2,105	0,672	0,081 **
3° – 0,66	Cadência	0,021	0,003	1,610 *
4° – 0,69	(Cadência) ²	$-6,96 \times 10^{-5}$	<0,001	-1,545 *

** p < 0,05 * p < 0,001

Como podemos verificar na Tabela 6, as três variáveis independentes analisadas nesse estudo foram capazes de contribuir significativamente para a equação criada a partir da análise de regressão. Podemos observar que, conforme esperado, o elemento quadrático da equação (cadência²) contribui de forma significativa na predição de $F_{y_{\text{máx}}}$ durante a execução da corrida estacionária subaquática. Abaixo está a equação elaborada a partir dos coeficientes não padronizados expostos na Tabela 6.

$$F_{y_{\text{máx}}} = 0,331 - 3,842 \times \frac{PROF (m)}{EST(m)} + 2,105 \times DENS (g/ml) + 0,021 \times CAD (bpm) - 6,96 \times 10^{-5} \times (CAD (bpm))^2$$

Onde: *PROF* = Profundidade; *EST* = Estatura; *DENS* = Densidade corporal e *CAD* = Cadência do movimento;

Através dessa equação, é possível explicar 69% da variação de $F_{y_{\text{máx}}}$ durante a corrida estacionária em ambiente aquático. Os coeficientes padronizados (β) indicam que a variável que mais contribui para a variação de $F_{y_{\text{máx}}}$ durante a corrida estacionária no ambiente aquático é a cadência do movimento (1,610 para cadência e -1,545 para cadência²), seguida pela razão de imersão (- 0,784) que, por sua vez, é seguido pela densidade corporal (0,081). A seguir, são apresentados os resultados da análise dos resíduos deste segundo modelo (Figura 23 e 24), bem como a verificação da multicolinearidade.

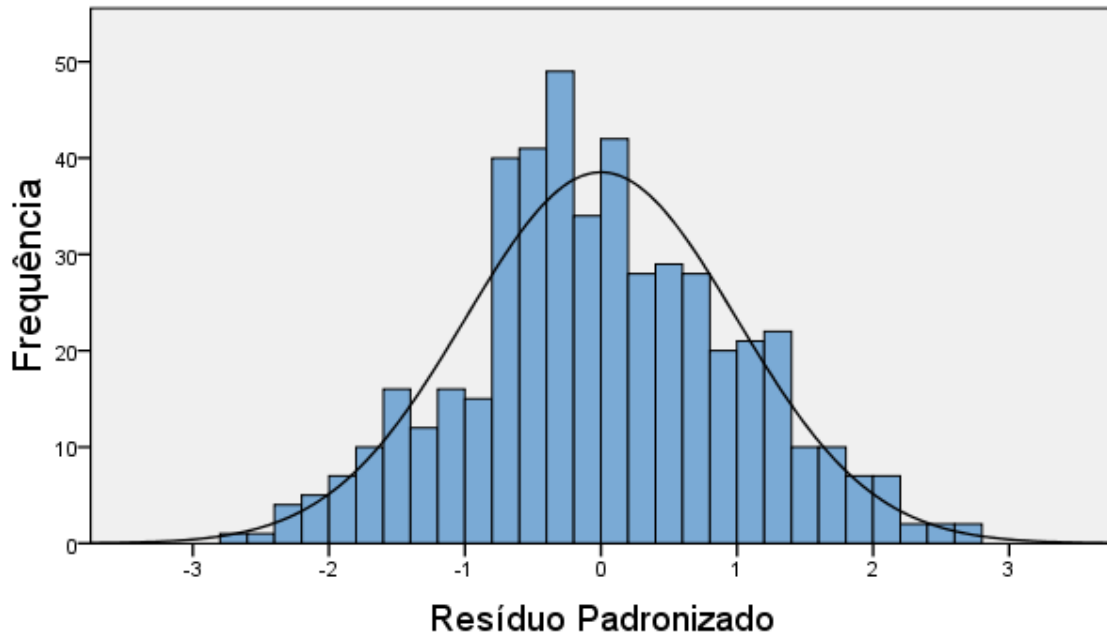


Figura 23 – Histograma: resíduo padronizado da regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $F_{y_{\text{máx}}}$ durante a corrida estacionária na água.

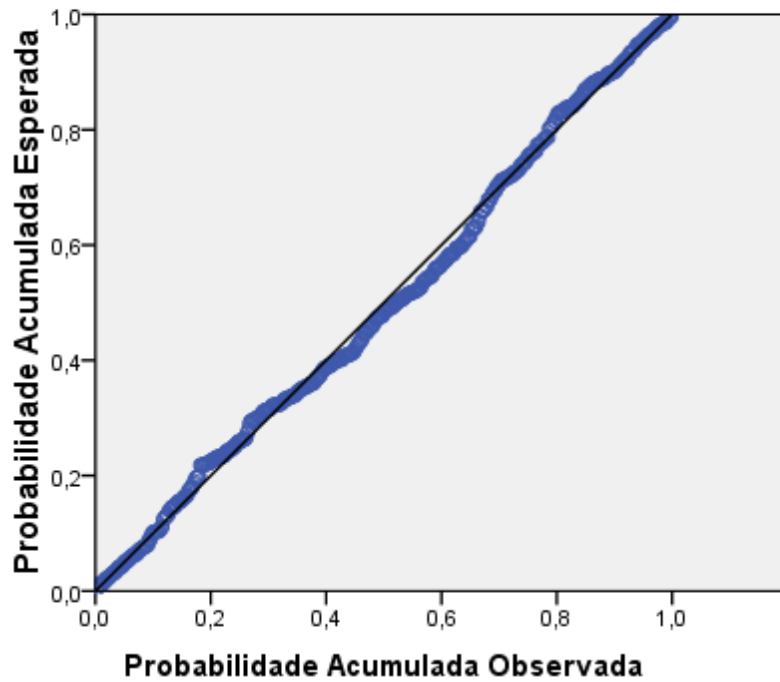


Figura 24 – Comparação entre a curva de probabilidade acumulada esperada e a curva de probabilidade acumulada observada para o resíduo padronizado da regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $F_{y_{\text{máx}}}$ durante a corrida estacionária na água.

Através da análise dos gráficos, é possível conferir a suposição da regressão múltipla de que os resíduos padronizados apresentam uma distribuição próxima da curva normal, inclusive mais próxima da normal do que o modelo anteriormente proposto. Em seguida, é apresentado o gráfico de dispersão dos resíduos padronizados em função do valor predito.

