

JULIANO DAL PUPO

**EFEITOS DE UM PROTOCOLO ESPECÍFICO DO FUTSAL NA
PRODUÇÃO DE TORQUE ISOCINÉTICO E NA CINEMÁTICA
DA CORRIDA DURANTE *SPRINTS* EM JOGADORES DE
FUTSAL**

Tese de doutorado apresentada à
Coordenadoria de Pós-Graduação em
Educação Física da Universidade Federal de
Santa Catarina, como pré-requisito para
obtenção do título de Doutor em Educação
Física.

Orientadora: Dra. Saray Giovana dos Santos

FLORIANÓPOLIS (SC), 2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dal Pupo, Juliano

Efeitos de um protocolo específico do futsal na produção de torque isocinético e na cinemática da corrida durante sprints em jogadores de futsal / Juliano Dal Pupo ; orientador, Saray Giovana dos Santos - Florianópolis, SC, 2014.

142 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos. Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

Inclui referências

1. Educação Física. 2. desempenho. 3. lesões musculares. 4. equilíbrio muscular. 5. coordenação intrasegmentar. I. dos Santos, Saray Giovana. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

Juliano Dal Pupo

**EFEITOS DE UM PROTOCOLO ESPECÍFICO DO FUTSAL NA
PRODUÇÃO DE TORQUE ISOCINÉTICO E NA CINEMÁTICA
DA CORRIDA DURANTE *SPRINTS* EM JOGADORES DE
FUTSAL**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor em Educação Física”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

Florianópolis, 18 de fevereiro de 2014.

Prof. Dr. Luiz Guilherme A. Guglielmo (coordenador do PPGEF)

Banca Examinadora:

Profa. Dr.^a. Saray Giovana dos Santos - UFSC (presidente/orientadora)

Prof. Dr. Sebastião Iberes Lopes Melo (UDESC)

Prof. Dr. José Luiz Lopes Vieira (UEM)

Prof. Dr. John Peter Nasser (UFSC)

Prof. Dr. Luiz Guilherme A. Guglielmo (UFSC)

AGRADECIMENTOS

Neste momento presto agradecimentos àqueles que de alguma forma contribuíram durante o processo do doutorado.

Inicialmente agradeço a minha orientadora, a professora Saray Giovana dos Santos, pela oportunidade de ingressar no doutorado, pelo conhecimento passado ao longo do processo e à amizade que cultivamos.

Aos membros da banca, professores Sebastião Iberes Lopes Melo, Johon Peter Nasser e Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, pelas suas colaborações tanto no processo de qualificação quanto nas arguições finais da tese. Da mesma forma, agradeço ao professor José Luiz Lopes Vieira, que apesar de não ter participado do processo de qualificação, prestou importantes contribuições no momento da defesa do trabalho.

Agradecimento especial à minha namorada Dani, que ajudou muito na construção deste trabalho e pelos demais momentos que pudemos compartilhar ao longo destes anos.

À minha família, que sempre prestou apoio incondicional durante os longos anos dedicados à minha formação acadêmica.

Aos colegas e ex-colegas de laboratório (BIOMECH), em especial ao Rodrigo e Jonathan, os quais prestaram importante ajuda nas coletas e análise de dados.

Aos membros do LAEF, em especial aos que contribuíram mais de perto neste trabalho: à Fran, amiga do coração de longa data; ao professor Carminatti, sempre pronto para discutir e contribuir com brilhantes ideias e ainda pelo empréstimo de matérias para coletas; ao Tiago Cetolin, pelo empréstimo das fotocélulas; ao Paulo Cezar, Pablo, Daiana e Anderson pela ajuda em geral nas avaliações.

Aos atletas e técnicos das equipes, que se prontificaram em colaborar com o trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da UFSC e a CAPES pelos auxílios ao longo do doutorado.

A todos, muito obrigado!

“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é quem faz as verdadeiras perguntas”.
(Claude Lévi-Strauss)

RESUMO

Introdução. Para possibilitar a real compreensão dos efeitos da fadiga sobre o desempenho atlético faz-se necessário utilizar protocolos com ações específicas da prática esportiva. **Objetivo.** Investigar os efeitos da fadiga induzida por um protocolo específico para o futsal (*futsal-specific intermittent shuttle-running protocol* - FIRP) sobre a produção de torque, a coordenação intrasegmentar e indicadores técnicos (cinemáticos) da corrida durante *sprints*. **Método.** Inicialmente, 20 jogadores de futsal ($16,74 \pm 0,56$ anos) realizaram o FIRP, constituído por dois blocos de 20 min de exercício separados por 10 min de intervalo. A fim de analisar a demanda fisiológica do protocolo, foram realizadas mensurações da frequência cardíaca (FC), das concentrações de lactato sanguíneo, além da medida da percepção subjetiva de esforço (PSE) após o exercício. Em um segundo momento, 21 jogadores de futsal ($17,21 \pm 1,04$ anos) realizaram o FIRP, sendo que antes, ao meio (entre os blocos 1 e 2) e ao final do protocolo foram realizados *sprints* de 10 e 20 m e medidas de torque isocinético concêntrico e excêntrico dos músculos flexores (TF_{CON} , TF_{EXC}) e extensores (TE_{CON} , TE_{EXC}) do joelho. Durante os *sprints*, o tempo foi cronometrado eletronicamente e um ciclo de passada da corrida foi filmado de modo bidimensional para análise de variáveis cinemáticas e da coordenação intrasegmentar da corrida, esta quantificada pelo método da fase relativa contínua (FRC). As variáveis foram comparadas entre as condições pré, meio e fim do protocolo por meio de uma ANOVA para medidas repetidas, com o *post-hoc* de Bonferroni. Foi considerada uma probabilidade de erro de até 5% ($p \leq 0,05$). **Resultados.** Os valores médios de FC ($171,45 \pm 11,62$ bpm; $87,4 \pm 5,85\%$ da FC máxima), lactato sanguíneo ($5,12 \pm 0,85$ mmol.L⁻¹) e PSE ($6,5 \pm 0,8$) obtidos durante o FIRP mostraram-se similares aos reportados na literatura durante partidas de futsal. O TF_{CON} , TF_{EXC} e TE_{EXC} sofreram redução progressiva ao longo do FIRP, ou seja, as medidas da condição pré foram maiores que as centrais, sendo ambas maiores que as medidas finais. Já o TE_{CON} reduziu da condição pré para o meio, porém o valor deste último não diferiu do valor mensurado ao final do protocolo. Verificou-se que o ângulo em que ocorreu o pico de torque excêntrico dos flexores do joelho apresentou diferença entre as condições testadas. As razões convencional ($F_{CON} : E_{CON}$) e funcional de torque ($F_{EXC} : E_{CON}$) apresentaram redução ao final do FIRP comparado aos valores pré. Nos *sprints* de 10 m o desempenho reduziu apenas ao fim do protocolo, enquanto que nos 20 m reduções ao meio foram verificadas. Dentre as

variáveis cinemáticas, verificou-se redução da frequência da passada e aumento da velocidade angular da perna livre, tanto nos *sprints* de 10 quanto de 20 m em decorrência do FIRP. Nos *sprints* de 20 m ainda foi observado aumento do ângulo da coxa no instante de impulsão e redução da velocidade angular da coxa ao final do FIRP. Não foram observadas alterações na FRC entre os segmentos coxa-tronco, perna-coxa e pé-perna durante o FIR. **Conclusão.** É possível concluir que o FIRP é capaz de simular as demandas do futsal, visto que as respostas fisiológicas foram similares às reportadas na literatura durante partidas de futsal. As ações do FIRP provocaram redução tempo-dependente do torque flexor e extensor do joelho, tanto nas ações concêntricas quanto excêntricas. O FIRP também provocou alterações na cinemática dos *sprints*, evidenciada principalmente na redução da frequência de passada, tanto nos *sprints* de 10 quanto de 20 m, o que parece ser uma das principais alterações na técnica da corrida decorrentes da fadiga das ações do futsal que contribuirão para a redução do desempenho nos *sprints*. Adicionalmente, as alterações na velocidade angular da perna e nas razões de torque indicaram aumento da predisposição para lesões na parte final de uma partida de futsal. Por último, a fadiga gerada no FIRP não foi capaz de causar alterações na coordenação do movimento.

Palavras-chave: desempenho, lesões, cinética, equilíbrio muscular, coordenação intrasegmentar.

