**Universidade de São Paulo
Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto**

2015

**Alterações mecânicas e fisiológicas induzidas por um teste
anaeróbio de esforços repetidos de alta intensidade**

PPGRDF

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
REABILITAÇÃO E DESEMPENHO FUNCIONAL
FMRP-USP**

**Vitor Luiz de Andrade
Dissertação**

VITOR LUIZ DE ANDRADE

Alterações mecânicas e fisiológicas induzidas por um teste anaeróbio de esforços repetidos de alta intensidade

Versão Corrigida da
Dissertação apresentada a
Faculdade de medicina de
Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo
para a obtenção de título de
Mestre em reabilitação e
desempenho funcional.

Área de concentração:
Fisioterapia

Orientador: Prof. Dr. Paulo
Roberto Pereira Santiago

Ribeirão Preto

2015

Autorizo a divulgação parcial ou total deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo

Andrade, Vitor Luiz de.

Alterações mecânicas e fisiológicas induzidas por um teste anaeróbio de esforços repetidos de alta intensidade / Vitor Luiz de Andrade; orientador Paulo Roberto Pereira Santiago. – São Paulo, 2015.

136 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2015.

1. Biomecânica. 2. Fisiologia. 3. Desempenho. 4. Corrida. 5. Intensidade. 6. Esforços repetidos. I. Santiago, Paulo Roberto Pereira. II. Título: Alterações mecânicas e fisiológicas induzidas por um teste anaeróbio de esforços repetidos de alta intensidade.

ANDRADE, Vitor Luiz de

Título: Alterações mecânicas e fisiológicas induzidas por um teste anaeróbio de esforços repetidos de alta intensidade.

Dissertação apresentada a
Faculdade de medicina de
Ribeirão Preto da
Universidade de São
Paulo para a obtenção de
título de Mestre em
reabilitação e desempenho
funcional.

Aprovado em:

Banca examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu vovô Eufrozino Fulgêncio de Lima (*in memorian*) que foi um exemplo de inspiração, de trabalho e de vida. Também dedico este trabalho a minha vovó Armantina Lima, a minha mamãe, Janilete Lima e ao meu papai, Celso Andrade.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, “Reconheça ao senhor em todos os seus caminhos e ele endireitará suas veredas” Provérbios 3:6, Bíblia Sagrada.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Pereira Santiago pela credibilidade depositada em mim ao longo deste período na Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto e Programa de pós-graduação em Reabilitação e Desempenho Funcional.

Ao suporte financeiro CAPES durante a execução deste projeto.

A comissão técnica e jogadores voluntários deste estudo.

Aos professores, Dr. Pedro Balikian Junior, Dr. Marcelo Papoti, Ms. Eduardo Zapatterra Campos, Ms. Fabio Milioni, Ms. Ricardo Augusto Barbieri, Ms. Ronaldo Gobbi, Ms. Carlos Augusto Kalva Filho, Ms. João Paulo Loures, Ms. Maria Sousa, Ms. José Gerosa Neto, Ms. Eduardo Bernardo Sangali, Ms. Fabrício Rossi e outros que faziam parte do Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFE) no ano de 2009 e que fazem ou faziam parte do Grupo de Estudos em Ciências Fisiológicas e Exercício (GECIFEX) que me acolheram e me instruíram voluntariamente nesta trajetória vitoriosa na universidade. Aos alunos, Luiz Palucci Vieira, Bruno Bedo, Lucas de Paula, Guilherme Figueiredo, Fabio Mariano, Reinaldo Macari, Priscila Mancioppi, Natália Rinaldi, Luciana Oliveira, Eduardo Bergonzoni e integrantes do Laboratório de Biomecânica e Controle Motor (LabioCom).

Aos amigos e tantas amizades conquistadas nesses longos anos de trajetória e pelos tantos momentos de humor incondicional e inesquecíveis.

A minha amada família, mamãe, Janilete Lima de Andrade, papai, Celso Luiz de Andrade, irmão, Valdir Lima de Andrade, vovó, Armantina Lima, titia, Elizabeth Lima que estiveram comigo nesta longa estrada de vinte quatro anos de idade, e que não mediram esforços pra me ajudar em quaisquer circunstâncias adversas, gostaria de

agradecer aos que não estão mais presentes conosco, mas, que contribuíram fortemente para a minha formação humana, vovô, Eufrozino Fulgêncio de Lima e meu irmão que a vida escolheu, Serginho, muita saudade.

A minha namorada, Malu dos Santos Siqueira que esteve e aguentou firme todos os processos envolvidos na confecção deste trabalho bem como a distância e tantas outras adversidades. Eu te amo.

Muito obrigado.

Resumo

O objetivo da presente dissertação é avaliar o comportamento biomecânico, fisiológico e o processo de instauração da fadiga durante e após o *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST). Participaram do estudo 16 voluntários (média $\pm$ desvio padrão; $22,1 \pm 3,1$ anos, massa corporal de $78,6 \pm 22,9$ kg e $186,1 \pm 10,1$ cm de estatura). Os participantes foram submetidos a monitoramento biomecânico e fisiológico, bem como avaliações neuromusculares. Em todos os casos foi feito um aquecimento com duração de 5 min. Após 120 s do aquecimento os indivíduos realizaram seis esforços máximos de 35 m separados por intervalos passivos de 10 s (RAST). Durante os esforços, duas câmeras captaram o desempenho por análise cinemática bidimensional enquanto que mais 12 câmeras foram posicionadas para análise cinemática tridimensional nos dez metros finais de cada esforço, durante e após os esforços foram determinadas as concentrações de lactato ([Lac]). A técnica de *Twitch Interpolation* (TIP) foi utilizada para as avaliações neuromusculares. O desempenho apresentou diferença a partir do quinto ($5,1 \pm 0,1$ s) esforço, juntamente com os modelos de índice de decaimento do desempenho (IF% $19,2 \pm 9,4\%$; IF_{REAL} $19,3 \pm 10,9\%$). As [Lac] do quarto esforço ($6,1 \pm 1,9$ mM) foram diferentes de todas as outras ($p < 0,01$). Apenas o tempo de fase aérea (T_F) do quinto esforço ($0,16 \pm 0,03$ s) foi diferente em relação ao primeiro e segundo esforço ($0,12 \pm 0,01$ s; $0,13 \pm 0,02$ s; $p < 0,05$). Neste caso o RAST oferece estabilização do desempenho e da mecânica independentemente da [Lac]. Para o estudo dois, quando testadas as correlações com o desempenho, o tempo mínimo (TMin) ($4,43 \pm 0,37$ s) interagiu negativamente com o desvio padrão da altura do centro de massa (CM; CMz_{STD}), ângulo do tornozelo no toque (θ_{tornTOQ}) em todos os esforços. A [Lac]_{Pico} foi correlacionado com a frequência de passos (F_P) nos dois primeiros esforços ($p < 0,01$), o comprimento do passo (C_P) ($p < 0,05$), o T_F , a velocidade do CM no toque (V_{TOQ}^y) e na

retirada (V_{RET}^y) no primeiro esforço ($p < 0,05$). Desse modo, pode-se concluir que o RAST altera a mecânica de corrida e, além disso, o θ_{torn} e CMz_{STD} pareceram ser fundamentais e influenciam diretamente no desempenho deste modelo. Em terceiro lugar, foram encontradas mudanças no *Spring–Mass Model* (SMM) durante o RAST. A força máxima vertical do CM (F_{MAX}^Z) diminuiu (-10,3%; $p < 0,05$). O deslocamento vertical do CM (Δ_Z) aumentou (+60,5%; $p < 0,01$). *Vertical Stiffness* diminuiu (-42,9%; $p < 0,01$) e a *Leg Stiffness*, não mudou. A contração voluntária máxima (CVM) de extensão de joelho (-4,4%) e a ativação voluntária (AV%) (-8,5 %) não mudaram ($p > 0,05$), mas foram evidenciadas correlações entre da PP com a razão RMS / M_{wave} ($r = -0,70$), a PM e RMS ($r = -0,77$) juntamente com a razão RMS / M_{wave} ($r = -0,75$) no VL. Dessa forma, pode-se concluir que a redução do desempenho e as alterações no comportamento do esforços repetidos, dos padrões de movimento, e do SMM, podem estar fortemente ligadas às respostas neuromusculares periféricas.

Palavras Chave: biomecânica, fisiologia, desempenho humano.

Abstract

The aim of this study was to determine the physiological behavior, biomechanical and fatigue process in Running Anaerobic Sprint Test (RAST). Sixteen individuals (mean $\pm$ SD, 22.1 ± 3.1 years, body weight 78.6 ± 22.9 kg and height 186.1 ± 10.1 cm) were volunteers for this study. Participants underwent biomechanical, physiological monitoring and neuromuscular evaluations. In all cases it was made a warming-up by 5 min. After 120 s, underwent six maximal efforts of 35 m separated by 10 s passive rest (RAST). During efforts, two cameras captured the performance by kinematic bidimensional analysis while another 12 cameras were positioned to kinematic tridimensional analysis at 25 – 35 m of each effort, after efforts were determined the concentrations of lactate ([Lac]). The TIP technique (Twitch Interpolation) was used for neuromuscular evaluations. The performance showed a difference from the fifth (5.1 ± 0.1 s) and sixth effort (5.4 ± 0.3 s; $p < 0.04$), the index of decay performance models (IF % $19.2 \pm 9.4\%$; IF_{REAL} $19.3 \pm 10.9\%$;). The fourth [Lac] (6.1 ± 1.9 mM) was different from all other ($p < 0.01$). Only the flight time (F_T) to fifth effort (0.16 ± 0.03 s) compared to the first and second (0.12 ± 0.01 s; 0.13 ± 0.02 s; $p < 0.05$) showed differences. Thereby, the RAST offers stabilization performance and mechanical regardless of [Lac], so it can be a useful tool in the training process until the fourth effort. On study two, when tested correlations with performance, the best time (4.43 ± 0.37 s) interacted negatively with body center mass (BCM) standard deviation (CM_{zSTD}), angle of ankle in touchdown ($\theta_{ankleTD}$) in all efforts. The [Lac] peak was correlated with step frequency (S_F) in first and second efforts ($p < 0.01$), step length (S_L) ($p < 0.05$), the F_T , the BCM horizontal velocity on touchdown V_{TD}^y and take-off V_{TO}^y in first effort ($p < 0.05$). Thus, it can be concluded that the RAST changes the running mechanics and, in addition, the θ_{ankle} and the CM_{zSTD} appeared to be influence at

performance. Changes were found in Mass-Spring Model (SMM) for RAST. The BCM vertical force (F_Z^{MAX}) decreased (-10.3%; $p < 0.05$). The displacement of BCM (Δ_Z) increased (+ 60.5%; $p < 0.01$). Vertical Stiffness decreased (-42.9%; $p < 0.01$) and Leg Stiffness was not changed. The maximal knee extension force (-4.4%) and voluntary activation (AV%) (-8.5%) is not changed too ($p > 0.05$), but correlations were observed between the PP with reason RMS / Mwave ($r = -0.70$), the PM and RMS ($r = -0.77$) with the reason RMS / Mwave ($r = -0.75$) in VL. Thus, it can be concluded that the reduction of performance and changes in the behavior of repeated efforts, movement patterns, and SMM may be dependent of peripheral neuromuscular factors.

Keywords: biomechanics, physiology, human performance.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão das variáveis obtidas através do RAST.....	43
Tabela 2. Parâmetros biomecânicos dos seis esforços máximos de 35 m.....	45
Tabela 3. Valores médios $\pm$ desvio padrão das variáveis que descrevem o desempenho durante o RAST (n = 16).....	59
Tabela 4. Comportamento Médio $\pm$ Desvio padrão das variáveis biomecânicas no intervalo dos metros 25 – 35 m.....	62
Tabela 5. Valores de correlação de Pearson (r) entre as variáveis biomecânicas em cada esforço e o TM.....	64
Tabela 6. Valores de correlação de Pearson (r) entre as variáveis biomecânicas em cada esforço e o TMin.....	65
Tabela 7. Valores de correlação de Pearson (r) entre as variáveis biomecânicas em cada esforço e o IF _{REAL}	66
Tabela 8. Valores de correlação de Pearson (r) entre as variáveis biomecânicas em cada esforço e a [Lac] _{Pico}	67

Tabela 9. Resultados provenientes do <i>Running Anaerobic Sprint Test</i> (RAST) e intervalo de confiança (IC) 95%.....	82
--	----

Tabela 10. Cinemática (Tempo) dos esforços, parâmetros do passo e <i>Spring-Mass</i> durante o RAST.....	85
---	----

Tabela 11. Valores Médios $\pm$ Desvio padrão dos valores correspondentes às avaliações neuromusculares de extensão de joelho pré e após 15 min do RAST.....	86
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Digitalização e marcação dos pontos para determinação do deslocamento bidimensional durante o RAST.....	22
Figura 2. Desenho esquemático do método para obtenção do tempo de cada esforço que compõe o RAST.....	23
Figura 3. Esquema de posicionamento das câmeras, orientação e volume de calibração (m).....	25
Figura 4. Posicionamento do bastão topográfico e disposição dos pontos de calibração (cm).....	26
Figura 5. Digitalização e marcação dos pontos anatômicos de interesse para determinação das variáveis cinemáticas tridimensionais.....	27
Figura 6. Desenho esquemático da ordem de aplicação da metodologia do TIP. 6A = Aquecimento; 6B = Familiarização; 6C = Identificação do Limiar Máximo de resposta à eletroestimulação (L_{MRE}); 6D = Avaliação neuromuscular para determinação da amplitude do <i>Twitch Superimposed</i> (TS) e <i>Twitch Potentiated</i> (TP).....	34
Figura 7. Desenho esquemático do comportamento da amplitude (e.g., M_{wave}) e intervalos de análise da EMG (i.e., RMS, F_{MED}) durante a CVM.....	36
Figura 8. Desenho esquemático do posicionamento das câmeras para análise cinemática 2D e 3D.....	42
Figura 9. Comportamento médio $\pm$ desvio padrão das [Lac] durante os seis esforços de 35 m. $p > 0,05$ Indica não significância estatística entre os esforços na [Lac]; ^a Indica	

diferença para a [Lac_{E1}], [Lac_{E4}], [Lac_{E5}] e [Lac_{E6}]; ^b Indica diferença significativa na [Lac] em relação aos outros esforços.....44

Figura 10. Desenho esquemático do posicionamento das câmeras para análise cinemática 2D e 3D.....58

Figura 11. Comportamento do tempo durante a realização dos seis esforços máximos. † Diferença estatística para os três primeiros esforços.....60

Figura 12. Comportamento das [Lac] após o aquecimento e após o RAST.....83

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

[Lac]	Concentração de lactato
[Lac _E]	Concentração de lactato referente a um esforço
Δ_L	Compressão da perna
Δ_Z	Deslocamento vertical do centro de massa
ATP	Trifosfato de adenosina
<i>bm</i>	Massa corporal
<i>Bt</i>	Melhor tempo
cm	centímetros
CM	Centro de Massa
CM _{ZM}	Altura máxima do centro de massa
CM _{ZMED}	Altura média do centro de massa
CM _{ZMIN}	Altura mínima do centro de massa
CM _{ZSTD}	Desvio padrão da altura do centro de massa
C _P	Comprimento da passada
C _P	Comprimento do passo
C _P	Comprimento do passo associado ao <i>Spring-Mass Model</i>
CVM	Contração voluntária máxima
<i>d</i>	Distância
DLT	<i>Direct Linear Transformation</i>
D _{RET}	Distância de retirada
EENM	Estimulação elétrica neuromuscular
EMG	Atividade eletromiográfica
F _{MED}	Frequência mediana
F _P	Frequência de passo associada ao <i>Spring-Mass Model</i>
F _P	Frequência de passo

F_{Pico}	Platô de força atingido voluntariamente
F_Z^{MAX}	Força máxima vertical do centro de massa
g	Aceleração da gravidade
H^+	íons Hidrogênio
Hz	Hertz
IF	Índice de fadiga convencional
IF_{REAL}	Índice de fadiga
ImP	Impulso
kg	Quilogramas
K_{leg}	<i>Leg Stiffness</i> (rigidez da perna)
$\text{Km} \cdot \text{h}^{-1}$	Quilômetros por hora
kN	Kilonewton
K_{vert}	<i>Vertical Stiffness</i> (rigidez vertical)
L_0	Posição inicial do comprimento da perna
LMRE	Limiar de resposta à eletroestimulação
m	metro (s)
min	minuto (s)
mM	milimolar
mm	milímetros
M_{wave}	Onda M
N	Newton
°	graus
P	Potência
PCr	Fosfocreatina
PDH	Piruvato desidrogenase
PFK	Fosfofrutoquinase
pH	Potencial hidrogeniônico

Pi	Fosfato Inorgânico
P_{Min}	Potência mínima
P_{Pico}	Potência pico
RAST	<i>Runnnig Anaerobic Sprint Test</i>
RF	<i>Retus femoris</i>
RMS	<i>Root mean square</i>
RSA	<i>Repeated Sprint Ability</i>
s	segundo (s)
SMM	<i>Spring-Mass Model</i>
t	Tempo
T_C	Tempo de contato
T_C	Tempo de contato associado ao <i>Spring-Mass Model</i>
T_F	Tempo de fase aérea
T_F	Tempo de fase aérea associada ao <i>Spring-Mass Model</i>
TIP	<i>Twitch Interpolation</i>
T_P	Tempo de passada
TP	<i>Twitch Potentiated</i>
TS	<i>Twitch Superimposed</i>
V	Velocidade associada ao <i>Spring-Mass Model</i>
VL	<i>Vastus lateralis</i>
VM	<i>Vastus medialis</i>
VO_{2MAX}	Volume máximo de consumo de oxigênio
V_{RET}^y	Velocidade horizontal do centro de massa na retirada
V_{TOQ}^y	Velocidade horizontal do centro de massa no toque
W	Watts
$\theta_{joe_{RET}}$	Ângulo do joelho na retirada
$\theta_{joe_{TOQ}}$	Ângulo do joelho no toque

$\theta_{\text{torn}_{\text{RET}}}$	Ângulo do tornozelo na retirada
$\theta_{\text{torn}_{\text{TOQ}}}$	Ângulo de tornozelo no toque
$\varphi_{\text{coxa}_{\text{RET}}}$	Inclinação da coxa na retirada
$\varphi_{\text{coxa}_{\text{TOQ}}}$	Inclinação da coxa no toque
$\omega_{\text{joe}_{\text{RET}}}$	Velocidade angular do joelho na retirada
$\omega_{\text{joe}_{\text{TOQ}}}$	Velocidade angular do joelho no toque

SUMÁRIO

Capítulo 1.	Introdução, revisão de literatura e objetivos	
1.1.	Introdução.....	1
1.2.	Revisão de literatura.....	3
1.2.1.	Desempenho em esforços repetidos, treinamento e avaliação.....	3
1.2.2.	Bioenergética aplicada aos esforços repetidos.....	6
1.2.3.	Biomecânica aplicada a esforços de alta intensidade.....	8
1.2.4.	Ajustes neuromusculares ocorridos durante e após a execução de esforços repetidos.....	10
1.2.5.	<i>Running Anaerobic Sprint Test</i> (RAST).....	12
1.2.6.	Apresentação do problema e justificativa.....	15
1.3.	Objetivo geral.....	18
1.3.1.	Objetivos específicos.....	18
Capítulo 2.	Materiais e métodos empregados	
2.1.	Materiais e métodos.....	21
2.1.1.	Participantes.....	21
2.1.2.	Análise do desempenho no <i>Running Anaerobic Sprint Test</i> (RAST).....	21
2.1.3.	Aquisição e análise dos parâmetros biomecânicos tridimensionais.....	25
2.1.4.	Parâmetros do passo e <i>Spring-Mass Model</i>	29
2.1.5.	Medida da concentração de lactato [Lac].....	32
2.1.6.	Testes Neuromusculares.....	32
Capítulo 3.	Uso do <i>Running Anaerobic Sprint Test</i> (RAST) como estímulo de treinamento: respostas lactacidêmicas e dos padrões de movimento	
3.1.	Resumo.....	38
3.2.	Introdução.....	39
3.3.	Materiais e métodos.....	41
3.3.1.	Participantes.....	41
3.3.2.	Procedimentos experimentais.....	41
3.3.3.	Análise estatística.....	42
3.4.	Resultados.....	43

3.5.	Discussão.....	47
3.6.	Conclusão.....	53
Capítulo 4.	Interações entre a resposta lactacidêmica e da biomecânica da corrida no desempenho de esforços repetidos	
4.1.	Resumo.....	55
4.2.	Introdução.....	56
4.3.	Materiais e métodos.....	58
4.3.1.	Participantes.....	58
4.3.2.	Procedimentos experimentais.....	58
4.3.3.	Análise estatística.....	59
4.4.	Resultados.....	60
4.5.	Discussão.....	69
4.6.	Conclusão.....	76
Capítulo 5.	Respostas no comportamento do “ <i>Spring-Mass Model</i> ” e neuromusculares durante e após esforços repetidos de alta intensidade	
5.1.	Resumo.....	78
5.2.	Introdução.....	79
5.3.	Materiais e métodos.....	82
5.3.1.	Participantes.....	82
5.3.2.	Procedimentos experimentais.....	82
5.3.3.	Análise estatística.....	83
5.4.	Resultados.....	84
5.5.	Discussão.....	89
5.6.	Conclusão.....	94
Capítulo 6.	Considerações finais e conclusões	
6.1.	Considerações finais.....	96
6.2.	Conclusões.....	99
6.3.	Referências.....	101
Anexo I	Aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa.....	115

Capítulo 1.

Introdução, revisão de literatura e objetivos

1.3. INTRODUÇÃO

Em esportes coletivos (e.g. futebol, basquetebol, handebol e voleibol), os eventos decisivos são de caráter intermitente (CASTAGNA et al., 2007; IAIA; RAMPININI; BANGSBO, 2009; BUCHHEIT; SIMPSON; MENDEZ-VILLANUEVA, 2013). Nestes esportes, as ações curtas de alta intensidade são exclusivamente dependentes do metabolismo anaeróbio intercalados por períodos recuperativos de baixa intensidade, nos quais o metabolismo aeróbio é predominante (AZIZ; CHIA; TEH, 2000; BISHOP; SPENCER, 2004; CASTAGNA et al., 2007; ANDRADE et al., 2013). Os esforços intermitentes de curta duração ($\cong 6$ s) e alta intensidade são predominantemente dependentes do sistema anaeróbio alático, uma vez que, este metabolismo possibilita uma rápida ressíntese de ATP, mantendo assim a disponibilidade de energia para a contração muscular (HAMILTON et al., 1991).

Os maiores produtores de força e consumidores de energia para estas atividades são os quadríceps e os isquiotibiais (YEOW, 2013). Os padrões de movimento em velocidade são abordados há muitos anos (MERO; KOMI; GREGOR, 1992; LOCKIE et al., 2012) como efetivos tanto em competições quanto em treinamentos para corridas de alta intensidade (SARASLANIDIS et al., 2011b). Entretanto, em estado de fadiga alguns parâmetros como ângulo do joelho, altura do quadril e tempo de contato parecem responder negativamente ao desempenho (MIZRAHI; VERBITSKY; ISAKOV, 2001; CLANSEY et al., 2012).

A fadiga pode ser mediada pela indisponibilidade energética do metabolismo anaeróbio alático, uma vez que este metabolismo apresenta baixa reserva (HAMILTON et al., 1991). Além disso, na medida em que os esforços são realizados, a fadiga pode ser mediada pelo acúmulo de íons H^+ que tornam o meio ácido e a funcionalidade de

algumas enzimas (e.g., PFK e PDH) são prejudicadas (GLAISTER, 2005). Em estudos recentes, tem sido demonstrada a possibilidade de uma redução da atividade do sistema nervoso central em conjunto com a ativação neuromuscular para estes eventos (AKIMA; KINUGASA; KUNO, 2005; GIRARD et al., 2011b) implicando em uma menor atividade muscular (RACINAIS et al., 2007a; BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014). Mendez-Villanueva *et al.* (2012) comparando fatores neurais e metabólicos mostraram que grande parte da incapacidade em produzir potência durante corridas curtas de alta intensidade é mediada por fadiga intramuscular, ou metabólica, além de fatores provavelmente relacionados com o controle de fosfatos de alta energia (i.e., ATP e PCr).

Apesar de existirem estudos que fazem a relação entre a biomecânica (SARASLANIDIS et al., 2011b) e a fadiga neuromuscular em corridas (GIRARD et al., 2012), as investigações encontradas fazem analogia aos parâmetros de corridas contínuas, o que pode limitar a aplicação dos resultados para corridas de velocidade intercaladas com períodos de recuperação.

Principalmente em esportes coletivos é comum a utilização de protocolos de corridas de alta intensidade com um período de recuperação entre os esforços tanto em treinamento quanto para avaliação (STOLEN et al., 2005). Os protocolos de treinamento para estes eventos variam muito, porém, todos têm a finalidade de simular ao máximo a intensidade do gesto motor envolvido na modalidade (STOLEN et al., 2005).

Em equipes bem desenvolvidas, são frequentemente realizadas avaliações de caráter aeróbio e anaeróbio para monitoramento dos efeitos do treinamento. Dentre as avaliações mais utilizadas para mensuração da aptidão anaeróbia em esportes coletivos

têm-se utilizado o *Wingate*. Este, parece ser inespecífico para esportes que utilizam a corrida como principal meio de locomoção (LEGAZ-ARRESE et al., 2011). Por isso, o *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST) por sua característica intermitente e mais específica (BALČIŪNAS et al., 2006; MORAES; PELLEGRINOT, 2006; SPIGOLON et al., 2007; ROSEGUINI; SILVA; GOBATTO, 2008; SANTOS; COLEDAM; DOS-SANTOS, 2009) tem sido utilizado como adaptação ao *Wingate* (ZACHAROGIANNIS; PARADISIS; TZIORTZIS, 2004; ZAGATTO; BECK; GOBATTO, 2009). Além disso, parece ser um bom indutor da fadiga devido às altas concentrações de lactato (> 10 mM) obtidas após os esforços bem como as significativas associações com testes anaeróbios (ZAGATTO; BECK; GOBATTO, 2009; KAMINAGAKURA et al., 2012). Entretanto, o RAST ainda é carente de estudos que possam analisar melhor as variáveis fisiológicas (KAMINAGAKURA et al., 2012) e biomecânicas em conjunto com seus marcadores de desempenho. Nesse sentido, as possíveis relações entre o desempenho, alterações fisiológicas ([Lac]), alterações na mecânica e o processo de instauração de fadiga em corridas intermitentes ainda não são completamente descritas na literatura.

1.2. REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1. Desempenho em esforços repetidos, treinamento e avaliação

Os principais e decisivos eventos em esportes coletivos são caracterizados por esforços de curta duração e alta intensidade, intercalados por períodos de recuperação passiva ou ativa (CASTAGNA et al., 2008; RAMPININI et al., 2011). Desse modo, a capacidade de rápida aceleração parece ser determinante para esportes coletivos (AUGHEY; VARLEY, 2013). O processo de treinamento em esportes coletivos envolve muitas habilidades, capacidade e potência aeróbia e anaeróbia, bem como

habilidades específicas de cada modalidade. Dentre elas, a potência anaeróbia e a capacidade de manutenção de esforços repetidos que são habilidades aplicadas tanto como forma de treinamento quanto de avaliação para monitoramento dos efeitos do treinamento. Esta capacidade de manutenção do desempenho em esforços repetidos é conhecida como *Repeated Sprint Ability* (RSA) que pode ser considerada um fator determinante para o desempenho em esportes coletivos (DAWSON, 2012; GHARBI et al., 2014). O uso dos modelos de RSA são frequentes tanto na comunidade acadêmica quanto pelos técnicos e preparadores físicos (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014). A característica intermitente, as distâncias, o tempo de recuperação e a fácil incorporação na rotina de treinamento mostram que os modelos de RSA podem ser ferramentas muito interessantes para o processo de treinamento, principalmente em esportes que utilizam a corrida intermitente como principal meio para o sucesso (KEIR; THERIAULT; SERRESSE, 2013).