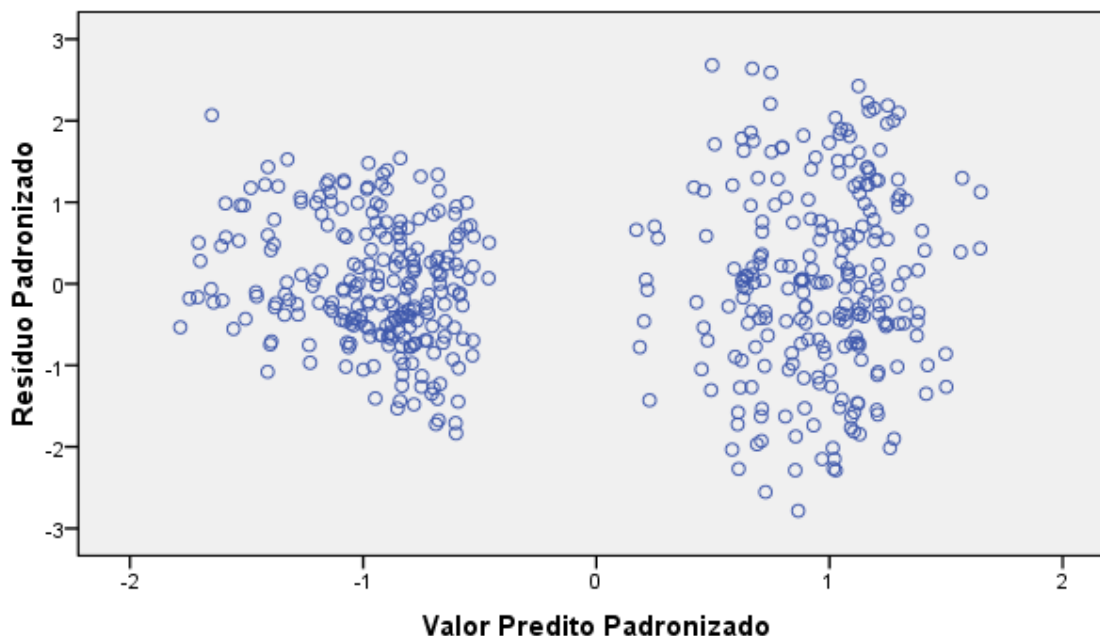


Figura 25 – Gráfico de dispersão dos Resíduos em função do valor predito na regressão linear múltipla das variáveis cadência, nível de imersão e densidade na predição de $Fy_{máx}$ durante a corrida estacionária na água.

Observando a dispersão do resíduo padronizado, podemos verificar que não foram encontrados valores discrepantes. Além disso, parece haver igualdade das variâncias dos resíduos em torno do valor predito. Os valores do índice de tolerância também encontram-se dentro do esperado (0,956 para razão de imersão; 0,999 para densidade corporal e $0,013^2$ para cadência e cadência ao quadrado).

Embora o valor de R^2 para este modelo tenha sido menor do que o proposto anteriormente (o qual incluiu o solo como um nível de imersão), acredita-se que este modelo

² Um índice de tolerância menor que $1-R^2$ já era esperado para as variáveis cadência e cadência ao quadrado, já que a correlação entre as mesmas é alta. No entanto, não houve multicolinearidade na análise pois as duas variáveis entraram no modelo ($p < 0,001$). Isso significa que, embora as variáveis estejam correlacionadas, ambas são responsáveis por parte da variabilidade de $Fy_{máx}$.

tenha um melhor poder de predição devido a menor variabilidade total do dado³. A Tabela 6 traz um resumo da comparação entre os modelos.

Tabela 6 – Comparação entre dois modelos para a predição de $Fy_{máx}$ na corrida estacionária: 1º, Modelo de predição para o ambiente aquático e terrestre. 2º, Modelo de predição exclusivo para o ambiente aquático.

Modelo	SOMA DOS QUADRADOS			R^2	RMS do Resíduo
	Regressão	Resíduo	Total		
1º	217,864	74,765	292,629	0,75	0,32 PC
2º	70,625	32,447	103,072	0,69	0,25 PC

R^2 – Coeficiente de determinação; RMS – *Root Mean Square* ou Valor Quadrático Médio.

A variabilidade total considerada no 2º modelo é quase um terço da variabilidade total analisada no 1º modelo, uma vez que os dados referentes a corrida estacionária no solo foram excluídos. Embora o primeiro modelo tenha sido capaz de explicar uma maior porção desta variabilidade total (75% contra 69% do segundo modelo); em valores absolutos, podemos perceber que o resíduo foi maior. O valor quadrático médio do resíduo foi de 0,32 PC no primeiro modelo, enquanto que, no segundo modelo, foi de 0,25 PC. Se o objetivo for obter uma melhor compreensão do fenômeno ou mesmo a inferência da intensidade de $Fy_{máx}$ para demais níveis de imersão – como, por exemplo, o nível de imersão do joelho, o 1º modelo se destaca por seu poder de determinação e abrangência. No entanto, quando se busca um modelo que possa ser utilizado na prescrição da corrida estacionária nos níveis do quadril e do xifóide, o fato do 2º modelo apresentar um menor valor quadrático médio do resíduo qualifica-o como mais adequado.

Quando comparado ao modelo desenvolvido por Hauptenthal *et al.* (2010), os modelos propostos neste estudo se sobressaem por seu poder de predição. Os autores verificaram, em um estudo exploratório a respeito da FRS na corrida subaquática com deslocamento horizontal, que um modelo baseado na velocidade (auto-selecionada, máxima e pré estabelecida) e nível de imersão (quadril e xifóide) foi capaz de responder a somente 18% da variação de $Fy_{máx}$. Não há conhecimento a respeito de outros modelos de predição de $Fy_{máx}$ em exercícios aquáticos.

³ O coeficiente de determinação de uma equação é dependente da variabilidade total dos dados, ele expressa em quanto desta variabilidade total pode ser explicada pela variabilidade da regressão.

4.4. UTILIZAÇÃO DO MODELO DE PREDIÇÃO – SIMULAÇÃO.

São apresentados na Figura 26 a média dos valores observados de $Fy_{m\acute{a}x}$, bem como a curva de predição de $Fy_{m\acute{a}x}$ do segundo modelo proposto com seus respectivos intervalos de confiança (95%) na corrida estacionária no nível de imersão do quadril e do xifóide.