ABSTRACT

The effects of a futsal-specific intermittent shuttle-running protocol on isokinetic torque production and on sprinting kinematics of futsal players

Introduction. To allow the real understanding of the fatigue effects on athletic performance it is necessary to use protocols with specific actions of sport. **Objective.** To investigate the fatigue effects induced by a futsal-specific intermittent shuttle-running protocol (FIRP) on torque production, intrasegmentar coordination and kinematic of running during *sprints*. **Method.** In the first phase of this research, 20 volunteers futsal players (16.74 ± 0.56 years) performed the FIRP, comprising two blocks of 20 min of exercise separated by 10 min interval. To analyze the physiological demand of protocol measures of heart rate (HR), blood lactate concentrations and rate perceived exertion (RPE) were performed during the exercise. In the second phase of this research 21 volunteers futsal players (17.21 ± 1.04 years) performed the FIRP. Before (pre), in the middle (between the blocks 1 and 2) and at the end of protocol were performed sprints of 10 and 20 m and measures of concentric and eccentric isokinetic torque of the knee flexors (TF_{CON} , TF_{EXC}) and extensors (TE_{CON} , TE_{EXC}) muscles. During the sprints the time was electronically recorded and one entire stride cycle was 2D filmed to analyze the kinematic variables and the intrasegmentar coordination of running, quantified by the continuous relative phase (FRC) method. Analysis of variance with repeated measures and Bonferroni post hoc tests were used to compare the variables over the time (pre, in the middle and at the end of protocol). A significance level was set at $p < 0.05$. **Results.** The mean values of HR (171.45 ± 11.62 bpm; $87.4 \pm 5.85\%$ of maximal HR), blood lactate (5.12 ± 0.85 mmol.L⁻¹) and RPE (6.5 ± 0.8) obtained during the FIRP were similar to those reported in the literature during futsal matches. There was a progressive decrease of TF_{CON} , TF_{EXC} e TE_{EXC} over the FIRP, i.e., the measurements of pre-condition were higher than the middle, being both larger than the final values. The TE_{CON} reduced in the middle compared to pre-condition, but it did not differ from the value measured at the end of the protocol. It was found that the angle of eccentric peak torque of knee flexors was different among the conditions tested. The conventional (F_{CON} : E_{CON}) and functional (F_{EXC} : E_{CON}) ratios torque decreased at the end of FIRP compared to the pre-condition. In the 10 m' sprints the performance reduced only at the end of protocol, whereas in sprints of 20 m a

reduction in the middle of FIRP was observed. There was a decrease of stride rate and an increase of leg angular velocity during swing phase in both 10 and 20 m sprints as a result of FIRP. In the sprints of 20 m an increase of the angle of thigh during take-off and a decrease of the thigh angular velocity at the end of FIRP were also observed. No changes were observed of FRC in the couplings thigh-trunk, leg-thigh and foot-leg over the FIRP. **Conclusion.** The present findings indicate that the FIRP is able to simulate the futsal demands, since the physiological responses were similar to those reported in the literature during futsal matches. The effort of FIRP produced a time-dependent reduction of knee flexor and extensor torque in both, concentric and eccentric actions. The FIRP also caused changes in the kinematics of sprints, primarily evidenced in reduced stride rate in both sprints, 10 and 20 m, which seems to be one of the major technical changes of running due to futsal-specific fatigue that will contribute to the reduction of sprint performance. Additionally, changes in angular velocity of leg during swing phase and in the torque ratios indicated an increased susceptibility to injury at the end of a futsal match. Finally, the fatigue generated in the FIRP was not able to cause changes in the coordination of running.

Keywords: performance, injury, kinetic, muscular balance, coordination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Figura ilustrativa das fases do passo na corrida.....	41
Figura 2. Representação esquemática do deslocamento realizado no FIRP.	57
Figura 3. Representação esquemática do protocolo de simulação das demandas do futsal.....	59
Figura 4. Escala 0-10 de Foster et al. (2001).....	61
Figura 5. Delineamento do estudo.....	64
Figura 6. Representação gráfica dos ângulos absolutos e relativos analisados.	71
Figura 7. Exemplo ilustrativo do diagrama de fase normalizado.	73
Figura 8. Esquema ilustrando a definição do ângulo de fase (\emptyset).....	74
Figura 9. Figura representativa da frequência cardíaca durante o protocolo..	77
Figura 10. Frequência cardíaca obtida nos blocos 1 e 2 do FIRP.	78
Figura 11. Concentrações de lactato sanguíneo obtidos após os blocos 1 e 2 do FIRP.....	79
Figura 12. Razão convencional de torque ($F_{CON}:E_{CON}$) obtida durante o FIRP..	82
Figura 13. Razão funcional de torque ($F_{EXC} : E_{CON}$) obtido durante o FIRP.	83
Figura 14. FRC dos segmentos coxa-tronco durante um ciclo de passada em <i>sprints</i> de 10 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.	88
Figura 15. FRC dos segmentos perna-coxa durante um ciclo de passada em <i>sprints</i> de 10 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.	89
Figura 16. FRC dos segmentos perna-coxa durante um ciclo de passada em <i>sprints</i> de 10 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.	90
Figura 17. FRC dos segmentos coxa-tronco durante um ciclo de passada em <i>sprints</i> de 20 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.	91
Figura 18. FRC dos segmentos perna-coxa durante um ciclo de passada em <i>sprints</i> de 20 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.	92
Figura 19. FRC dos segmentos pé-perna durante um ciclo de passada em <i>sprints</i> de 20 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características descritivas dos participantes do estudo.	55
Tabela 2. Atividades referentes a uma série do FIRP.	58
Tabela 3. Características descritivas dos participantes do estudo	62
Tabela 4. Pico de torque dos músculos flexores e extensores do joelho (média \pm DP) obtido antes, ao meio e ao final do FIRP.....	80
Tabela 5. Ângulo do pico de torque dos músculos flexores e extensores do joelho obtido antes, ao meio e ao final do FIRP.	81
Tabela 6. Desempenho (tempo e velocidade média) obtido nos <i>sprints</i> de 10 e 20 m antes, ao meio e ao final do FIRP.....	84
Tabela 7. Variáveis cinemáticas obtidas durante um ciclo de passada em <i>sprints</i> de 10 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.....	85
Tabela 8. Variáveis cinemáticas obtidas durante um ciclo de passada em <i>sprints</i> de 20 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.....	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AP	Amplitude do passo
A_PTF _{CON}	Ângulo do pico de torque concêntrico dos flexores do joelho
A_PTF _{EXC}	Ângulo do pico de torque excêntrico dos flexores do joelho
A_PTE _{CON}	Ângulo do pico de torque concêntrico dos extensores do joelho
A_PTE _{EXC}	Ângulo do pico de torque excêntrico dos extensores do joelho
AC _{IMP}	Ângulo da coxa no instante de impulsão
AJ _{CON}	Ângulo do joelho no instante de contato
AJ _{IMP}	Ângulo do joelho no instante de impulsão
CAE	Ciclo alongamento-encurtamento
CCI	Coefficiente de correlação intraclasse
CVM	Contração voluntária máxima
EMG	Eletromiografia/Eletromiográfico
F _{EXC} :E _{CON}	Razão funcional de torque
F _{CON} :E _{CON}	Razão convencional de torque
FC	Frequência cardíaca
FCmax	Frequência cardíaca máxima
FIRP	<i>Futsal-specific intermittent shuttle-running protocol</i>
FP	Frequência de passo
FRC	Fase relativa contínua
FRS	Força de reação do solo
[Lac]	Concentrações de lactato sanguíneo
PSE	Percepção subjetiva de esforço
TF _{AE}	Tempo de fase aérea