Os modelos de RSA são muito variáveis, de 5 até 15 repetições (GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011), de diferentes distâncias, de $\cong 20$ a 30 m (DAWSON, 2012) e diferentes tempos de recuperação $\cong 10$ a 30 s (DAWSON, 2012). Dessa forma, fica difícil determinar um modelo que se aproxime da demanda fisiológica e mecânica exigida nos esportes coletivos. Entretanto, quando analisados os desempenhos de alguns modelos de RSA percebe-se que em alguns casos o mesmo modelo apresenta diferenças no desempenho. Perrey *et al.* (2010) que utilizaram 12 esforços máximos de 40 m com 30 s de recuperação e encontraram diferenças significativas no tempo a partir do quinto esforço em relação aos demais. Entretanto, Girard *et al.* (2011a) utilizaram do mesmo modelo de RSA e encontraram diferenças apenas no tempo entre o esforço 1 e o esforço 12 (17%).

Kalva-Filho *et al.* (2013) utilizando o *Running Anaerobic Sprint Test* encontraram diferenças no desempenho a partir do quarto esforço em piso firme e com tênis. Recentemente, BROCHERIE; MILLET; GIRARD (2014) investigaram as alterações no desempenho durante o mesmo modelo e encontraram significativas mudanças nas variáveis a partir do quinto esforço em grama e com chuteiras. Dessa maneira, parece que a execução de modelos de RSA durante o processo de treinamento deve ser em primeiro lugar específica, tanto em relação ao piso utilizado para treinamento ou avaliação, quanto aos calçados utilizados (KALVA-FILHO, C. A. et al., 2013).

Para o treinamento, Serpiello *et al.* (2011) utilizaram um modelo de RSA de 3 séries de 5 repetições de 4 s de esforço máximo em esteira não motorizada com 20 s de recuperação passiva entre as repetições e 4,5 min entre as séries. Após 10 sessões de treinamento os indivíduos tiveram uma melhora de $\cong 6\%$ na velocidade pico, $\cong 7\%$ na velocidade média e $\cong 9\%$ na potência média. Com isso, os autores concluíram que o modelo de treinamento em esforços repetidos melhorou a cinética da curva de velocidade, aumentando a aceleração e habilidade de manutenção de esforços repetidos. Destacando assim a importância do treinamento com utilização dos modelos de RSA.

Na tentativa de simular as intensidades encontradas em esportes coletivos convencionais (e.g., futebol, basquetebol, handebol e rugby), Gharbi *et al.* (2014) utilizaram um protocolo com 10 repetições de 30 m e 30 s de recuperação passiva entre os esforços e observaram uma estabilização da concentração de lactato ([Lac]) nos esforços 3, 4 e 5. Consequentemente, os autores concluíram que esforços com essas combinações de execução (até 5 esforços) poderiam simular as intensidades encontradas em esportes coletivos pela estabilização da [Lac] a níveis encontrados durante jogos

coletivos ($\cong 3 - 10 \text{ mM}$) (COUTTS; REABURN; ABT, 2003; STOLEN et al., 2005; CAPRINO; CLARKE; DELEXTRAT, 2012).

Além da possibilidade, há evidências de que o uso dos modelos de RSA para o treinamento são efetivos na melhora da performance, principalmente em esportes coletivos e na fase específica de treinamento (SERPIELLO et al., 2011; ATTENE et al., 2014). Desse modo, também fica clara a importância do monitoramento do processo de treinamento que, também é frequentemente feito com base no desempenho de esforços repetidos de alta intensidade (STOLEN et al., 2005).

Balčiūnas *et al.* (2006) analisaram a resposta do *Running Anaerobic Sprint Test* após 16 semanas de treinamento específico no basquetebol e encontraram significativas mudanças na potência dos últimos esforços concluindo que o treinamento intermitente de alta intensidade pode ser o mais benéfico para preparação de jovens jogadores de basquetebol. Recentemente o *Running Anaerobic Sprint Test* foi considerado um indutor da hiperlactacidemia para obtenção do limiar anaeróbio por meio do protocolo de lactato mínimo (TEGTBUR; BUSSE; BRAUMANN, 1993). Dessa maneira, pode-se incorporar na rotina de treinamento uma avaliação fina em relação à potência anaeróbia por meio do *Running Anaerobic Sprint Test* e também a avaliação do limiar anaeróbio por meio do lactato mínimo em jogadores de basquetebol de elite (DE ARAUJO et al., 2014). Sendo assim, destaca-se mais uma vez a importância dos modelos de RSA tanto na avaliação, monitoramento ou prescrição do treinamento para esportes coletivos.

1.2.2. Bioenergética aplicada aos esforços repetidos

O desempenho e as demandas fisiológicas em esforços repetitivos de alta intensidade podem ser influenciados por vários fatores, como o número de repetições,

duração dos intervalos, a duração dos esforços e o estado de treinamento dos participantes (SPENCER et al., 2005). O que se sabe é que há o predomínio das vias anaeróbias alática e láctica na execução dos esforços de alta intensidade e curta duração e que a contribuição do metabolismo aeróbio é relativamente pequena (PAROLIN et al., 1999; HECK; SCHULTZ; BARTMUS, 2003). Entretanto, durante os períodos de recuperação, este metabolismo é responsável por fatores importantes na manutenção do desempenho, como a remoção de fosfatos inorgânicos intracelulares (P_i) e a recuperação dos estoques de PCr (TOMLIN; WENGER, 2001; GLAISTER, 2005; GLAISTER et al., 2007). Além disso, com o acúmulo de repetições, a contribuição aeróbia aumenta durante o exercício, podendo ser determinante na manutenção do desempenho (CHRISTENSEN; HEDMAN; SALTIN, 1960; GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011). Dessa forma, como o metabolismo aeróbio tenta suprir as demandas fisiológicas desses esforços e, pela incapacidade desse metabolismo em fornecer altas taxas de energia em curto tempo, o rendimento naturalmente tende a diminuir.

Apesar de existirem controvérsias sobre as reais participações de cada metabolismo em atividades de alta intensidade e curta duração (GLAISTER, 2005), sabe-se que o metabolismo anaeróbio é responsável pela ressíntese de ATP durante estas atividades, principalmente o alático nos momentos iniciais dos esforços (HAMILTON et al., 1991). Com aumento da demanda energética na tentativa de suprir as necessidades mecânicas, o metabolismo láctico começa a ser fortemente requerido (GLAISTER, 2005). As altas concentrações de lactato encontradas após a realização desses esforços comprovam esta afirmação (BAKER; RAMSBOTTOM; HAZELDINE, 1993; ROSEGUINI; SILVA; GOBATTO, 2008; ZAGATTO; BECK; GOBATTO, 2009; KAMINAGAKURA et al., 2012). A demanda fisiológica anaeróbia requerida

durante estes esforços tornam o ambiente propício a forte atuação do metabolismo aeróbio que por sua vez, torna inviável a manutenção do mesmo desempenho.

O metabolismo aeróbio é predominante na fase de recuperação após cada esforço intenso, acionando a ressíntese de PCr e a remoção de metabolitos (GLAISTER, 2005; BAILEY et al., 2009). A recuperação rápida dos estoques de PCr intramusculares é feita nos primeiros instantes de pausa no exercício, que pode ser mensurada pelo componente rápido do consumo de oxigênio (PAN et al., 1991; SAHLIN, 1992). Esta fase inicial de decaimento do consumo de oxigênio é significativamente correlacionada com a ressíntese de PCr (BORSHEIM; BAHR, 2003). Por este motivo, muito se tem estudado sobre a relação entre a potência aeróbia máxima (VO_{2MAX}) e a habilidade de manter a desempenho em esforços intermitentes (MECKEL; MACHNAI; ELIAKIM, 2009; DA SILVA; GUGLIELMO; BISHOP, 2010). Dessa maneira, sabendo que os ajustes bioenergéticos relacionados à manutenção dos esforços não suprem o melhor desempenho, espera-se que ocorra diminuição das variáveis que poderiam determinar o desempenho como os padrões de movimento e aplicação da técnica.

1.2.3. Biomecânica aplicada a esforços de alta intensidade

A absorção do impacto no solo durante a realização de um esforço intenso induz a utilização de movimentos de caráter excêntrico e em seguidos esforços, excêntrico e concêntrico, alternando entre os músculos agonistas e antagonistas em um curto tempo na tentativa de manter um desempenho, máximo ou submáximo. Os maiores produtores de força e consumidores de energia para a corrida são os quadríceps e os isquiotibiais (YEOW, 2013). No momento de apoio do pé no chão, a energia é absorvida pelos músculos extensores do joelho (i.e., *retus femoris*, *vastus medialis*, *vastus intermedius* e *vastus lateralis*) e os músculos flexores do joelho (i.e., *semimembranosus*,

semitendinosus, *biceps femoris* cabeça longa e curta) geram energia produzindo força para deslocamento horizontal e vertical (YEOW, 2013). Na fase de balanço, na elevação do joelho, os músculos extensores do joelho e flexores do quadril promovem a projeção corporal horizontal que, depende da força produzida ao longo da fase de apoio (KUGLER; JANSSEN, 2010; YEOW, 2013), da distância horizontal que é formada pelo ponto de retirada do pé do solo até a linha imaginária vertical do centro de massa (CM) e do ângulo de inclinação do joelho (SARASLANIDIS et al., 2011b). Na fase aérea, os flexores e extensores do joelho geram energia para a transferência de força vertical em horizontal no trânsito entre a retirada do pé de apoio do chão até o toque do pé de balanço (YEOW, 2013).

Em corrida cíclica, a frequência, comprimento e tempo da passada, deslocamento horizontal do CM e tempo de contato com solo sofrem alterações entre os primeiros 125 m e os 380 m durante a prova de 400 m em uma corrida a 98% do melhor tempo de 200 m (SARASLANIDIS et al., 2011b). Para a corrida de 100 m, os fatores mais determinantes para o desempenho são a habilidade de produzir potência que está diretamente ligada com os parâmetros mecânicos de frequência de passada e menor tempo de contato com solo (MORIN et al., 2012a). Sendo assim, parece que o tempo de contato com o solo em suporte simples é um fator determinante para estudos em biomecânica da corrida (MORIN et al., 2005; PERREY et al., 2010; GIRARD et al., 2011b; MORIN et al., 2011; BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014).

Estudiosos têm verificado mudanças no tempo de contato em esforços repetidos com superfícies de grama natural (GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011; LOCKIE et al., 2012; BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014). Embora haja controvérsias (ABT et al., 2011), parece que em esforços sucessivos de alta intensidade

com breves períodos de recuperação, o tempo de contato parece responder negativamente para o desempenho, ou seja, aumenta, desperdiçando energia potencial e impossibilitando a transferência de forças de reação.

Em consecutivos esforços máximos, além do tempo de contato, a velocidade, forças verticais e horizontais, tempo de passada e frequência de passadas também sofrem alterações logo após um jogo oficial de basquetebol (DELEXTRAT; BALIQI; CLARKE, 2013). Embora existam estudos que caracterizam a cinética e cinemática da corrida nestes eventos, eles se restringem a poucas variáveis como, tempo de contato, tempo na fase aérea, tempo de passada, frequência de passada e comprimento da passada e não tem objetivos aplicados ao desempenho (GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011b; DELEXTRAT; BALIQI; CLARKE, 2013; CROSS; BRUGHELLI; CRONIN, 2014). Dessa maneira, fazem-se necessários estudos que além de caracterizar minuciosamente as mudanças ocorridas durante e após a execução de esforços máximos consecutivos, estudos capazes de explicar as interações dessas variáveis cinemáticas e cinéticas aplicadas ao desempenho e posteriormente direcionar para o treinamento.

1.2.4. Ajustes neuromusculares ocorridos durante e após a execução de esforços repetidos

Em atividades intermitentes existem evidências de que o acúmulo de metabólitos (e.g., H^+) decorrentes dos esforços repetidos pode reduzir a excitabilidade do motoneurônio (BISHOP; SPENCER, 2004; RACINAIS et al., 2007b), além de trazer prejuízos metabólicos gerados pela acidez (MCMAHON; JENKINS, 2002). A incapacidade de manutenção do desempenho em corridas intensas pode estar associada também a diminuição do trabalho neural (RACINAIS et al., 2007a), alterações no potencial de propagação ou até a falha no acoplamento das fibras contráteis do músculo

esquelético (JONES, 1996). As altas frequências de disparo em nível de coluna vertebral, mudanças na rede sináptica excitatória, frequentes e intensas utilizações do ciclo alongamento-encurtamento e o aumento exponencial do acúmulo de íons H^+ diminuem a resposta da excitabilidade da via reflexa (i.e., reflexo de Hoffmann; reflexo-H), como resultado uma queda do desempenho durante os esforços (RACINAIS et al., 2007b; GIRARD et al., 2011a).

Entretanto, há controvérsias sobre a real redução da excitabilidade do reflexo-H nessas atividades constatada por eletromiografia (EMG) no ciclismo (HAUTIER et al., 2000). Os resultados baseados em índices de EMG são de interpolação da contração que têm sido atribuídas a um número menor de unidades motoras recrutadas e, ou mudanças na frequência de excitação-contração. Ainda assim, pouco se sabe sobre as reais mudanças ocorridas sobre as propriedades contráteis do músculo esquelético durante esforços de alta intensidade e curta duração *in vivo* (PERREY et al., 2010).

Recentemente, BROCHERIE, MILLET e GIRARD, (2014) utilizando seis esforços máximos de 35 m com intervalo passivo de 10 s encontraram fortes correlações ($r = -0,90$) da queda do desempenho com decaimento EMG dos músculos da coxa. Girard *et al.* (2011b) com um modelo de seis corridas máximas de 20 m com intervalo passivo de 20 s não encontraram mudanças significativas na EMG durante a execução dos esforços.

Quando analisado após a execução dos esforços, Perrey *et al.* (2010) encontraram diminuições significativas na contração voluntária máxima dos flexores plantar (-11%), ativação voluntária máxima (-2,7%) e amplitude da onda M (M_{wave}) (-20%) logo após 12 corridas máximas de 40 m com intervalo passivo de 30 s pela técnica de *Twitch Interpolation*. Entretanto, após 30 min, essas diferenças já estavam restabelecidas

(PERREY et al., 2010). Dessa maneira, com as controvérsias apresentadas, a resposta neuromuscular parece que os maiores prejuízos neurais estão ligados ao maior tempo de esforço em relação ao pouco tempo de intervalo entre os esforços.

1.2.5. Running Anaerobic Sprint Test (RAST)

O *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST) foi criado na University of Wolverhampton na Inglaterra (PARADISIS et al., 2005) e tem recebido destaque na comunidade científica e técnica como uma boa ferramenta para avaliação da potência anaeróbia (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014). Ele é um teste composto de seis esforços máximos de 35 m separados por um intervalo passivo de 10 s. Os principais parâmetros fornecidos são os mesmos do teste de *Wingate*, ou seja, potências máximas, média e índice de fadiga. O *Wingate* é um teste rápido (30 s) em cicloergômetro que recebeu destaque durante muitos anos como uma ferramenta importante no processo de treinamento (LEGAZ-ARRESE et al., 2011). Além disso, acreditava-se que o *Wingate* poderia representar além da potência anaeróbia, a capacidade anaeróbia (i.e., máximo montante de energia advinda do metabolismo anaeróbio) (SCOTT et al., 1991). Entretanto, foi considerado inespecífico para esportes que utilizam a corrida como meio de locomoção (LEGAZ-ARRESE et al., 2011). O RAST é um teste similar ao teste de *Wingate* pela duração ($\cong 30$ s) e a distância (35 m; $\cong 5$ s) que representa o mesmo intervalo de tempo para obtenção das variáveis de potência no *Wingate*.

Por ser mais específico para esportes coletivos e individuais que dependem da corrida, nos últimos anos têm recebido destaque acerca da sua validade e sensibilidade. Apresentando assim, sensibilidade aos efeitos do treinamento de pliometria (MORAES; PELLEGRINOT, 2006) e ao treinamento predominantemente anaeróbio (BALČIŪNAS et al., 2006), além disso, parece ser sensível ao consumo de cafeína, tendo efeito

positivo nas potências médias, mínimas e índice de fadiga, mas não na potência anaeróbia máxima (ROUHOLA et al., 2010).

Foi considerado reproduzível em piso firme com uso de tênis (ZAGATTO; BECK; GOBATTO, 2009) e na grama com chuteiras (DE ANDRADE et al., 2014), além disso, foi considerado como um bom preditor do desempenho em curtas e médias distâncias (PARADISIS et al., 2005; ZAGATTO; BECK; GOBATTO, 2009). A elevada intensidade de execução do RAST proporciona concentrações de lactato ([Lac]) pós-esforço de 7,3 até 13,1 mM (KALVA-FILHO, C. A. et al., 2013; DE ANDRADE et al., 2014), dependendo da superfície em que o teste é realizado (KALVA-FILHO, C. A. et al., 2013). Além disso, tem sido considerado um bom indutor da hiperlactacidemia (DE ARAUJO et al., 2014). Desse modo, sabendo da sua elevada intensidade e lactacidemia encontradas após sua execução, de nenhuma forma deve ser descartada a sua similaridade com o *Wingate*, nesse contexto, por algum tempo acreditou-se que o RAST poderia ser uma ferramenta preditora da capacidade anaeróbia. Entretanto, Kaminagakura *et al.* (2012) não encontraram qualquer correlação significativa com o Máximo Déficit de Oxigênio Acumulado (MAOD) que indicaria o uso do RAST para prever a capacidade anaeróbia. Com os resultados de Kaminagakura *et al.* (2012) foi possível estabelecer que não há uma relação direta entre a potência anaeróbia e a capacidade anaeróbia, principalmente utilizando o RAST como modelo de avaliação.

A principal variante que pode interferir neste tipo de correlação é a direta participação do metabolismo aeróbio durante os intervalos de execução (10 s) (GLAISTER et al., 2006) e, além disso, o não esgotamento dos estoques de energia derivada do metabolismo anaeróbio para o exercício específico (MEDBO et al., 1988; MEDBO; TABATA, 1993). Embora o RAST seja um teste de alta intensidade com

períodos relativamente curtos de recuperação entre os esforços, foi visto que a contribuição do metabolismo aeróbio é relativamente importante e influencia quando os indivíduos são mais treinados aerobiamente (ANDRADE et al., 2013; KALVA FILHO et al., 2013). Entretanto, há controvérsias, principalmente quando é avaliado em indivíduos treinados em esportes coletivos (CIPRYAN; GAJDA, 2011; ANDRADE et al., 2013).

No estudo de Andrade *et al.* (2013) foi verificada correlação entre o $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ no grupo de elevada aptidão aeróbia e o impulso anaeróbio (ImP). O ImP é o produto da integral da força pelo tempo observada durante os seis esforços. Andrade *et al.* (2013), foram os primeiros autores a investigar o significado fisiológico do ImP durante o RAST. Os resultados apresentados por estes autores (ANDRADE et al., 2013) estão de acordo com outros estudos que observaram significativas correlações entre os parâmetros do RAST e variáveis fisiológicas relacionadas ao metabolismo aeróbio (KALVA FILHO et al., 2013). Em conjunto ao resultado destas investigações, foi demonstrado que o ImP é uma ferramenta reprodutível (DE ANDRADE et al., 2014) e que pode ser utilizada para avaliação do decaimento de desempenho durante esforços intermitentes de alta intensidade sendo este específico a modalidades coletivas e dependem da interação entre o metabolismo aeróbio e anaeróbio (ANDRADE et al., 2013; KALVA FILHO et al., 2013). A discussão acerca do melhor método de investigação da taxa de decaimento durante esforços repetidos de alta intensidade é vasta na literatura (GLAISTER et al., 2008; OLIVER, 2009), no entanto, para o RAST não há um estudo que tenha comparado os diferentes métodos de determinação do decaimento do desempenho e descoberto qual o método que melhor se adequa ao modelo.

Quando pesquisadas as possíveis adaptações na mecânica de corrida durante o RAST, recentemente, BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) utilizando o RAST na grama e com chuteiras encontraram relevantes adaptações ocorridas durante os esforços. Estas adaptações somam o desempenho no teste pelo aumento do tempo em +17,4% do primeiro para o último esforço, além de modificações nos parâmetros mecânicos da passada e principalmente no *Spring-mass model* (i.e., deslocamento vertical do centro de massa e *Vertical Stiffness*) que evidencia a manifestação da fadiga neuro-mecânica pela diminuição da produção de forças de reação e aplicação para desempenho na aceleração horizontal (MORIN et al., 2011).

Além disso, BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) também encontraram fortes correlações ($r = -0,90$) da queda do desempenho com decaimento EMG dos músculos da coxa, revelando que o RAST na grama e com chuteiras oferece diminuição de recrutamento voluntário. Com o presente apresentado, muito se têm discutido acerca da utilização do RAST para avaliação, monitoramento e prescrição do exercício. Entretanto, o modelo ainda é carente de informações acerca das adaptações geradas nos diferentes pisos e calçado utilizado, tanto quanto, para o seu uso no contexto de treinamento e adaptações fisiológicas, biomecânicas e neuromusculares geradas antes, durante e após a sua utilização.

1.2.6. Apresentação do problema e justificativa

A distância total percorrida no RAST é de 210 m e o tempo de recuperação entre os esforços é de 50 s. Quando calculada a densidade (densidade = metragem percorrida / Σ tempos de intervalos), o RAST obtém uma densidade muito superior (4,2 u.a.) aos outros modelos (i.e., 1,11 u.a. no estudo de Gharbi *et al.* (2014) e 1,45 u.a. no estudo de Perrey *et al.* (2010)). Nesse sentido, com a divergência dos resultados descritos na

literatura pelos diferentes modelos e diferentes resultados em um mesmo modelo, fica explícita a necessidade do entendimento do comportamento das variáveis fisiológicas e mecânicas induzidas por um modelo intenso de esforços repetidos (RAST). Adicionalmente, sabendo que ajustes metabólicos e neurais têm impacto direto nos parâmetros mecânicos, os quais são determinantes para o desempenho (MIZRAHI; VERBITSKY; ISAKOV, 2001; AKIMA; KINUGASA; KUNO, 2005; ABBISS; LAURSEN, 2008; HAUSSWIRTH et al., 2010), fazem-se necessários estudos que auxiliem o entendimento das modificações no desempenho derivadas de adaptações fisiológicas e biomecânicas durante o RAST.

Portanto, a análise do acúmulo de repetições nas concentrações de lactato ([Lac]) a cada esforço e a biomecânica da corrida em esforços consecutivos pode mostrar e delinear um novo modelo de esforços com um número apropriado de repetições para treinamento e assim, garantir o melhor desempenho durante os eventos oficiais e decisivos envolvidos nos esportes coletivos convencionais (e.g., futebol, futsal, basquetebol, handebol).

Após a verificação da possibilidade do uso do modelo para o treinamento, a caracterização biomecânica e interação entre os aspectos fisiológicos e biomecânicos para o desempenho poderão ser testadas. As evidências encontradas nos parâmetros do passo por BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) (i.e., tempo de contato, tempo de voo e frequência de passos) a partir do quarto e quinto esforço no *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST) em grama natural e com chuteiras dão indícios que este modelo altera a mecânica do passo em superfície instável, e, sabendo também que estes resultados podem não se reproduzir em superfícies rígidas e com o uso de tênis (KALVA-FILHO, C. A. et al., 2013), uma análise mais robusta com o uso da

cinemática tridimensional poderá descrever qual variável determina o desempenho e qual variável determina a queda do desempenho no RAST podendo esta descrição ser fundamental para técnicos, fisiologistas e biomecânicos. Além disso, identificar em qual esforço a fadiga instaurada começa a determinar mudanças significativas no padrão em superfície rígida e com tênis. Assim, determinar as variáveis biomecânicas que mais podem estar ligadas a manutenção dos esforços correlacionando-as com índices de desempenho. A falta de descrição na literatura desse tipo de questão limita a aplicabilidade de métodos de treinamento que podem estar intimamente ligadas à melhora do desempenho, haja vista que o treinamento combinado com RSA já está ligado à melhora das capacidades de aceleração (SERPIELLO et al., 2011) e salto vertical (CHERIF et al., 2012).

Feitas as descrições e interações entre os aspectos fisiológicos e dos padrões de movimento com direcionamento para o desempenho, o entendimento das forças e deformações dos segmentos presentes na execução do movimento será importante para entender em que ponto os indivíduos começam a perder força de reação no solo e em que ponto se começa a desenvolver o aumento da variabilidade do movimento com concomitante queda de desempenho. Para tanto, a avaliação do comportamento do *Spring-Mass Model* (SMM) durante o RAST em superfície rígida e com tênis ainda não foi revelada, além disso, as alterações neuromusculares ocorridas antes e após a execução do modelo também não foram relatadas. Sabe-se que o SMM na grama e com chuteiras se modifica a partir do quarto esforço enquanto que o comportamento da atividade eletromiográfica durante os esforços tende a diminuir e oferece diminuição de recrutamento voluntário (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014). Nesse sentido, ainda não se sabe quais são as reais mudanças periféricas e centrais pré e após execução

do RAST, bem como, não se tem relatos das modificações no SMM durante a execução desses esforços em superfície rígida.

Nessas condições, acredita-se ser possível com essa dissertação verificar em primeiro lugar o comportamento das variáveis fisiológicas e biomecânicas durante a execução do RAST e a suas possíveis influências no desempenho. Para tanto, foram formuladas quatro perguntas que serão respondidas nos capítulos 3, 4 e 5 da presente dissertação. Seguindo esta ordem, 1º é possível o uso do RAST como um pré-modelo para o treinamento? 2º qual a interação entre os padrões de movimento, fisiologia e o desempenho? 3º há diferença no comportamento dos parâmetros do passo e SMM em superfície rígida e com tênis? 4º há instauração da fadiga neuromuscular no RAST pelos mecanismos regulatórios envolvidos no âmbito central e periférico?

1.3. OBJETIVO GERAL

A presente investigação se propõe a examinar as adaptações fisiológicas, dos padrões de movimento e o processo de instauração da fadiga em um modelo intenso de esforços repetidos de alta intensidade e curto período de recuperação (RAST).

1.3.1. Objetivos específicos

- Analisar o efeito do acúmulo de repetições nas [Lac] a cada esforço no RAST e a biomecânica da corrida em esforços de alta intensidade e curto período de recuperação. Com isso, espera-se que a [Lac], desempenho e biomecânica da corrida se estabilizem para que haja um número apropriado de repetições que possam garantir o melhor desempenho durante os eventos decisivos envolvidos nos esportes coletivos. Este estudo será mostrado no *Capítulo 3*.