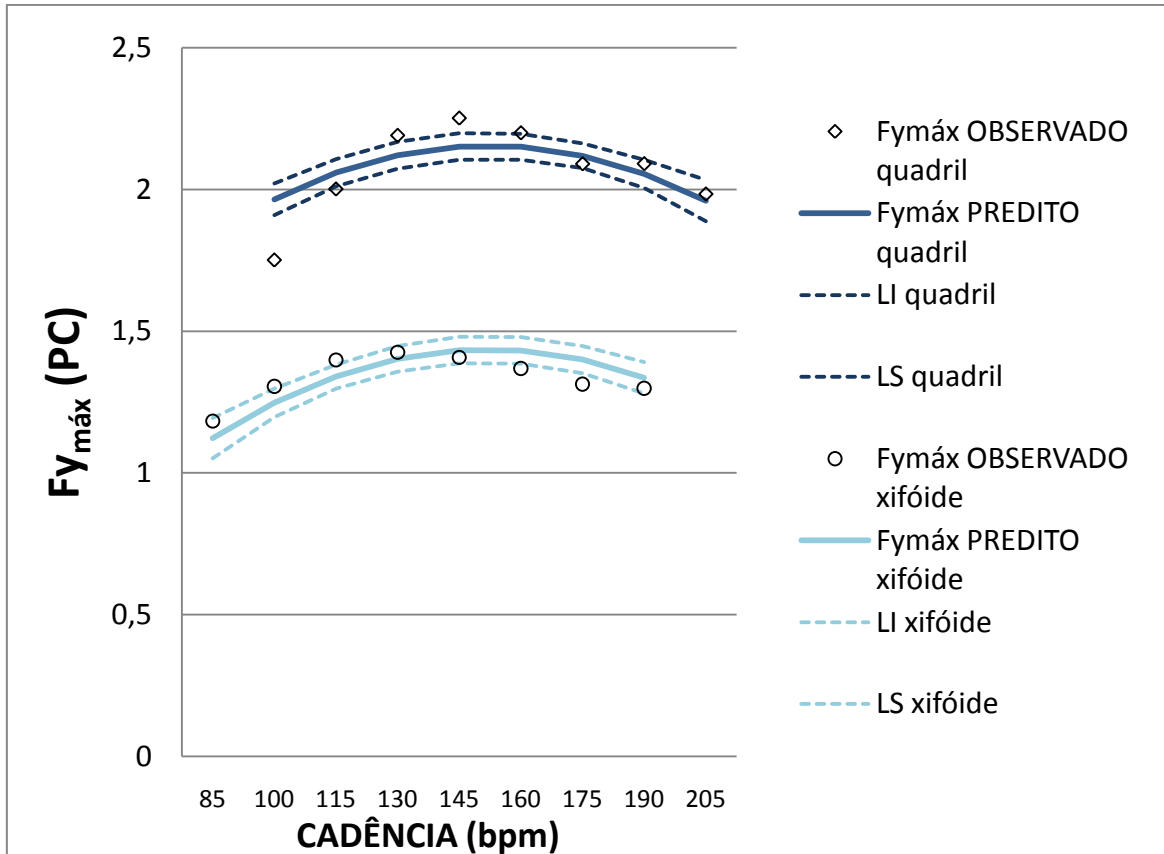


Figura 26 – Curva de predição (através da regressão múltipla) dos valores médios do pico máximo da componente vertical da FRS ($Fy_{m\acute{a}x}$) em diferentes cadências na corrida estacionária no nível do quadril e do xifóide: comparação com os valores observados. Linhas pontilhadas indicam o limite inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança (95%).

Como podemos observar, em termos de valores médios, o modelo apresentou uma predição satisfatória. Pode-se ainda verificar que o modelo apresenta-se melhor ajustado para a predição de $Fy_{m\acute{a}x}$ na corrida estacionária no nível de imersão do xifóide. Para exemplificar e testar a utilização do modelo, bem como discutir sobre suas limitações na predição individualizada, foi selecionado aleatoriamente 1 sujeito dentre os que participaram desse estudo (Tabela 7) para a realização de uma simulação. O resultado da comparação entre os valores observados e os valores preditos⁴ de $Fy_{m\acute{a}x}$ pode ser observado na Figura 27.

⁴ Comparação feita através do modelo exclusivo para o ambiente aquático, conforme segue:

Tabela 7 – Características do sujeito que participou da simulação.

	Sexo (M/F)	Idade (anos)	Massa (kg)	Estatura (m)	Xifóide (m)	Quadril (m)	Gordura (%)*	Densidade (g/ml)
Sujeito 22	F	27	56,40	1,62	1,14	0,81	23,25	1,0432

* Percentual de gordura estimado a partir da densidade através da equação de Siri (1961).

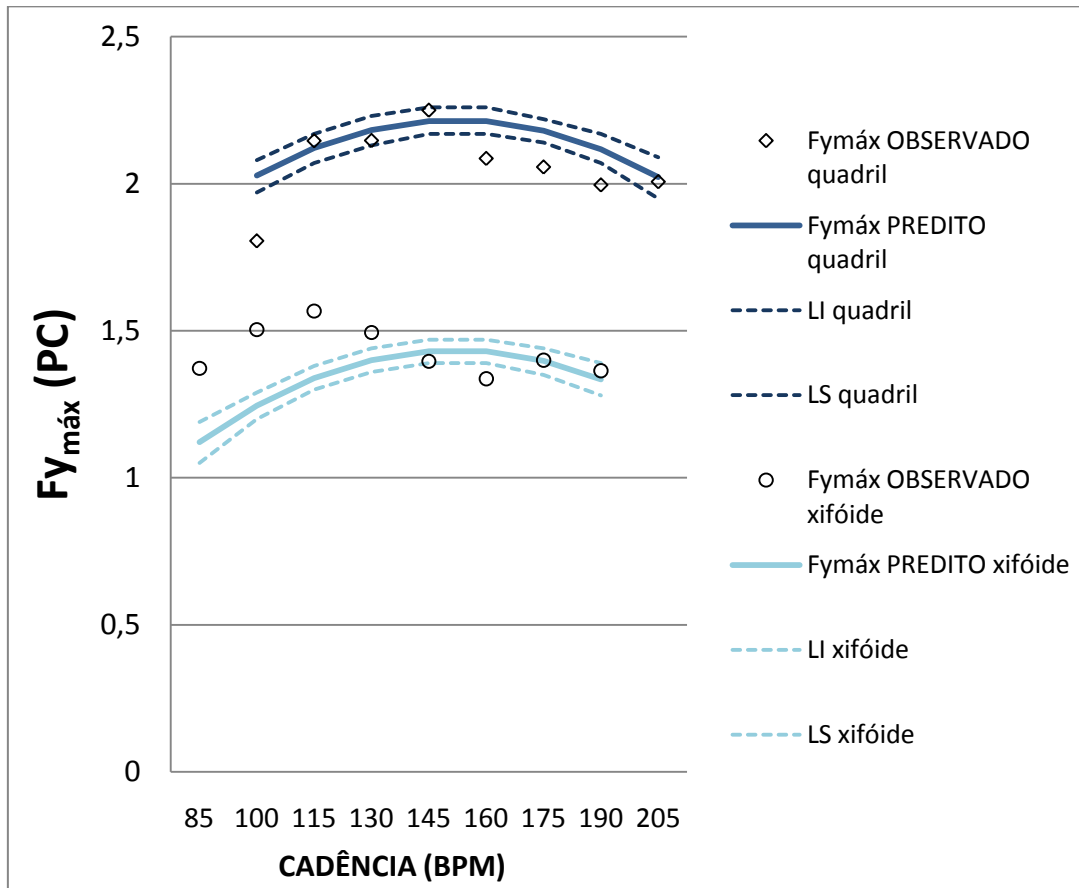


Figura 27 Curva de predição (através da regressão múltipla) do pico máximo da componente vertical da FRS ($F_{y_{máx}}$) para um sujeito em diferentes cadências na corrida estacionária no nível do quadril e do xifóide: comparação com os valores observados. Linhas pontilhadas indicam o limite inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança (95%).

Embora os modelos de predição de $F_{y_{máx}}$ desenvolvidos neste estudo tenham apresentado alto poder de predição (COHEN, 1988), deve-se ter cautela ao utilizá-lo. Através deles, é possível obter um melhor entendimento dos efeitos do nível de imersão, da cadência de execução e da densidade corporal no pico máximo da componente vertical da FRS durante a execução da corrida estacionária. No entanto, quando consideramos a predição individualizada, o modelo não deve ser o fator determinante na escolha da cadência e do nível

$F_{y_{máx}} = 0,331 - 3,842 \times (\text{PROF (m)}) / (\text{EST (m)}) + 2,105 \times (\text{DENS (g/ml)}) + 0,021 \times (\text{CAD (bpm)}) - 6,96 \times 10^{-5} \times (\text{CAD (bpm)})^2$. Onde: PROF = Profundidade; EST = Estatura; DENS = Densidade corporal e CAD = Cadência do movimento;

de imersão. Sabe-se que a diversidade do movimento humano é imensa e que as forças geradas por ele são aleatórias por natureza, variando não somente entre diferentes pessoas como também para um único indivíduo que não consegue realizar duas passadas idênticas (RACIC *et al.*, 2009). Além disso, explicar essa diversidade por meio de um modelo que seja simples o suficiente para sua manipulação na prática diária, como um modelo linear ou quadrático, torna-se uma tarefa difícil.