TF_{SU}	Tempo de fase de suporte
TE_{CON}	Torque concêntrico dos músculos extensores do joelho
TE_{EXC}	Torque excêntrico dos músculos extensores do joelho
TF_{CON}	Torque concêntrico dos músculos flexores do joelho
TF_{EXC}	Torque excêntrico dos músculos flexores do joelho
TRP	Triptofano
VA_{PERNA}	Velocidade angular da perna
VA_{COXA}	Velocidade angular da coxa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2 OBJETIVO GERAL	20
1.2.1 Objetivos Específicos	20
1.3 JUSTIFICATIVA	21
1.4 HIPÓTESES DO ESTUDO	22
1.5 VARIÁVEIS DO ESTUDO: CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO	23
1.5.1 Variáveis independentes:	23
1.5.2 Variáveis dependentes:	23
1.5.3 Variáveis de controle:	26
1.6 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	26
2. REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1 FADIGA MUSCULAR: CONCEITOS E MECANISMOS CAUSADORES ..	27
2.2 IMPLICAÇÕES DA FADIGA NAS FUNÇÕES MUSCULARES	31
2.2.1 Efeitos da fadiga no desempenho em <i>sprints</i> : estudos realizados	36
2.3 <i>SPRINTS</i> EM ESPORTES COLETIVOS: A IMPORTÂNCIA DA ACELERAÇÃO E DA VELOCIDADE MÁXIMA	39
2.4 CARACTERÍSTICAS BIOMECÂNICAS DA CORRIDA EM VELOCIDADE MÁXIMA	40
2.4.1 Indicadores técnicos da corrida em velocidade máxima	42
2.4.2 Análise da coordenação na corrida	44
2.5 CARACTERÍSTICAS E DEMANDAS FISIOLÓGICAS E DO FUTSAL	47
2.6 INDICADORES DE CARGA INTERNA DE EXERCÍCIO	50
3. MÉTODO	55
3.1 ESTUDO I - DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM PROTOCOLO DE CORRIDA MULTIDIRECIONAL DESIGNADO PARA SIMULAÇÃO DAS DEMANDAS DE JOGO ESPECÍFICAS DO FUTSAL	55
3.1.1 Caracterização da pesquisa	55
3.1.2 Participantes	55
3.1.3 Delineamento da pesquisa	56
3.1.4 Protocolo para simulação das demandas de jogo do futsal .	57
3.1.5 Avaliação do lactato sanguíneo	60
3.1.6 Avaliação da frequência cardíaca	60
3.1.7 Avaliação da percepção de esforço	60

3.1.8	Análise estatística.....	61
3.2	ESTUDO II - EFEITOS DA FADIGA DO PROTOCOLO DE CORRIDA INTERMITENTE ESPECÍFICA DO FUTSAL (FIRP) SOBRE A PRODUÇÃO DE TORQUE E A CINEMÁTICA DOS <i>SPRINTS</i>	62
3.2.1	Caracterização da pesquisa	62
3.2.2	Participantes do estudo	62
3.2.3	Procedimentos e delineamento experimental.....	63
3.2.4	Controle dos fatores de interferência da validade interna/externa do estudo	65
3.2.5	Protocolo de avaliação do torque isocinético.....	66
3.2.6	Protocolo dos <i>sprints</i>	67
3.2.7	Tratamento dos dados e variáveis analisadas.....	68
3.2.8	Análise estatística.....	75
4.	RESULTADOS	77
4.1	ESTUDO I – RESPOSTAS FISIOLÓGICAS OBTIDAS NO FIRP.....	77
4.2	ESTUDO II	79
4.2.1	Efeitos da fadiga induzida por um protocolo de corrida intermitente específico para o futsal (FIRP) sobre a produção de torque isocinético.....	79
4.2.2	Efeitos da fadiga induzida pelo FIRP sobre o desempenho e variáveis cinemáticas nos <i>sprints</i>	83
4.2.3	Efeitos da fadiga induzida pelo FIRP sobre a coordenação nos <i>sprints</i>	88
5.	DISCUSSÃO.....	95
5.1	CARACTERÍSTICAS E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS OBTIDAS NO FIRP	95
5.2	EFEITOS DA FADIGA INDUZIDA PELO PROTOCOLO FIRP SOBRE A PRODUÇÃO DE TORQUE ISOCINÉTICO	101
5.3	EFEITOS DA FADIGA INDUZIDA PELO FIRP SOBRE O DESEMPENHO E VARIÁVEIS CINEMÁTICAS DA CORRIDA DURANTE <i>SPRINTS</i>	108
5.4	EFEITOS DA FADIGA INDUZIDA PELO FIRP SOBRE A COORDENAÇÃO INTRASEGMENTAR.....	114
6.	CONCLUSÕES.....	119
7.	APLICAÇÕES PRÁTICAS.....	120
	REFERÊNCIAS.....	123
	ANEXOS.....	141

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

A fadiga muscular é um efeito agudo que ocorre durante o exercício, tendo como principal implicação a redução dos níveis de força e a consequente incapacidade de sustentação do esforço físico (SAHLIN, 1992; DAVIS; BAILEY, 1997; PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000; MORIN et al., 2011). As implicações da fadiga possuem um papel preponderante no desempenho atlético (TWIST; ESTON, 2005), além de ser considerada como um fator para a predisposição de lesões (WORRELL, 1994; SEWARK; PATRICK, 1992). Devido a tais aspectos, diversos estudos têm sido realizados tendo como foco as origens e consequências da fadiga no esporte.

Ao longo dos anos foram investigados os efeitos da fadiga nas diversas formas de ações musculares, tanto isoladas (isométricas, concêntricas e excêntricas) ou em ações funcionais envolvendo o ciclo-alongamento (CAE). Grande enfoque de pesquisa acerca dos efeitos da fadiga tem sido dado a esta última (AVELA et al., 1999; KOMI, 2000; RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2001; HORITA et al., 2003; NICOL; AVELA; KOMI, 2006; KUITUNEN et al., 2007), visto ser uma forma natural de ação muscular que está presente na maioria das ações esportivas, a exemplo da corrida.

Tem havido um crescente interesse em investigar os efeitos da fadiga sobre o desempenho na corrida, com ênfase para aquelas realizadas em deslocamentos curtos e em intensidade máxima, usualmente denominados *sprints* (NUMELA; RUSKO; MERO, 1994; TUPA; GUSENOV; MIRONENKO, 1995; PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000; TARTARUGA et al., 2003). O desempenho em um *sprint*, ou ainda, na capacidade de realizar sucessivos *sprints*, tem sido considerado um importante atributo para o desempenho em esportes coletivos, a exemplo do futsal e futebol (BISHOP; EDGE; GOODMAN, 2004; SPENCER et al., 2005; GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011). Análises das estruturas temporais de jogo revelaram que no futsal, por exemplo, os momentos decisivos de uma partida são geralmente precedidos por *sprints* com duração entre 2 a 4 s (SPENCER et al., 2005). Ainda, foi evidenciado que jogadores profissionais de futsal durante um jogo gastam 5 e 12% do tempo realizando *sprints* e corridas de alta intensidade (velocidade > 15 km h⁻¹), respectivamente (BARBERO-ALVAREZ et al., 2008). Dessa forma, investigações sobre

os efeitos da fadiga nestas ações esportivas possuem grande relevância para o desempenho nesses esportes.

A fadiga gerada durante os *sprints* se manifesta tipicamente reduzindo o desempenho (i.e., velocidade da corrida) (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003; GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011). Buscando explicações dos mecanismos causadores deste fenômeno, são encontradas na literatura evidências de que a redução da velocidade de corrida é atribuída, primariamente, à redução na produção de força e prejuízos das funções musculares. Conseqüentemente, uma série de alterações cinéticas (GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011; MORIN et al. 2011) e cinemáticas do movimento são percebidas (PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000; SMALL et al., 2009), o que acabam refletindo diretamente na técnica da corrida. A diminuição da frequência de passada parece ser uma das principais alterações (GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011) que contribuirão para a redução do desempenho, visto que juntamente com a amplitude da passada, são os determinantes finais da velocidade de corrida. Além disso, são evidenciadas alterações na cinemática do membro inferior como reduções de velocidades angulares e na amplitude de deslocamento angular durante a passada (TUPA; GUSENOV; MIRONENKO, 1995; PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000). Adicionalmente, Morin et al. (2011) também verificaram reduções na capacidade de aplicar força efetiva contra o solo durante um *sprint* em função da fadiga.

Tais variáveis indicadoras de desempenho foram, no entanto, analisadas somente na fase de velocidade máxima da corrida, não sendo apresentadas informações acerca dos efeitos da fadiga durante *sprints* curtos em que predomina uma grande aceleração. De acordo com Lockie et al. (2011), a natureza ou característica dos esportes coletivos como o futsal, na maior parte das vezes, não permite que os atletas alcancem a máxima velocidade de corrida, normalmente atingida em *sprints* de pelo menos 20-30 m. Deste modo, para tal esporte, o desempenho na aceleração pode ser considerado mais importante do que uma alta velocidade alcançada na corrida (MURPHY; LOCKIE; COUTTS, 2003; CRONIN; HANSEN, 2005). Sabe-se que durante a aceleração, o atleta assume um posicionamento corporal diferente daquele apresentado na fase de velocidade máxima, o que implicará em padrão técnico diferente (MURPHY; LOCKIE; COUTTS, 2003), podendo levar a diferentes ajustes cinemáticos com a presença da fadiga.