- Determinar as mudanças no padrão biomecânico durante um modelo intenso de RSA (RAST) e, encontrar, a partir das possíveis correlações, variáveis biomecânicas que possam marcar o melhor desempenho ou a queda durante a execução dos esforços. Este estudo será mostrado no *Capítulo 4*.
- Revelar o comportamento do *Spring-Mass* (SMM) em superfície rígida e com tênis e os possíveis ajustes neuromusculares ocorridos após a aplicação de um modelo intenso de sucessivos esforços máximos separados por um breve período de recuperação (RAST). Este estudo será mostrado no *Capítulo 5*.

Capitulo 2.

Materiais e métodos empregados

2.1. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1.1. Participantes

Participaram do estudo 16 voluntários (média $\pm$ desvio padrão; $22,1 \pm 3,1$ anos, massa corporal de $78,6 \pm 22,9$ kg e $186,1 \pm 10,1$ cm de estatura) dos quais, sete eram indivíduos fisicamente ativos (média $\pm$ desvio padrão; $21,8 \pm 3,1$ anos, massa corporal de $70,9 \pm 10,8$ kg e estatura de $179,7 \pm 3,3$ cm de estatura) que tinham experiência nas modalidades de atletismo ($n = 3$) futsal ($n = 2$), voleibol ($n = 1$) e rúgbi ($n = 1$) por no mínimo dois anos e tinham frequência de atividade física de pelo menos 2 vezes por $\cong 2$ hr por semana e estão descritos nos Capítulos 3 e 4 da presente dissertação, nove participantes eram jogadores profissionais de basquetebol (média $\pm$ desvio padrão; idade $22,2 \pm 3,3$ anos, massa corporal de $89,2 \pm 16,2$ kg e estatura de $189,9 \pm 10,8$ cm) pertencentes à federação paulista de basquetebol da categoria adulto e estão descritos nos Capítulos 4 e 5 da presente dissertação. Os atletas possuíam no mínimo 5 anos de experiência em treinamentos e competições na modalidade. Treinavam entre 10 – 20 h sendo que tinham entre 5 e 10 sessões de treinamento em 5 – 6 dias por semana. Os treinos eram compostos de exercícios de força, resistência aeróbia, resistência muscular localizada, treinos fundamentais, táticos e técnicos.

2.1.2. Análise do Desempenho no *Running Anaerobic Sprint Test (RAST)*

Previamente a realização dos testes, todos os indivíduos já estavam adaptados ao protocolo por serem constantemente avaliados pelo método para monitoramento dos efeitos treinamento. Previamente a aplicação dos esforços os participantes tiveram a MC mensurada utilizando uma balança digital calibrada com precisão de 0,1 kg (Filizola - Modelo Personal, Campo Grande, Brasil) com todas as vestimentas utilizadas durante a realização dos esforços. O *Running Anaerobic Sprint Test (RAST)* (ZAGATTO; BECK;

GOBATTO, 2009) consistiu de seis esforços máximos de 35 m, intercalados por períodos de recuperação passiva de 10 s em superfície rígida e com o uso de tênis. O registro do tempo a cada esforço foi feito a partir de duas câmeras (CASIO® EX-FH25) ajustadas a uma frequência de aquisição de 120 Hz, com resolução de 640·480 pixels alocadas em pontos específicos do ginásio para cobrir a maior distância possível do ambiente de coleta. Posteriormente, as imagens foram tratadas, sincronizadas, calibradas e reconstruídas por meio do *software* Dvideo® (BARROS et al., 1999; FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2003) (Figura 1).

Figura 1. Digitalização e marcação dos pontos para determinação do deslocamento bidimensional durante o RAST.

A calibração foi feita com base em 14 pontos na superfície da quadra com coordenadas conhecidas em relação à origem do sistema de calibração, sendo previamente estabelecido que o eixo x correspondia à direção anteroposterior e o eixo y médio-lateral (Figura 2). A marcação dos quadros foi feita manualmente e, possibilitou a obtenção do posicionamento bidimensional (x, y) de cada passo do participante na

área calibrada em função do tempo. A reconstrução bidimensional foi realizada através do método *DLT* (*Direct Linear Transformation*) (ABDEL-AZIZ; KARARA, 1971). As coordenadas bidimensionais foram interpoladas e extrapoladas para o número de quadros e distância correspondentes ao esforço e foram posteriormente filtradas pelo filtro *Butterworth* (passa-baixa) de 3ª ordem, adotando-se uma frequência de corte de 0,4 Hz (MOURA et al., 2012). A partir disso, as matrizes de dados bidimensionais provenientes do rastreamento foram transferidas para o *software* MatLab® e por meio de rotinas desenvolvidas pelos pesquisadores foram registrados os tempos de cada esforço que compreendeu o RAST.

Figura 2. Desenho esquemático do método para obtenção do tempo de cada esforço que compõe o RAST.

Este sistema possibilitou a determinação do tempo com precisão de 0,086 s. Dessa maneira, por meio da relação entre a distância e o tempo de esforço, a potência absoluta e relativa em cada esforço foi obtida através da medida do tempo (t), distância (d) e massa corporal (bm) do indivíduo pela expressão 1 (ZAGATTO; BECK; GOBATTO, 2009).

$$Ex\ 1. P(W) = \frac{(bm \cdot \Delta d^2)}{\Delta t^3}$$

A partir da distância e tempo também foi possível determinar a velocidade máxima (V_{MAX}) e média (V_{MED}) durante o percurso.

Índices de decaimento do desempenho em esforços repetidos são frequentemente utilizados para demonstrar de acordo com o modelo, o quanto em relação ao melhor esforço o indivíduo perdeu de desempenho. Na presente dissertação foram determinadas três formas como índices de decaimento. O índice de fadiga que foi calculado com base em duas metodologias, a primeira (IF%), convencionalmente utilizada na aplicação do RAST foi determinada a partir da expressão 2.

$$Ex\ 2. IF\ (\%) = \left[\frac{(P_{Pico} - P_{Min})}{P_{Pico}} \right] \cdot 100$$

Onde P_{Pico} é a potência máxima obtida durante os seis esforços e P_{Min} é a potência mínima durante os seis esforços. A segunda ($IF_{REAL}\%$) foi determinado a partir do melhor tempo (Bt) e o tempo de cada esforço (t) pela expressão 3 (OLIVER, 2009).

$$Ex\ 3. IF_{REAL}\ (\%) = \left(\frac{(Bt \cdot 6) - \Sigma t}{(Bt \cdot 6)} \right) \cdot 100$$

Por último, o impulso (ImP) (DE ANDRADE et al., 2014), que foi obtido pela integral resultante da relação entre a força e o tempo de esforço como descrito na expressão 4.

$$Ex\ 4. ImP\ (N \cdot s) = \int \left(\frac{bm}{t^2} \right) t$$

Onde $\frac{bm}{t^2} = \text{Força}$

Os três índices de decaimento foram calculados em alguns momentos por cada esforço, sendo aplicadas relativamente ao número de esforços, potência, tempo ou força.

2.1.3. Aquisição e análise dos parâmetros biomecânicos tridimensionais

A análise biomecânica tridimensional foi feita a partir de um sistema de doze câmeras S250 do sistema OptiTrack™ (*Natural Point Inc. - USA*) sincronizadas via *hardware*, operando a uma frequência de 120 Hz dispostas em tripés distribuídos no ambiente de coleta. Inicialmente, foi estabelecido um sistema de orientação e um volume de calibração que correspondeu a 10,0 m para o eixo x, 1,4 m para o eixo y e 2,0 m para o eixo z no início e no final do percurso de forma que seis câmeras ficaram posicionadas em cada um dos volumes de calibração. Para este estudo, apenas os 10 m finais do percurso (25 até 35 m) foram utilizados para análise cinemática. O eixo x correspondeu à direção anteroposterior (direção da corrida), o eixo y correspondeu à direção médio-lateral e o eixo z a direção vertical do movimento analisado (Figura 3).

Figura 3. Esquema de posicionamento das câmeras, orientação e volume de calibração (m).

Para calibração das imagens, foi utilizado um bastão topográfico graduado contendo 11 marcações que foi posicionado em 16 locais previamente delimitados dentro do volume de calibração, totalizando 176 pontos de referência (Figura 4).

Figura 4. Posicionamento do bastão topográfico e disposição dos pontos de calibração (cm).

Um teste de acurácia foi feito para este estudo (BARBIERI et al., 2010). O maior erro de medida encontrado para este estudo foi de 10,2 mm. Após a calibração das imagens e testada a acurácia, foram utilizados 20 marcadores refletivos (25 mm) para determinação das variáveis tridimensionais, sendo definidos 14 segmentos rígidos: mãos, antebraços e braços, cabeça, tronco, coxas, pernas e pés. Os marcadores foram posicionados nos acidentes ósseos 1) sutura sagital; 2) incisura jugular; 3 e 4) acrômio direito e esquerdo; 5 e 6) epicôndilo lateral do úmero direito e esquerdo; 7 e 8) cabeça da ulna direita e esquerda; 9 e 10) falanges distais do dedo médio direito e esquerdo; 11 e 12) trocânter maior do fêmur direito e esquerdo; 13 e 14) côndilo lateral do fêmur direito e esquerdo; 15 e 16) maléolo lateral da fíbula direita e esquerda; 17 e 18) calcâneo direito e esquerdo; 19 e 20) hálux direito e esquerdo. Os 20 pontos de interesse foram manualmente digitalizados no *software* Dvideo® (BARROS et al., 1999; FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2003) para a obtenção das variáveis cinemáticas tridimensionais da corrida pelo método *Direct Linear Transformation (DLT)* (ABDEL-AZIZ; KARARA, 1971) (Figura 5).

Figura 5. Digitalização e marcação dos pontos anatômicos de interesse para determinação das variáveis cinemáticas tridimensionais.

O software MatLab® foi utilizado para as etapas de processamento e obtenção das variáveis de interesse. As coordenadas tridimensionais dos dados brutos foram suavizadas com o filtro digital *Butterworth* de 3ª ordem, com frequência de corte de 10 Hz obtida pela análise de resíduos (WINTER, D. A., 2009). As coordenadas tridimensionais do centro de massa corporal (CM) foram calculadas a cada quadro, utilizando os parâmetros antropométricos de De Leva (DE LEVA, 1996). Através dos dados tridimensionais e das sequências de imagens foram definidas as seguintes variáveis:

- Frequência de passo (F_P , Hz): determinada pelo número de passos dados durante o percurso pelo tempo;
- Comprimento do passo (C_P , cm): definida pela distância horizontal entre o ponto em que o pé se retira do chão até o ponto em que o pé de balanço toca o chão;

- Comprimento da passada (C_P , cm): definida pela distância horizontal entre o ponto em que o pé se retira do chão até o ponto em que ele toca o chão novamente;
- Tempo de contato (T_C , s): tempo em que o pé toca o chão até quando o pé deixa o chão;
- Tempo de fase aérea (T_F , s): definido pelo tempo em que o pé deixa o chão até que o outro pé toca o chão;
- Tempo da passada (T_P , s): definido pelo tempo em que há retirada do pé do chão até o toque do mesmo pé na fase de contato.
- Distância de retirada (D_{RET} , cm): distância horizontal entre o pé na fase de apoio e a linha imaginária do CM no instante de retirada do pé do solo;
- Velocidade horizontal do CM no toque (V_{TOQ}^y , $m \cdot s^{-1}$): velocidade horizontal do CM no instante do toque do pé com o solo;
- Velocidade horizontal do CM na retirada (V_{RET}^y , $m \cdot s^{-1}$): velocidade horizontal do CM no instante da retirada do pé do solo;
- Altura máxima do CM (CM_{ZM} , cm): altura máxima do CM durante o percurso analisado;
- Altura média (CM_{ZMED} , cm): altura média do CM durante o percurso;
- Altura mínima (CM_{ZMIN} , cm): altura mínima do CM durante o percurso;
- Desvio padrão da altura do CM (CM_{ZSTD} , cm): desvio padrão da altura do CM durante o percurso analisado;
- Ângulo do joelho no toque (θ_{joeTOQ} , graus): ângulo do joelho no instante de toque do pé com o solo;
- Ângulo do joelho na retirada (θ_{joeRET} , graus): ângulo do joelho no instante de retirada do pé do solo;

- Ângulo de tornozelo no toque ($\theta_{\text{torn}_{\text{TOQ}}}$, graus): ângulo do tornozelo no instante do toque do pé com o solo;
- Ângulo do tornozelo na retirada ($\theta_{\text{torn}_{\text{RET}}}$, graus): ângulo do tornozelo no instante de retirada do pé do solo;
- Inclinação da coxa no toque ($\phi_{\text{coxa}_{\text{TOQ}}}$, graus): ângulo formado pelo vetor imaginário da linha do eixo vertical do ombro até o trocânter maior e a coxa do membro na fase de balanço no instante do toque do pé com solo;
- Inclinação da coxa na retirada ($\phi_{\text{coxa}_{\text{RET}}}$, graus): ângulo formado pelo vetor imaginário da linha do eixo vertical do ombro até o trocânter maior e a coxa do membro na fase de balanço no instante da retirada do pé do solo;
- Velocidade angular do joelho no toque ($\omega_{\text{joe}_{\text{TOQ}}}$, $\text{graus} \cdot \text{s}^{-1}$): velocidade angular do joelho no momento de toque do pé com o solo;
- Velocidade angular do joelho na retirada ($\omega_{\text{joe}_{\text{RET}}}$, $\text{graus} \cdot \text{s}^{-1}$): velocidade angular do joelho no momento de retirada do pé do solo.

2.1.4. Parâmetros do passo e Spring-Mass Model

O *Spring-Mass Model* é um modelo aplicado de diversas maneiras na literatura, com utilização de complexas modelagens matemáticas através de plataformas de força e cinemática. No entanto, nos últimos anos, tem sido amplamente divulgado um método proposto por Morin *et al.* (2005) que tem fácil aplicação e muita aceitação científica e prática. Por isso, foi uma opção utilizar o modelo de Morin *et al.* (2005) com a diferença de utilizar a cinemática para determinar as principais variáveis necessárias para os cálculos do modelo, no entanto, outras variáveis foram obtidas através do produto de expressões a seguir. O tempo de contato (T_C) e o tempo de fase aérea (T_F) foram determinados a partir da análise do comportamento do pé do indivíduo nos

metros 25 – 30 m em todos os esforços. A análise foi feita pelo tempo onde há o claro contato e retirada do pé de apoio no chão e o tempo da retirada do pé de apoio até o claro contato do pé de balanço com o chão. As análises foram feitas por meio de duas câmeras (CASIO® EX-FH25) ajustadas a uma frequência de aquisição de 120 Hz calibradas e sincronizadas como descrito no item anterior (ver em: *Análise do Desempenho no Running Anaerobic Sprint Test (RAST)*). O comprimento do passo (C_P) foi determinado em metros a partir da expressão 5.

$$Ex\ 5. \ C_P(m) = \frac{V}{F_P}$$

Onde V corresponde a velocidade média do indivíduo entre o toque e a retirada do pé de apoio do chão. A frequência de passo (F_P) foi determinada em Hz pela expressão 6.

$$Ex\ 6. \ F_P(Hz) = \frac{1}{(T_C + T_F)}$$

Os parâmetros do *Spring-Mass* (SMM) foram determinados sempre no mesmo passo dos parâmetros anteriores de acordo com o método baseado no modelo de curva em sino da relação Força – tempo durante o contato do pé com o solo (MORIN et al., 2005). Esse método permite a estimativa da rigidez vertical do centro de massa e da perna por simples parâmetros mecânicos (e.g., massa corporal, velocidade, comprimento da perna, tempo de contato e tempo de fase aérea).

Vertical Stiffness (i.e., rigidez vertical do CM) (K_{vert} , $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$) foi calculado a partir da força máxima vertical (F_Z^{MAX}) do CM e o deslocamento vertical (Δ_Z) como na expressão 7, utilizando a expressão 8 e a expressão 9.

$$Ex\ 7. K_{vert} (kN \cdot m^{-1}) = \frac{F_{Z^{MAX}}}{\Delta_Z}$$

Utilizando

$$Ex\ 8. F_{Z^{MAX}} (N) = bmg \left(\frac{\pi}{2} \right) \left[\left(\frac{T_F}{T_C} \right) + 1 \right]$$

com

$$Ex\ 9. \Delta_Z (m) = - \left(\frac{F_{Z^{MAX}}}{bm} \right) \left(\frac{T_C^2}{\pi^2} \right) + \left[g \left(\frac{T_C^2}{8} \right) \right]$$

Onde bm corresponde a massa corporal (kg) e g a aceleração da gravidade ($\cong 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

A rigidez da perna (*Leg Stiffness*) (K_{leg} , $kN \cdot m^{-1}$) foi calculada a partir da máxima força vertical do centro de massa (F_Z^{MAX}) e máxima compressão da perna (Δ_L) ambos na fase de apoio como descrito nas expressões 10 e 11.

$$Ex\ 10. K_{leg} (kN \cdot m^{-1}) = \frac{F_{Z^{MAX}}}{\Delta_L}$$

Usando

$$Ex\ 11. \Delta_L (m) = L_0 - \sqrt{\left[L_0^2 - \left(V \cdot \frac{T_C}{2} \right)^2 \right] + \Delta_Z}$$

Onde L_0 corresponde a posição inicial do comprimento da perna (distância do trocânter maior até o chão) em posição anatômica que foi determinada pela estatura do participante pela expressão 12 (WINTER, D.A., 2009).

$$Ex\ 12. L_0(m) = 0,53 \cdot estatura$$

Por meio da sincronização das câmeras a velocidade ($V, m \cdot s^{-1}$) foi determinada pela velocidade média durante o intervalo entre o claro contato do pé de apoio no chão até o claro contato do pé de balanço. Foi assumida que a velocidade vertical do CM foi zero no momento em que a F_Z^{MAX} foi determinada (GIRARD et al., 2011b).

2.1.5. Medida da concentração de lactato [Lac]

Antes da realização dos esforços, no primeiro, terceiro, quinto, sétimo e nono minuto após a realização dos esforços, amostras sanguíneas ($\cong 15 \mu l$ ou $\cong 25 \mu l$) foram coletadas do lóbulo da orelha dos participantes para determinar o comportamento e a concentração pico de lactato ($[Lac]_{Pico}$) utilizando tubos capilares previamente calibrados e heparinizados. As amostras foram imediatamente depositadas em tubos Eppendorf de 1,5 mL contendo $\cong 30 \mu l$ ou $\cong 50 \mu l$ de Fluoreto de Sódio (NaF-1%), para posterior análise em lactímetro (Yellow Springs Instruments, 1500 Sport, Ohaio, USA) por método enzimático. Todas as [Lac] foram expressas em milimoles por litro (mM).

2.1.6. Testes Neuromusculares

A avaliação neuromuscular foi feita através de contrações isométricas voluntárias máximas (CVMs) de extensão do joelho, com estimulação elétrica neuromuscular (EENM) através da técnica de interpolação de pulso elétrico (TIP; *Twitch Interpolation*). Foram monitoradas a força através de célula de uma carga CSR-1T (MK Controle®, São Paulo, SP, BR) e a eletromiografia de superfície EMG (Delsys, Trigno Wireless, Boston, Massachusetts, USA) durante todas as CVMs. A EENM foi feita por meio eletroestimulador de 150 V (Bioestimulador, Insight®, *patent pending*, Ribeirão Preto, São Paulo, BR) utilizando eletrodos autoadesivos (5 x 7 cm, Valutrode,

Arktus, Santa Tereza, Paraná, BR) posicionados no triângulo femoral (cátodo) e na dobra glútea (ânodo) com a aplicação de um pulso elétrico duplo (*doublets*) de curta duração (1 ms de duração com 10 ms de intervalo entre os pulsos) com frequência de estimulação correspondente a 1000 Hz.

Em todos os casos, os participantes foram posicionados sentados em cadeira específica com o quadril e joelho do membro dominante flexionados em 80° e 90°, respectivamente e firmemente presos ao assento por dois cintos cruzados na altura do peito e um cinto na altura da cintura. O membro dominante do participante foi acoplado ao equipamento em uma região 2 – 3 cm acima do maléolo lateral através de uma fita com velcro presa a um fio de metal atrelada a uma célula de carga.

Todas as sessões pré exercício iniciaram com exercício de aquecimento, foram realizadas duas séries de três extensões isométricas submáximas do joelho com duração de 3 s e 10s de intervalo entre as contrações (Figura 6A). O intervalo entre as séries foi de 60 s e após 120 s de repouso foi iniciada a familiarização ou os procedimentos experimentais (realizados antes e após 15 min da execução do RAST). Na sessão de familiarização, após o aquecimento, foram realizadas três CVMs com duração de 5 s e repouso de 120 s entre as tentativas para determinação do valor de força máxima de contração isométrica (Figura 6B). Em seguida, após um intervalo de 20 min foi realizada a determinação do limiar máximo de resposta à eletroestimulação (L_{MRE}) por meio da aplicação de *doublets* incrementais consecutivos (incrementos de 10 mA) no músculo relaxado até o limite voluntário de sensação de desconforto do participante ou até a determinação de uma intensidade na qual com o incremento de intensidade não houve aumento da força produzida pelo músculo relaxado (Figura 6C). Durante o

protocolo experimental foram assumidos e utilizados valores de estímulo elétrico 20% acima daqueles de fato encontrados (MCKENZIE et al., 1992).

As três CVMs tiveram a duração de 5 s com intervalos de 60 s entre elas. Juntamente com cada uma das três CVMs, após 3 s de contração, foram feitas EENMs no nervo para estímulo nas fibras musculares e obtenção da *Twitch Superimposed* (TS, M_{wave}) e 5 s após o termino da respectiva CVM, foi provocado um novo EENM quando o músculo estava relaxado para obtenção da *Twitch Potentiated* (TP). A amplitude de TS foi determinada pela diferença na força pico no momento da estimulação e o valor médio da força no intervalo entre 2,0 s e 2,5 s de CVM (*). Para o TP foi fixado um tempo de 0,25 s antes da estimulação que foi descartado e foi obtida a média da força de 0,5 s antes do que foi descartado (*) (Figura 6D).

Figura 6. Desenho esquemático da ordem de aplicação da metodologia do TIP. 6A = Aquecimento; 6B = Familiarização; 6C = Identificação do Limiar Máximo de resposta à

eletroestimulação (L_{MRE}); 6D = Avaliação neuromuscular para determinação da amplitude do Twitch Superimposed (TS) e Twitch Potentiated (TP).

Para estimar o percentual de ativação voluntária (AV) foi utilizada a expressão 13 (ALLEN, G. M.; GANDEVIA; MCKENZIE, 1995; STROJNIK; KOMI, 1998; NEYROUD et al., 2014) que permite corrigir casos em que os estímulos elétricos foram aplicados ligeiramente antes ou depois do platô de força das CVM.

$$Ex\ 13. AV (\%) = \left\{ 1 - \left[TS \cdot \left(\frac{\left(\frac{F_{EENM}}{F_{Pico}} \right)}{TP} \right) \right] \right\} \cdot 100$$

Onde: F_{EENM} é a força referente ao estímulo elétrico e F_{Pico} é o platô de força atingido voluntariamente na tentativa.

Juntamente com o monitoramento da força durante a CVM de extensão de joelho, foi monitorada a atividade eletromiográfica. Para tanto, a pele foi tricotomizada, levemente raspada com lixa fina para abrasão de células mortas e higienizada com álcool 70% nos locais onde foram fixados os eletrodos. A colocação dos mesmos seguiu as diretrizes do SENIAM, sendo monitorados os músculos, *vastus lateralis* (VL), *vastus medialis* (VM) e *retus femoris* (RF). Em todos os casos o sinal da EMG foi amplificado e filtrado (*bandwidth* 10 – 500 Hz, *gain* 1000, *butterworth* 4º ordem *bandpass*, com frequência de corte de 10 Hz e frequência de aquisição de 2000 Hz). Foi calculada a *root mean square* (RMS) e frequência mediana (F_{MED}) dos músculos durante 0,5 s relativo a F_{Pico} , sendo o intervalo de 0,25 s antes da aplicação da EENM. No momento da EENM durante a CVM foi possível obter a amplitude da onda M (M_{wave}) que posteriormente foi normalizou o RMS (i.e., RMS / M_{wave}) (Figura 7). Todos dados

foram tratados e analisados em ambiente MatLab® (MathWorks®, Natick, Massachusetts, USA).

Figura 7. Desenho esquemático do comportamento da amplitude (e.g., M_{wave}) e intervalos de análise da EMG (i.e., RMS, F_{MED}) durante a CVM.

Capítulo 3.

Possibilidade do uso do *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST) como estímulo de treinamento: respostas lactacidêmicas e dos padrões de movimento

3.1. RESUMO

O objetivo da presente investigação foi investigar o comportamento das respostas lactacidêmicas e dos padrões de movimento no RAST para que haja um número apropriado de esforços que possam garantir o melhor desempenho. Para tanto, seis indivíduos fisicamente ativos ($21,8 \pm 3,1$ anos, massa corporal de $70,9 \pm 10,8$ kg e estatura de $179,7 \pm 3,3$ cm) realizaram um aquecimento padronizado que foi composto de cinco minutos de corrida contínua a $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Dois minutos após, os participantes realizaram seis esforços máximos de 35 m separados por 10 s de intervalo passivo (RAST). Durante a realização dos esforços, os indivíduos foram monitorados por 14 câmeras para determinação dos padrões de movimento tridimensional e o desempenho bidimensional. Antes do aquecimento, imediatamente após cada esforço e nos minutos três, cinco e sete de recuperação foram determinadas as concentrações de lactato ([Lac]). O desempenho apresentou diferença a partir do quinto ($5,1 \pm 0,1$ s) e sexto esforços ($5,4 \pm 0,3$ s; $p < 0,04$). Os modelos de índice de fadiga (IF% e IF_{REAL}) apresentaram diferença a partir do quinto esforço ($19,2 \pm 9,4\%$; $19,3 \pm 10,9\%$; $p < 0,05$). As [Lac] de cada esforço não foram diferentes entre o primeiro e segundo ($3,5 \pm 1,7$; $4,3 \pm 2,2$ mM). A [Lac] do terceiro ($4,7 \pm 2,2$ mM) não foi diferente apenas do segundo. A [Lac] do quarto esforço ($6,1 \pm 1,9$ mM) foi diferente de todas as outras ($p < 0,01$). Nos padrões de movimento, foi encontrada apenas uma diferença significativa no tempo de fase aérea do quinto esforço ($0,16 \pm 0,03$ s) em relação ao esforço um ($0,12 \pm 0,01$ s; $p = 0,01$) e dois ($0,13 \pm 0,02$ s; $p = 0,03$). Embora encontrada diferença significativa da [Lac] no quarto esforço, parece que ela não interferiu no desempenho dos indivíduos. Por isso, pode-se concluir que até o quarto esforço o modelo do RAST pode ser aplicado sem perda significativa de desempenho.

3.2. INTRODUÇÃO

Em esportes coletivos (e.g., futsal, basquetebol e handebol), embora o metabolismo aeróbio seja predominante (BANGSBO; MOHR; KRUSTRUP, 2006), os principais e decisivos eventos são caracterizados por esforços de curta duração e alta intensidade, intercalados por períodos de recuperação passiva ou ativa (CASTAGNA et al., 2008; RAMPININI et al., 2011). A capacidade do indivíduo de realizar ou desempenhar esse tipo esforço tem sido denominado de *Repeated Sprint Ability* (RSA) que pode ser considerado um fator determinante para o desempenho em esportes coletivos (DAWSON, 2012; GHARBI et al., 2014). Muitos autores têm se interessado nas adaptações geradas pelo acúmulo de repetições desses esforços ao caráter fisiológico (PERREY et al., 2010; GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011) e biomecânico (GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011a; GIRARD et al., 2011b; DELEXTRAT; BALIQI; CLARKE, 2013). Entretanto, os modelos de RSA são muito variáveis, de 5 até 15 repetições (GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011), de diferentes distâncias, de ≈ 20 a 30m (DAWSON, 2012) e diferentes tempos de recuperação ≈ 10 a 30s (DAWSON, 2012), dessa forma, fica difícil determinar um modelo que se aproxime da demanda fisiológica e mecânica exigida nos eventos determinantes nos esportes coletivos.