Considerando essas limitações, os modelos propostos nesse trabalho destacam-se por seu alto poder de predição (COHEN, 1988; HAUPENTHAL, 2008); além disso, a análise dos resíduos indica a validade dos mesmos. Acredita-se que o desenvolvimento desses modelos para predição de $Fy_{máx}$ durante a execução de exercícios aquáticos seja de grande utilidade pois o equipamento necessário para essa análise – a plataforma de força subaquática – é de alto custo, sendo pouco viável sua aplicação na rotina de clínicas e clubes esportivos. Além do alto custo envolvido, a utilização de plataformas de força e a interpretação dos dados requerem um conhecimento técnico especializado. Sendo assim, na prática diária, torna-se difícil a manipulação dessas informações pelos profissionais, os quais acabam por negligenciar ou subestimar a necessidade de controlar a FRS durante a execução de um exercício em ambiente aquático. Acredita-se, portanto, que o modelo de predição de $Fy_{máx}$ possa oferecer uma maior fundamentação para a prescrição individualizada da corrida estacionária na água.

Sendo assim, o modelo de predição proposto pode e deve ser utilizado como uma ferramenta norteadora na escolha do nível de imersão e da cadência na corrida estacionária, no entanto, uma vez que 31% da variabilidade total não pode ser explicada por este modelo, o mesmo não deve ser utilizado de forma isolada e, sim, combinado a uma avaliação do feedback e sinais apresentados pelo paciente/aluno.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou o pico máximo da componente vertical ($F_{y_{máx}}$) da força de reação do solo na corrida estacionária em cadências máximas e sub-máximas no ambiente aquático e terrestre. O efeito da imersão (solo, nível de imersão do quadril e nível do xifóide), bem como da cadência do movimento e da densidade corporal foram analisados.

A cadência máxima ($Cad_{máx}$) atingida foi significativamente maior no solo, seguido pelo nível de imersão do quadril e xifóide respectivamente.

Tanto o nível de imersão, quanto a cadência do movimento e a densidade corporal dos sujeitos apresentaram um efeito significativo sobre $F_{y_{máx}}$ o que confirma a importância de controlar esses fatores na prescrição da corrida estacionária.

Embora os valores de $F_{y_{máx}}$ tenham sido maiores no solo independentemente da cadência de movimento utilizada, houve uma interação significativa entre o nível de imersão e a cadência do movimento: no solo, o aumento da cadência aumentou a intensidade de $F_{y_{máx}}$ de forma próxima à linear; no entanto, no nível de imersão do quadril e do xifóide esse aumento de $F_{y_{máx}}$ atingiu um limiar, a partir do qual os valores de $F_{y_{máx}}$ foram reduzidos. Em relação ao efeito da densidade corporal, observou-se que sujeitos menos densos apresentam menor intensidade de $F_{y_{máx}}$.

Quando analisadas conjuntamente em um modelo de predição, as variáveis nível de imersão, cadência do movimento e densidade corporal são capazes de explicar 75% da variabilidade de $F_{y_{máx}}$ na corrida estacionária em ambiente aquático e terrestre. A variável que mais contribui para este poder de determinação é o nível de imersão, seguido pela cadência do movimento e, por último, pela densidade corporal. Já que o efeito da cadência foi diferente entre os ambientes aquáticos e terrestres, um segundo modelo de predição de $F_{y_{máx}}$ exclusivo para uso na água foi proposto. Esse modelo foi capaz de explicar 69 % da variabilidade de $F_{y_{máx}}$ no ambiente aquático, sendo a cadência do movimento a variável que mais contribuiu para esse poder de determinação. Embora, o segundo modelo tenha sido capaz de explicar uma menor porcentagem da variabilidade total, ele apresentou menores resíduos sendo, então,

mais adequado para o uso na predição de $F_{y_{máx}}$ durante a corrida estacionária em ambiente aquático.

Esse estudo contribui para uma melhor fundamentação da prescrição da corrida estacionária e fornece informações que podem ajudar os profissionais que prescrevem exercícios aquáticos a compreender o efeito de diferentes níveis de imersão, diferentes cadências de movimento e da densidade corporal do sujeito na corrida estacionária. Os modelos criados são válidos para a predição de $F_{y_{máx}}$ e devem ser utilizados como uma ferramenta norteadora na escolha do nível de imersão e da cadência do movimento.

Para dar continuidade a este trabalho, sugere-se: (1) analisar uma maior variação de níveis de imersão; (2) utilizar outros métodos de medição, como a cinemetria e a eletromiografia, com o objetivo de compreender melhor as características cinemáticas e o perfil da ativação muscular na água e (3) analisar concomitantemente variáveis fisiológicas a fim de verificar se a relação entre a carga fisiológica e a mecânica na corrida estacionária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTON, C. L. *et al.* Cardiorespiratory responses to stationary running at different cadences in water and on land. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. v. 49, n. 2, p. 142-151, 2009.

ALBERTON, C. L. *et al.* Correlation between rating of perceived exertion and physiological variables during the execution of stationary running in water at different cadences. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 2010; in press.

ALBERTON, C. L. **Respostas cardiorrespiratórias e neuromusculares da corrida estacionária em diferentes cadências nos meios aquático e terrestre**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Movimento Humano da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007.

ALEXANDER, R. M. Modelling approaches in biomechanics. **Philosophical Transactions of the Royal Society Lond Biological Sciences**; v. 358, n. 1437, p.1429-1435, 2003.

AMADIO, C. A.; DUARTE, M. **Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano**. São Paulo: Laboratório de Biomecânica EEFUSP, 1996.

ANDREWS, J. R.; HARRELSON, G. L.; WILK, K. E. **Reabilitação física das lesões desportivas**. 2 ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2000.

AUDU, M. L.; KIRSCH, R. F.; TRIOLO, R. J. Experimental verification of a computational technique for determining ground reactions in human bipedal stance. **Journal of Biomechanics**, v. 40, n. 40, p. 1115–1124, 2007.

AY, A.; YURTKURAN, M. Influence of aquatic and weight-bearing exercises on quantitative ultrasound variables in postmenopausal women. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**. v. 84, n. 1, p. 52-61. 2005.

BARBOSA, T. M.; GARRIDO, M. F.; BRAGADA, J. Physiological adaptations to head-out aquatic exercises with different levels of body immersion **Journal of Strength and Conditioning Research**. v. 21, n. 4, p. 1255-1259, 2007.

BARELA, A. M. F., STOLF, S. F., DUARTE, M. Biomechanical characteristics of adults walking in shallow water and on land. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. v. 16, n. 3, p. 250-256, jun. 2006.