Além dos parâmetros cinemáticos supracitados, a análise dos padrões de movimentos associados, como o sincronismo entre segmentos ou articulações durante a corrida permite um melhor entendimento sobre a ação da fadiga na coordenação do movimento e consequentemente sobre o desempenho (KRELL; STEFANYSHYN, 2006). Ainda, estudos analisando como o sistema neuromuscular reorganiza a coordenação dos movimentos segmentares durante os *sprints* sob fadiga podem fornecer importantes informações para entender o controle motor nestas ações esportivas, conforme destacado por Rodacki, Fowler e Bennett (2001).

Considerando que o movimento segmentar é, em última instância, determinado pela força muscular, poderia ser esperado que alterações ou uma reorganização no movimento segmentar ocorra quando a capacidade de gerar força está diminuída em função da fadiga (RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2001). Por outro lado, tem sido evidenciada a existência de um padrão pré-programado de estimulação que não é facilmente modificado, mesmo com a capacidade de gerar força reduzida (BOBBERT; VAN SOEST, 1994; RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2001; DAL PUPO et al., 2013a). Nestes casos, mudanças no padrão de coordenação com a fadiga não ocorreriam. No entanto, não existem informações na literatura de “como” ou “se” tal reorganização ocorre durante *sprints* realizados sob fadiga, sendo que as únicas evidências supracitadas foram observadas em estudos realizados com saltos verticais.

Por último, além do enfoque sobre o desempenho, a análise dos efeitos da fadiga pode ser uma importante ferramenta para compreender a etiologia e os mecanismos de lesões musculares durante *sprints*. Isto porque a fadiga muscular tem sido apontada como um fator para a predisposição de lesões durante as corridas, em particular, lesões musculares (i.e., estiramentos) nos isquiotibiais (LIEBER; FRIDEN, 1988; DAVIS; BAILEY, 1997). Este tipo de lesão é comum ocorrer em atletas de esportes coletivos durante a realização de *sprints* máximos, mais especificamente, durante a fase final de balanço da perna livre no ciclo da passada, momento em que os isquiotibiais agem excêntrica para desacelerar a perna e controlar a extensão do joelho (NOVACHEK, 1998; PINNEGER; STEELE; GROELLER, 2000). Dentre os principais indicadores ou fatores de risco para tais lesões estão a redução na capacidade de produção de força dos isquiotibiais (SMALL et al., 2010) e o desequilíbrio de força entre os músculos isquiotibiais e quadríceps (CROISIER et al., 2008). Desta forma, se a força dos isquiotibiais, principalmente a excêntrica, for

comprometida em função da fadiga, então o risco de lesões nestes músculos durante os *sprints* aumenta (RAHNAMA et al., 2003; GREIG, 2008).

Nessa perspectiva, algumas pesquisas foram desenvolvidas, por exemplo, para investigar os efeitos da fadiga e a ocorrência de fatores de risco de lesões musculares nos isquiotibiais a partir de protocolos que simulavam uma partida de futebol, ou seja, a fadiga específica de jogo. Os principais resultados mostraram que ocorreu redução da força excêntrica dos isquiotibiais durante os estágios finais do protocolo simulado (RAHNAMA et al., 2003; GREIG, 2008; SMALL et al., 2010). Desse modo concluiu-se que jogadores de futebol apresentam maior susceptibilidade à lesões nos isquiotibiais especialmente ao final das partidas (HAWKINS et al., 2001; WOODS et al., 2004).

As pesquisas realizadas investigando os efeitos da fadiga tem utilizado uma variedade de protocolos para indução da mesma. No entanto, para possibilitar a real compreensão dos efeitos da fadiga faz-se necessário utilizar protocolos com ações específicas, em que são reproduzidas as tarefas com as demandas semelhantes da ocorrida na prática esportiva, a exemplo dos utilizados para o futebol nos estudos supracitados. No entanto, considerando que o foco central desta tese é investigar os efeitos da fadiga em jogadores de futsal, verifica-se a necessidade de um protocolo específico para esta modalidade.

Baseado no que foi exposto levantou-se o seguinte problema: quais são os efeitos da fadiga induzida por ações específicas do futsal na produção de torque muscular, na coordenação intrasegmentar e em indicadores técnicos (cinemáticos) da corrida durante *sprints* realizados por jogadores de futsal?

1.2 Objetivo Geral

Investigar os efeitos da fadiga induzida por um protocolo de corrida intermitente específico para o futsal sobre a produção de torque isocinético, a coordenação intrasegmentar e indicadores técnicos da corrida durante *sprints* realizados por jogadores de futsal.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver um protocolo de corrida multidirecional designado para a simulação das demandas de jogo específicas do futsal (*futsal-specific intermitent shuttle-running protocol - FIRP*).

- Apresentar evidências de validade do referido protocolo.
- Verificar os efeitos da fadiga induzido pelo FIRP no pico de torque isocinético concêntrico e excêntrico dos músculos flexores (TF_{CON} , TF_{EXC}) e extensores (TE_{CON} , TE_{EXC}) e do joelho.
- Verificar os efeitos da fadiga induzida pelo FIRP sobre a razão convencional ($F_{CON} : E_{CON}$) e razão funcional de torque ($F_{EXC} : E_{CON}$).
- Verificar os efeitos da fadiga induzido pelo FIRP no desempenho (em termos de tempo e velocidade média) de jogadores de futsal em *sprints* de 10 m e 20 m.
- Verificar os efeitos da fadiga induzida pelo FIRP em variáveis cinemáticas descritores da técnica de corrida em *sprints* de 10 m e 20 m realizados por jogadores de futsal.
- Verificar os efeitos da fadiga induzido pelo FIRP na coordenação entre os segmentos coxa-tronco, perna-coxa e pé-perna durante *sprints* de 10 m e 20 m realizados por atletas de futsal.

1.3 Justificativa

As implicações da fadiga possuem um papel preponderante no desempenho atlético (TWIST; ESTON, 2005), além de ser considerada como um fator para a predisposição de lesões (WORRELL, 1994; SEWARK; PATRICK, 1992). Nesse sentido, a justificativa principal em diagnosticar e entender os mecanismos ou alterações oriundas do processo de fadiga é que, a partir deste conhecimento, podem-se elaborar estratégias de treinamento para tentar reduzir ou retardar este processo.

Diversos estudos já foram realizados com o objetivo de investigar as consequências da fadiga no esporte (AVELA et al., 1999; PINNEGER; STEELE; GROELLER, 2000; RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2001; HORITA et al., 2003; NICOL; AVELA; KOMI, 2006; KUITUNEN et al., 2007). No entanto, para poder analisar os efeitos da fadiga específicos do futsal, que é o foco e delimitação desta tese, fez-se necessário o desenvolvimento de um protocolo que possibilita reproduzir as tarefas e demandas semelhantes das ocorridas nesse esporte, o que segundo Scholes (2010), garante a validade externa do estudo. Embora alguns protocolos tenham sido desenvolvidos para o futebol (NICHOLAS; NUTTALL; WILLIAMS, 2000; SMALL et al., 2010), este é o primeiro voltado para o futsal.

A partir disso, é possível investigar a fadiga específica da modalidade em diversos parâmetros de interesse. Um destes é o efeito da fadiga sobre o desempenho em *sprints*, considerado uma das principais ações de jogo. A identificação de possíveis alterações em indicadores cinemáticos descritores da técnica de corrida provocadas pela fadiga será relevante no sentido de direcionar alternativas de treinamento técnico em situações fatigantes. Ainda, conforme destacado por Rodacki, Fowler e Bennett (2001), a identificação e entendimento de como o sistema neuromuscular reorganiza a coordenação dos movimentos segmentares durante os *sprints* sob fadiga podem fornecer importantes informações para entender o controle motor nesses movimentos explosivos. De acordo com revisão literária realizada, nenhum estudo até então investigou este aspecto.

Por último, está relatado que durante uma partida de futsal os atletas são comumente acometidos por lesões (SERRANO et al., 2013), sendo os estiramentos musculares umas das mais frequentes (COHEN et al., 1997). Considerando a relação estabelecida entre fadiga e lesões musculares (WORRELL, 1994; SEWARK; PATRICK, 1992), será possível, a partir do protocolo específico de fadiga, identificar a presença de possíveis fatores de risco (e.g., alteração no equilíbrio muscular entre flexores e extensores do joelho) para lesões musculares em jogadores de futsal. A partir deste conhecimento, estratégias de treinamento podem ser estabelecidas para minimizar o aparecimento destes fatores de risco para lesões musculares.