Gharbi *et al.* (2014) utilizaram um protocolo com 10 repetições de 30m e 30s de recuperação passiva entre os esforços e observaram uma estabilização da concentração de lactato ([Lac]) nos esforços 3, 4 e 5. Consequentemente, os autores concluíram que esforços com essas combinações de execução (até 5 esforços) podem simular as intensidades encontradas em esportes coletivos pela estabilização da [Lac] a níveis encontrados durante jogos coletivos. Perrey *et al.* (2010) utilizaram 12 x 40 m com 30 s

de recuperação e encontraram diferenças significativas no tempo a partir do esforço cinco em relação aos demais. Entretanto, Girard *et al.* (2011a) utilizaram do mesmo modelo de RSA e encontraram diferenças apenas no tempo entre o esforço um e o esforço 12 (17%). Embora o tempo tenha sido diferente somente entre estes esforços, as variáveis biomecânicas (e.g., tempo de contato, tempo de voo, tempo na fase de balanço, e frequência de passos) relacionadas a este modelo se modificaram entre o início e o final da corrida com as repetições dos esforços.

Kalva-Filho *et al.* (2013) utilizando o *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST) (i.e., seis esforços máximos de 35 m separados por 10 s de intervalo passivo) encontraram diferenças no desempenho a partir do quarto esforço. Recentemente, BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) investigaram as alterações no desempenho durante o RAST levando em conta fatores fisiológicos, neurais e mecânicos (e.g., tempo de contato, tempo de voo, frequência de passos, *vertical stiffness*, deslocamento vertical do centro de massa e *leg stiffness*) por meio de modelamento matemático e encontraram significativas mudanças nas variáveis a partir do quinto esforço. Com a divergência dos resultados descritos na literatura pelos diferentes modelos e diferentes resultados no mesmo modelo, fica explícita a necessidade do entendimento do comportamento das variáveis fisiológicas e mecânicas nos diferentes modelos de RSA.

Adicionalmente, sabendo da importância e da melhora da qualidade das acelerações (SERPIELLO et al., 2011) que são determinantes para o desempenho em esportes coletivos (AUGHEY; VARLEY, 2013) fazem-se necessários estudos que auxiliem o entendimento das modificações nos parâmetros fisiológicos e mecânicos para manutenção de um bom desempenho e adaptações geradas por estímulos de treinamento derivados de modelos de esforços repetidos. Nesse sentido, o objetivo da

presente pesquisa foi investigar o comportamento das respostas lactacidêmicas durante os esforços que compõem um modelo intenso de esforços repetidos com breves períodos de recuperação (RAST) e as respectivas respostas nos padrões de movimento para que haja um número apropriado e que este número de esforços poderá ser utilizado durante o cotidiano de treinamento. Nossa hipótese é que as alterações lactacidêmicas ocorram concomitantemente às alterações nos padrões de movimento e que estas alterações possam mostrar uma estabilização do tempo de esforço para que haja um número apropriado de repetições que possam garantir o melhor desempenho e assim formar um modelo de treinamento que se aproxime da demanda necessária para o jogo.

3.3. MATERIAIS E MÉTODO

3.3.1. Participantes

Participaram do estudo seis indivíduos fisicamente ativos com idade de $21,8 \pm 3,1$ anos, massa corporal de $70,9 \pm 10,8$ kg e estatura de $179,7 \pm 3,3$ cm. Os participantes tinham experiência nas modalidades de atletismo ($n = 3$) futsal ($n = 2$) e voleibol ($n = 1$), por no mínimo dois anos. Todos os participantes foram informados sobre os riscos e benefícios do presente estudo e somente foram incluídos nas análises aqueles que concordaram por escrito com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Os procedimentos deste estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa e estavam em acordo com a declaração de Helsinki.

3.3.2. Procedimentos experimentais

Os testes tiveram duração de um dia. Todos os testes foram conduzidos dentro de um ginásio fechado com dimensões de 50·25m, simulando as condições reais dos esportes coletivos de quadra e evitando as possíveis influências do vento. A temperatura

média diária era de 25,6 °C. Primeiramente os indivíduos realizaram um aquecimento padronizado que foi composto de cinco minutos de corrida contínua a 9 km·h⁻¹. Dois minutos após o aquecimento os participantes realizaram seis esforços máximos de 35 m separados por 10s de intervalo passivo (RAST). Durante a realização de todos os esforços foram realizados estímulos verbais para encorajamento da manutenção do esforço máximo. Antes do aquecimento, imediatamente após cada esforço e nos minutos três, cinco e sete de recuperação, foram coletadas amostras sanguíneas (15µl) para posterior determinação das concentrações de lactato ([Lac]). Além disso, os indivíduos eram monitorados por 12 câmeras de infravermelho (S250 - *Natural Point Inc. - USA*) para determinação dos padrões de movimento tridimensionais (3D) nos metros finais de cada esforço (25 – 35 m), enquanto que o desempenho e padrões de deslocamento bidimensional (2D) no percurso eram monitorados por 2 câmeras (CASIO® EX-FH25) (Figura 8). Os materiais e métodos aplicados para este estudo estão descritos nos itens 2.1.2. (página 21), 2.1.3. (página 25) e 2.1.5 (página 31).

Figura 8. Desenho esquemático do posicionamento das câmeras para análise cinemática 2D e 3D.

3.3.3. Análise estatística

A esfericidade foi analisada pelo teste de Mauchly' *test* e, quando necessário, corrigida pelo teste de Greenhouse-Geisser. Estes procedimentos estatísticos permitiram

apresentar as variáveis em média $\pm$ desvio padrão. Além disso, as possíveis diferenças entre o desempenho, [Lac] e biomecânica da corrida entre cada esforço, foram testadas pela análise de variância ANOVA para medidas repetidas, seguida do *post-hoc* de Tukey, quando necessário. Em alguns casos foram feitas correlações entre as variações das [Lac] e parâmetros biomecânicos por meio de teste de correlação de Pearson. Em todos os casos o valor o nível de significância foi fixado em $< 5\%$.

3.4. RESULTADOS

Os resultados médios e desvio padrão do tempo (t), tempo total (TT) a cada repetição dos esforços e o decaimento do desempenho apresentado por três diferentes índices (i.e., IF, IF_{REAL} e ImP) encontram-se resumidos na Tabela 1. O t₅ foi diferente apenas do t₁ ($p = 0,005$) e t₂ ($p = 0,002$). O t₆ foi significativamente diferente de todos os esforços ($p < 0,04$). O IF₄ apresentou-se diferente do IF₅. O IF₆ foi diferente de todos os outros. O mesmo comportamento foi observado com o IF_{REAL}, entretanto, sem diferença do IF_{REAL4} em relação ao IF_{REAL5}. O ImP foi diferente em todos os casos (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão das variáveis obtidas através do RAST.

	t(s)	TT(s)	IF (%)	IF _{REAL} (%)	ImP (N·s)
1x35	4,9 $\pm$ 0,3 ^{a,b}	4,9 $\pm$ 0,3	---	---	---
2x35	4,9 $\pm$ 0,3 ^{a,b}	9,7 $\pm$ 0,6	5,5 $\pm$ 7,0 ^{a,b}	1,9 $\pm$ 2,5 ^{a,b}	510,6 $\pm$ 75,0 ^c
3x35	5,0 $\pm$ 0,2 ^b	14,7 $\pm$ 0,8	9,7 $\pm$ 7,0 ^{a,b}	4,9 $\pm$ 3,2 ^{a,b}	1023,9 $\pm$ 152,1 ^c
4x35	5,0 $\pm$ 0,3 ^b	19,7 $\pm$ 1,1	13,3 $\pm$ 5,0 ^{a,b}	9,4 $\pm$ 2,3 ^b	1504,8 $\pm$ 220,6 ^c
5x35	5,1 $\pm$ 0,1 ^b	24,8 $\pm$ 1,2	19,2 $\pm$ 9,4 ^b	19,3 $\pm$ 10,9 ^b	2015,6 $\pm$ 314,3 ^c
6x35	5,4 $\pm$ 0,3	30,2 $\pm$ 1,4	28,2 $\pm$ 7,1	38,0 $\pm$ 10,2	2496,3 $\pm$ 392,3 ^c

Note: t = tempo; TT = tempo total; IF = índice de fadiga; IF_{REAL} = índice de fadiga real; ImP = impulso; ^a Indica significância estatística para o esforço 5x35; ^b Indica diferença estatística em relação ao esforço 6x35; ^c Indica diferença estatística para todos os casos

As [Lac] de cada esforço não foram diferentes entre a [Lac_{E1}] e a [Lac_{E2}]. A [Lac_{E3}] não foi diferente apenas do segundo esforço. A [Lac_{E4}] foi diferente de todas as outras ($p < 0,01$). As [Lac_{E5}] e [Lac_{E6}] não foram diferentes entre si. Entretanto, foram diferentes de todas as outras (Figura 9).

Figura 9. Comportamento médio $\pm$ desvio padrão das [Lac] durante os seis esforços de 35 m. $p > 0,05$ Indica não significância estatística entre os esforços na [Lac]; ^a Indica diferença para a [Lac_{E1}], [Lac_{E4}], [Lac_{E5}] e [Lac_{E6}]; ^b Indica diferença significativa na [Lac] em relação aos outros esforços.

A análise biomecânica foi feita entre as distâncias 25 m até 29 m de cada esforço respectivamente. Os valores médios e desvio padrão das variáveis biomecânicas estão resumidas na tabela 2. Foi encontrada apenas uma diferença significativa no T_F do quinto esforço em relação ao esforço um ($p = 0,01$) e dois ($p = 0,03$). Nenhuma outra variável apresentou diferença significativa entre os esforços (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros biomecânicos dos seis esforços máximos de 35 m.

	1·35 m	2·35 m	3·35 m	4·35 m	5·35 m	6·35 m
F _P (Hz)	2,56 ± 0,25	2,75 ± 0,37	2,70 ± 0,51	2,26 ± 0,36	2,39 ± 0,51	2,33 ± 0,24
C _P (m)	2,08 ± 0,06	2,09 ± 0,21	2,13 ± 0,19	2,11 ± 0,20	2,05 ± 0,15	1,95 ± 0,14
T _C (s)	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,13 ± 0	0,12 ± 0,02	0,15 ± 0,02
T _F (s)	0,12 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,16 ± 0,03 ^a	0,13 ± 0,03
T _P (s)	0,40 ± 0,04	0,37 ± 0,04	0,35 ± 0,11	0,42 ± 0,13	0,43 ± 0,08	0,43 ± 0,05
D _{RET} (cm)	71,8 ± 10,4	62,0 ± 5,9	72,9 ± 13,9	61,7 ± 7,5	67,4 ± 7,6	59,1 ± 11,8
CM _{ZM} (cm)	79,5 ± 8,8	81,3 ± 6,6	78,3 ± 15,7	80,9 ± 5,4	81,9 ± 10,2	80,4 ± 5,8
CM _{ZMIN} (cm)	66,4 ± 9,1	74,4 ± 5,3	67,7 ± 14,3	75,0 ± 5,9	72,2 ± 10,9	72,5 ± 7,1
CM _{ZMED} (cm)	71,9 ± 8,8	77,9 ± 5,8	72,1 ± 15,0	78,2 ± 5,7	77,1 ± 11,1	76,7 ± 6,0
θ _{joeTOQ} (graus)	18 ± 7	26 ± 6	30 ± 17	34 ± 16	28 ± 13	20 ± 7
θ _{joeRET} (graus)	15 ± 9	19 ± 7	13 ± 8	14 ± 8	12 ± 7	14 ± 9
θ _{tornTOQ} (graus)	135 ± 7	135 ± 7	134 ± 10	136 ± 8	135 ± 8	134 ± 7
θ _{tornRET} (graus)	125 ± 5	126 ± 7	122 ± 3	127 ± 10	119 ± 6	124 ± 12
φ _{coxaTOQ} (graus)	23 ± 3	24 ± 6	23 ± 8	23 ± 8	25 ± 9	25 ± 8

^aIndica diferença estatística em relação ao primeiro (1·35m) e o segundo (2·35m) esforços. F_P: Frequência de passos; C_P: Comprimento de passo; T_C: Tempo de contato; T_F: Tempo de fase aérea; T_P: Tempo de passada; D_{RET}: Distância de retirada; CM_{ZM}: Altura máxima do CM; CM_{ZMIN}: Altura mínima do CM; CM_{ZMED}: Atura média do CM; θ_{joeTOQ}: Ângulo do joelho no toque; θ_{joeRET}: Ângulo do joelho na retirada; θ_{tornTOQ}: Ângulo do tornozelo no toque; θ_{tornRET}: Ângulo do tornozelo na retirada; φ_{coxaTOQ}: Ângulo de inclinação da coxa no toque;

Embora os parâmetros mecânicos na maioria dos casos juntamente com as diferenças percentuais das [Lac] não tenham sido diferentes. Foram encontradas correlações entre a diferença percentual da [Lac_{E4}] e [Lac_{E5}] (24,9%) e C_P ($r = 0,89$; $p < 0,01$), T_F ($r = 0,92$; $p < 0,01$), D_{RET} ($r = -0,84$; $p < 0,05$) e $\theta_{joe_{RET}}$ ($r = -0,83$; $p < 0,05$).

3.5. DISCUSSÃO

A presente investigação teve por objetivo examinar as respostas do desempenho, das [Lac] e da biomecânica da corrida em consecutivos esforços de 35 m com curto período de recuperação. Com isso, esperou-se encontrar em um modelo com menor tempo de recuperação entre os esforços (e.g., 10 s), um número de repetições que fosse próximo às condições dos esportes coletivos e desse modo, dar mais possibilidades de treinamento. Os principais achados da presente investigação foram a não diferença entre o desempenho (i.e., t) até o quarto esforço. As diferenças no IF e no IF_{REAL} sugerem que a partir do quinto esforço a queda do desempenho começa a ser significativa. Além disso, apesar das diferenças na [Lac] pode-se destacar que acúmulo de lactato até o quarto esforço não sugere interferência no desempenho. A confirmação desta hipótese foi reforçada pela diferença no T_F no esforço cinco e a não diferença das outras variáveis biomecânicas com a repetição dos esforços. Além disso, as correlações encontradas suportam que a diferença em percentual das [Lac_{E4}] e [Lac_{E5}] podem promover alterações na mecânica de corrida que se traduzem na queda de desempenho.

BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) analisaram o trecho de 25 – 30 m do RAST em jogadores profissionais de futebol e evidenciaram que o desempenho (i.e., tempo) piora a partir do esforço três. Justamente a partir deste esforço, os valores descritos (i.e., $5,31 \pm 0,22$; $5,44 \pm 0,24$; $5,62 \pm 0,33$; $5,74 \pm 0,3$ s) foram substancialmente superiores aos nossos (ver Tabela 1). Além disso, relataram que a

partir do esforço quatro a F_P diminui enquanto que o T_P aumenta e deslocamento vertical do CM passa a aumentar no esforço cinco. No presente estudo, verificou-se que a queda do desempenho somente ocorre a partir do esforço cinco e não é acompanhada por alterações nas variáveis biomecânicas, exceto aumento no T_F nesse mesmo esforço, o que concorda parcialmente com os achados anteriores (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014). Entretanto, uma das possíveis explicações para esse quadro de diferenças seria o uso de diferentes tipos de calçados utilizados e as superfícies onde foram realizados os esforços, o uso de chuteiras e em superfície de grama natural, pode subestimar a real potência produzida durante o RAST nessas condições (KALVA-FILHO, C. A. et al., 2013) e, dessa maneira, impactar diretamente os resultados obtidos no RAST (KALVA-FILHO, CARLOS AUGUSTO et al., 2013). Nesse sentido, no trecho analisado (i.e., $\cong 2/3$ do trecho) os voluntários do presente estudo mantiveram um padrão consistente de movimento em uma quadra com superfície rígida, com queda no desempenho apenas a partir do quinto esforço.

Gharbi *et al.* (2014) utilizaram um modelo de 10 repetições de 30m (15m + 15m) com mudança de direção (180°) e observaram uma estabilização da concentração de lactato ([Lac]) nos esforços 3, 4 e 5. Embora, Gharbi *et al.* (2014) tenha feito a reconstrução desses esforços ao longo de duas semanas para obtenção das concentrações pico de lactato para cada série de esforços, os autores demonstram os resultados apresentando somente o maior tempo para cada série de esforços. Sabe-se que o desempenho e as demandas fisiológicas em esforços repetitivos de alta intensidade podem sofrer interferência de vários fatores como número de repetições e duração dos intervalos (SPENCER et al., 2005). Entretanto, um fator intimamente ligado às demandas fisiológicas em esforços repetitivos é o desempenho no primeiro esforço (BISHOP; EDGE, 2006). Assim, maiores utilizações de fosfocreatina (PCr)

(HIRVONEN et al., 1987) e maiores acúmulos de H^+ (GAITANOS et al., 1993), tem sido correlacionadas ao desempenho no primeiro esforço, evidenciando maior utilização das vias anaeróbias alática e láctica, respectivamente. Nesse sentido, não se sabe se o desempenho do primeiro esforço em cada uma das séries teve influência sobre as [Lac] no estudo de Gharbi *et al.* (2014).

Apesar disso, Perrey *et al.* (2010) também encontraram diferenças no desempenho a partir do quinto esforço, reforçando assim a possibilidade da aplicação de RSA com até cinco esforços para simulação da intensidade de jogo sem perda significativa de desempenho. Entretanto, na presente investigação, foram encontradas diferenças significativas a partir do quinto esforço em relação aos demais. Quando calculada a densidade (densidade = metragem percorrida / Σ tempos de intervalos), o modelo adotado (RAST) obteve uma densidade muito superior (4,2 u.a.) aos outros modelos (1,11 u.a. no estudo de Gharbi *et al.* (2014) e 1,45 u.a. no estudo de Perrey *et al.* (2010). Desse modo, pode-se especular que quanto maior a densidade de aplicação de RSA mais cedo os indivíduos serão expostos à fadiga pelo acúmulo de metabólitos e o menor acesso ao sistema aeróbio para manutenção da qualidade dos esforços.

Durante os períodos de recuperação, o metabolismo aeróbio é responsável por fatores importantes na manutenção do desempenho, como a remoção de fosfatos inorgânicos intracelulares (P_i) e a recuperação dos estoques de PCr (TOMLIN; WENGER, 2001; GLAISTER, 2005; GLAISTER et al., 2007). Além disso, quando os esforços máximos são repetidos com curtos intervalos de recuperação (< 20 s), a contribuição aeróbia aumenta durante o exercício, podendo ser determinante na manutenção do desempenho (CHRISTENSEN; HEDMAN; SALTIN, 1960; GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011). Na presente investigação, foi utilizado um

modelo com período de recuperação inferior aos comumente utilizados (10 s), que mesmo sendo um período curto de recuperação, sabe-se que há influência da aptidão aeróbia durante a execução dos esforços (ANDRADE et al., 2013). Apesar disso, fica difícil estabelecer a influência da aptidão aeróbia até o quinto esforço utilizando este modelo. Sendo talvez, mais importante após o quinto esforço para manutenção do desempenho.

Quando utilizamos o IF (BALČIŪNAS et al., 2006; ZAGATTO; BECK; GOBETTO, 2009) para descrever o decaimento do desempenho, foi encontrada diferença significativa já no quarto esforço em relação aos outros. Entretanto, o IF somente leva em consideração o melhor e o pior dos esforços (GLAISTER et al., 2008) e, além disso, pode ter interferência de conversões haja vista que a unidade utilizada para os cálculos é Watts, que foi obtido através dos cálculos a partir da distância e o tempo dos esforços.

Nesse sentido, de Andrade *et al.* (2014) destacaram o ImP como sendo uma boa alternativa para um índice de decaimento do desempenho, haja vista que está variável leva em consideração todo o comportamento da força durante a execução de todos os esforços. Na presente investigação o ImP obteve diferenças entre todos os esforços. Duas limitações podem estar ligadas as diferenças encontradas para o ImP, a primeira está ligada as conversões realizadas para obtenção da unidade de medida (N), em todos os casos, não é levado em consideração as acelerações e desacelerações durante os esforços e é utilizada a aceleração média para os cálculos, a segunda pode estar ligada ao piso que foi utilizado, de Andrade *et al.* (2014) testaram a reprodutibilidade da variável na grama o que pode não ser transferível para o piso duro.

Por isso, a introdução do cálculo do IF_{REAL} (DAWSON, 2012) que tem como princípio o uso da soma dos tempos de todos os esforços e o melhor tempo extrapolado para o número de esforços, pareceu responder melhor a esta série de esforços. Glaister *et al.* (2008) testaram diversos tipos de formulas para o cálculo do decaimento do desempenho. Apesar de não ter sido utilizada nenhuma das fórmulas utilizadas pelos autores, foi utilizada uma formula que respeita os princípios de avaliação do decaimento do desempenho. Glaister *et al.* (2008) evidenciam a dificuldade de aplicação das fórmulas pelo fato de não existir nenhum padrão em relação aos esforços e pausas. Adicionalmente, discutem a potencialização do desempenho nos últimos esforços em estudos que utilizam intervalos > 10 s. Demonstrando assim, dificuldades na aplicação das fórmulas. Nesse sentido, pela característica dos esforços aqui empregados e a diferença no tempo e no IF_{REAL} no mesmo esforço (i.e., esforço 5 e 6) parece que a fórmula empregada apresenta especificidade e validade ecológica, por isso, fica evidente que o cálculo do IF_{REAL} parece ser uma melhor alternativa quando os esforços são máximos e o período de recuperação é ≤ 10 s.

As $[Lac]_{E1}$ até $[Lac]_{E4}$ apresentaram diferenças e foram obtidas entre elas uma média de $4,7 \pm 2,1$ mM. Gharbi *et al.* (2014) encontraram uma média superior (9 mM). No entanto, os autores realizaram a coleta sanguínea aproximadamente três minutos depois da execução da série de esforços. Em nosso estudo, a $[Lac]$ foi obtida durante a execução dos esforços e impossibilitou o real pico de $[Lac]$ que poderia ser obtida minutos após cada esforço. Interessantemente, a não existência de diferença na $[Lac]$ dos primeiros esforços, somada a não diferença no desempenho e IF_{REAL} demonstra uma possível estabilização dinâmica do desempenho até o quarto esforço. Confirmando a hipótese da integração do desempenho e as $[Lac]$ dos esforços. Além disso, Gharbi *et al.* (2014) mostram que após 10 esforços a $[Lac]$ média obtida foi de 12,7 mM, em nosso

estudo, após a série de esforços, a média da [Lac] foi de 13,6 mM. Neste caso, nos esportes coletivos onde se obtêm [Lac] entre 3 e 10 mM (COUTTS; REABURN; ABT, 2003; STOLEN et al., 2005; CAPRINO; CLARKE; DELEXTRAT, 2012) a série que compreende o RAST pode ser considerada apropriada até o quarto esforço para treinamento em modalidades coletivas, haja vista que as [Lac] até o quarto esforço não interferiram no desempenho.

Com a adição das variáveis biomecânicas e a não significativa diferença entre os esforços, pode-se especular que até para séries de esforços máximos com um período menor de recuperação entre eles, até o limite de quatro esforços, pode-se ter uma simulação das condições exigidas durante os jogos coletivos, promovendo assim, mais um modelo de treinamento em RSA. Girard *et al.* (2011b) utilizaram 6 x 20 m com 30 s de recuperação passiva e encontraram significativas diferenças no tempo de contato, tempo na fase aérea e tempo de passada. DELEXTRAT, BALIQI e CLARKE (2013) também encontraram diferenças pré e pós jogo de basquetebol no tempo de contato, tempo da passada e frequência de passadas em uma série de esforços de 6 · 4 s com 21 s de intervalo entre os esforços. Na presente investigação, apenas o T_F foi diferente no quinto esforço em relação aos demais, indicando para uma estabilização nos primeiros esforços nos parâmetros biomecânicos. A diferença encontrada no T_F reforça a possibilidade do modelo ser empregado no cotidiano de treinamento até o quarto esforço para simular intensidades de jogos coletivos sem perder eficiência mecânica, desempenho e ainda, garantir uma possível [Lac] próxima ao encontrado durante as partidas (COUTTS; REABURN; ABT, 2003; STOLEN et al., 2005; CAPRINO; CLARKE; DELEXTRAT, 2012). Além disso, as correlações encontradas entre o percentual da [Lac_{E4}] e [Lac_{E5}] e algumas variáveis biomecânicas reforçam que a partir do esforço quatro, há queda acentuada de desempenho bem como, prejuízo nos

parâmetros mecânicos da corrida o que pode mostrar a capacidade de um método com um período menor de intervalo ser utilizado com um número menor de repetições.

Sendo assim, os resultados da presente investigação corroboram parcialmente com os achados de Gharbi *et al.* (2014) e sugerem que o modelo adotado pode ser utilizado até o quarto esforço como uma simulação da intensidade de jogos coletivos sem interferir no desempenho. Dessa maneira, pode-se sugerir séries de quatro esforços com período de recuperação curto ($\cong 10$ s) durante o cotidiano de treinamento com objetivo de melhorar a capacidade de manutenção de esforços repetidos promovendo assim específicas melhoras no desempenho principalmente voltadas aos esportes coletivos (SERPIELLO *et al.*, 2011).

3.6. CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo mostram que mesmo com períodos menores de recuperação entre os esforços (i.e., 10 s), do primeiro ao quarto esforços não foram encontradas diferenças que pudessem comprometer o desempenho e, dessa maneira, ficou claro que até o quarto esforço o RAST pode ser aplicado no cotidiano de treinamento. Além disso, as alterações no desempenho e a não diferença nos parâmetros mecânicos sugerem que estas alterações podem estar mais ligadas a ajustes metabólicos do que mecânicos. Desse modo, o RAST como pré-modelo para o treinamento, sendo utilizado até quatro esforços pode ser considerado com um estímulo de treino muito interessante para esportes coletivos convencionais que utilizam a corrida como meio de locomoção haja vista a não diminuição significativa do desempenho.

Capítulo 4.