BATES, A.; HANSON, N. **Exercícios aquáticos terapêuticos**. São Paulo: Manole, 1998.

BECKER, B. E. Aquatic therapy: scientific foundations and clinical rehabilitation applications. **PM&R**, v. 1, n. 9, p. 859-872, 2009.

BRAVO, G.; GAUTHIER, P.; ROY, P.M.; PAYETTE, H.; GAULIN, P. A weight-bearing, water-based exercise program for osteopenic women: its impact on bone, functional fitness, and well-being. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. v. 78, p. 1375-1380, 1997

BRITO, R. N.; FONSECA, J. C. P.; ROESLER, H.; SANTOS, G. M. Comparação da componente vertical da força de reação do solo dentro e fora da água utilizando plataformas de força subaquáticas. In: CONGRESSO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E CIÊNCIAS DO

ESPORTE DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 8., 2000, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: Desporto, Educação e Saúde, 2000. p. 302.

BRITO, R. N.; HAUPENTHAL, A.; SCHÜTZ, G. R.; FONTANA, H. B.; ROESLER, H. Análise da componente vertical da força de reação do solo no salto vertical em ambiente aquático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 12., 2007, São Pedro, SP. **Anais...** São Paulo: TEC-ART, 2007. p. 25-30.

BRITO, R. N.; ROESLER, H.; HAUPENTHAL, A.; SOUZA, P. V. Análise comparativa da marcha humana em solo à subaquática em dois níveis de imersão: joelho e quadril. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 8, n. 1, pp 7-12, 2004.

BROWNING, R.C.; KRAM, R.,. Effects of obesity on the biomechanics of walking at different speeds. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 39, n. 9, p. 1632–41, 2007.

BROWNING, R.C.; MCGOWAN, C.P; KRAM, R.. Obesity does not increase external mechanical work per kilogram body mass during walking. **Journal of Biomechanics**. v. 42, p. 2273–8, 2009.

CAMPION, M. R. **Hidroterapia: princípios e prática**. São Paulo: Manole, 2000.

CAMPOS, M. H. **Aspectos biomecânicos do andar e do correr em meio aquático**. São Paulo: Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

CARNEIRO, L. C.; FONTES, B. Z.; HAUPENTHAL, A; SOUZA, P. V.; SCHÜTZ, G. R.; SOUZA, R. C. P.; ROESLER, H. Marcha en el medio terrestre y en el medio acuático en niños con secuelas de mielomeningocele. **Revista de Neurología**. v. 44, p. 507-509. 2007.

CHEVUTSCHI, A.; ALBERTY, M.; LENSEL, G.; PARDESSUS, V.; & THEVENON, A. Comparison of maximal and spontaneous speeds during walking on dry land and water. **Gait and Posture**, v. 29, p. 403-7, 2009.

CHRIS M.; MATTHEW T. G.; PAIN M. The influence of simulation model complexity on the estimation of internal loading in gymnastics landings. **Journal of Biomechanics**, v. 41, n. 3, p. 620–628, 2008.

CHRISTIE J.L.; SHELDAHL L. M.; TRISTANI F. E.; *et al.* Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise. **Journal of Applied Physiology**. v. 69, p. 657–664, 1990.

CHU, K. S.; RHODES, E. C. Physiological and cardiovascular changes associated with deep water running in the young: possible implications for the elderly. **Sports Medicine**. v. 31, n. 1, p. 33-46. 2001.

CHU, K.; ENG, J.; DAWSON, A.; HARRIS, J.; OZKAPLAN, A.; GYLFADOTTIR, S. Water based exercise for cardiovascular fitness in people with chronic stroke: a randomized controlled trial. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. v. 85, n. 6, p. 870-874. 2004.

COHEN, J. **Statistical power and analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.

COLADO, J. *et al.* Two-leg squat jumps in water: an effective alternative to dry land jumps. **International Journal of Sports Medicine**. v. 31, n. 2, p. 118-122, 2010.

CONTI, A.; ROSPONI, A.; DAPRETTO, L.; MAGINI, V.; FELICI, F. Cardiac and Metabolic demands of in place shallow water running in trained and untrained men. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 48, n. 2, p. 183-189, 2008.

DE CARLI, A. *et al.* New Therapeutic Approaches for Management of Sport-Induced Muscle Strains **Advances in Therapy**, v. 26, n. 12, p. 1072-1083, 2009.

DEVEREUX, K, ROBERTSON, D.; BRIFFA, N. K. Effects of a water-based program on women 65 years and over: a randomized controlled trial. **Australian Journal of Physiotherapy**. v. 51, n. 2, p 102-108. 2005.

DOWZER, C.N.; REILLY, T.; CABLE, N.T. Effects of deep and shallow water running on spinal shrinkage. **British Journal of Sports and Medicine**, v. 32, p. 44-48, 1998

DUARTE, M. **Princípios físicos da interação entre ser humano e ambiente aquático**. São Paulo: Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DULCY, F. **Benefits of aquatic therapy: Part I**. American Exercise Association, AKWA Newsletter, November, 1988 apud BATES, A & HANSON, N. Exercícios aquáticos terapêuticos. São Paulo: Manole, 1998.

ERVILHA U. F.; DUARTE M.; AMADIO A. C.; Padrão do sinal eletromiográfico de músculos do membro inferior e cinemática do joelho durante o andar em ambiente aquático e terrestre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 9., 2001, Gramado. **Anais...** Gramado: UFRGS, 2001. 290-4.

FOLEY, A.; HALBERT, J.; HEWITT, T.; CROTTY, M. Does hydrotherapy improve strength and physical function in patients with osteoarthritis—a randomised controlled trial

comparing a gym based and a hydrotherapy based strengthening programme **Annals of the Rheumatic Diseases**, v. 62, p. 1162–1167, 2003.

FONG, D. *et al.* Estimating the complete ground reaction forces with pressure insoles in walking. **Journal of Biomechanics**, v. 41, n. 11, p. 2597–601, ago. 2008.

FONTANA, H.B. *et al.* Effect of Gender, Cadence and Water Immersion on Ground Reaction Forces during Stationary Running. Artigo sob avaliação de periódico. s/d.

FONTANA, H. B.; HAUPENTHAL, A.; HUBERT, M.; CERUTTI, P. R.; ROESLER, H. Determination of sampling rate and number of executions for data collection in underwater running analysis. **The FIEP Bulletin**. v. 78, p. 103-106. 2008.

FONTANA, H. B. Comparison of ground reaction forces between in-place running and forward running at two levels of immersion. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, *no prelo*.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GRIFFIN, M.J. The validation of biodynamic models. **Clinical Biomechanics (Bristol)**. v. 16, n. S1, p. 81-92, 2001.

HALL J. *et al.* Cardiorespiratory responses to underwater treadmill walking in healthy females. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**. v. 77, n. 3, p. 278–284, fev. 1998.

HARRISON, R., HILLMANN, M. e BULSTRODE, S. Loading of the lower limb when walking partially immersed. **Physiotherapy**. v.78, n. 3, p. 164-166, 1992.

HARRISON, R.; BULSTRODE, S. Percentage weight bearing during partial immersion in the hydrotherapy pool. **Physiotherapy Practice**. v. 3, n. 2, p. 60-63, 1987.