1.4 Hipóteses do estudo

- H1 - O FIRP reduzirá o torque produzido pelos músculos flexores e extensores do joelho.
- H2 - As perdas percentuais de torque em função da fadiga serão maiores nos músculos flexores em comparação aos extensores do joelho.
- H3 - A fadiga gerada no FIRP reduzirá a razão funcional de torque $F_{EXC}:E_{CON}$.
- H4 - A fadiga gerada pelo FIRP reduzirá o desempenho (tempo ou velocidade média) tanto nos *sprints* de 10 quanto nos de 20 m.
- H5 - O FIRP provocará redução da frequência da passada tanto nos *sprints* de 10 quanto de 20 m.

- H6 - O FIRP causará alterações no tempo de fase de suporte e tempo de fase aérea durante a passada nos *sprints* de 10 e 20 m.
- H7 - A fadiga gerada no FIRP não ocasionará alterações na coordenação intrasegmentar nos *sprints* de 10 e 20 m.

1.5 Variáveis do estudo: classificação e definição

1.5.1 Variáveis independentes:

a) Protocolo de fadiga específico para o futsal

Operacional: protocolo de corrida multidirecional designado para a simulação das demandas de jogo específicas do futsal (*futsal-specific intermittent shuttle-running protocol* - FIRP).

1.5.2 Variáveis dependentes:

a) Desempenho no *sprint* de 10 m

Operacional: será considerado como o tempo ou a velocidade média em um *sprint* de 10 m, realizado a partir de saída alta e estacionária.

b) Desempenho no *sprint* de 20 m

Operacional: será considerada como o desempenho (velocidade média ou tempo) em um *sprint* de 20 m, realizado de modo “lançado”.

c) Pico de torque excêntrico dos músculos extensores do joelho (TE_{EXC})

Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho na fase excêntrica do movimento (RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2002).

Operacional: será determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho na fase excêntrica do movimento de extensão de joelho realizado em um cadeira isocinética, expresso em $N.m^{-1}$.

d) Pico de torque concêntrico dos músculos extensores do joelho (TE_{CON})

Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho na fase concêntrica do movimento (RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2002).

Operacional: será determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos extensores do joelho na fase concêntrica do movimento de extensão de joelho realizado em um cadeira isocinética, expresso em $N.m^{-1}$.

- e) Pico de torque excêntrico dos músculos flexores do joelho (TF_{EXC})
Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho na fase excêntrica do movimento (RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2002).
Operacional: será determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho na fase excêntrica do movimento de flexão de joelho realizado em um cadeira isocinética, expresso em $N.m^{-1}$.
- f) Pico de torque concêntrico dos músculos flexores do joelho (TF_{CON})
Conceitual: o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho na fase concêntrica do movimento (RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2002).
Operacional: será determinado como o maior valor de torque obtido pelos músculos flexores do joelho na fase concêntrica do movimento de flexão de joelho realizado em um cadeira isocinética, expresso em $N.m^{-1}$.
- g) Razão convencional de torque ($F_{CON}:E_{CON}$)
Conceitual/Operacional: definido como o quociente entre TF_{CON} e TE_{CON} (RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2002; CAMARDA; DENADAI, 2011).
- h) Razão funcional de torque ($F_{EXC}:E_{CON}$)
Conceitual/Operacional: definido como o quociente entre TF_{EXC} e TE_{CON} (CAMARDA; DENADAI, 2011)
- i) Amplitude do passo (AP)
Conceitual: considerada como a distância horizontal medida entre as pontas dos pés, projetada na direção do movimento, em dois apoios consecutivos de pés contralaterais (STOFFELS et al., 2007).
Operacional: distância horizontal medida a partir da análise de vídeo entre as pontas dos pés, projetada na direção do movimento, em dois apoios consecutivos de pés contralaterais durante a corrida.

- j) Frequência de passo (FP)
Conceitual: refere-se ao número de passos por unidade de tempo (STOFFELS et al., 2007).
Operacional: será quantificado a partir da análise de vídeo como o número de passos por segundo.
- k) Tempo de fase de suporte (TF_{SU})
Conceitual/Operacional: é o tempo decorrido desde o contacto do pé ao solo até a saída do mesmo pé (STOFFELS et al., 2007).
- l) Tempo de fase aérea (TF_{AE})
Conceitual/Operacional: é o tempo decorrido desde a saída de um pé até o contacto do outro pé no solo (STOFFELS et al., 2007).
- m) Ângulo da coxa (AC_{IMP})
Conceitual/Operacional: ângulo absoluto formado pela coxa livre e a horizontal, no instante de impulsão. Este ângulo aumenta à medida que a coxa faz rotação no sentido horário (LI et al., 1999).
- n) Ângulo do joelho
Conceitual/Operacional: ângulo relativo formado entre a coxa e perna de apoio no lado posterior do corpo, analisado no instante de contato com o solo (AJ_{CON}) e no instante de impulsão (AJ_{IMP}) (LI et al., 1999).
- o) Velocidade angular da perna (VA_{PERNA})
Conceitual/Operacional: definida como a velocidade do ângulo formado entre a perna livre com a horizontal, analisada na fase de balanço (do instante de impulsão até imediatamente antes ao instante contato como solo). Este ângulo diminui à medida que a perna faz rotação ao redor do joelho no sentido horário (LI et al., 1999).
- p) Velocidade angular da coxa (VA_{COXA})
Operacional: definida como a velocidade do ângulo formado entre o segmento da coxa com a horizontal, analisada na fase de suporte. Este ângulo diminui à medida que a coxa faz rotação ao redor do quadril no sentido horário.

q) Fase relativa contínua (FRC)

Conceitual: Análise da interação ou padrão de coordenação entre dois segmentos ou articulações em um ciclo de movimento (HAMILL et al., 1999).

Operacional: definida como a diferença entre os ângulos de fase normalizados de dois segmentos ($FRC = \emptyset$ segmento 1 - \emptyset segmento 2), ao longo do ciclo do passo nos *sprints*.

1.5.3 Variáveis de controle:

- a) Nível de treinamento dos atletas avaliados;
- b) Aquecimento corporal pré-avaliação;
- c) Hidratação antes e durante as avaliações;
- d) Realização de exercícios prévios aos dias de avaliação;
- e) Uniformização do ambiente de coleta.

1.6 Limitações e delimitação do estudo

Foram considerados como limitações do estudo os seguintes aspectos:

- a) A realização da análise cinemática somente de modo bidimensional.
- b) A não realização de um teste de esforço máximo (aeróbio e/ou anaeróbio) para determinação de variáveis que apontaria como melhor propriedade o nível de treinamento físico dos atletas avaliados.
- c) O fato de não ter sido determinado a frequência cardíaca máxima individual dos jogadores para relativizar a frequência cardíaca obtida no FIRP.

O presente estudo delimitou-se a investigar os efeitos da fadiga na produção de torque e no desempenho em *sprints* especificamente a partir das ações realizadas no futsal.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Com a finalidade de fundamentar o estudo e subsidiar a discussão dos resultados, foram selecionados alguns tópicos para compor o referencial teórico que abordam os “eixos” principais desta tese. Estão descritos inicialmente aspectos ligados à fadiga, tais como conceitos, os mecanismos causadores e implicações para o desempenho e funções musculares. Na sequência está contextualizada a importância dos *sprints* no desempenho em esportes coletivos e, adicionalmente, os principais aspectos cinemáticos intervenientes no desempenho nos *sprints*. Por último, uma breve revisão sobre a demanda fisiológica e neuromuscular do futsal.

2.1 Fadiga muscular: conceitos e mecanismos causadores

Durante o exercício físico, principalmente de alta intensidade ou de longa duração, ocorre uma série de efeitos agudos no corpo humano que prejudicam o desempenho, quem vem a ser a ocorrência da fadiga. Gandevia (2001) relata que há certa confusão na literatura quanto à correta definição de fadiga. Para o autor, a fadiga se refere como uma falha em manter uma requerida ou determinada força durante o exercício; ou ainda, pode ser uma falha ou incapacidade do músculo ou determinados grupos musculares em continuar o trabalho numa dada intensidade de exercício. Definições semelhantes também puderam ser observadas em outros estudos (ENOKA; STUART, 1992; GREEN, 1997; DAVIS; BAILEY, 1997). Enoka e Stuart (1992) destacam que esta redução do desempenho ocasionada pela fadiga pode ser causada pelo aumento da percepção do esforço necessário para produzir determinada força e a eventual incapacidade de produzir determinada força.

A fadiga muscular ou neuromuscular tem sido um tema amplamente investigado por pesquisadores nos últimos anos, sendo os estudos principalmente relacionados com os efeitos no desempenho atlético. Adicionalmente, são encontrados estudos sobre fadiga no âmbito das patologias (ASCENSÃO et al., 2003), assim como sua possível relação para a predisposição de lesões musculares (WORRELL, 1994; SEWARK; PATRICK, 1992).