**Interações entre a resposta lactacidêmica e da biomecânica da corrida no
desempenho de esforços repetidos**

4.1. RESUMO

O objetivo da presente investigação foi determinar as mudanças no padrão biomecânico durante um modelo intenso de RSA (RAST) e determinar as possíveis correlações para entender as interações entre a resposta biomecânica e fisiológica com o desempenho. Para tanto, 16 atletas ($22,1 \pm 3,1$ anos, $78,6 \pm 22,9$ kg e $186,1 \pm 10,1$ cm de estatura) participaram do estudo. Foi feito um aquecimento com duração de 5 min. Após dois minutos os indivíduos realizaram seis esforços máximos de 35 m separados por intervalos passivos de 10 s (RAST). Durante os esforços, duas câmeras captaram o desempenho por análise cinemática bidimensional enquanto que mais 12 câmeras foram posicionadas para análise cinemática tridimensional nos dez metros finais de cada esforço. O tempo dos esforços aumentou do primeiro ($4,67 \pm 0,39$ s) para o sexto ($5,28 \pm 0,36$ s) esforço ($+11,6\%$; $p < 0,05$). Foram encontradas mudanças significativas do primeiro para o último esforço na frequência de passo, tempo de contato, tempo de passada, velocidade horizontal do centro de massa (CM) e inclinação da coxa no toque do pé do solo ($-18,8\%$; $+19,7\%$; $+16,7\%$; $-17,6\%$; $-14,4\%$; $p < 0,05$). Quando testadas as correlações com o desempenho, o tempo mínimo (TMin) ($4,43 \pm 0,37$ s) interagiu negativamente com desvio padrão do CM (CM_{ZSTD}), o ângulo de tornozelo no toque ($\theta_{torn_{TOQ}}$) em todos os esforços e na retirada ($\theta_{torn_{RET}}$) ($r = -0,73$; $r = -0,75$; $r = -0,68$; $p < 0,05$). A $[Lac]_{PICO}$ foi correlacionada com a F_P nos dois primeiros esforços ($p < 0,01$), o C_P ($p < 0,05$), o tempo de fase aérea (T_F), a velocidade horizontal do CM no toque (V^y_{TOQ}) e na retirada (V^y_{RET}) no primeiro esforço ($p < 0,05$). Fortes correlações entre os parâmetros biomecânicos e índices de desempenho foram encontradas. Desse modo, pode-se concluir que o RAST altera a mecânica de corrida e, além disso, o θ_{torn} , a CM_{ZMED} , ao CM_{ZSTD} , a ϕ_{coxa} pareceram ser fundamentais para identificação de parâmetros que influenciam diretamente no desempenho deste modelo.

4.2. INTRODUÇÃO

A concentração pico de lactato ($[Lac]_{Pico}$), níveis de PCr e pH estão intimamente ligadas a fadiga em esforços repetidos (MCMAHON; JENKINS, 2002). Além disso, tem sido demonstrada a possibilidade de uma redução da atividade do sistema nervoso central implicando em uma menor atividade muscular (RACINAIS et al., 2007a; PERREY et al., 2010). Os ajustes metabólicos e neurais têm impacto direto nos parâmetros mecânicos, os quais são determinantes para o desempenho (MIZRAHI; VERBITSKY; ISAKOV, 2001; AKIMA; KINUGASA; KUNO, 2005; ABBISS; LAURSEN, 2008; CLANSEY et al., 2012) e ainda são pouco explorados na literatura. Em esforços contínuos de 100 - 400 m, sabe-se que o tempo de contato (T_C), frequência de passos (F_P) (MORIN et al., 2012b), tempo de passada (T_P), velocidade horizontal do centro de massa (V_{CM}^y), ângulos de joelho e inclinação da coxa podem ser determinantes (SARASLANIDIS et al., 2011a) e estão associadas a $[Lac]$ (SARASLANIDIS et al., 2011a). Para esforços repetidos de alta intensidade, os estudos que caracterizam a cinética e cinemática da corrida se restringem ao T_C , tempo na fase aérea (T_F), T_P , F_P e comprimento da passada (C_P) e não tem objetivos aplicados ao desempenho (GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011b; DELESTRAT; BALIQI; CLARKE, 2013; CROSS; BRUGHELLI; CRONIN, 2014).

Muitos autores investigaram os diferentes modelos de RSA. No entanto, o *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST) parece ser aquele que conquistou maior popularidade, tanto cientificamente quanto para a comunidade de treinadores (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014), principalmente pela proximidade da intensidade e tempo de recuperação ≤ 20 s entre os esforços (CARLING; LE GALL; DUPONT, 2012), simulando bem as condições reais de esportes coletivos. Recentemente, BROCHERIE, MILLET e GIRARD, (2014) investigaram as alterações no desempenho durante o RAST (i.e., seis esforços máximos de 35

m com intervalo passivo de 10 s) levando em conta fatores fisiológicos, neurais e mecânicos (e.g., tempo de contato, tempo de voo, frequência de passos) e encontraram significativas mudanças nas variáveis a partir do quarto e quinto esforço. Entretanto, conduziram o estudo na grama e com chuteiras, o que pode diferenciar os resultados quando as avaliações são conduzidas em superfícies rígidas e com o uso de tênis (KALVA-FILHO, C. A. et al., 2013).

Por isso, é necessário descrever as mudanças no padrão biomecânico da corrida entre os esforços para identificar em qual esforço a fadiga instaurada começa a determinar mudanças significativas no padrão em superfície rígida e com tênis. Assim, determinar as variáveis biomecânicas que mais podem estar ligadas a manutenção dos esforços correlacionando-as com índices de desempenho. A falta de descrição na literatura desse tipo de questão limita a interpretação de métodos de treinamento que podem estar intimamente ligadas à melhora do desempenho, haja vista que o treinamento combinado com RSA já está ligado à melhora das capacidades de aceleração (SERPIELLO et al., 2011) e salto vertical (CHERIF et al., 2012). Métodos de treinamento preventivos, proprioceptivos e corretivos estão intimamente ligadas a melhora das habilidades mecânicas de corrida, bem como a identificação de desvios biomecânicos na corrida podem ser indispensáveis para o delineamento de novos métodos de treinamento (WALLDEN 2015).

Dessa forma, sabendo da importância dos modelos de RSA e das necessidades evidenciadas, o objetivo da presente investigação foi determinar as mudanças no padrão biomecânico durante um modelo intenso de RSA (RAST) e, encontrar, a partir das possíveis correlações, variáveis biomecânicas que possam marcar o melhor desempenho ou a queda durante a execução dos esforços. A hipótese da presente investigação é há possibilidade de encontrar diferenças pontuais nas variáveis biomecânicas mesmo em um modelo de curta

duração e que as variáveis biomecânicas poderão apresentar correlações que mostrem a importância delas para um bom desempenho ou uma queda acentuada do mesmo.

4.3. MATERIAIS E MÉTODOS

4.3.1. Participantes

Participaram do estudo 16 voluntários (média $\pm$ desvio padrão; $22,1 \pm 3,1$ anos, massa corporal de $78,6 \pm 22,9$ kg e $186,1 \pm 10,1$ cm de estatura) dos quais, sete eram indivíduos fisicamente ativos que tinham experiência nas modalidades de atletismo ($n= 3$) futsal ($n= 2$), voleibol ($n= 1$) e rúgbi ($n = 1$) por no mínimo dois anos e tinham frequência de atividade física de pelo menos 2 vezes ($\cong 2$ hr) por semana e nove participantes eram jogadores profissionais de basquetebol pertencentes à federação paulista de basquetebol da categoria adulto. Os atletas possuíam no mínimo 5 anos de experiência em treinamentos e competições na modalidade. Treinavam entre 10 – 20 h sendo que tinham entre 5 e 10 sessões de treinamento em 5 – 6 dias por semana. Todos os procedimentos desta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição e foram conduzidos concordando com a Declaração de Helsinki. Os atletas foram informados sobre os riscos e benefícios dos experimentos, e assinaram o termo de consentimento livre esclarecido antes do estudo.

4.3.2. Procedimentos Experimentais

Todas as avaliações tiveram duração de um dia. Primeiramente, os participantes foram informados de todos os procedimentos envolvidos na coleta, após isto, foram mensuradas estatura e massa corporal de cada indivíduo utilizando as vestimentas que seriam usadas durante o teste. Após isto, os participantes tiveram o corpo modelado por 20 marcadores sendo definidos 14 segmentos rígidos: mãos, antebraços e braços, cabeça, tronco, coxas, pernas e pés. Após a preparação dos indivíduos, foi realizado um aquecimento padronizado

em esteira rolante (Inbramed Millennium ATL[®]; Porto Alegre, RS; Brasil) a $9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 120 s após o aquecimento, os indivíduos foram submetidos a seis esforços máximos de 35 m com intervalo passivo de 10 s entre os esforços (RAST), a todo o momento 12 câmeras de infravermelho (S250 - *Natural Point Inc.* - USA) monitoravam os padrões de movimento tridimensionais (3D) nos metros finais de cada esforço (25 – 35 m), enquanto que o desempenho e padrões de deslocamento bidimensional (2D) no percurso era monitorado por 2 câmeras (CASIO[®] EX-FH25) (Figura 10).

Figura 10. Desenho esquemático do posicionamento das câmeras para análise cinemática 2D e 3D.

Ao término dos esforços, amostras sanguíneas foram retiradas nos minutos 1, 3, 5, 7 e 9 para determinação das concentrações de lactato e caracterização do esforço. Todos os participantes já estavam adaptados ao RAST por serem constantemente avaliados pelo protocolo no cotidiano de treinamento. Os materiais e métodos empregados para este trabalho estão descritos nos itens 2.1.2. (página 21), 2.1.3. (página 25) e 2.1.5 (página 31).

4.3.3. Análise estatística

A esfericidade foi analisada pelo teste de Mauchly, e, quando necessário, corrigida pelo teste Greenhouse-Geiser. Posteriormente, foi testada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. Estes procedimentos estatísticos permitiram aplicar testes paramétricos e apresentar as variáveis em média $\pm$ desvio padrão. Desse modo, as possíveis diferenças entre

o desempenho e biomecânica da corrida entre cada esforço, foram testadas pela análise de variância ANOVA para medidas repetidas, seguida do *post-hoc* de Tukey. A interação entre as variáveis de desempenho, biomecânicas e fisiológicas foi testada a partir do teste de correlação de Pearson. Os coeficientes de correlação (r) foram classificados como muito fraco (0,0 – 0,2), fraco (0,2 – 0,4), moderado (0,4 – 0,7), forte (0,7 – 0,9) ou muito forte (0,9 – 1,0) (ROWNTREE, 1991). Em todos os casos, o nível de significância foi pré-estabelecido como $p < 0,05$.

4.4. RESULTADOS

O resumo dos resultados do desempenho no RAST está descrito na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios $\pm$ desvio padrão das variáveis que descrevem o desempenho durante o RAST ($n = 16$).

Variáveis de desempenho	Média $\pm$ Desvio Padrão
TT (s)	29,45 $\pm$ 1,39
TM (s)	4,91 $\pm$ 0,23
TMin (s)	4,43 $\pm$ 0,37
IF _{REAL} (%)	11,30 $\pm$ 7,59
[Lac] _{Pico} (mM)	13,65 $\pm$ 2,43

TT = Tempo total; TM = Tempo médio dos seis esforços; Tmin = Tempo mínimo; IF_{REAL} = Índice de fadiga; [Lac]_{Pico} = Concentração pico de lactato.

Quando testadas as possíveis diferenças no desempenho durante a repetição dos esforços. Encontrou-se uma estabilização do desempenho nos primeiros três esforços. O segundo esforço foi o mais rápido dentre todos, sem diferença para o primeiro e terceiro.

Enquanto que os últimos três esforços não foram diferentes entre si, mas obtiveram diferença significativa ($p < 0,01$) para os três primeiros esforços (Figura 11).

Figura 11. Comportamento do tempo durante a realização dos seis esforços máximos. $†$ Diferença estatística para os três primeiros esforços.

Quando testadas as possíveis diferenças nas variáveis biomecânicas com as consecutivas repetições os esforços, foi encontrada que a F_P do esforço cinco foi menor em relação aos esforços um e dois ($p < 0,01$). Porém isso não ocorreu no sexto esforço. O C_P não mudou conforme a repetição dos esforços. O T_C foi maior a partir do terceiro esforço ($p < 0,01$). Entretanto, não foi diferente do terceiro até o sexto esforço ($p > 0,05$). O T_F não mudou. O T_P aumentou durante a repetição dos esforços, sendo que no quarto esforço houve um aumento significativo em relação ao primeiro esforço ($p = 0,04$), além disso, no quinto

esforço também houve um aumento significativo que incorporou o primeiro e o segundo esforços ($p < 0,01$). Porém, não foi encontrada diferença no sexto esforço. O D_{RET} não mudou com a repetição dos esforços. Como era esperado, a V_{TOQ}^y e a V_{RET}^y obtiveram o mesmo comportamento, nos esforços um e dois, não foram encontradas diferenças significativas, a V_{TOQ}^y e a V_{RET}^y do terceiro ($p < 0,01$) e quarto ($p < 0,01$) esforços diminuíram em relação aos dois primeiros porém, sem diferença entre eles. A V_{TOQ}^y e V_{RET}^y do quinto e sexto esforços foram menores que os primeiros quatro esforços ($p < 0,01$), também, sem diferença entre eles.

As medidas de altura do CM (i.e., CM_{z_M} , $CM_{z_{MED}}$, $CM_{z_{STD}}$) não foram diferentes em nenhuma circunstância. Além disso, as medidas de ângulo do joelho (i.e., $\theta_{joe_{TOQ}}$, $\theta_{joe_{RET}}$) e tornozelo (i.e., $\theta_{torn_{TOQ}}$, $\theta_{torn_{RET}}$) também não mudaram com a repetição dos esforços. A $\phi_{coxa_{TOQ}}$ do esforço quatro aumentou em relação aos esforços três ($p = 0,03$) porém, diminuiu estatisticamente no quinto ($p = 0,03$) e no sexto ($p = 0,02$) em relação ao quarto, sem diferença para os primeiros três esforços. A $\phi_{coxa_{RET}}$ não mudou durante a execução dos esforços. A $\omega_{joe_{TOQ}}$ e $\omega_{joe_{RET}}$ também não mudaram. Os valores estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Comportamento Médio $\pm$ Desvio padrão das variáveis biomecânicas no intervalo dos metros 25 – 35 m.

	1-35 (35 m)	2-35 (70 m)	3-35 (105 m)	4-35 (140 m)	5-35 (175 m)	6-35 (210 m)
F _P (Hz)	2,53 $\pm$ 0,33	2,52 $\pm$ 0,41	2,34 $\pm$ 0,54	2,25 $\pm$ 0,36	2,13 $\pm$ 0,32 ^{a,b}	2,31 $\pm$ 0,50
C _P (cm)	408,06 $\pm$ 44,92	396,85 $\pm$ 70,63	377,65 $\pm$ 61,35	402,64 $\pm$ 60,27	391,62 $\pm$ 66,00	364,53 $\pm$ 101,21
T _C (s)	0,12 $\pm$ 0,02	0,12 $\pm$ 0,01	0,14 $\pm$ 0,03 ^a	0,14 $\pm$ 0,02 ^a	0,14 $\pm$ 0,02 ^{a,b}	0,15 $\pm$ 0,02 ^{a,b}
T _F (s)	0,14 $\pm$ 0,02	0,14 $\pm$ 0,02	0,15 $\pm$ 0,02	0,15 $\pm$ 0,05	0,16 $\pm$ 0,03	0,16 $\pm$ 0,03
T _P (s)	0,40 $\pm$ 0,05	0,41 $\pm$ 0,07	0,45 $\pm$ 0,09	0,46 $\pm$ 0,08 ^a	0,48 $\pm$ 0,06 ^{a,b}	0,45 $\pm$ 0,07
D _{RET} (cm)	66,32 $\pm$ 13,20	65,78 $\pm$ 21,55	67,42 $\pm$ 14,50	66,89 $\pm$ 24,34	62,42 $\pm$ 16,46	67,22 $\pm$ 14,25
V ^y _{TOQ} (m·s ⁻¹)	7,91 $\pm$ 0,60	7,77 $\pm$ 0,48	7,29 $\pm$ 0,47 ^{a,b}	7,18 $\pm$ 0,49 ^{a,b}	6,78 $\pm$ 0,52 ^{a,b,c,d}	6,67 $\pm$ 0,54 ^{a,b,c,d}
V ^y _{RET} (m·s ⁻¹)	8,10 $\pm$ 0,56	7,99 $\pm$ 0,43	7,52 $\pm$ 0,38 ^{a,b}	7,46 $\pm$ 0,53 ^{a,b}	7,01 $\pm$ 0,49 ^{a,b,c,d}	6,89 $\pm$ 0,55 ^{a,b,c,d}
CM _{ZM} (cm)	86,41 $\pm$ 15,78	76,00 $\pm$ 17,45	84,82 $\pm$ 16,68	77,20 $\pm$ 13,69	87,82 $\pm$ 14,96	74,20 $\pm$ 12,43
CM _{ZMED} (cm)	80,69 $\pm$ 15,35	70,17 $\pm$ 17,09	80,29 $\pm$ 17,08	71,20 $\pm$ 15,17	82,31 $\pm$ 15,74	69,21 $\pm$ 13,06
CM _{ZSTD} (cm)	3,07 $\pm$ 2,07	3,00 $\pm$ 1,33	2,21 $\pm$ 1,11	3,32 $\pm$ 2,54	3,17 $\pm$ 1,83	2,69 $\pm$ 1,44
θ _{joeTOQ} (graus)	29,15 $\pm$ 10,78	29,01 $\pm$ 9,53	33,31 $\pm$ 21,05	29,78 $\pm$ 10,55	27,34 $\pm$ 8,54	28,11 $\pm$ 11,90
θ _{joeRET} (graus)	32,10 $\pm$ 17,21	30,81 $\pm$ 19,27	30,71 $\pm$ 19,01	28,45 $\pm$ 19,45	28,49 $\pm$ 20,6	26,59 $\pm$ 19,06
θ _{tornTOQ} (graus)	129,64 $\pm$ 12,96	134,41 $\pm$ 9,98	132,06 $\pm$ 9,89	133,95 $\pm$ 8,66	132,52 $\pm$ 10,44	134,69 $\pm$ 14,04

$\theta_{\text{torn}_{\text{RET}}}$ (graus)	$126,48 \pm 15,29$	$133,05 \pm 9,99$	$131,38 \pm 10,04$	$133,68 \pm 11,38$	$128,60 \pm 12,11$	$132,50 \pm 22,94$
$\varphi_{\text{coxa}_{\text{TOQ}}}$ (graus)	$26,06 \pm 8,68$	$26,11 \pm 8,71$	$23,22 \pm 11,63$	$38,57 \pm 27,14^{\text{c,e}}$	$23,19 \pm 10,29$	$22,77 \pm 11,78^{\text{d,e}}$
$\varphi_{\text{coxa}_{\text{RET}}}$ (graus)	$17,78 \pm 14,27$	$30,26 \pm 30,19$	$20,14 \pm 12,30$	$18,52 \pm 12,25$	$19,68 \pm 13,78$	$19,83 \pm 12,37$
$\omega_{\text{joe}_{\text{TOQ}}}$ (graus·s ⁻¹)	$4,90 \pm 4,10$	$4,68 \pm 4,81$	$4,66 \pm 5,47$	$5,11 \pm 3,49$	$6,24 \pm 3,06$	$5,39 \pm 2,63$
$\omega_{\text{joe}_{\text{RET}}}$ (graus·s ⁻¹)	$4,25 \pm 4,46$	$1,25 \pm 7,56$	$3,67 \pm 6,77$	$0,77 \pm 6,74$	$2,66 \pm 7,01$	$0,19 \pm 7,42$

(F_P, Hz) Frequência de passos; (C_P, cm) Comprimento da passada; (T_C, s) Tempo de contato; (T_F, s) Tempo de fase aérea; (T_P, s) Tempo de passada; (D_{RET}, cm) Distância de retirada; (V_{TOQ}^y, m·s⁻¹) Velocidade horizontal do CM no toque; (V_{RET}^y, m·s⁻¹) Velocidade horizontal do CM na retirada; (CM_{ZM}, cm) Máxima altura do CM; (CM_{ZMED}, cm) Altura média do CM; (CM_{ZSTD}, cm) Desvio padrão da altura do CM; ($\theta_{\text{joe}_{\text{TOQ}}}$, graus) Ângulo do joelho no toque; ($\theta_{\text{joe}_{\text{RET}}}$, graus) Ângulo do joelho na retirada; ($\theta_{\text{torn}_{\text{TOQ}}}$, graus) Ângulo do tornozelo no toque; ($\theta_{\text{torn}_{\text{RET}}}$, graus) Ângulo do tornozelo na retirada; ($\varphi_{\text{coxa}_{\text{TOQ}}}$, graus) Inclinação da coxa no toque; ($\varphi_{\text{coxa}_{\text{RET}}}$, graus) Inclinação da coxa na retirada; ($\omega_{\text{joe}_{\text{TOQ}}}$, graus·s⁻¹) Velocidade angular do joelho no toque; ($\omega_{\text{joe}_{\text{RET}}}$, graus·s⁻¹) Velocidade angular do joelho na retirada. ^a Significância estatística em relação ao primeiro esforço; ^b Significância estatística em relação ao segundo esforço; ^c Significância estatística em relação ao terceiro esforço; ^d Significância estatística em relação ao quarto esforço; ^e Significância estatística em relação ao quinto esforço;

As variáveis TT e TM descrevem dentre o comportamento do desempenho durante a repetição dos esforços, a capacidade de manutenção dos esforços. Nesse sentido, foi adotado o TM (s) como referência para verificar as possíveis correlações com os padrões de movimento. Além disso, as variáveis TMin (s) (i.e., descreve o melhor desempenho entre os esforços), IF_{REAL} (%) (i.e., descreve o decaimento em porcentagem do desempenho) e [Lac]_{Pico} (i.e., marcador de intensidade) também foram assumidas como variáveis de referência do desempenho. Quando analisadas as possíveis interações entre as variáveis de desempenho e os padrões de movimento durante a repetição dos esforços encontrou-se alguns parâmetros que podem ser determinantes.

O TM foi correlacionado com a CM_{ZMED}, o CM_{ZSTD}, o θ_{tornTOQ} em todos os esforços e o θ_{tornRET} no primeiro até o quarto ($p < 0,01$). Os valores de correlação estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de correlação de Pearson (r) entre as variáveis biomecânicas em cada esforço e o TM.

TM	CM _{ZMED} (cm)	CM _{ZSTD} (cm)	θ_{tornTOQ} (graus)	θ_{tornRET} (graus)
1-35 (35 m)	-0,34	0,29	-0,64*	-0,61*
2-35 (70 m)	0,18	-0,61*	-0,58*	-0,53*
3-35 (105 m)	-0,41	0,38	-0,56*	-0,57*
4-35 (140 m)	0,24	-0,48	-0,57*	-0,58*
5-35 (175 m)	0,18	0,33	-0,56*	-0,24
6-35 (210 m)	0,52*	-0,40	-0,51*	-0,45

($CM_{Z_{MED}}$, cm) Altura media do CM; ($CM_{Z_{STD}}$, cm) Desvio padrão da altura do CM; ($\theta_{torn_{TOQ}}$, graus) Ângulo do tornozelo no toque; ($\theta_{torn_{RET}}$, graus) Ângulo do tornozelo na retirada; * Correlação Significativa ($p < 0,01$);

Quando verificadas as possíveis interações entre o TMin e o comportamento do padrão de movimento, foram encontradas interações negativas com $CM_{Z_{STD}}$, o $\theta_{torn_{TOQ}}$ em todos os esforços, o $\theta_{torn_{RET}}$ em todos os esforços exceto o quinto e a $\omega_{joe_{TOQ}}$ ($p < 0,01$). Enquanto que a $\phi_{coxa_{TOQ}}$ e a $\phi_{coxa_{RET}}$ ($p < 0,01$) se correlacionaram positivamente com os esforços quatro e dois respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Valores de correlação de Pearson (r) entre as variáveis biomecânicas em cada esforço e o TMin.

TMin	$CM_{Z_{STD}}$ (cm)	$\theta_{torn_{TOQ}}$ (graus)	$\theta_{torn_{RET}}$ (graus)	$\phi_{coxa_{TOQ}}$ (graus)	$\phi_{coxa_{RET}}$ (graus)	$\omega_{joe_{TOQ}}$ (graus·s ⁻¹)
1-35 (35 m)	0,35	-0,75*	-0,71*	0,23	0,09	-0,14
2-35 (70 m)	-0,73*	-0,81*	-0,79*	0,03	0,56*	-0,61*
3-35 (105 m)	0,44	-0,80*	-0,77*	0,02	0,13	-0,02
4-35 (140 m)	-0,32	-0,81*	-0,76*	0,64*	0,08	-0,49
5-35 (175 m)	0,09	-0,81*	-0,43	-0,05	0,10	0,34
6-35 (210 m)	-0,31	-0,81*	-0,68*	0,01	0,08	-0,66*

($CM_{Z_{STD}}$, cm) Desvio padrão da altura do CM; ($\theta_{torn_{TOQ}}$, graus) Ângulo do tornozelo no toque; ($\theta_{torn_{RET}}$, graus) Ângulo do tornozelo na retirada; ($\phi_{coxa_{TOQ}}$, graus) Inclinação da coxa no toque; ($\phi_{coxa_{RET}}$, graus) Inclinação da coxa na retirada; ($\omega_{joe_{TOQ}}$, graus·s⁻¹) Velocidade angular do joelho no toque. * Correlação Significativa ($p < 0,01$);

O IF_{REAL} interagiu com o T_C , o $\theta_{torn_{TOQ}}$ e o $\theta_{torn_{RET}}$ do esforço dois até o sexto esforço e $\omega_{joe_{TOQ}}$ ($p < 0,05$), além disso, também foram encontradas interações com a D_{RET} e $\phi_{coxa_{TOQ}}$ com o esforço quatro ($p < 0,05$). As correlações estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7. Valores de correlação de Pearson (r) entre as variáveis biomecânicas em cada esforço e o IF_{REAL} .

$IF_{REAL} \%$	T_C (s)	D_{RET} (cm)	$\theta_{torn_{TOQ}}$ (graus)	$\theta_{torn_{RET}}$ (graus)	$\phi_{coxa_{TOQ}}$ (graus)	$\omega_{joe_{TOQ}}$ (graus·s ⁻¹)
1·35 (35 m)	-0,07	-0,50*	0,44	0,41	-0,22	0,12
2·35 (70 m)	0,17	0,01	0,56*	0,58*	-0,23	0,52*
3·35 (105 m)	0,09	-0,35	0,57*	0,53*	-0,26	0,27
4·35 (140 m)	0,60*	-0,02	0,57*	0,51*	-0,58*	0,60*
5·35 (175 m)	0,35	0,07	0,58*	0,36	-0,15	-0,08
6·35 (210 m)	0,42	0,25	0,61*	0,51*	-0,20	0,63*

(T_C , s) Tempo de contato; (T_F , s); Tempo de fase aérea (D_{RET} , cm) Distância de progressão; ($\theta_{torn_{TOQ}}$, graus) Ângulo de tornozelo no toque; ($\theta_{torn_{RET}}$, graus) Ângulo de tornozelo na retirada; ($\phi_{coxa_{TOQ}}$, graus) Inclinação da coxa; ($\omega_{joe_{TOQ}}$, graus·s⁻¹) Velocidade angular do joelho no toque. *Correlação Significativa ($p < 0,05$);

A $[Lac]_{Pico}$ foi correlacionado com a F_P nos dois primeiros esforços ($p < 0,01$), o C_P ($p < 0,05$), o T_F , a V_{TOQ}^y e a V_{RET}^y no primeiro esforço ($p < 0,05$), e o $CM_{Z_{STD}}$ no quinto esforço também foi correlacionado com a $[Lac]_{Pico}$. As correlações estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8. Valores de correlação de Pearson (r) entre as variáveis biomecânicas em cada esforço e a $[Lac]_{Pico}$.