HAUPENTHAL, A. **Análise da força de reação do solo na corrida subaquática de adultos**. 2008. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

HAUPENTHAL, A.; RUSCHEL, C.; HUBERT, M.; FONTANA, H.B.; ROESLER, H. Loading forces in shallow water running at two levels of immersion. **Journal of Rehabilitation and Medicine**, v. 42, p. 664-669, 2010.

KANEDA, K.; YASHI, W. H.; SATO, D. ; NOMURA, T. Lower Extremity Muscle Activity during Different Types and Speeds of Underwater Movement. **Journal of Physiology and Anthropology**, v. 26, pp 197–200. 2007

KELLY, B. T.; ROSKIN, L. A.; KIRKENDALL, D. T. ; SPEER, K. P. Shoulder muscle activation during aquatic land exercises in on impaired subjects. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 30, n.4, pp 204-210, 2000.

KIM, E.; KIM, T.; KANG, H.; LEE, J.; CHILDERS, M. K. Aquatic versus land-based exercises as early functional rehabilitation for elite athletes with acute lower extremity ligament injury: A pilot study. **PM&R**, v. 2, n. 8, p. 703-712, 2010.

KONLIAN, C. Aquatic therapy: making a wave in the treatment of low back injuries. **Orthopaedic Nursing**. v. 18, n. 1, p. 11-20. 1999.

KOSONEN, T.; MÄLKIÄ, E.; KESKINEN, K. L.; KESKINEN, O. P. Cardiorespiratory responses to basic aquatic exercise – A pilot study. **Advances in Physiotherapy**, v. 8, n. 2, p. 75-8, 2006.

KRUEL, L. F. M.; ÁVILA, A. O. V.; SILVA, J. H. S. da; SAMPEDRO, R. M. F. Peso hidrostático em pessoas submetidas a diferentes profundidades de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 6., 1995, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: Universidade Católica de Brasília, 1995. p. 197-205.

KUORI, J. M. **Programa de fisioterapia aquática: um guia para a reabilitação ortopédica.** São Paulo: Manole, 2000.

LEECH, N.; BARRETT, K.; MORGAN, G.A. **SPSS for Intermediate Statistics: Use and Interpretation.** Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, 2005

LIM, J.; TCHAI, E.; SOONG-NANG, J. Effectiveness of Aquatic Exercise for Obese Patients with Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial. **PM&R**, v. 2, n. 2, p 723-731, 2010.

MASUMOTO, K.; MERCER, J. A. Biomechanics of human locomotion in water: an electromyographic analysis. **Exercise and Sport Sciences Reviews.** v. 36, n. 3, p. 160-169. 2008.

MASUMOTO, K.; TAKASUGI, S.; HOTTA, N.; FUJISHIMA, K.; IWAMOTO, Y. Electromyographic analysis of walking in water in healthy humans. **Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science.** v. 23, p. 119–127, 2004.

MEREDITH-JONES, K.; LEGGE, M.; JONES, L.M.. Circuit based deep water running improves cardiovascular fitness, strength and abdominal obesity in older, overweight women. **Medicina Sportiva**, v.13, n.1, p. 5-12, 2009.

MIYOSHI, T. *et al.* Functional roles of lower-limb joint moments while walking in water. **Clinical Biomechanics**, v. 20, n.2, p. 194–201, fev. 2005.

MIYOSHI, T. *et al.* Lower limb joint moment during walking in water. **Disability & Rehabilitation**, v. 25, n. 21, p. 1219-1223, nov. 2003.

NAKAZAWA,K.; YANO,H. ; MIYASHITA,M. Ground reaction forces during walking in water. **Medicine and Science in Aquatic Sports**, v.39, p.28-34, 1994.

NIGG, B. M. ; HERZOG, W. **Biomechanics of the musculo-skeletal system**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.

NOVACHECK, T. F. Biomechanics of running. **Gait & Posture**. v. 7, pp 77-95, 1998.

O'NEILL, D. F. Return to function through aquatic therapy. **Athletic Therapy Today**. v. 5, n. 2, p. 14-16. 2000.

ODA, S. *et al.* Relaxation effects in humans of underwater exercise of moderate intensity. **European Journal of Applied Physiology**, v. 80, n. 4, p. 253-259, set. 1999.

PETRICK, M.; PAULSEN, T. ; GEORGE, J. A comparison between quadriceps muscle strengthening on land and in water. **Physiotherapy**, v. 87, n. 6, pp 310-317, 2001

POLLOCK, M. L.; WILMORE, J. H. **Exercícios na saúde e na doença: avaliação e prescrição para prevenção e reabilitação**. 2. ed. Rio de Janeiro: MEDSI, 1993.

JACKSON, A.L.; POLLOCK, M.L.. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497-504, nov. 1978.

JACKSON, A.L.; POLLOCK, M.L.; WARD, A. Generalized equations for predicting body density of women. **Medicine Science in Sports Exercise**. v. 12, p. 175-182, 1980.

POYHONEN, T.; KESKINEN, K. L.; HAUTALA, A.; MALKIA, E.. Determination of hydrodynamic drag forces and drag coefficients on human leg/foot model during knee exercise. **Clinical Biomechanics**, v. 15, n. 4, p.256-60, 2000.

POYHONEN , T. *et al.* Neuromuscular function during therapeutic knee exercise under water and on dry land. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 82, n.10, p. 1446-1452, out. 2001.

POYHONEN, T. *et al.* Electromyographic and kinematic analysis of therapeutic knee exercises under water. **Clinical Biomechanics**. v. 16, n. 6, p. 496-504, jul. 2001b.

RACIC, V.; PAVIC, A.; BROWNJOHN, J.M.W.. Experimental identification and analytical modeling of human walking forces: literature review. **Journal of Sound and Vibration**. v. 326, n.1-2, p.1-49, 2009.

REILLY, T.; DOWZER, C. N.; CABLE, N. T. The physiology of deep-water running. **Journal of Sports Sciences**. v. 21, p. 959-972. 2003.

ROBINSON, L.; DEVOR, S.; MERRICK, M.; BUCKWORTH, J. The effects of land vs aquatic plyometrics on power, torque, velocity and muscle soreness in women. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v. 18, p. 84-91, 2004.

ROESLER, H. **Desenvolvimento de plataforma subaquática para medições de forças e momentos nos três eixos coordenados para utilização em Biomecânica**. 1997. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROESLER, H. *et al.* Análise biomecânica subaquática da marcha humana em ambos os sexos e diferentes grupos etários em diferentes níveis de imersão. In: SEMINÁRIO DE

INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 8., Lages. **Anais...** Lages: UDESC, 2003.

ROESLER, H.; HAUPENTHAL, A.; SCHÜTZ, G. R.; SOUZA, P. V. de. Dynamometric analysis of the maximum force applied in aquatic human gait at 1.3 m of immersion. **Gait & Posture**. v. 24, p. 412-417, 2006

ROSE, J.; GAMBLE, J. G. **Marcha humana**. 2 ed. São Paulo: Premier, 1998.

RUDIO, F. V. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. Petrópolis: Vozes, 2000.

RUOTI, R. C.; TROUP, J. T.; BERGER, R. A. 1994. The effects of non-swimming water exercises on older adults. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 19, n.3, p. 140-145, 1994.