Embora os efeitos da fadiga serem deletérios sobre o desempenho esportivo, é importante compreender que a mesma é um processo que ocorre como um mecanismo de defesa ativado antes que

ocorra alguma deterioração de determinadas funções orgânicas ou danos celulares, prevenindo lesões que podem ser irreversíveis (WILLIAMS; KLUG, 1995; SANTOS; DEZAN; SARRAF, 2003).

Apesar de décadas destinadas ao estudo desta temática, os mecanismos associados à etiologia da fadiga ainda não são definitivos. O único consenso na literatura é que a fadiga não é causada por um único processo, ou seja, possui natureza multifatorial, nos quais os mecanismos causadores variam de uma condição para outra, na chamada “dependência da tarefa” (ENOKA; STUART, 1992; ENOKA, 1995). Tem sido destacado que a origem e desenvolvimento do nível de fadiga depende de fatores como a especificidade do exercício, tipo de fibra e contração muscular envolvida, intensidade e duração de exercício, nível de treinamento do indivíduo, das condições ambientais, dentre outros (ROBERTS; SMITH, 1989; MILLET; LEPERS, 2004).

Tradicionalmente, os mecanismos etiológicos da fadiga são atribuídos a dois fatores principais: centrais e periféricos. Conforme descrito por Bertuzzi, Franchini e Kiss (2004), a atuação de um ou outro destes mecanismos de fadiga possivelmente esteja ligado à duração do exercício, sendo que em exercícios mais intensos e mais curtos a ocorrência da fadiga é tida como de origem predominantemente periférica, enquanto que a fadiga central parece atuar de forma predominante em exercícios mais prolongados.

A origem central da fadiga é descrita como alterações de *input* neural ou numa falha na condução do impulso que chega ao músculo, ocasionando reduções na frequência disparo dos motoneurônios e redução no número de unidades motoras recrutadas (STACKHOUSE et al. 2000; ASCENSÃO et al., 2003). A fadiga central pode ocorrer em qualquer nível do sistema nervoso central, que se estende desde o cérebro até a junção neuromuscular, onde ocorrem as sinapses.

Conforme apresentado por Santos, Dezan, e Sarraf (2003), um dos principais fatores relacionados à fadiga central durante o exercício, principalmente de longa duração e baixa intensidade, é a atuação de diversos neurotransmissores cerebrais, estando os mesmos normalmente associados a estados/fatores psicológicos e a coordenação muscular. A motivação, por exemplo, é um fator psicológico que tem influência direta na tolerância ao esforço e conseqüentemente no quadro de fadiga gerado (ENOKA, 1995).

A serotonina (5-HT) é um dos neurotransmissores que tem sido relacionada com a fadiga devido a possíveis alterações negativas que a mesma causa na percepção de esforço muscular e no desempenho motor (DAVIS; BAILEY, 1997). Durante uma situação de fadiga, o aumento

de 5-HT é percebido no sangue devido à elevação dos níveis de triptofano (TRP) livre, que é o precursor da serotonina. Essa elevação ocorre em função da maior utilização de aminoácidos de cadeia ramificada (BCAAs) pelos músculos durante o exercício. Ao atravessarem a barreira sanguínea do cérebro, juntamente com tais aminoácidos entra, por meio de um mecanismo de transporte compartilhado, certa quantidade de TRP livre (NEWSHOLME et al., 1992; KREIDER; MIRIEL; BERTUN, 1993). Uma vez que os BCAAs e o TPF livre disputam a mesma via de entrada no cérebro, tem sido sugerido que a suplementação ergogênica com este tipo de aminoácidos parece atuar no atraso da fadiga em exercícios de longa duração (KREIDER; MIRIEL; BERTUN, 1993). Outra forma de suplementação sugerida para atuar na inibição do TRP é com hidratos de carbono, visto que os mesmos aumentam a ligação do TRP com a albumina, reduzindo a concentração de TRP livre e consequentemente da produção de 5-HT (DAVIS; BAILEY, 1997).

Algumas evidências apontam que outros neurotransmissores como a dopamina e acetilcolina também possuem relação com a fadiga central. A dopamina parece estar ligada positivamente à fadiga devido ao fato desta inibir parte da síntese do metabolismo de 5-HT, retardando a fadiga central, sendo que o déficit da dopamina pode comprometer a coordenação motora e a motivação (DAVIS; BAILEY, 1997). Já a relação da acetilcolina com a fadiga, apesar de ainda não ser tão clara, parece estar ligado à velocidade de transmissão dos impulsos nos músculos esqueléticos (DAVIS; BAILEY, 1997).

Por último, a presença da amônia também parece estar relacionada com a fadiga. Apesar de ainda não bem estabelecidas, as principais causas parecem ser as alterações nas funções de alguns neurotransmissores, na restrição energética no SNC e na no mecanismo de transporte dos aminoácidos para o encéfalo (GUEZENNEC et al., 1998).

Sabe-se que o processo da fadiga muscular é um complexo fenômeno, ocorrendo em numerosos locais por meio de vários mecanismos, que incluem o sistema nervoso central, conforme acima descrito. No entanto, parece que a mesma atua predominantemente por meio de mecanismos localizados dentro do músculo esquelético (ENOKA, 1995; LEPPIK et al., 2004), na chamada fadiga periférica, ou seja, aos eventos que ocorrem à nível intracelular. É encontrada na literatura uma divisão da fadiga periférica em dois componentes de frequência: a) fadiga de alta frequência, que ocorre como um resultado de uma deficiência em propagação do potencial de ação ao longo do

sarcolema; b) de baixa frequência, sendo a fadiga denotada como uma deficiência na excitação-contracção no acoplamento (STROJNIK; KOMI, 1998).

Os principais fatores atribuídos à fadiga periférica tem sido a depleção energética (ROBERTS; SMITH, 1989; SAHLIN, 1992; SAHLIN; TONKONOJI; SÖDERLUND, 1998), alterações na liberação de cálcio (Ca^{2+}) (ØRTENBLAD; SJØGAARD; MADSEN, 2000) e o acúmulo de metabólitos (JACOBS; KAISER; TESCH, 1981).

A principal influência da depleção energética na fadiga estaria relacionada com a interferência na taxa da ressíntese de ATP, que possui um papel já bem definido no processo da contracção muscular. A carência de ATP pode afetar o funcionamento das bombas de Na^+/K^+ e bombas de Ca^{2+} , que são ATP-dependentes e responsáveis pelo reestabelecimento do ambiente eletroquímico celular e extra-celular (SAHLIN, 1992). Assim, a diminuição da disponibilidade de energia parece provocar alterações no gradiente de íons e no potencial da membrana, explicando a fadiga muscular (SAHLIN; TONKONOJI; SÖDERLUND, 1998).

Um mecanismo intracelular que tem sido bem aceito na literatura científica como um causador da fadiga periférica é a diminuição ou alteração da liberação de Ca^{2+} pelo retículo sarcoplasmático. Tem sido demonstrado que, durante exercícios de alta intensidade e curta duração, a redução na capacidade de liberação ou captação Ca^{2+} pelo retículo sarcoplasmático compromete a tensão desenvolvida pelas fibras musculares (ØRTENBLAD; SJØGAARD; MADSEN, 2000).

Outro fator que é frequentemente relacionado com a fadiga muscular é o acúmulo de metabólitos como lactato, ácido láctico, íons H^+ e fosfato inorgânico (Pi), contudo, a literatura ainda é bastante controversa quanto a estes aspectos. Tradicionalmente, a produção de lactato e ácido láctico tem sido associado com a liberação de íons H^+ e a consequente diminuição do pH intramuscular, que ocasionariam prejuízos na contracção muscular (BROOKS, 1991). Foi sugerido o pH reduz de forma progressiva com o exercício, ocasionando um quadro de acidose láctica, o que teria participação na inibição da liberação de Ca^{2+} , causando redução da capacidade do maquinário contrátil gerar tensão⁺ (FITTS, 1994).

Contudo, Robergs, Ghiasvand e Parker (2004) tem contestado a relação entre ácido láctico, lactato e formação de íons H^+ . Os referidos autores sugerem que a glicólise anaeróbia não seria a responsável pela produção dos íons H^+ , pelo contrário, durante a reacção na referida via

energética, na qual é formado o lactato há o consumo de H^+ . Assim, o lactato seria uma substância tampão e retardaria a formação da acidose.