$[Lac]_{Pico}$	F_P (Hz)	C_P (cm)	T_F (s)	T_P (s)	V_{TOQ}^y ($m \cdot s^{-1}$)	V_{RET}^y ($m \cdot s^{-1}$)	CM_{ZSTD} (cm)
1·35 (35m)	0,69**	-0,05	-0,73*	-0,73*	0,52*	0,62*	-0,23
2·35 (70m)	0,62**	-0,43	-0,41	-0,65*	0,32	0,26	-0,02
3·35 (105m)	0,12	-0,14	-0,22	-0,10	0,20	0,29	0,04
4·35 (140m)	0,45	-0,50*	-0,33	-0,42	0,15	0,22	-0,45
5·35 (175m)	0,16	-0,26	-0,53*	-0,24	0,01	0,03	0,55*
6·35 (210m)	0,17	-0,22	-0,35	-0,21	0,01	-0,10	-0,35

(F_P , Hz) Frequência de passo; (C_P , cm) Comprimento de passada; (T_F , s) Tempo de fase aérea; (T_P , s) Tempo de passada; (V_{TOQ}^y , $m \cdot s^{-1}$) Velocidade horizontal do CM no toque; (V_{RET}^y , $m \cdot s^{-1}$) Velocidade horizontal do CM na retirada; (CM_{ZSTD} , cm) Desvio padrão do CM. ** Correlação Significativa ($p < 0,01$); *Correlação Significativa ($p < 0,05$);

4.5. DISCUSSÃO

Os principais achados da presente investigação foram as diferenças nas variáveis cinemáticas de F_P , T_C , T_P , $\phi_{COXA_{TOQ}}$ entre alguns esforços e as correlações entre o TM, TMin e IF com θ_{TORN} tanto no momento do toque quanto no momento da retirada do pé do solo. Além disso, a CM_{ZMED} , CM_{ZSTD} , ϕ_{COXA} tanto no toque quanto na retirada, $\omega_{JOE_{TOQ}}$, T_C , D_{RET} , F_P , C_P , T_F , T_P , V^y tanto no toque quanto na retirada também foram correlacionadas com as variáveis que descrevem o desempenho (e.g., TM, TMin, IF e $[Lac]_{Pico}$), dessa maneira, pode-se considerar que houve a confirmação da hipótese da presente investigação que era a mudança no padrão de movimento durante os sucessivos

esforços e que há variáveis que marcam a queda ou o melhor desempenho durante a execução dos esforços em superfície rígida e com tênis.

Recentemente, BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) estudaram o mesmo modelo (e.g., RAST) no trecho final de percurso (i.e., 25 – 30 m) e encontraram aumentos no tempo de esforço e T_C no terceiro esforço, corroborando parcialmente com os achados aqui descritos, haja vista que o tempo foi diferente a partir do quarto esforço. No estudo de BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) o T_P foi diferente a partir do quarto esforço, enquanto que na presente investigação foi encontrado um aumento apenas no quinto esforço, além disso, no estudo supracitado, a F_P diminuiu a partir do quarto esforço, enquanto que nós encontramos uma diminuição apenas no quinto esforço. Quanto à velocidade, considerando que a velocidade medida no estudo é a velocidade média obtida pelo quociente da divisão da distância percorrida pelo tempo, no estudo de BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) as diferenças começam a aparecer a partir do segundo esforço, enquanto que no presente estudo a V^y do CM tanto no toque, quanto na retirada começa a ser menor no terceiro esforço. É considerável que o estudo de BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) foi conduzido na grama e com chuteiras, ao contrário do nosso estudo, que foi conduzido em piso firme e com tênis, dessa maneira, o uso de diferentes calçados e superfícies para execução dos diversos modelos de RSA podem impactar diretamente nos resultados obtidos (KALVA-FILHO, C. A. et al., 2013) e, nesse contexto, diferenciar os achados referentes à mecânica de corrida entre os estudos.

Embora se tenham variáveis mecânicas igualmente determinadas nos dois estudos, às diferenças entre os momentos onde estas diferenças aparecem podem estar diretamente ligadas a estratégia de corrida adotada em superfície rígida. Pode-se

especular que no processo de aceleração e manutenção dos esforços em superfícies menos rígidas o gasto energético nos esforços é maior (SASSI et al., 2011), consequentemente, a fadiga se instaura e, dessa maneira, as diferenças nos parâmetros mecânicos aparecem mais cedo.

Além dos parâmetros já descritos, a $\phi_{COXA_{TOQ}}$ no quarto esforço aumentou em relação aos outros esforços, consequentemente, é observável que o desvio padrão desta variável também aumenta, e assim nós verificamos uma maior variabilidade ou instabilidade neste esforço, provavelmente desencadeada pelo aumento da demanda energética sem aporte dos sistemas de fornecimento de energia para manutenção do desempenho dos esforços anteriores (GLAISTER, 2005), haja vista a piora significativa do desempenho a partir deste esforço.

Adicionalmente, foram testadas as possíveis interações entre o desempenho com os padrões de movimento. O TM foi correlacionado moderadamente com a $CM_{Z_{MED}}$ que pode-se observar uma queda, não significativa (-9.4%) do primeiro para o último esforço, caracterizando a possibilidade de que quanto maior for o TM (i.e., pior desempenho) maior poderá ser a $CM_{Z_{MED}}$ do CM no último esforço. O $CM_{Z_{STD}}$ descreve a variabilidade da altura do CM no percurso analisado. Foram encontradas moderadas e fortes correlações com o TM e TMin no esforço dois, descrevendo a possibilidade da $CM_{Z_{STD}}$ ser uma variável que identifica no melhor desempenho aplicações para o treinamento. Se no melhor desempenho, foi observado que a variabilidade da altura do CM prejudica o desempenho, então, esta é uma variável que deve ser levada em consideração no cotidiano de treinamento, direcionando o atleta para que se tenha uma menor variabilidade dessa variável por intermédio de avaliações para monitoramento das variáveis biomecânicas. Além disso, a $[Lac]_{PICO}$ também foi

correlacionada com a CM_{zSTD} no quinto esforço, talvez, evidenciando que o aumento da intensidade poderia aumentar variabilidade desta variável, interferindo no desempenho final.

Em um estudo prévio, fortes correlações foram encontradas entre a atividade eletromiográfica dos músculos do membro inferior (reto e bíceps femoral) com o tempo nos esforços durante o RAST, que já indicavam possível influência da atividade motora no desempenho dos esforços de caráter *all-out* com breve recuperação (10 s) (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014), no entanto, não haviam relatado as possíveis correlações entre parâmetros mecânicos (cinemática 3-D) da corrida e o desempenho. O θ_{torn} tanto no toque quanto na retirada obtiveram correlações moderadas e fortes com o TM e TMin, dessa maneira, a caracterização desta variável no momento que nós a analisamos, pode revelar a forte possibilidade que nossos participantes quando tiveram um pior desempenho, estavam com o θ_{torn} menor, sendo que, o ângulo relativo entre os segmentos perna, tornozelo e pé quando menores, indicam uma possível estratégia de pisada mediopé para retropé, desacelerando o deslocamento horizontal. O IF_{REAL} confirmou os resultados quando foram encontradas significativas correlações a partir do esforço dois com θ_{torn} . Para explicar esta correlação, nós somamos o tempo dos esforços um e dois ($9,17 \pm 0,64$ s) e somamos todos os tempos de todos os esforços ($29,45 \pm 1,39$ s) e foi encontrada uma forte correlação ($r = 0,72$; $p = 0,01$). Dessa maneira, pode-se especular que, o mesmo indivíduo que realizou um bom desempenho nos primeiros esforços, pode ter realizado um bom desempenho nos últimos esforços. Sendo assim, as correlações encontradas a partir do segundo esforço com o IF_{REAL} e θ_{torn} , mostram a possibilidade do indivíduo que teve maior IF_{REAL} também teve maior θ_{torn} porque obteve também o melhor desempenho no conjunto de esforços. Adicionalmente a este resultado, para futuros

estudos, o *feedback* para o atleta deve ser considerado para verificação da sensibilidade desta variável no cotidiano de treinamento. Sabendo que isto pode ser muito aplicado possibilitando trazer bons resultados aguda e cronicamente (CROWELL et al., 2010).

A ϕ_{COXA} no toque e na retirada se correlacionaram moderadamente em dois casos, com o TMin e IF_{REAL}. É evidente que a $\phi_{COXA_{TOQ}}$ no esforço quatro obteve um elevado aumento do valor médio (+37,9%) e na variabilidade. Desse modo, sabendo que o desempenho piora significativamente a partir do quarto esforço, a correlação da $\phi_{COXA_{TOQ}}$ com o TMin e IF_{REAL} no quarto esforço pode ser explicada pela possível instabilidade dinâmica desta variável pela eminente possibilidade de aumento da acidose metabólica (GHARBI et al., 2014), decorrente das rápidas taxas de desoxigenação muscular que ocorrem durante os esforços 3 – 5 comparados ao primeiro (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014) e atuação do metabolismo aeróbio, embora, menos potente tem fundamental importância para manutenção dos esforços mesmo neste modelo de RSA (COOKE; PETERSEN; QUINNEY, 1997; ANDRADE et al., 2013; KALVA-FILHO, C. A. et al., 2013). Para confirmação da hipótese de que esta variável está correlacionada a uma piora no desempenho, também foi encontrada correlação da $\phi_{COXA_{RET}}$ no esforço dois.

Considerando que o índice de fadiga reflete o decaimento do desempenho e que foi no esforço dois onde em média houve o melhor desempenho, pode se especular a possibilidade do indivíduo que tem o melhor desempenho, também poderá ter um maior IF_{REAL}, dessa forma, a correlação positiva entre a $\phi_{COXA_{RET}}$ no segundo esforço com o IF_{REAL} poderia caracterizar esta variável como possível marcador de menor desempenho em RSA.

A ω_{joeTOQ} foi correlacionada com o TMin e com o IF_{REAL}. Apesar de não apresentar diferença estatística, houve um aumento na variável em 10,0% do primeiro para o último esforço e o TMin foi caracterizado como dependente de uma ω_{joeTOQ} menor, além disso, o IF_{REAL} também foi menor, sendo este, excelente para o desempenho. Desse modo, a ω_{joeTOQ} pode ser indicada como variável determinante para um bom desempenho, tanto no melhor desempenho, quanto no IF_{REAL}. O IF_{REAL} também foi correlacionado no quarto esforço com o T_C e D_{RET} que destaca o desequilíbrio ou instabilidade das variáveis mecânicas neste esforço, caracterizando uma baixa no desempenho.

A [Lac]_{Pico} como marcador de intensidade revelou correlações com a F_P e T_P nos esforços um e dois e T_F com esforço um e cinco. Naturalmente, a F_P é maior nos primeiros esforços e o T_P e T_F menores. A correlação com a [Lac]_{Pico} indica a possibilidade destas variáveis descreverem o aumento da demanda energética, consequentemente o aumento da acidose metabólica e acúmulo de lactato pós esforço. No nosso estudo a [Lac]_{Pico} foi relativamente mais elevada (13,7 mM) do que os estudos de Gharbi *et al.* (2014), com modelo de 10·30 m com intervalo passivo de 30 s (12,7 mM), BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014), que também utilizaram o RAST (10,5 mM) e de Andrade *et al.* (2014) que validaram o modelo para a grama e com chuteiras (13,1 mM). Desse modo, fica evidente que a demanda anaeróbia para nosso estudo foi maior, consequentemente, apoia nossa hipótese de as correlações entre a F_P, o T_F e o T_P e a [Lac]_{Pico} nos primeiros esforços estarem ligadas a maior demanda, principalmente anaeróbia. Embora isso tenha ocorrido nos primeiros esforços, o T_F no quinto esforço também mostrou estar ligado com a [Lac]_{Pico}. Quando somado o tempo dos esforços um até o cinco ($24,2 \pm 1,2$ s) e feita à correlação com o tempo do esforço um ($4,7 \pm 0,4$ s), verificou-se correlação moderada de 0,64 ($p < 0,01$). Isto mostra que,

pelo fato do indivíduo que foi melhor no primeiro esforço ter tido uma $[Lac]_{Pico}$ maior que foi apoiada pela correlação existente entre o desempenho do primeiro esforço e a $[Lac]_{Pico}$ (V_{TOQ}^y , V_{RET}^y no primeiro esforço, $p < 0,05$), conseqüentemente, este indivíduo também teve um melhor desempenho até o esforço cinco, confirmando a correlação negativa entre a $[Lac]_{Pico}$ e T_F no quinto esforço.

Interessantemente a V_{TOQ}^y e a V_{RET}^y do esforço um se correlacionaram com a $[Lac]_{Pico}$. Embora, em média o melhor desempenho tenha acontecido no esforço dois, quem apresentou maior V_{TOQ}^y e V_{RET}^y no esforço um apresentou maior $[Lac]_{Pico}$. Como marcador de intensidade, era esperado que a $[Lac]_{Pico}$ fosse associada com pelo menos os dois primeiros esforços. Entretanto, acredita-se que devido a variabilidade individual da resposta da $[Lac]_{Pico}$, não foram encontradas mais correlações nos esforços iniciais do RAST.

Desse modo, sabendo que ajustes metabólicos tem impacto direto nos parâmetros de desempenho e mecânicos (MIZRAHI; VERBITSKY; ISAKOV, 2001; AKIMA; KINUGASA; KUNO, 2005; ABBISS; LAURSEN, 2008; CLANSEY et al., 2012), nós consideramos que o uso da cinemática para identificação do padrão de movimento e suas associações com o desempenho é imprescindível para monitoramento e delineamento de métodos que minimizem a perda de desempenho e melhorem a economia energética na corrida. Sendo assim, neste manuscrito, além de considerar a possibilidade destes resultados para corridas cíclicas, consideramos que estes parâmetros devem ser aplicados individualmente para prescrição de treinamento adequado nas modalidades coletivas e individuais que utilizam dos diversos modelos de RSA para a melhora das capacidades físicas. Além disso, a aplicabilidade desses resultados poderão auxiliar na melhora no desempenho real do indivíduo durante jogos

coletivos, além de possibilitar a aplicação de métodos corretivos, proprioceptivos e preventivos durante o processo de treinamento.

4.6. CONCLUSÃO

Apoiados nos resultados da presente investigação, podemos concluir que o modelo mesmo com um número pequeno de esforços, com períodos curtos de recuperação pode alterar a mecânica de corrida e, deve-se ter atenção além das variáveis comumente estudadas (i.e., T_C , T_P , F_P , T_F), principalmente a θ_{torn} , a CM_{z_H} , ao $CM_{z_{STD}}$ e $\omega_{\text{joe}_{TD}}$. Estes parâmetros pareceram ser fundamentais para identificação de parâmetros que influenciam diretamente no desempenho deste modelo.

Capítulo 5.

**Respostas no comportamento do “*Spring-Mass Model*” e neuromusculares
durante e após esforços repetidos de alta intensidade**

5.1. RESUMO

Este estudo teve o objetivo de avaliar o comportamento do *Spring-Mass Model* (SMM) e os possíveis ajustes neuromusculares ocorridos após a aplicação de um modelo de sucessivos esforços máximos separados por um breve período de recuperação. Nove jogadores de basquetebol realizaram seis esforços máximos de 35 m com intervalo passivo de 10 s entre os esforços. Durante os esforços foram determinadas as características do SMM. Além disso, antes e após os esforços, testes neuromusculares foram realizados. O tempo dos esforços, tempo de contato, frequência de passo e comprimento do passo foram significativamente alterados durante as repetições (+11,3%, +21,3%, -13,8% e -8,1% do primeiro para o último esforço; $p < 0,05$). A força máxima vertical diminuiu do primeiro para o último esforço (-10,3%, $p < 0,05$). O deslocamento vertical aumentou (+60,5%, $p < 0,01$) e a compressão da perna não mudou. *Vertical Stiffness* diminuiu do primeiro para o último esforço (-42,9%, $p < 0,01$) enquanto que a *Leg Stiffness*, não mudou. A contração voluntária máxima do quadríceps em extensão de joelho (-4,4%) e a ativação muscular voluntária (*twitch interpolation*) (-8,5 %) não apresentaram alteração ($p > 0,05$). Dessa forma, pode-se concluir que a redução do desempenho e as alterações no comportamento do desempenho de esforços repetidos e do SMM, podem ser independentes de fatores neuromusculares.

5.2. INTRODUÇÃO

Muitos estudos e esportes coletivos (i.e., futebol, basquetebol, handebol) têm utilizado diferentes modelos de *Repeated Sprint Ability* (RSA) para avaliação, monitoramento ou prescrição do treinamento. O *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST) foi criado na University of Wolverhampton na Inglaterra (PARADISIS et al., 2005) e tem recebido destaque na comunidade científica e técnica como uma boa ferramenta para avaliação da potência anaeróbia (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014). O RAST é sensível ao treinamento predominantemente anaeróbio (BALČIŪNAS et al., 2006), reprodutível em piso firme com uso de tênis (ZAGATTO; BECK; GOBATTO, 2009) e na grama com chuteiras (DE ANDRADE et al., 2014), além disso, foi considerado como um bom preditor do desempenho em curtas e médias distâncias (PARADISIS et al., 2005; ZAGATTO; BECK; GOBATTO, 2009).

As alterações do desempenho nos RSA podem ocorrer a nível metabólico pelo acúmulo de íons H^+ , fosfatos inorgânicos intracelulares (Pi) e diminuição dos níveis de PCr (GLAISTER, 2005). Além disso, foi relatado que estes metabolitos poderiam reduzir a excitabilidade do motoneurônio (BISHOP; SPENCER, 2004; RACINAIS et al., 2007b) e provocar fadiga neuromuscular. O RAST é composto de seis esforços máximos de 35 m separados por um intervalo passivo de 10 s. A elevada intensidade do RAST proporciona altas concentrações de lactato ([Lac]) pós esforços (13,1 mM) (DE ANDRADE et al., 2014) caracterizando o acúmulo de metabolitos e a acidez que está ligada a queda de desempenho.

Adicionalmente às respostas metabólicas, foram relatadas manifestações da fadiga neuro-mecânica pelas modificações nos parâmetros de passada e, principalmente *Spring-Mass Model* (i.e., esforço 4) (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014) que

evidência manifestação da fadiga pela diminuição da produção de forças de reação e aplicação para desempenho na aceleração horizontal (MORIN et al., 2011). Além das alterações neuro-mecânicas, BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) evidenciaram decaimento da atividade eletromiográfica (EMG) dos músculos da coxa e mostraram altas correlações ($r = -0,91$) com a queda do desempenho em percentual, revelando que o RAST na grama e com chuteiras pode oferecer mudanças no padrão de recrutamento voluntário durante a execução dos esforços.

A redução da EMG reflete um estado de fadiga instaurada. Nesse sentido, ajustes na função do músculo esquelético podem estar ocorrendo na propagação do potencial de ação sobre o sarcolema ou túbulos-*t*, e, evidências nos últimos anos indicam que, em adição aos ajustes periféricos, a produção de ativação neural ligada a performance motora também sofre diminuições (RACINAIS et al., 2007a; PERREY et al., 2010; GIRARD et al., 2011b). Racinais *et al.* (2007a) utilizando a técnica de *Twitch Interpolation (TIP)* antes e após dez esforços máximos de 6 s com 30 s de recuperação passiva no ciclismo encontraram que a incapacidade de manter o trabalho mecânico (extensão de joelho) estava associado com o decaimento da atividade do componente neural. Na corrida, Perrey *et al.* (2010) encontraram significativas alterações neuromusculares imediatamente após 12 esforços máximos de 40 m com 30 s de recuperação passiva, destacando que a incapacidade de manutenção de esforços repetidos também estaria ligada a falha dos componentes centrais e periféricos envolvidos no exercício. Entretanto, após 30 min os padrões de recrutamento e propriedades contrateis dos músculos já estavam capazes de gerar força novamente. Embora controvérsias existam (BILLAUT; BASSET, 2007), a falha na ativação do sistema nervoso central também foi observada por redução do componente do sistema nervoso central em ativar a musculatura do quadríceps por EMG durante esforços

repetidos no ciclismo (MENDEZ-VILLANUEVA; HAMER; BISHOP, 2007; 2008). No entanto, os mecanismos envolvidos na regulação do sistema nervoso e o exercício ainda não são claras (PERREY et al., 2010).

Neste contexto, o valor bruto de EMG não necessariamente explica se a fadiga atinge o componente neural ou junção neuromuscular (PERREY et al., 2010). Desse modo, a TIP pela amplitude da onda M (M_{wave}) provocada pela estimulação no nervo motor e sinal da EMG (i.e., cálculo do RMS / M_{wave}) pode identificar uma possível queda na transmissão neuromuscular (excitabilidade do sarcolema) com controle mais rigoroso (PERREY et al., 2010). A TIP pela sobreposição de pulsos no músculo em contração máxima e relaxado oferece um índice de ativação muscular voluntária (%) que indica possíveis adaptações nos mecanismos excitatórios (GANDEVIA, 2001). Além disso, a amplitude da força máxima sobreposta pode indicar inibição de pulos aferentes nos centros supra espinhais que alteram a excitabilidade dos neurônios impedindo a excitação do córtex motor (GANDEVIA, 2001).

O trabalho mecânico gerado em esforços repetidos de alta intensidade podem provocar alterações a nível metabólico, neural e periférico. Sabendo que durante o RAST o alto trabalho mecânico promove ajustes em caráter mecânico e de EMG em superfície de grama e com chuteiras (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014) e que estes resultados podem não ser reproduzidos em superfície rígida com uso de tênis (KALVA-FILHO, C. A. et al., 2013) e que a EMG pode não mostrar a origem da fadiga instaurada, juntamente com a permanência dela após o exercício. Os objetivos da presente investigação foram de revelar o comportamento do *Spring-Mass* (SMM) em piso firme e com tênis e os possíveis ajustes neuromusculares ocorridos após a aplicação de um modelo intenso de sucessivos esforços máximos separados por um

breve período de recuperação (RAST). As hipóteses da presente investigação são de que, o RAST em piso firme e com tênis oferece mudanças no SMM durante os esforços e a alta intensidade do RAST pode promover respostas agudas no sistema nervoso após a execução dos esforços.

5.3. MATERIAIS E MÉTODOS

5.3.1. Participantes

Participaram do presente estudo nove jogadores de basquetebol (média $\pm$ desvio padrão; $22,2 \pm 3,3$ anos, massa corporal de $89,2 \pm 16,2$ kg e estatura de $189,9 \pm 10,8$ cm) pertencentes à federação paulista de basquetebol da categoria adulto. Os atletas possuíam no mínimo 5 anos de experiência em treinamentos e competições na modalidade. Treinavam entre 10 – 20 h sendo que tinham entre 5 e 10 sessões de treinamento em 5 – 6 dias por semana. Os treinos eram compostos de exercícios de força, resistência aeróbia, resistência muscular localizada, treinos fundamentais, táticos e técnicos. Todos os procedimentos desta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição e foram conduzidos concordando com a Declaração de Helsinki. Os atletas foram informados sobre os riscos e benefícios dos experimentos, e assinaram o termo de consentimento livre esclarecido antes do estudo.

5.3.2. Procedimentos experimentais

Todas as análises foram conduzidas em um único dia. Os participantes foram testados entre o período competitivo (Maio de 2014) durante o dia todo, a temperatura do dia foi em média $\cong 30^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $\cong 65\%$. Inicialmente, os participantes foram informados de todos os procedimentos envolvidos na coleta, após isto, foram mensuradas estatura e massa corporal de cada indivíduo utilizando as vestimentas que

seriam usadas durante o teste. As avaliações foram realizadas um-a-um sendo que cada participante foi submetido a uma avaliação neuromuscular antes do aquecimento. A avaliação foi composta de familiarização dos procedimentos da técnica de *Twitch Interpolation* (TIP), identificação dos procedimentos experimentais para estimulação supra máxima do nervo motor e três contrações voluntárias máximas (CVM) de 5 s separadas por 60 s de intervalo passivo em que durante cada uma das CVM o indivíduo foi eletricamente estimulado no nervo motor no terceiro segundo após o início da CVM (twitch superimposto – TS), 10 s após a CVM, foi aplicado mais uma estimulação para obtenção da twitch control (TC). Posteriormente às avaliações neuromusculares pré esforço, foi realizado um aquecimento em corrida contínua em esteira rolante (Inbramed Millennium ATL[®] Brasil) a 9 km·h⁻¹, 120 s após o aquecimento, os indivíduos foram submetidos a seis esforços máximos de 35 m com intervalo passivo de 10 s entre os esforços (RAST), a todo o momento câmeras de vídeo monitoravam o desempenho no percurso e os padrões de deslocamento vertical do centro de massa e da perna (SMM). Ao término dos esforços, amostras sanguíneas foram retiradas nos minutos 1, 3, 5, 7 e 9 para determinação das concentrações de lactato e caracterização do esforço. No 15º minuto os participantes foram novamente submetidos à técnica de TIP para avaliação da fadiga neuromuscular periférica e neural. Os materiais e métodos empregados para este trabalho estão descritos nos itens 2.1.2. (página 21), 2.1.4. (página 25), 2.1.5. (página 31) e 2.1.6. (página 32).

5.3.3. *Análise estatística*

A esfericidade foi analisada pelo teste de Mauchly, e, quando necessário, corrigida pelo teste Greenhouse-Geiser. Posteriormente, foi testada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. Estes procedimentos estatísticos permitiram aplicar

testes paramétricos e apresentar as variáveis em média $\pm$ desvio padrão. Desse modo, as possíveis diferenças entre o desempenho no RAST, parâmetros do passo e SMM entre cada esforço foram testadas pela análise de variância ANOVA para medidas repetidas, seguida do *post-hoc* de Tukey. As possíveis diferenças nos testes neuromusculares pré e após 15 min da execução do RAST foram testadas pelo teste *t* de *Student* para amostras dependentes. Em alguns momentos, foi utilizado teste de correlação de Pearson para determinação das possíveis relações entre os parâmetros do passo, SMM e adaptações neuromusculares ocorridas após o RAST. Todas as análises foram conduzidas com valor de *p* fixado em 5%.

5.4. RESULTADOS

Os resultados correspondentes ao desempenho máximo dos indivíduos durante o RAST estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Resultados provenientes do *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST) e intervalo de confiança (IC) 95%.

	Média $\pm$ Desvio Padrão	IC 95%
PP (W)	1466,9 $\pm$ 239,1	1283,1 – 1650,8
(W·kg ⁻¹)	16,7 $\pm$ 2,7	15,1 – 18,0
PM (W)	1045,6 $\pm$ 203,5	889,2 – 1202,1
(W·kg ⁻¹)	11,8 $\pm$ 1,2	10,9 – 12,7
V _{MAX} (m·s ⁻¹)	8,3 $\pm$ 0,3	8,1 – 8,6
V _{MED} (m·s ⁻¹)	7,1 $\pm$ 0,3	7,1 – 7,6
IF _{REAL} (%)	15,7 $\pm$ 7,1	10,2 – 21,2
ImP (N·s)	3307,0 $\pm$ 865,6	2641,7 – 3972,4

Potência Pico absoluta e relativa (PP); Potência Média absoluta e relativa (PM); Velocidade máxima (V_{MAX}); Velocidade Média (V_{MED}); Índice de Fadiga (IF_{REAL}); Impulso Anaeróbio (ImP).

Após o aquecimento, antes da realização dos esforços as [Lac] estavam em $3,9 \pm 0,7$ mM, enquanto que um minuto após os esforços, as [Lac] tinha aumentado em 60,7% que foi menor que as [Lac] obtidas nos minutos seguintes ($p < 0,01$) (Figura 12).