RUOTI, R. G., MORRIS, D. M.; COLE, A. J. **Reabilitação aquática**. São Paulo: Manole, 2000.

RUSCHEL **Análise da componente vertical da força de reação do solo em diferentes tipos de salto vertical de adultos nos ambientes aquático e terrestre**. 2009. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, C. A. dos. **Natação: ensino e aprendizagem**. Rio de Janeiro: Sprint, 1996.

SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density. In: BROZEK, J.; HENSCHER, A., editores. **Techniques for measuring body composition**. Washington, DC: National Academy of Science; 1961. p. 223-244.

SCHUTZ, G. R.; ROESLER, H.; PEREIRA, S. M.; BRITO, R. N. Determinação de protocolo para a aquisição de dados da marcha humana em ambiente aquático. **Anais XII Seminário de Iniciação Científica da Universidade do Estado de Santa Catarina**, Joinville, 2002.

SHELDAHL, L. M. Special ergometric techniques and weight reduction. **Medicine Science of Sports and Exercise**. Hagerstown, v. 18, p. 25-30. 1986.

SHIMIZU T.; KOSAKA M.; FUJISHIMA K. Human thermoregulatory responses during prolonged walking in water at 25, 30 and 35°C. **European Journal of Applied Physiology**. v. 78, p. 473-478, 1998.

SHONO, T.; FUJISHIMA, K.; HOTTA, N.; OGAKI, T.; MASUMOTO, K. Cardiorespiratory response to low-intensity walking in water and on land in elderly women. **Journal of Physiology Anthropology and Applied Human Science**. v. 20, p. 269-274, 2001.

SILVA FILHO, J. R.; FERNANDES, J. R. P.; LOBO DA COSTA, P. H. Estudo comparativo entre a corrida em esteira e a corrida aquática em duas profundidades diferentes. **Revista Brasileira de Educação Física e Esportes**, v.19, n.3, p.243-54, 2005

SILVA, L. E. *ET AL.* Hydrotherapy Versus Conventional Land-Based Exercise for the Management of Patients With Osteoarthritis of the Knee: A Randomized Clinical Trial. **Physical Therapy**, v. 88, p. 12-21, 2008.

SIMMONS, V.; HANSEN, P. D. Effectiveness of water exercise on postural mobility in the well elderly: an experimental study on balance enhancement. **Journals of Gerontology, Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**. v. 51, n. 5, p. 233-238. 1996.

SKINNER, A. T.; THOMSON, A. M. **Duffield: exercícios na água**. 3. ed. São Paulo: Manole, 1985.

SOUZA, P. V. **Análise biomecânica da marcha de crianças em ambiente aquático**. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, P.V.; SHUTZ, G.R.; HAUPENTHAL, A. ; ROESLER, H. Biomechanical analysis of the force applied in aquatic gait of humans immersed at the sternum level. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS CONGRESS, 20., 2005, Cleveland, OH. **Proceedings...** Cleveland: International Society of Biomechanics, 2005. p. 233.

STANSFIELD, B.W.; HILLMAN, S.J.; HAZLEWOOD, M.E.; ROBB, J.E. Regression analysis of gait parameters with speed in normal children walking at self-selected speeds. **Gait and Posture**. v. 23, p. 288-94, 2006

TAKAHASHI, J.; ISHIHARA, K.; AOKI, E. Effect of aqua exercise on recovery of lower limb muscles after downhill running. **Journal of Sports Sciences**. v. 24, n. 8, p. 835 – 842, 2006.

TAKESHIMA, N. *et al.* Water-based exercise improves health related aspects of fitness in older women. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 34, n. 3, p.544-551, 2002.

TARTARUGA, L. A. P.; TARTARUGA M. P.; LARRONDA A. C. C. ; KRUEL L. F. M. Comparação cinemática entre corrida em esteira rolante e corrida em piscina funda **Lecturas Educacion Fisica y Deportes**, v. 10, n. 79 – 2004.

THEIN, J. M.; BRODY L. T. Aquatic-based rehabilitation and training for the shoulder. **Journal of Athletic Training**, v. 35, n. 3, p. 382-389, 2000.

THEIN, J. M.; BRODY, L. T. Aquatic-based rehabilitation and training for the elite athlete. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 27, n. 1, p. 32-41, 1998.

TIPLER, P. A. **Física para cientistas e engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

TRIPLETT, N.T. *et al.* Concentric and impact forces of single-leg jumps in an aquatic environment versus on land. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 41, n. 9, p. 1790-1796, 2009.

WANG, T.J.; BELZA, B.; THOMPSON, F.E.; WHITNEY, J.D. ; BENNETT, K. Effects of aquatic exercise on flexibility, strength and aerobic fitness in adults with osteoarthritis of the hip or knee. **Journal of Advanced Nursing**. v. 57, n. 2, p 141–152, 2006.

YAMAMOTO, S.; YANO, H.; NAKAZAWA, K. Lower limb kinematics during walking in water. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS CONGRESS, 15., 1995, Jyväskylä, Finland. **Proceedings...** Jyväskylä, Finland: International Society of Biomechanics, 1995.

YANO, H.; NAKAZAWA, K.; YAMAMOTO, S. Activation patterns of human ankle muscles during walking in water. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS CONGRESS, 15., 1995, Jyväskylä, Finland. **Proceedings...** Jyväskylä, Finland: International Society of Biomechanics, 1995.

YOUNG, A. J.; SAWKA, M. N.; LEVINE, L.; *et al.* Metabolic and thermal adaptations from endurance training in hot or cold water. **Journal of Applied Physiology** v. 78, p. 793–801, 1995.

ZATSIORSKY, V. M. **Biomecânica no Esporte: Performance do Desempenho e Prevenção de Lesão**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE I – Formulário de medidas antropométricas

APÊNDICE II – Tabela descritiva dos dados

ANPÊNDICE I

FORMULÁRIO DE MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS
Nome: _____
Data de Nascimento: / / Idade: _____ anos
Sexo: () Masculino () Feminino
Telefone para contato: _____

ANTROPOMETRIA (para uso do pesquisador)	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="checkbox"/>
Massa: _____ kg	
Estatura: _____ cm	
Altura solo-processo xifóide: _____ cm	
Altura solo-trocânter maior do fêmur: _____ cm	

DOBRAS CUTÂNEAS	
HOMENS <small>(Pollock e Jackson, 1978)</small>	MULHERES <small>(Pollock, Jackson e Ward, 1980)</small>
Tórax: _____ mm	Tricipital: _____ mm
_____ mm	: _____ mm
_____ mm	_____ mm
Abdominal: _____ mm	Coxa: _____ mm
_____ mm	_____ mm
_____ mm	_____ mm
Coxa: _____ mm	Suprailíaca (a): _____ mm
_____ mm	_____ mm
_____ mm	_____ mm

APÊNDICE II

Tabela 8 – Tabela descritiva do pico máximo da componente vertical ($F_{y_{\max}}$) da força de reação do solo em peso corporal (PC). Valores referentes a corrida estacionária executada por 3 grupos de sujeitos (1/3 mais denso, referências e 1/3 menos denso) em oito cadências distintas em cada nível de imersão (solo, quadril e xifóide)