No entanto, as evidências apontadas por Robergs, Ghiasvand e Parker (2004) foram duramente contestadas, conforme apresentado na revisão de Bertuzzi et al (2009). Lindinger (2006) foi um dos primeiros autores a contestar, defendendo a ideia que o lactato contribui para a acidose muscular e alegando que os experimentos de Robergs, Ghiasvand e Parker (2004) que não consideravam a eletroneutralidade nas reações químicas. Da mesma forma, Kemp (2005) também se mostrou contrário às evidências apontadas por Robergs, Ghiasvand e Parker (2004), relatando que em condições de pH ácido, a produção de lactato é acompanhada da liberação de íons H^+ .

Além dos metabólitos acima referidos, a presença de valores elevados de Pi, tem sido considerado outro fator com papel chave na fadiga periférica (WESTERBLAD; ALLEN; LÄNNERGREEN, 2002). O Pi, que é proveniente da quebra de ATP e CP, parece estar relacionado com alterações na liberação/absorção de Ca^{2+} e consequentemente nas funções da contração muscular (FAVERO, 1999).

De modo geral, embora existam resultados ainda inconclusivos acerca desta temática, Bertuzzi, Franchini e kiss (2004) destacam que a maioria dos estudos em que analisa os mecanismos periféricos causadores de fadiga se remetem à depleção de substratos e a produção de metabólitos, ocasionando alterações na liberação de cálcio e consequentemente na contração muscular.

2.2 Implicações da fadiga nas funções musculares

A fadiga aguda tem sido associada a inúmeras manifestações de incapacidade funcional, evidenciadas durante ou logo após exercícios (ASCENSÃO et al., 2003; BYRNE; ESTON, 2002). A principal implicação ocasionada pela fadiga muscular é a redução dos níveis de força e a consequente incapacidade de sustentação do esforço físico (SAHLIN, 1992; DAVIS; BAILEY, 1997; PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000; MORIN et al., 2011). Rahnema et al. (2003) descreve que a fadiga produzida em qualquer atividade ou exercício pode ser medida comparando a força de contração voluntária antes e após o exercício.

Gandevia (2001) descreve que a capacidade de gerar força máxima começa a diminuir logo após o início do exercício e declina progressivamente até os músculos falharem em realizar determinada

tarifa. No entanto, em relação à redução prolongada da força (percebida ao longo de dias), é mais adequado relacioná-la com os efeitos de dano muscular ao invés de fadiga muscular, uma vez que tais efeitos mais duradouros não são revertidos pelo repouso pós-exercício (BYRNE; ESTON, 2002).

Já é de conhecimento que a fadiga provoca mudanças substanciais em diversos fatores neuromusculares. Contudo, tais alterações irão variar de acordo com o tipo de contração muscular envolvida, do grupo muscular testado e da duração e intensidade do exercício fatigante (ENOKA, 1995; MILLET, 2004). As alterações de ativação central e periférica, por exemplo, podem ocorrer de maneira oposta em uma dada tarefa, ou seja, ter facilitação central e inibição periférica. Elas também podem variar, dependendo da intensidade de tarefa (máxima vs. submáxima) e recuperar-se em um ritmo diferente (aguda vs. tardia) (NICOL; AVELA; KOMI, 2006).

A fadiga neuromuscular tem sido estudada/analísada utilizando as diversas formas de ações musculares, tanto isoladas (isométricas, concêntricas e excêntricas) ou em ações funcionais envolvendo o ciclo alongamento-encurtamento (CAE). Além disso, o uso da dinamometria isocinética também tem sido uma importante ferramenta para análise das funções musculares com a fadiga, principalmente no que tange as relações com diferentes velocidades angulares de movimento (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003; BYRNE; TWIST; ESTON, 2004).

As ações isométricas são as mais tradicionais e primárias em que foram utilizadas para analisar as implicações da fadiga nas funções musculares (CLARKSON; KAZUNORI; BRAUN, 1992; CLEAK; ESTON, 1992; BYRNE; ESTON; EDWARDS, 2001; ESTON; BYRNE; TWIST, 2003). Em tais estudos está relatado que a capacidade de gerar força isométricamente, normalmente mensurada em uma contração voluntária máxima (CVM), reduz devido à fadiga, sendo esta gerada em diferentes protocolos, seja de sustentação isométrica ou em exercícios dinâmicos (excêntricos, concêntricos ou CAE). Além disso, mudanças metabólicas são observadas durante a fadiga isométrica (GANDEVIA, 2001). Um aspecto importante em relação à fadiga durante a CVM é que a mesma é dependente do comprimento do músculo, sendo mostradas evidências de que o músculo possui maior resistência à fadiga quando está mais encurtado em relação ao tamanho ótimo para produção de força máxima (CHILD; SAXTON; DONNELLY, 1998).

Em exercícios com substancial componente excêntrico, as reduções na produção de força podem ser percebidas imediatamente

após o exercício, sendo umas das consequências mais agudas da fadiga (ALLEN, 2001; BYRNE; ESTON, 2002). No entanto, uma característica comum que pode ser observada após exercícios excêntricos intensos é o comprometimento das funções musculares (capacidade de gerar força, potência, por exemplo) por um período mais prolongado, que pode durar, em média, 48 h. Tais consequências são atribuídas, no entanto, não à fadiga aguda gerada no exercício, mas ao dano muscular ocorrido nas estruturas musculares (BYRNE; ESTON, 2002; BYRNE; TWIST; ESTON, 2004; TWIST; ESTON, 2005; HIGHTON; TWIST, ESTON, 2009). O exercício excêntrico intenso é o principal fator responsável pelo dano muscular, sendo que um dos principais sintomas do mesmo é o comprometimento das funções musculares por tempo prolongado. Além disso, a dor muscular oriundo dos processos inflamatórios é um dos sintomas mais frequentes do dano muscular ocasionado por exercício excêntrico, que aparece normalmente entre 8-24 h e chega ao pico entre 24-48 h após o exercício (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003).

Tanto os níveis de fadiga gerados durante o exercício, quanto o dano muscular causado por exercício excêntrico, são maiores quando comparados às demais ações musculares isoladas (concêntrica e isométrica), visto que maior sobrecarga é imposta durante um exercício excêntrico, ocasionando maior stress mecânico nas estruturas musculares (BYRNE; TWIST; ESTON, 2004). Em exercícios com predomínio de ações concêntricas, a fadiga aguda irá depreciar os níveis de força, mas são reestabelecidos em poucas horas depois do exercício, visto que neste caso geralmente não ocorre dano muscular (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003).

No entanto, a maioria das ações musculares envolvidas nos esportes não ocorre em formas isoladas, mas sim na combinação de excêntrica seguida de concêntrica, no ciclo alongamento-encurtamento (KOMI, 2000). Esta forma natural de função muscular é utilizada quando o corpo ou os segmentos do corpo são submetidos ao impacto devido à forças externas, tais como a gravidade. Uma grande diversidade de estudos têm sido desenvolvidos nesta temática com intuito de investigar a ocorrência da fadiga e seus efeitos nas funções musculares e no desempenho em exercícios envolvendo CAE, como por exemplo, na corrida e nos saltos verticais (AVELA et al., 1999; KOMI, 2000; RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2001; HORITA et al., 2003; NICOL; AVELA; KOMI, 2006; KUITUNEN et al., 2007).

A ocorrência da fadiga em exercícios máximos envolvendo o CAE é bastante complexa quando comparadas às ações musculares

isoladas, visto que a mesma está relacionada tanto a fatores centrais quanto periféricos (NICOL; AVELA; KOMI, 2006). Em tal tipo de ação, as perturbações neuromusculares são tipicamente associadas a grandes alterações nas funções musculares como a regulação do *stiffness*, na produção de força e potência, tanto em caráter agudo quanto tardio (KOMI, 2000).

Conforme descrito por Nicol, Avela e Komi (2006), parece existir um padrão bimodal de resposta da fadiga em ações máximas do CAE, havendo uma redução imediata da performance durante o exercício, uma breve recuperação dentre 1-2 h, seguido por uma redução secundária. Esta redução secundária de performance normalmente apresenta os valores mais baixos entre 24 - 48 h pós exercício, quando os sintomas de dano muscular estão presentes, como por exemplo sensação de dor muscular e níveis elevados de creatina quinase (CK) (TWIST; ESTON, 2005; HIGHTON; TWIST; ESTON, 2009; HOWATSON; MILAK, 2009).

A ocorrência de dano muscular em exercícios envolvendo CAE deve-se ao forte componente excêntrico presente neste tipo de ação (TWIST; ESTON, 2005; NICOL; AVELA; KOMI, 2006). No entanto, a contração muscular excêntrica ocorrida no CAE não é exatamente a mesma da ação excêntrica isolada. As principais diferenças estão relacionadas às cargas de impacto e da natureza do alongamento envolvido na fase ativa de frenagem do CAE, que é geralmente muito rápida e de curta duração, sendo controlados simultaneamente por reflexo e vias neurais centrais (NICOL; AVELA; KOMI, 2006).