Figura 12. Comportamento das [Lac] após o aquecimento e após o RAST.

A $[Lac]_{Pico}$ foi de $13,4 \pm 3,3$ mM e, em média foi alcançada no quinto minuto após o RAST, sem diferença significativa entre o terceiro, sétimo e nono minuto.

O tempo do segundo esforço foi diferente do esforço quarto até o sexto (+18,0%; $p < 0,01$), enquanto que o primeiro esforço não foi estatisticamente diferente (+11,3%; $p = 0,06$). A cinemática do passo revelou que o T_C foi significativamente maior

(+21,3% do primeiro para o último esforço). O T_V não mudou ao longo dos esforços. O C_P e a F_P também se modificaram durante os esforços. No SMM, a F_Z^{MAX} diminuiu do primeiro para o último esforço (-10,3%; $p < 0,05$). O deslocamento vertical do CM aumentou do primeiro para o último esforço (+60,5%; $p < 0,01$). A compressão da perna durante os esforços não mudou estatisticamente (4,2%; $p = 0,99$). A rigidez vertical (*Vertical Stiffness*; K_{vert}) diminuiu do primeiro esforço para o último (-42,9%; $p < 0,01$), enquanto que a rigidez da perna (*Leg Stiffness*; K_{leg}) não mudou estatisticamente (-4,6%; $p = 0,99$).

Foram encontradas fortes correlações entre a K_{vert} com o T_C ($r = -0,85$; $p < 0,05$), F_Z^{MAX} ($r = 0,76$; $p < 0,05$), Δ_Z ($r = -0,82$; $p < 0,05$) e Δ_L ($r = -0,92$; $p < 0,05$). Além disso, a K_{leg} também foi fortemente associada com o T_V ($r = 0,91$; $p < 0,05$), C_P ($r = 0,71$; $p < 0,05$), F_Z^{MAX} ($r = 0,87$; $p < 0,05$), Δ_Z ($r = -0,72$; $p < 0,05$) e Δ_L ($r = -0,91$; $p < 0,05$). A cinemática da corrida, os parâmetros do passo e SMM estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Cinemática (Tempo) dos esforços, parâmetros do passo e *Spring-Mass* durante o RAST.

	Sprint 1	Sprint 2	Sprint 3	Sprint 4	Sprint 5	Sprint 6	ANOVA ($\Delta\%$)
Tempo (s)	4,58 $\pm$ 0,40	4,23 $\pm$ 0,16	4,66 $\pm$ 0,51	5,07 $\pm$ 0,54 ^b	5,12 $\pm$ 0,50 ^b	5,16 $\pm$ 0,35 ^b	$p = 0,06$ (+11,3 %)
Parâmetros do passo							
T _C (ms)	117 $\pm$ 0,16	122 $\pm$ 0,13	128 $\pm$ 0,19	141 $\pm$ 0,23 ^{a,b,c}	145 $\pm$ 0,17 ^{a,b,c}	148 $\pm$ 0,17 ^{a,b,c}	$p < 0,01$ (+21,3%)
T _V (ms)	147 $\pm$ 0,28	143 $\pm$ 0,27	151 $\pm$ 0,26	143 $\pm$ 0,25	152 $\pm$ 0,18	148 $\pm$ 0,28	$p = 0,99$ (+0,6%)
C _P (m)	2,11 $\pm$ 0,24	2,04 $\pm$ 0,23	2,05 $\pm$ 0,22	1,99 $\pm$ 0,21	2,02 $\pm$ 0,18	1,96 $\pm$ 0,19 ^a	$p = 0,01$ (-8,1%)
F _P (Hz)	3,87 $\pm$ 0,61	3,83 $\pm$ 0,54	3,64 $\pm$ 0,51	3,57 $\pm$ 0,41	3,38 $\pm$ 0,30 ^{a,b}	3,40 $\pm$ 0,32 ^{a,b}	$p < 0,01$ (-13,8%)
<i>Spring-Mass Model</i>							
F _Z ^{MAX} (kN)	3,1 $\pm$ 0,6	3 $\pm$ 0,7	3 $\pm$ 0,6	2,8 $\pm$ 0,8	2,8 $\pm$ 0,6	2,8 $\pm$ 0,7 ^a	$p < 0,05$ (-10,3%)
Δ_Z (cm)	1,7 $\pm$ 0,5	1,8 $\pm$ 0,4	2,0 $\pm$ 0,6	2,5 $\pm$ 0,8 ^{a,b}	2,6 $\pm$ 0,6 ^{a,b,c}	2,7 $\pm$ 0,6 ^{a,b,c}	$p < 0,01$ (+60,5%)
Δ_L (cm)	10,0 $\pm$ 1,5	10,0 $\pm$ 2,3	9,9 $\pm$ 2,2	10,9 $\pm$ 3,1	10,6 $\pm$ 2,5	10,4 $\pm$ 3	$p = 0,99$ (+4,2%)
K _{vert} (kN·m ⁻¹)	188,7 $\pm$ 35,2	166,8 $\pm$ 43,6	158,2 $\pm$ 54,3	128,0 $\pm$ 66,8 ^a	112,5 $\pm$ 33,0 ^{a,b}	107,8 $\pm$ 39,3 ^{a,b,c}	$p < 0,01$ (-42,9%)
K _{leg} (kN·m ⁻¹)	31,1 $\pm$ 5,8	31,7 $\pm$ 11,5	31,9 $\pm$ 10,4	29,9 $\pm$ 20,8	28,1 $\pm$ 10,1	29,7 $\pm$ 15,9	$p = 0,99$ (-4,6%)

T_C = tempo de contato; T_V = tempo de fase aérea; C_P = comprimento do passo; F_P = frequência de passo; F_Z^{MAX} = força máxima vertical do centro de massa; Δ_Z = deslocamento vertical do centro de massa; Δ_L = distorção da perna; K_{vert} = *Vertical Stiffness*; K_{leg} = *Leg Stiffness*. ^a significa diferença significativa em relação ao primeiro esforço; ^b significa diferença significativa em relação ao segundo esforço; ^c significa diferença significativa em relação ao terceiro esforço.

Antes e após o RAST, a F_{Pico} (CVM) de extensão de joelho, ativação voluntária (AV), amplitude de TS e TP não mudaram estatisticamente (-4,4%, -8,5%, +38,5%, +3,2%; $p > 0,05$). O RMS do VL aumentou 2,3% sem diferença estatística, enquanto que o RMS do RF e VM diminuíram (-14,9%, -10,5%; $p > 0,05$). A F_{MED} do VL e VM aumentaram sem diferença estatística (+8,6%, +5,5%; $p > 0,05$) enquanto que no RF a F_{MED} diminuiu (-2,6%; $p > 0,05$). A amplitude da M_{wave} diminuiu sem diferença significativa no VL (-5,3%; $p > 0,05$). A razão RMS / M_{wave} aumentou no VL (+8,8%; $p > 0,05$) sem apresentar diferença significativa (Tabela 11).

Tabela 11. Valores Médios $\pm$ Desvio padrão dos valores correspondentes às avaliações neuromusculares de extensão de joelho pré e após 15 min do RAST.

	Pré	Pós	P (Δ %)
<i>Extensão de Joelho</i>			
CVM (N)	697,3 $\pm$ 99,9	667,8 $\pm$ 111,1	$p = 0,07$ (-4,4%)
AV (%)	84,2 $\pm$ 7,4	77,6 $\pm$ 10,4	$p = 0,21$ (-8,5%)
TS (N)	38,6 $\pm$ 17,8	62,9 $\pm$ 35,2	$p = 0,07$ (+38,5%)
TP (N)	230,1 $\pm$ 60,9	237,7 $\pm$ 44,6	$p = 0,63$ (+3,2%)
<i>VL</i>			
RMS (mV)	1,09 $\pm$ 0,78	1,12 $\pm$ 0,66	$p = 0,83$ (+2,3%)
F_{MED} (Hz)	71,6 $\pm$ 19,4	78,3 $\pm$ 15,5	$p = 0,12$ (+8,6%)
M_{wave} (mV)	11,7 $\pm$ 0,4	11,1 $\pm$ 2,0	$p = 0,40$ (-5,3%)
RMS / M_{wave} (u.a.)	0,09 $\pm$ 0,06	0,10 $\pm$ 0,05	$p = 0,52$ (+8,8%)
<i>RF</i>			
RMS (mV)	1,33 $\pm$ 0,8	1,16 $\pm$ 0,68	$p = 0,18$ (-14,9%)
F_{MED} (Hz)	87,0 $\pm$ 24,0	84,9 $\pm$ 19,4	$p = 0,53$ (-2,6%)
M_{wave} (mV)	11,8 $\pm$ 0,6	11,6 $\pm$ 0,4	$p = 0,58$ (-1,3%)
RMS / M_{wave} (u.a.)	0,11 $\pm$ 0,07	0,1 $\pm$ 0,06	$p = 0,11$ (-13%)
<i>VM</i>			

RMS (μV)	$1,30 \pm 1$	$1,18 \pm 0,60$	$p = 0,48 (-10,5\%)$
F_{MED} (Hz)	$82,8 \pm 22,5$	$86,8 \pm 18,7$	$p = 0,39 (+5,5\%)$
M_{wave} (mV)	$10,5 \pm 1,8$	$10,35 \pm 4,2$	$p = 0,29 (-1,8\%)$
RMS / M_{wave} (u.a.)	$0,12 \pm 0,08$	$0,11 \pm 0,3$	$p = 0,65 (-9,2\%)$

CVM = valor da força máxima durante a contração voluntária; AV = ativação voluntária máxima; TS = amplitude da força provocada pela EENM na contração voluntária máxima (Twitch Superimposed) ; TP = amplitude da força provocada pela EENM com músculo relaxado (Twitch Potentiated); RMS = *root mean square*; F_{MED} = frequência mediana; M_{wave} = amplitude da onda M gerada durante a EENM; RMS / M_{wave} = razão que determina excitabilidade.

Quando avaliadas as possíveis associações do desempenho com as variáveis neuromusculares, encontramos uma correlação entre a PP e a razão RMS / M_{wave} ($r = -0,70$; $p < 0,05$), a PM e RMS ($r = -0,77$; $p < 0,05$) juntamente com a razão RMS / M_{wave} ($r = -0,75$; $p < 0,05$) do VL após o RAST. Além disso, no VL, a M_{wave} foi associada o ImP ($r = -0,80$; $p < 0,05$). No RF, a PM também foram associada com a F_{MED} ($r = -0,75$; $p < 0,05$).

Da mesma forma, foram testadas as possíveis correlações entre as variáveis provenientes do passo e o SMM com as variáveis neuromusculares, foram encontradas fortes correlações. O TS após o RAST foi correlacionado com o T_V ($r = -0,68$; $p < 0,05$), F_P ($r = 0,68$; $p < 0,05$), e K_{leg} ($r = -0,74$; $p < 0,05$). Além disso, o TP foi correlacionado com o Δ_L ($r = -0,69$; $p < 0,05$).

5.5. DISCUSSÃO

O presente estudo teve o objetivo de mostrar o comportamento do *Spring-Mass Model* (SMM) durante seis esforços máximos de 35 m com um breve período de intervalo (10 s) entre os esforços (RAST). Além disso, verificar a possibilidade da

fadiga gerada pelo modelo promover alterações duradouras no sistema nervoso após a execução do RAST. A hipótese do estudo era que os parâmetros do SMM no RAST fossem alterados com a repetição dos esforços em superfície rígida e com tênis, esta hipótese foi confirmada pelas mudanças encontradas no SMM durante os esforços. A segunda hipótese era que a alta intensidade de execução do RAST poderia promover alterações neuromusculares após a sua execução, esta hipótese foi aceita em partes pela existência de correlações importantes entre as respostas mecânicas e de desempenho com os parâmetros neuromusculares.

Dentre os estudos que utilizaram o RAST como ferramenta de avaliação, os valores referentes ao desempenho foram os maiores já vistos na literatura. Zagatto *et al.* (2009) que validaram o RAST para o piso firme encontraram $PP \cong 750$ W, $PM \cong 590$ W enquanto que de Andrade *et al.* (2014) encontraram valores de $PP \cong 720$ W e $PM \cong 538$ W. Na presente investigação a PP foi de $1466,9 \pm 239,1$ (W) e a PM $1045,6 \pm 203,5$ (W) destacando a alta qualidade da amostra. Diferentemente do estudo de BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) que encontraram o melhor desempenho logo no primeiro esforço ($4,89 \pm 0,14$ s), no presente estudo, os indivíduos alcançaram o melhor desempenho no segundo esforço ($4,23 \pm 0,16$ s). Diferenças principalmente ligadas ao piso e calçado utilizados bem como a diferença existente entre os tipos de aquecimento utilizados (GABBETT *et al.* 2008). Além disso, o esforço dois do RAST foi fortemente correlacionado com o tempo do esforço seis ($r = -0,80$; $p < 0,01$) caracterizando que o indivíduo que mais obteve desempenho também foi o que mais apresentou prejuízo no último esforço. BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) encontraram nos parâmetros do passo mudanças a partir do quarto esforço, enquanto que na presente investigação os parâmetros mecânicos tiveram diferença estatística no terceiro esforço.

O T_C aumentou logo nos últimos três esforços em relação aos primeiros esforços por meio de análise de vídeo a (120 Hz), BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) utilizando palmilhas de pressão (50 Hz) encontraram T_C maiores a partir do quinto esforço e não encontraram diferenças entre o comprimento da passada. Na presente investigação, foi encontrada diminuição significativa do C_P no último esforço. A F_P apresentou diferença no quinto e sexto esforços ($p < 0,05$) enquanto que BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) apresentaram diferenças a partir do quarto esforço.

Embora a presente pesquisa tenha sido realizada em superfície rígida e com tênis e a de BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) tenha sido realizada em grama e com chuteiras, na presente investigação foram encontradas diferenças pontuais no SMM que destacam a maior variabilidade de movimento com aumento da demanda pela incapacidade de manutenção do desempenho. A F_Z^{MAX} diminuiu no sexto esforço em relação ao primeiro, o que sugere uma manifestação de fadiga no último esforço para produção de forças de reação mesmo em solo rígido. Além disso, a distorção vertical do centro de massa (Δ_Z) aumentou a partir do terceiro esforço, sugerindo aumento da variabilidade de movimento pela fadiga instaurada (BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014). A compressão da perna e a rigidez (Δ_L ; K_{leg}) não mudaram durante os esforços, outros autores também relataram a não existência de mudança para esta variável (GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011b; MORIN et al., 2011; BROCHERIE; MILLET; GIRARD, 2014). A K_{vert} diminuiu significativamente a partir do quarto esforço até o sexto (-42,9%). Utilizando o mesmo modelo, BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) encontrou diminuição com o mesmo comportamento, no entanto, com uma magnitude inferior (-27,2%).

As possíveis explicações para estas diminuições estão ligadas as correlações encontradas entre os parâmetros do passo e o SMM. A K_{vert} proporciona um menor T_C ($r = -0,82$) que por sua vez é fortemente associado com desempenho em curtas distâncias (MORIN et al., 2012a), além disso, foi fortemente correlacionado com a F_Z^{MAX} ($r = 0,76$) e Δ_Z ($r = -0,82$) que estão relacionados à máxima transferência de energia durante a fase de contato, quando esta energia é mais aproveitada, o T_C é menor, a F_Z^{MAX} é maior e a variação da distorção do CM juntamente com a variação da perna (Δ_L ; $r = -0,92$) é menor o que leva a transferência da energia vertical para horizontal (MORIN et al., 2006) ser mais eficiente. As correlações encontradas entre a K_{leg} e o T_V ($r = 0,91$), C_P ($r = 0,71$), F_Z^{MAX} ($r = 0,87$), Δ_Z ($r = -0,72$) e Δ_L ($r = -0,91$) reforçam a importância da rigidez da perna para a manutenção da velocidade atingida durante a curva de força horizontal-tempo, quanto menor T_V maior é a F_P ($r = -0,92$) que é altamente correlacionada com a velocidade média no 100 m ($r = 0,89$) (MORIN et al., 2012a) e, além disso, parece representar uma boa alternativa em relação ao C_P que é inversamente proporcional a F_P ($r = -0,93$) no presente estudo. Com isso, há extensa possibilidade dos valores do SMM (Δ_Z ; Δ_L) também serem importantes em esforços repetidos na manutenção da velocidade atingida em relação a uma menor variabilidade do movimento para determinar o desempenho final.

Neste sentido, a incapacidade de manutenção do desempenho em corridas intensas pode estar associada também a diminuição do trabalho neural (RACINAIS et al., 2007a), alterações no potencial de propagação ou até a falha no acoplamento das fibras contráteis do músculo esquelético (JONES, 1996) e como resultado uma queda do desempenho durante os esforços (RACINAIS et al., 2007b; GIRARD et al., 2011a). BROCHERIE, MILLET e GIRARD (2014) encontraram fortes correlações ($r = -0,90$) da queda do desempenho com decaimento da atividade eletromiográfica (EMG) dos

músculos da coxa, revelando que o RAST na grama e com chuteiras oferece diminuição de recrutamento voluntário.

Não foram encontradas diferenças significativas nas variáveis provenientes dos testes neuromusculares. Que poderia estar relacionada principalmente pelo tempo entre o fim da execução do RAST e as avaliações pós (i.e., 15 min), que foi o tempo médio entre os achados de Perrey et al. (2010) que também não encontraram modificações após 30 min da aplicação de um modelo de RSA. Entretanto, a força máxima obtida na contração máxima isométrica de extensão de joelho (CVM) juntamente com a amplitude do TS obtiveram um valor de $p = 0,07$ de pré para após o RAST. Adicionalmente, embora as razões RMS / M_{wave} também não obtiveram nenhuma significância estatística, foram encontradas fortes correlações entre o TS com variáveis determinantes do desempenho com o T_V ($r = -0,68$), F_P ($r = 0,68$), e K_{leg} ($r = -0,74$) além da PP com a razão RMS / M_{wave} ($r = -0,70$), a PM e RMS ($r = -0,77$) juntamente com a razão RMS / M_{wave} ($r = -0,75$) no VL.

Estes resultados suportam que o indivíduo mais potente e que sustentou mais o desempenho nos seis esforços também obteve mais decaimento da EMG juntamente com a amplitude de TS e a razão RMS / M_{wave} . A EMG (RMS) foi relatada por alguns autores (RACINAIS et al., 2007a; PERREY et al., 2010) como valor ligado a atividade do sistema nervoso central. Entretanto, o valor normalizado pela M_{wave} (RMS / M_{wave}) e as correlações encontradas no VL com a M_{wave} e o ImP ($r = -0,80$; $p < 0,05$) fornecem o entendimento que maiores alterações são formadas a nível periférico e que estas alterações levam a fadiga ao nível central com as correlações encontradas entre RMS e F_{MED} com a PM ($r = -0,77$; $r = -0,75$). A M_{wave} e a razão RMS / M_{wave} logo após o exercício fornecem indícios de distúrbios em nível do sarcolema (RACINAIS et al.,

2007a), a impossibilidade de manutenção do processo de excitação-contração, cuja eficácia está intimamente relacionada aos movimentos intracelulares do Ca^{2+} que envolvem a liberação dele para o retículo e a sensibilidade da proteína em se acoplar para liberar os sítios ativos das proteínas contráteis (ALLEN, D. G.; LAMB; WESTERBLAD, 2008), pode ter sido um fator limitante durante o RAST pelas correlações encontradas e por sua vez, as medidas após não foram sensíveis para detectar tais mudanças. Uma limitação da presente investigação foi o não monitoramento dos testes neuromusculares logo após a realização do RAST e as contínuas avaliações ao longo dos minutos pós RAST. Esta análise poderia ter sido mais sensível para identificar as reais mudanças neuromusculares após um teste de esforços repetidos de alta intensidade com curtos períodos de recuperação. Entretanto, foram encontrados fortes indícios de que alterações no potencial de propagação aconteceram entre os testes pré e pós-realização do RAST.

5.6. CONCLUSÃO

Com apoio nos resultados obtidos na presente investigação, pode-se concluir que o comportamento do SMM em superfície rígida e com tênis no RAST foi parcialmente similar ao que foi mostrado anteriormente para superfície de grama e com chuteiras, entretanto, a magnitude das mudanças em piso rígido foi maior, além disso, foram encontrados indícios de alterações periféricas pré e pós realização do RAST.

Capítulo 6.

Considerações finais e conclusões

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distância total percorrida no *Running Anaerobic Sprint Test* (RAST) é de 210 m e o tempo de recuperação entre os esforços é de 50 s. Este teste, composto por seis esforços máximos de 35 m com intervalo passivo de 10 s entre os esforços caiu nas graças dos preparadores físicos, técnicos e fisiologistas principalmente nos esportes coletivos pela proximidade do gesto motor envolvido. Além disso, muitos acadêmicos tem utilizado esta ferramenta para estudar as adaptações geradas durante a execução dos esforços, sua validade e sensibilidade. Na presente dissertação foi abordado o comportamento do desempenho, as alterações fisiológicas por meio das [Lac] obtidas cada esforço e após, variáveis mecânicas tridimensionais e o *Spring-Mass Model*, e adaptações neuromusculares geradas pelo acúmulo de repetições após o RAST. Desse modo, a presente dissertação apresentou um apanhado de adaptações geradas durante e após o RAST que puderam responder questões pontuais ainda não relatadas na literatura e por isso, foi necessária a divisão dos textos em capítulos para que ficasse mais interessante menos monótono e com mais conteúdo para o aprendizado do leitor.

Neste sentido, sabendo que ajustes metabólicos e neurais têm impacto direto nos parâmetros mecânicos, os quais são determinantes para o desempenho (MIZRAHI; VERBITSKY; ISAKOV, 2001; AKIMA; KINUGASA; KUNO, 2005; ABBISS; LAURSEN, 2008; HAUSSWIRTH et al., 2010), é importante destacar que para a presente dissertação foram acumulados mais de 4.000.000.000 de quadros analisados durante aproximadamente sete meses de trabalho manual para obtenção das variáveis tridimensionais de interesse, com a presente dissertação foi importante destacar o entendimento das variáveis que mais estão ligadas a modificações no desempenho derivadas de adaptações fisiológicas e biomecânicas durante o RAST. No Capítulo 3, a

pergunta central era derivada da possibilidade das adaptações geradas durante o RAST sofrerem estabilização e assim determinar o uso do RAST como um pré-modelo para o treinamento. Essa hipótese foi aceita, haja vista que as [Lac] obtiveram estabilização até o terceiro esforço e que elas não influenciaram na mecânica nem no desempenho até o quarto esforço. Neste caso o RAST oferece estabilização do desempenho e da mecânica independentemente da [Lac], por isso, o RAST pode ser uma ferramenta útil no processo de treinamento até o quarto esforço em esportes coletivos convencionais que utilizam a corrida intermitente.

Após a verificação da possibilidade do uso do modelo para o treinamento, no Capítulo 4, o aumento do número de variáveis e amostra mostraria alterações com mais vigor a resposta do comportamento dos padrões de movimento e, dessa maneira, identificar em qual esforço a fadiga instaurada começa a determinar mudanças significativas no padrão. Assim, determinar as variáveis biomecânicas que mais podem estar ligadas a manutenção dos esforços correlacionando-as com índices de desempenho. Em alguns casos, as mudanças no padrão de movimento começaram logo no terceiro esforço, mas na maioria dos casos, as mudanças foram do quarto esforço em diante mostrando que este esforço marca a queda de desempenho pela mecânica. Além disso, moderadas e fortes correlações entre os parâmetros biomecânicos e índices de desempenho foram encontradas e uma atenção especial dos preparadores biomecânicos deve ser dada ao θ_{torn} , a $CM_{Z_{\text{MED}}}$, ao $CM_{Z_{\text{STD}}}$, a ϕ_{coxa} , além do $\omega_{\text{joelho}_{\text{TOQ}}}$, o T_C , a D_{RET} , a F_P , o C_P , o T_F , o T_P e a V^y tanto no toque quanto na retirada. Estes parâmetros pareceram ser fundamentais para identificação de parâmetros que influenciam diretamente no desempenho deste modelo.

As duas últimas perguntas foram respondidas no Capítulo 5, as perguntas eram relacionadas à queda de desempenho por meio de decaimento das forças de reação e variabilidade do padrão de movimento por meio do *Spring-Mass Model* (SMM), além disso, com a queda de desempenho, além de ajustes metabólicos, se haveria instauração da fadiga neuromuscular no RAST pelos mecanismos regulatórios envolvidos no âmbito central e periférico em superfície rígida e com tênis.

Foram encontradas relevantes quedas na força vertical do CM durante o RAST e, além disso, a variabilidade de movimento pareceu contribuir negativamente para o desempenho, sendo esta causada possivelmente por ajustes metabólicos e neuromusculares durante a execução dos esforços, parcialmente comprovadas pelas fortes correlações encontradas entre as variáveis em torno do desempenho, parâmetros do passo e testes neuromusculares após o RAST. Embora não encontradas quaisquer mudanças neuromusculares após o RAST, foram alcançadas fortes correlações entre os índices de desempenho e biomecânicos que suportaram que maiores respostas neuromusculares após o RAST foram advindas dos mecanismos regulatórios do âmbito periférico, sendo talvez relacionadas ao processo de excitação do motoneurônio e circulação do Ca^+ .

Em resumo, o RAST pode ser uma ferramenta apropriada para o treinamento sem causar estresse desnecessário, além disso, existem variáveis interessantes no padrão biomecânico que favorecem o ganho de desempenho, quando possível, a avaliação destes parâmetros podem delinear novas estratégias de treinamento para melhoras das capacidades físicas envolvidas no desempenho de esportes coletivos convencionais (e.g., futebol, handebol, basquetebol). Por último, o RAST parece oferecer mudanças no padrão de recrutamento voluntário, apesar de não existirem diferenças significantes nas

variáveis após o RAST, as correlações encontradas dão fortes indícios de mudanças nos mecanismos regulatórios envolvidos no âmbito periférico após a aplicação do modelo.

6.2. CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo mostram que mesmo com períodos menores de recuperação entre os esforços (i.e., 10 s), do primeiro ao quarto esforços não foram encontradas diferenças que pudessem comprometer o desempenho e, dessa maneira, ficou claro que até o quarto esforço o RAST pode ser aplicado no cotidiano de treinamento. Além disso, as alterações no desempenho e a não diferença nos parâmetros mecânicos sugerem que estas alterações podem estar mais ligadas a ajustes metabólicos do que mecânicos. Desse modo, o RAST como pré-modelo para o treinamento, sendo utilizado até quatro esforços pode ser considerado com um estímulo de treino muito interessante para esportes coletivos convencionais que utilizam a corrida como meio de locomoção haja vista a não diminuição significativa do desempenho.

Entretanto, novas diferenças no desempenho na execução de seis esforços máximos de 35 m separados por um intervalo passivo de 10s foram evidenciadas. Além disso, mudanças no padrão de movimento e elevadas $[Lac]_{Pico}$ foram encontradas após o modelo de RSA. Moderadas e fortes correlações entre os parâmetros biomecânicos e índices de desempenho foram encontradas. Com isso, podemos concluir que o RAST pode alterar a mecânica de corrida e, além disso, deve-se ter atenção principalmente a θ_{ankle} , a CMz_{MED} , ao CMz_{STD} , a ϕ_{coxa} , além do $\omega_{joe_{TOQ}}$, o T_C , a D_{RET} , a F_P , o C_P , o T_F , o T_P e a V^y tanto no toque quanto na retirada. Estes parâmetros pareceram ser fundamentais para identificação de parâmetros que influenciam diretamente no desempenho deste modelo.