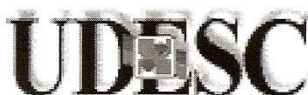
NÍVEL	DENSIDADE*	CADÊNCIAS (BPM)									
		85	100	115	130	145	160	175	190	205	220
SOLO	1/3 Menos denso	–	–	2,12 (0,18)	2,20 (0,15)	2,29 (0,12)	2,42 (0,12)	2,49 (0,12)	2,55 (0,16)	2,59 (0,17)	2,67 (0,22)
	1/3 Médio	–	–	2,52 (0,23)	2,55 (0,24)	2,60 (0,25)	2,73 (0,29)	2,90 (0,33)	2,98 (0,32)	3,06 (0,32)	3,02 (0,29)
	1/3 Mais denso	–	–	2,56 (0,16)	2,62 (0,21)	2,64 (0,32)	2,84 (0,24)	2,92 (0,31)	2,99 (0,26)	3,06 (0,24)	3,06 (0,29)
QUADRIL	“1/3 Menos denso”	–	1,62 (0,20)	1,93 (0,27)	2,06 (0,23)	2,02 (0,19)	1,98 (0,26)	1,94 (0,25)	1,95 (0,27)	1,81 (0,17)	–
	“1/3 Médio”	–	1,81 (0,33)	2,06 (0,38)	2,21 (0,36)	2,27 (0,30)	2,28 (0,36)	2,16 (0,38)	2,22 (0,34)	2,10 (0,29)	–
	“1/3 Mais denso”	–	1,83 (0,22)	2,08 (0,23)	2,25 (0,21)	2,31 (0,18)	2,35 (0,25)	2,18 (0,19)	2,23 (0,18)	2,06 (0,25)	–
XIFÓIDE	“1/3 Menos denso”	1,09 (0,13)	1,25 (0,14)	1,34 (0,16)	1,38 (0,14)	1,34 (0,12)	1,31 (0,10)	1,26 (0,12)	1,25 (0,22)	–	–
	“1/3 Médio”	1,21 (0,22)	1,31 (0,21)	1,38 (0,18)	1,39 (0,24)	1,48 (0,24)	1,37 (0,21)	1,32 (0,22)	1,39 (0,23)	–	–
	“1/3 Mais denso”	1,26 (0,23)	1,36 (0,19)	1,51 (0,22)	1,52 (0,24)	1,41 (0,31)	1,45 (0,23)	1,39 (0,31)	1,35 (0,24)	–	–

* Sujeitos desse estudo foram divididos em três grupos de acordo com o percentil 33,3% da distribuição da densidade.

ANEXOS

ANEXO A – Carta de aprovação do estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisas em Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina

ANEXO B – Termo de consentimento livre e esclarecido

ANEXO A

*UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS*

Florianópolis, 16 de maio de 2008

Nº. de Referência 52/2008

à Pesquisador **Prof. Helio Roesler**

Prezados Senhores,

Analisamos o projeto de pesquisa intitulado “**Análise biomecânica como subsídio para a prescrição de exercícios aquáticos.**” enviado previamente por V. S.^a. Desta forma, vimos por meio desta, comunicar que o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos tem como resultado à **Aprovação** do referido projeto.

Este Comitê de Ética em Pesquisa segue as Normas e Diretrizes Regulamentadoras da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos – Resolução CNS 196/96, criado para defender os interesses dos sujeitos da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos.


Gostaria de salientar que quaisquer alterações do procedimento e metodologia que houver durante a realização do projeto em questão e, que envolva os indivíduos participantes, deverão ser informadas imediatamente ao Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos.

Duas vias do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido deverão ser assinadas pelo indivíduo pesquisado ou seu representante legal. Uma cópia deverá ser entregue ao indivíduo pesquisado e a outra deverá ser mantida pelos pesquisadores por um período de até cinco anos, sob sigilo.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Rudney da Silva
Presidente do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – UDESC

ANEXO B

	<p>UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PROPPG</p> <p>COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS - CEPESH</p>
---	---

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Projeto: **Análise biomecânica como subsídio para a prescrição de exercícios aquáticos**

O(a) senhor(a) está sendo convidado(a) a participar de um estudo no qual será avaliado por uma equipe de pesquisadores do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte da Universidade do Estado de Santa Catarina. O estudo tem por objetivo analisar o impacto sofrido durante a execução da corrida estacionária. A data e o horário para a avaliação serão previamente marcados.

No dia da avaliação, você precisará disponibilizar cerca de 10 (dez) minutos para a realização de algumas medidas: (a) estatura, com a utilização de uma fita métrica; (b) massa, com a utilização de uma balança digital; e (c) dobras cutâneas, com a utilização de um plicômetro, para então ser calculada a sua densidade corporal. Essas medições serão realizadas no Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática.

Após as medições iniciais, o movimento será demonstrado e as devidas instruções sobre sua execução serão dadas. Você será solicitado a realizar a corrida estacionária em 3 (três) situações distintas: no solo, na piscina imerso até o nível do quadril e na piscina imerso até o nível do peito. Em cada uma dessas situações, a corrida estacionária será executada por 40 (quarenta) segundos em 9 (nove) cadências diferentes – 8 (oito) pré estabelecidas e 1 (uma) máxima. A ordem dos exercícios será determinada por sorteio e, entre as execuções, será respeitado um intervalo para descanso. Os exercícios deverão ser realizados sobre uma plataforma de força, que estará acoplada a uma moldura de madeira. No total, a coleta de dados durará cerca de uma hora. Não é obrigatório realizar todos os exercícios e, caso queira, você poderá se retirar do estudo a qualquer momento.

Para participar do estudo você deverá vestir roupa adequada para uso dentro da água.. A superfície sobre a qual você realizará os exercícios é recoberta por um piso antiderrapante, para evitar escorregões e quedas. Além disso, a temperatura da água da piscina será controlada para garantir seu conforto.

Todas as informações sobre você são sigilosas. Os riscos desses procedimentos serão mínimos, pois envolvem apenas medições não-invasivas. Novamente, vale lembrar que você poderá se retirar do estudo a qualquer momento.

A sua participação contribuirá para o estudo das componentes da força de reação do solo durante a execução da corrida estacionária, exercício realizado em aulas de hidroginástica e em sessões de hidroterapia. As informações relativas à quantidade de carga que será suportada pelo indivíduo quando da realização de diferentes tipos de exercícios em diferentes condições de imersão, de cadência de execução constituem uma ferramenta bastante útil para que profissionais de Educação Física e Fisioterapia fundamentem a prescrição de atividades aquáticas à população para a qual se destinam.

As pessoas que estarão acompanhando as medições serão estudantes de graduação, de mestrado e doutorado, bem como, professores pesquisadores e um professor responsável (Prof. Dr. Helio Roesler).

Solicitamos a vossa autorização para o uso de seus dados para a produção de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida através da não-identificação do seu nome.

Agradecemos a vossa participação e colaboração.

Contato: Heiliane (Rua Pascoal Simone, 358, Florianópolis-SC, 88080-350, Fone: 3321-8647)

TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa e, que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto e, que todos os dados a meu respeito serão sigilosos. Eu compreendo que neste estudo, as medições dos experimentos/procedimentos de tratamento serão feitas em mim.

Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

Nome por extenso

Assinatura _____

Florianópolis, ____/____/____