Foram encontrados valores de desempenho no RAST superiores aos descritos na literatura até hoje, o comportamento do SMM em superfície rígida e com tênis no RAST foi parcialmente similar ao que foi mostrado anteriormente para superfície de grama e com chuteiras, entretanto, a magnitude das mudanças em piso rígido foi maior, além disso, foram encontrados indícios de alterações neurais periféricas pré e pós realização do RAST. Contudo, podemos concluir que a redução do desempenho e as alterações no comportamento dos esforços repetidos e do SMM, parecem ser dependentes também de fatores neuromusculares periféricos.

6.3. REFERENCIAS

ABBISS, C. R.; LAURSEN, P. B. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. **Sports Med**, v. 38, n. 3, p. 239-252, 2008.

ABDEL-AZIZ, Y.; KARARA, H. Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Object Space Coordinates in Close-Range Photogrammetry. In: Papers from the American Society of Photogrammetry, Symposium on Close-Range Photogrammetry, 1971, Illinois, p. 1 -18.

ABT, J. P.; SELL, T. C.; CHU, Y.; LOVALEKAR, M.; BURDETT, R. G.; LEPHART, S. M. Running kinematics and shock absorption do not change after brief exhaustive running. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 6, p. 1479-1485, 2011.

AKIMA, H.; KINUGASA, R.; KUNO, S. Recruitment of the thigh muscles during sprint cycling by muscle functional magnetic resonance imaging. **Int J Sports Med**, v. 26, n. 4, p. 245-252, 2005.

ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiol Rev**, v. 88, n. 1, p. 287-332, 2008.

ALLEN, G. M.; GANDEVIA, S. C.; MCKENZIE, D. K. Reliability of measurements of muscle strength and voluntary activation using twitch interpolation. **Muscle Nerve**, v. 18, n. 6, p. 593-600, 1995.

ANDRADE, V. L. D.; KALVA-FILHO, C. A.; ZAGATTO, A. M.; KAMINAGAKURA, E. I.; PAPOTI, M.; SANTIAGO, P. R. P. Influência da aptidão aeróbia no running anaerobic sprint test (RAST). **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 19, n., p. 1-7, 2013.

ATTENE, G.; PIZZOLATO, F.; CALCAGNO, G.; IBBA, G.; PINNA, M.; SALERNITANO, G.; PADULO, J. Sprint vs. intermittent training in young female basketball players. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 54, n. 2, p. 154-161, 2014.

AUGHEY, R. J.; VARLEY, M. C. Acceleration profiles in elite Australian soccer. **Int J Sports Med**, v. 34, n. 3, p. 282, 2013.

AZIZ, A. R.; CHIA, M.; TEH, K. C. The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 40, n. 3, p. 195-200, 2000.

BAILEY, S. J.; WINYARD, P.; VANHATALO, A.; BLACKWELL, J. R.; DIMENNA, F. J.; WILKERSON, D. P.; TARR, J.; BENJAMIN, N.; JONES, A. M. Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. **J Appl Physiol** (1985), v. 107, n. 4, p. 1144-1155, 2009.

BAKER, J.; RAMSBOTTOM, R.; HAZELDINE, R. Maximal shuttle running over 40 m as a measure of anaerobic performance. **Br J Sports Med**, v. 27, n. 4, p. 228-232, 1993.

BALČIŪNAS, M.; S., S.; ABRANTES, C.; SAMPAIO, J. Long term effects of different training modalities on power, speed, skill and anaerobic capacity in young male basketball players. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 5, n., p. 163-170, 2006.

BANGSBO, J.; MOHR, M.; KRUSTRUP, P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. **J Sports Sci**, v. 24, n. 7, p. 665-674, 2006.

BARBIERI, F. A.; GOBBI, L. T.; SANTIAGO, P. R.; CUNHA, S. A. Performance comparisons of the kicking of stationary and rolling balls in a futsal context. **Sports Biomech**, v. 9, n. 1, p. 1-15, 2010.

BARROS, R. M. L.; RENÉ, B.; LEITE, N. J.; FIGUEROA, P. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 15, n. 1, p. 79 - 86, 1999.

BILLAUT, F.; BASSET, F. A. Effect of different recovery patterns on repeated-sprint ability and neuromuscular responses. **J Sports Sci**, v. 25, n. 8, p. 905-913, 2007.

BISHOP, D.; SPENCER, M. Determinants of repeated-sprint ability in well-trained team-sport athletes and endurance-trained athletes. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 44, n. 1, p. 1-7, 2004.

BISHOP, D.; EDGE, J. Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 97, n. 4, p. 373-379, 2006.

BORSHEIM, E.; BAHR, R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. **Sports Med**, v. 33, n. 14, p. 1037-1060, 2003.

BROCHERIE, F.; MILLET, G. P.; GIRARD, O. Neuro-mechanical and metabolic adjustments to the repeated anaerobic sprint test in professional football players. **European Journal of Applied Physiology**, v., n., p., 2014.

BUCHHEIT, M.; SIMPSON, B. M.; MENDEZ-VILLANUEVA, A. Repeated high-speed activities during youth soccer games in relation to changes in maximal sprinting and aerobic speeds. **Int J Sports Med**, v. 34, n. 1, p. 40-48, 2013.

CAPRINO, D.; CLARKE, N. D.; DELEXTRAT, A. The effect of an official match on repeated sprint ability in junior basketball players. **J Sports Sci**, v. 30, n. 11, p. 1165-1173, 2012.

CARLING, C.; LE GALL, F.; DUPONT, G. Analysis of repeated high-intensity running performance in professional soccer. **J Sports Sci**, v. 30, n. 4, p. 325-336, 2012.

CASTAGNA, C.; MANZI, V.; D'OTTAVIO, S.; ANNINO, G.; PADUA, E.; BISHOP, D. Relation between maximal aerobic power and the ability to repeat sprints in young

basketball players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 4, p. 1172-1176, 2007.

CASTAGNA, C.; IMPELLIZZERI, F. M.; RAMPININI, E.; D'OTTAVIO, S.; MANZI, V. The Yo-Yo intermittent recovery test in basketball players. **J Sci Med Sport**, v. 11, n. 2, p. 202-208, 2008.

CHERIF, M.; SAID, M.; CHAATANI, S.; NEJLAOUI, O.; GOMRI, D.; ABDALLAH, A. The effect of a combined high-intensity plyometric and speed training program on the running and jumping ability of male handball players. **Asian J Sports Med**, v. 3, n. 1, p. 21-28, 2012.

CHRISTENSEN, E. H.; HEDMAN, R.; SALTIN, B. Intermittent and continuous running. (A further contribution to the physiology of intermittent work.). **Acta Physiol Scand**, v. 50, n., p. 269-286, 1960.

CIPRYAN, L.; GAJDA, V. The influence of aerobic power on repeated anaerobic exercise in junior soccer players. **J Hum Kinet**, v. 28, n., p. 63-71, 2011.

CLANSEY, A. C.; HANLON, M.; WALLACE, E. S.; LAKE, M. J. Effects of fatigue on running mechanics associated with tibial stress fracture risk. **Med Sci Sports Exerc**, v. 44, n. 10, p. 1917-1923, 2012.

COOKE, S. R.; PETERSEN, S. R.; QUINNEY, H. A. The influence of maximal aerobic power on recovery of skeletal muscle following anaerobic exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 75, n. 6, p. 512-519, 1997.

COUTTS, A.; REABURN, P.; ABT, G. Heart rate, blood lactate concentration and estimated energy expenditure in a semi-professional rugby league team during a match: a case study. **J Sports Sci**, v. 21, n. 2, p. 97-103, 2003.

CROSS, M. R.; BRUGHELLI, M. E.; CRONIN, J. B. Effects of vest loading on sprint kinetics and kinematics. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 28, n. 7, p. 1867-1874, 2014.

CROWELL, H. P.; MILNER, C. E.; HAMILL, J.; DAVIS, I. S. Reducing Impact Loading During Running With the Use of Real-Time Visual Feedback. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 40, n. 4, p. 206-213, 2010.

DA SILVA, J. F.; GUGLIELMO, L. G. A.; BISHOP, D. Relationship between Different Measures of Aerobic Fitness and Repeated-Sprint Ability in Elite Soccer Players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 8, p. 2115-2121, 2010.

DAWSON, B. Repeated-sprint ability: where are we? **Int J Sports Physiol Perform**, v. 7, n. 3, p. 285-289, 2012.

DE ANDRADE, V. L.; PEREIRA SANTIAGO, P. R.; KALVA FILHO, C. A.; CAMPOS, E. Z.; PAPOTI, M. Reproducibility of running anaerobic sprint test (rast) for soccer players. **J Sports Med Phys Fitness**, v., n., p., 2014.

DE ARAUJO, G. G.; DE BARROS MANCHADO-GOBATTO, F.; PAPOTI, M.; CAMARGO, B. H.; GOBATTO, C. A. Anaerobic and aerobic performances in elite basketball players. **J Hum Kinet**, v. 42, n., p. 137-147, 2014.

DE LEVA, P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. **J Biomech**, v. 29, n. 9, p. 1223-1230, 1996.

DELEXTRAT, A.; BALIQI, F.; CLARKE, N. Repeated sprint ability and stride kinematics are altered following an official match in national-level basketball players. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 53, n. 2, p. 112-118, 2013.

FIGUEROA, P. J.; LEITE, N. J.; BARROS, R. M. L. A flexible Software for tracking of markers used in Human Motion Analysis. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 72, n., p. 155 - 165, 2003.

GABBETT, T. J.; SHEPPARD, J. M.; PRITCHARD-PESCHEK, K. R.; LEVERITT, M. D.; ALDRED, M. J. Influence of closed skill and open skill warm-ups on the performance of speed, change of direction speed, vertical jump, and reactive agility in team sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 22, n. 5, p. 1413-1415, 2008.

GAITANOS, G. C.; WILLIAMS, C.; BOOBIS, L. H.; BROOKS, S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol* (1985), v. 75, n. 2, p. 712-719, 1993.

GANDEVIA, S. C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*, v. 81, n. 4, p. 1725-1789, 2001.

GHARBI, Z.; DARDOURI, W.; HAJ-SASSI, R.; CASTAGNA, C.; CHAMARI, K.; SOUISSI, N. Effect of the number of sprint repetitions on the variation of blood lactate concentration in repeated sprint sessions. *Biol Sport*, v. 31, n. 2, p. 151-156, 2014.

GIRARD, O.; RACINAIS, S.; MICALLEF, J. P.; MILLET, G. P. Spinal modulations accompany peripheral fatigue during prolonged tennis playing. *Scand J Med Sci Sports*, v. 21, n. 3, p. 455-464, 2011a.

GIRARD, O.; RACINAIS, S.; KELLY, L.; MILLET, G. P.; BROCHERIE, F. Repeated sprinting on natural grass impairs vertical stiffness but does not alter plantar loading in soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, v. 111, n. 10, p. 2547-2555, 2011b.

GIRARD, O.; MENDEZ-VILLANUEVA, A.; BISHOP, D. Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med*, v. 41, n. 8, p. 673-694, 2011.

GIRARD, O.; MICALLEF, J. P.; MILLET, G. P. Changes in spring-mass model characteristics during repeated running sprints. *European Journal of Applied Physiology*, v. 111, n. 1, p. 125-134, 2011a.

GIRARD, O.; MICALLEF, J. P.; MILLET, G. P. Changes in spring-mass model characteristics during repeated running sprints. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 1, p. 125-134, 2011b.

GIRARD, O.; MILLET, G. P.; MICALLEF, J. P.; RACINAIS, S. Alteration in neuromuscular function after a 5 km running time trial. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 6, p. 2323-2330, 2012.

GLAISTER, M. Multiple sprint work : physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. **Sports Med**, v. 35, n. 9, p. 757-777, 2005.

GLAISTER, M.; STONE, M. H.; STEWART, A. M.; HUGHES, M. G.; MOIR, G. L. Aerobic and anaerobic correlates of multiple sprint cycling performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 20, n. 4, p. 792-798, 2006.

GLAISTER, M.; STONE, M. H.; STEWART, A. M.; HUGHES, M. G.; MOIR, G. L. The influence of endurance training on multiple sprint cycling performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 2, p. 606-612, 2007.

GLAISTER, M.; HOWATSON, G.; PATTISON, J. R.; MCINNES, G. The reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work: an issue revisited. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 5, p. 1597-1601, 2008.

HAMILTON, A. L.; NEVILL, M. E.; BROOKS, S.; WILLIAMS, C. Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance-trained runners and games players. **J Sports Sci**, v. 9, n. 4, p. 371-382, 1991.

HAUSSWIRTH, C.; LE MEUR, Y.; BIEUZEN, F.; BRISSWALTER, J.; BERNARD, T. Pacing strategy during the initial phase of the run in triathlon: influence on overall performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 6, p. 1115-1123, 2010.

HAUTIER, C. A.; ARSAC, L. M.; DEGHDEGH, K.; SOUQUET, J.; BELLI, A.; LACOUR, J. R. Influence of fatigue on EMG/force ratio and cocontraction in cycling. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 4, p. 839-843, 2000.

HECK, H.; SCHULTZ, H.; BARTMUS, U. Diagnostics of anaerobic power and capacity. **European Journal of Sport Science**, v. 3, n. 3, p. 1 - 23, 2003.

HIRVONEN, J.; REHUNEN, S.; RUSKO, H.; HARKONEN, M. Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 56, n. 3, p. 253-259, 1987.

IAIA, F. M.; RAMPININI, E.; BANGSBO, J. High-Intensity Training in Football. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 4, n. 3, p. 291-306, 2009.

JONES, D. A. High-and low-frequency fatigue revisited. **Acta Physiol Scand**, v. 156, n. 3, p. 265-270, 1996.

KALVA-FILHO, C. A.; LOURES, J. P.; FRANCO, V. H.; KAMINAGAKURA, E. I.; ZAGATTO, A. M.; PAPOTI, M. Comparação da potência anaeróbia mensurada pelo teste de rast em diferentes condições de calçado e superfícies. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 19, n. 2, p. 142 - 145, 2013.

KALVA FILHO, C. A.; LOURES, J. P.; FRANCO, V. H.; KAMINAGAKURA, E.; ZAGATTO, A. M.; PAPOTI, M. Correlações entre parâmetros aeróbios e desempenho em esforços intermitentes de alta intensidade. **Motriz: Revista de Educação Física: Motriz: rev. educ. fis.**, v. 19, n. 2, p. 306 - 312, 2013.

KAMINAGAKURA, E. I.; ZAGATTO, A. M.; REDKVA, P. E.; GOMES, E. B.; LOURES, J. P.; KALVA-FILHO, C. A.; FRANCO, V. H.; PAPOTI, M. Can Running-Based Anaerobic Sprint Test be used to Predict Anaerobic Capacity? . **Journal Of Exercise Physiology Online**, v. 15, n. 2, p. 90 - 99, 2012.

KEIR, D. A.; THERIAULT, F.; SERRESSE, O. Evaluation of the running-based anaerobic sprint test as a measure of repeated sprint ability in collegiate-level soccer

players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27, n. 6, p. 1671-1678, 2013.

KUGLER, F.; JANSSEN, L. Body position determines propulsive forces in accelerated running. **J Biomech**, v. 43, n. 2, p. 343-348, 2010.

LEGAZ-ARRESE, A.; MUNGUÍA-IZQUIERDO, D.; CARRANZA-GARCIA, L. E.; TORRES-DAVILA, C. G. Validity of the Wingate anaerobic test for the evaluation of elite runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 3, p. 819-824, 2011.

LOCKIE, R. G.; MURPHY, A. J.; SCHULTZ, A. B.; KNIGHT, T. J.; JANSE DE JONGE, X. A. The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 6, p. 1539-1550, 2012.

MCKENZIE, D. K.; BIGLAND-RITCHIE, B.; GORMAN, R. B.; GANDEVIA, S. C. Central and peripheral fatigue of human diaphragm and limb muscles assessed by twitch interpolation. **J Physiol**, v. 454, n., p. 643-656, 1992.

MCMAHON, S.; JENKINS, D. Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. **Sports Medicine**, v. 32, n. 12, p. 761-784, 2002.

MECKEL, Y.; MACHNAI, O.; ELIAKIM, A. Relationship among Repeated Sprint Tests, Aerobic Fitness, and Anaerobic Fitness in Elite Adolescent Soccer Players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 1, p. 163-169, 2009.

MEDBO, J. I.; MOHN, A. C.; TABATA, I.; BAHR, R.; VAAGE, O.; SEJERSTED, O. M. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. **J Appl Physiol**, v. 64, n. 1, p. 50-60, 1988.

MEDBO, J. I.; TABATA, I. Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. **J Appl Physiol**, v. 75, n. 4, p. 1654-1660, 1993.

MENDEZ-VILLANUEVA, A.; HAMER, P.; BISHOP, D. Physical fitness and performance. Fatigue responses during repeated sprints matched for initial mechanical output. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 12, p. 2219-2225, 2007.

MENDEZ-VILLANUEVA, A.; HAMER, P.; BISHOP, D. Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. **European Journal of Applied Physiology**, v. 103, n. 4, p. 411-419, 2008.

MERO, A.; KOMI, P. V.; GREGOR, R. J. Biomechanics of sprint running. A review. **Sports Med**, v. 13, n. 6, p. 376-392, 1992.

MIZRAHI, J.; VERBITSKY, O.; ISAKOV, E. Fatigue-induced changes in decline running. **Clin Biomech (Bristol, Avon)**, v. 16, n. 3, p. 207-212, 2001.

MORAES, A. M.; PELLEGRINOT. Evolução da potência dos membros inferiores durante um ciclo de treinamento de pliometria no basquetebol masculino. **Revista Digital - Buenos Aires**, v. 10, n. 94, p., 2006.

MORIN, J. B.; DALLEAU, G.; KYROLAINEN, H.; JEANNIN, T.; BELLI, A. A simple method for measuring stiffness during running. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 21, n. 2, p. 167-180, 2005.

MORIN, J. B.; JEANNIN, T.; CHEVALLIER, B.; BELLI, A. Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. **Int J Sports Med**, v. 27, n. 2, p. 158-165, 2006.

MORIN, J. B.; SAMOZINO, P.; EDOUARD, P.; TOMAZIN, K. Effect of fatigue on force production and force application technique during repeated sprints. **J Biomech**, v. 44, n. 15, p. 2719-2723, 2011.

MORIN, J. B.; BOURDIN, M.; EDOUARD, P.; PEYROT, N.; SAMOZINO, P.; LACOUR, J. R. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 11, p. 3921-3930, 2012a.

MORIN, J. B.; BOURDIN, M.; EDOUARD, P.; PEYROT, N.; SAMOZINO, P.; LACOUR, J. R. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 11, p. 3921-3930, 2012b.

MOURA, F. A.; SANTANA, J. E.; MARCHE, A. L.; AGUIAR, T. H.; RODRIGUES, A. C. M. A.; BARROS, R. M. L.; CUNHA, S. A. Quantitative Analysis of futsal players organization on the court. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 11, n. Suppl 2, p. 4, 2012.

NEYROUD, D.; VALLOTTON, A.; MILLET, G. Y.; KAYSER, B.; PLACE, N. The effect of muscle fatigue on stimulus intensity requirements for central and peripheral fatigue quantification. **European Journal of Applied Physiology**, v. 114, n. 1, p. 205-215, 2014.

OLIVER, J. L. Is a fatigue index a worthwhile measure of repeated sprint ability? **J Sci Med Sport**, v. 12, n. 1, p. 20-23, 2009.

PAN, J. W.; HAMM, J. R.; HETHERINGTON, H. P.; ROTHMAN, D. L.; SHULMAN, R. G. Correlation of lactate and pH in human skeletal muscle after exercise by ¹H NMR. **Magn Reson Med**, v. 20, n. 1, p. 57-65, 1991.

PARADISIS, G. P.; TZIORTZIS, S.; ZACHAROGIANNIS, E.; SMIRNIOTOU, A.; KARATZANOS, L. Correlation of the Running-based Anaerobic Sprint Test (RAST) and performance on the 100m, 200m e 400m distance tests. **Journal of Human Movement Studies**, v. 49, n. 1, p. 77 - 92, 2005.

PAROLIN, M. L.; CHESLEY, A.; MATSOS, M. P.; SPRIET, L. L.; JONES, N. L.; HEIGENHAUSER, G. J. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. **Am J Physiol**, v. 277, n. 5 Pt 1, p. E890-900, 1999.

PERREY, S.; RACINAIS, S.; SAIMOUAA, K.; GIRARD, O. Neural and muscular adjustments following repeated running sprints. **European Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 6, p. 1027-1036, 2010.

RACINAIS, S.; BISHOP, D.; DENIS, R.; LATTIER, G.; MENDEZ-VILLANEUVA, A.; PERREY, S. Muscle deoxygenation and neural drive to the muscle during repeated sprint cycling. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 2, p. 268-274, 2007a.

RACINAIS, S.; GIRARD, O.; MICALLEF, J. P.; PERREY, S. Failed excitability of spinal motoneurons induced by prolonged running exercise. **J Neurophysiol**, v. 97, n. 1, p. 596-603, 2007b.

RAMPININI, E.; BOSIO, A.; FERRARESI, I.; PETRUOLO, A.; MORELLI, A.; SASSI, A. Match-related fatigue in soccer players. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 11, p. 2161-2170, 2011.

ROSEGUINI, A. Z.; SILVA, A. S.; GOBATTO, C. A. Determinações e Relações dos Parâmetros Anaeróbios do RAST, do Limiar Anaeróbio e da Resposta Lactacidêmica Obtida no Início, no Intervalo e ao Final de uma Partida Oficial de Handebol. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 14, n. 1, p. 46 - 50 2008.

ROUHOLA, R.; MOHAMMAD, A.; MOHAMMADREZA, K.; ROSTAM, A. The effect of caffeine consumption on the non-aerobic power, the fatigue index and the blood lactate levels in the male athlete students. **Sport SPA**, v. 7, n. 1, p. 27 - 32, 2010.

ROWNTREE, D. **Statistics without tears - A primer for Non-mathematicians**. London/England, 1991, v.2

SAHLIN, K. Metabolic factors in fatigue. **Sports Med**, v. 13, n. 2, p. 99-107, 1992.

SANTOS, D.; COLEDAM, D. H. C.; DOS-SANTOS, J. W. Alterações na potência anaeróbia após a pré-temporada em atletas profissionais de futebol. **Movimento & Percepção**, v. 10, n. 15, p. 254 - 263, 2009.

SARASLANIDIS, P. J.; PANOUTSAKOPOULOS, V.; TSALIS, G. A.; KYPRIANOU, E. The effect of different first 200-m pacing strategies on blood lactate and biomechanical parameters of the 400-m sprint. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 8, p. 1579-1590, 2011a.

SASSI, A.; STEFANESCU, A.; MENASPA, P.; BOSIO, A.; RIGGIO, M.; RAMPININI, E. The cost of running on natural grass and artificial turf surfaces. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 3, p. 606-611, 2011.

SCOTT, C. B.; ROBY, F. B.; LOHMAN, T. G.; BUNT, J. C. The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. **Med Sci Sports Exerc**, v. 23, n. 5, p. 618-624, 1991.

SERPIELLO, F. R.; MCKENNA, M. J.; STEPTO, N. K.; BISHOP, D. J.; AUGHEY, R. J. Performance and physiological responses to repeated-sprint exercise: a novel multiple-set approach. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 4, p. 669-678, 2011.

SPENCER, M.; BISHOP, D.; DAWSON, B.; GOODMAN, C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. **Sports Med**, v. 35, n. 12, p. 1025-1044, 2005.

SPIGOLON, L. M. P.; BORIN, J. P.; LEITE, G. S.; PADOVANI, R. P.; PADOVANI, C. R. Potência anaeróbia em atletas de futebol de campo: diferenças entre categorias. **Coleção Pesquisa em Educação Física**, v. 6, n., p. 421-428, 2007.

SQUADRONE, R.; RODANO, R.; HAMILL, J.; PREATONI, E. Acute effect of different minimalist shoes on foot strike pattern and kinematics in rearfoot strikers during running. **J Sports Sci**, v., n., p. 1-9, 2014.

STOLEN, T.; CHAMARI, K.; CASTAGNA, C.; WISLOFF, U. Physiology of soccer: an update. **Sports Med**, v. 35, n. 6, p. 501-536, 2005.

STROJNIK, V.; KOMI, P. V. Neuromuscular fatigue after maximal stretch-shortening cycle exercise. **J Appl Physiol** (1985), v. 84, n. 1, p. 344-350, 1998.

TEGTBUR, U.; BUSSE, M. W.; BRAUMANN, K. M. Estimation of an Individual Equilibrium between Lactate Production and Catabolism during Exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 25, n. 5, p. 620-627, 1993.

TOMLIN, D. L.; WENGER, H. A. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. **Sports Medicine**, v. 31, n. 1, p. 1-11, 2001.

WALLDEN, M. Designing effective corrective exercise programs: The importance of dosage. **J Bodyw Mov Ther**, v. 19, n. 2, p. 352-356, 2015.

WINTER, D. A. **Biomechanics and motor control of human movement**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2009, v.4

YEOW, C. H. Hamstrings and quadriceps muscle contributions to energy generation and dissipation at the knee joint during stance, swing and flight phases of level running. **Knee**, v. 20, n. 2, p. 100-105, 2013.

ZACHAROGIANNIS, E.; PARADISIS, G.; TZIORTZIS, S. An evaluation of tests of anaerobic power and capacity. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 36, n. Supplement 5 p. S116, 2004.

ZAGATTO, A. M.; BECK, W. R.; GOBATTO, C. A. Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance performances. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 6, p. 1820-1827, 2009.

ANEXO I.

FACULDADE DE MEDICINA DE
RIBEIRÃO PRETO
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE SAÚDE ESCOLA

Rua Terezina, 690 – CEP: 14055-380
Ribeirão Preto SP.
Telefone: (0**16) 3602-0000/0001
Fax: (0**16) 3602-0029

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DO CENTRO DE SAÚDE ESCOLA DA FACULDADE DE MEDICINA DE
RIBEIRÃO PRETO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-CEP/CSE-FMRP-USP

OF. CEP/CSE-FMRP-USP - 49/2013.

Ribeirão Preto, 16 de maio de 2013.

Prezado(a) Senhor(a),

Comunicamos que o projeto de pesquisa abaixo especificado foi analisado, considerado APROVADO toda a documentação apresentada: Metodologia o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do Estudo, pelo Comitê de Ética em pesquisa do Centro de Saúde Escola da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, em 14 de maio de 2013.

CAAE: 14454013.5.0000.5414

Projeto : Efeito da crioterapia sobre parâmetros biomecânicos, fisiológicos e neuromusculares após o running anaerobic sprint

Pesquisador: Vitor Luiz de Andrade

Em atendimento à Resolução 196/96, deverá ser encaminhado a este CEP o relatório final da pesquisa e a publicação de seus resultados, para acompanhamento, bem como comunicada qualquer intercorrência ou a sua interrupção.

Observação: O projeto em pauta, não requer apreciação pela CONEP.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Laércio Joel Franco
Coordenador do CEP/CSE-FMRP-USP

Ilmo(a). Sr(a).

Prof.Dr. Paulo Roberto Pereira Santiago (orientador)

Docente da Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto-USP.