Diversos estudos têm sido realizados com objetivo de investigar os efeitos da fadiga durante e/ou logo após ações esportivas, como por exemplo, as do futebol, em que o CAE está presente eminentemente em ações como a corrida e os saltos (RAHNAMA et al., 2003; SMALL et al., 2010; CAMARDA; DENADAI, 2011). Tradicionalmente, a maioria destes estudos tem analisado a capacidade de gerar torque (isométrico, concêntrico ou excêntrico) como indicador de fadiga.

Rahnama et al. (2003) analisaram a capacidade de gerar torque antes e após a aplicação um protocolo de fadiga em que simula as ações, a duração e a intensidade de uma partida de futebol (SAFT⁹⁰). Os autores verificaram reduções significativas do pico de torque isocinético em ações concêntricas e excêntricas dos músculos flexores e extensores do joelho dos jogadores de futebol avaliados. De acordo com os autores, as perdas mais expressivas de torque foram percebidas nos músculos flexores do joelho, possivelmente devido ao maior esforço dos músculos

isquiotibiais para estabilizar o joelho no contato com o solo e gerar tração na impulsão.

Resultados semelhantes foram obtidos por Camarda e Denadai (2011), os quais verificaram redução significativa do torque dos músculos flexores e extensores do joelho de jogadores de futebol após o a aplicação do mesmo protocolo de fadiga utilizado no estudo de Rahnema et al. (2003). Além disso, os autores verificaram que as alterações na produção de torque foram dependentes do equilíbrio de força muscular agonista/antagonista dos músculos flexores e extensores do joelho. Devido a esta redução na produção de torque, os atletas tendem a diminuir a capacidade de realizar *sprints* máximos ao longo de uma partida (RAHNAMA et al., 2003).

Small et al. (2010) também investigaram os efeitos da fadiga gerada durante o SAFT⁹⁰ sobre a produção de força em jogadores de futebol. No entanto, neste estudo o SAFT⁹⁰ foi realizado em campo, envolvendo mudanças de sentido e desacelerações, enquanto que nos estudos supra-citados (RAHNAMA et al., 2003; CAMARDA; DENADAI, 2011) foi realizado em esteira rolante. Verificou-se redução do torque excêntrico e na razão de torque concêntrico entre isquiotibiais e quadríceps ($I_{CON}:Q_{CON}$) no meio (45°) e ao final (105°) do protocolo em relação ao início na condição não fadigada. Os autores relatam que essas alterações podem aumentar a predisposição de lesões nos músculos isquiotibiais, principalmente nos estágios finais de uma partida de futebol.

Além das consequências agudas da fadiga, Byrne, Twist e Eston (2004) descrevem que nestes esportes como o futebol, em que ocorrem ações intermitentes de alta intensidade intercaladas com ações de baixa intensidade, há grande potencial para desenvolver dano muscular. Tal fato pode ser observado em alguns estudos (ASCENSÃO et al., 2011; MAGALHÃES et al., 2010) que concluíram que as ações realizadas durante uma partida de futebol aumentaram os níveis dos marcadores de dano muscular como creatina quinase e perda de força muscular ao longo de 48-72 h do período de recuperação.

De forma geral, é possível concluir a partir das evidências apresentadas neste capítulo que a fadiga provoca alterações nas funções musculares, que irão variar de acordo com o tipo de contração muscular envolvida, do grupo muscular testado e da duração e intensidade do exercício fatigante. Desta forma, protocolos com exercícios específicos de cada modalidade esportiva são necessários na indução da fadiga para compreender os reais efeitos da mesma na ação esportiva investigada.

2.2.1 Efeitos da fadiga no desempenho em *sprints*: estudos realizados

As perdas potenciais da capacidade de gerar força em alta velocidade devido à fadiga podem ter implicações para o desempenho esportivo (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003). Nesse sentido, nos últimos anos tem-se percebido um crescente interesse em investigar os efeitos da fadiga na capacidade de gerar potência e na performance de atividades esportivas de alta intensidade, a exemplo das corridas de velocidade e *sprints* (PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000; GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011; MORIN et al. 2011). Tais estudos têm apresentado uma série de parâmetros relacionados à cinemática, força aplicada ao solo (cinética) e atividade EMG para evidenciar os efeitos da fadiga no desempenho na corrida.

Nesse contexto, Pinniger, Steele e Groeller (2000) investigaram os efeitos da fadiga na produção de força dos músculos isquiotibiais, na atividade eletromiográfica (EMG) e em variáveis cinemáticas durante um *sprint* de 40 m, realizado por jogadores de futebol. A fadiga foi induzida nos músculos isquiotibiais por ações específicas de corrida (10 *sprints* máximos de 40 m) e por um protocolo de fadiga específica (ações concêntricas e excêntricas em um aparelho de musculação). As variáveis do estudo foram analisadas antes e após os protocolos de fadiga. A análise estatística revelou que as variáveis EMG e cinemáticas da corrida, como velocidades e deslocamento angulares do joelho e quadril diminuíram da situação pré para a pós-fadiga, o que leva a concluir que ocorreram “ajustes” na técnica da corrida. De acordo com os autores, a diminuição da velocidade angular da perna percebida imediatamente antes do contato com o solo na condição fadigada pode indicar uma redução da eficácia dos isquiotibiais em gerar força suficiente para desacelerar o segmento. Este momento é considerado um dos mais críticos para a ocorrência de lesões (STANTON; PURDAM, 1989). Pinniger, Steele e Groeller (2000) concluíram que tais alterações são possíveis mecanismos protetores para reduzir o *stress* aplicado aos músculos isquiotibiais nas fases críticas do ciclo da passada.

Em outro estudo, Morin et al. (2011) também analisaram os efeitos da fadiga na técnica da corrida durante *sprints*, contudo sob a ótica da análise cinética. Doze indivíduos realizaram um protocolo de fadiga consistindo em 4 séries de 5 *sprints* de 6 s em uma esteira instrumentada, sendo analisadas variáveis relativas à força de reação do solo (FRS) na passada. Foram observadas reduções significativas da força vertical, horizontal e total aplicada ao solo, quando comparados os dois primeiros com os dois últimos *sprints*. Como conclusão, os autores

relatam que a capacidade técnica para orientar efetivamente a força contra o solo foi alterada com a fadiga.

A análise dos efeitos da fadiga sobre a FRS durante a corrida também foi investigado por Christina, White e Gilchrist (2001). O estudo foi conduzido em 11 corredores, nos quais foram analisados a FRS e a cinemática do tornozelo durante a corrida na esteira, antes e logo após um protocolo de fadiga localizada nos músculos dorsiflexores do tornozelo e invertores do pé. Os resultados demonstraram que a fadiga muscular em tais músculos pode ter um efeito significativo nas taxas de força e impacto no solo e diminuição no ângulo de dorsiflexão no instante de contato como solo. Segundo os autores, estas mudanças podem estar relacionadas com diversas lesões que ocorrem na corrida. Um aspecto a ser mencionado em relação a este estudo é que as variáveis analisadas não foram em *sprints* máximos, mas sim em corrida de velocidade submáxima (*jogging*).

Vislumbrando encontrar novas evidências da manifestação da fadiga sobre a FRS durante *sprints* repetidos, Girard, Micallef e Millet (2011) investigaram as alterações da FRS e da rigidez (*stiffness*) de um modelo de massa-mola do corpo (*stiffness* vertical - K_{VERT} e o *stiffness* total do membro inferior durante a corrida - K_{LEG}) ao longo de um protocolo de 12 *sprints* de 40 m. As variáveis de FRS, o *stiffness* e variáveis cinemáticas temporais foram avaliadas nos metros iniciais de aceleração (5-10 m) e na fase final de máxima velocidade (30-35 m) de cada *sprint*. Os principais resultados indicaram que o K_{VERT} diminuiu da primeira para a última repetição, enquanto que as mudanças no K_{LEG} não foram significativas. A frequência da passada e as forças de impulsão diminuíram ao longo dos *sprints* com a fadiga. Os parâmetros da FRS se mostraram maiores no trecho final do *sprints* (30-35 m), enquanto que o *stiffness* foi maior no trecho inicial de aceleração. Assim, conforme relatado pelos autores e já previamente descrito em outros estudos (KUITUNEN et al., 2007), a diminuição da FRS e principalmente do *stiffness* com a fadiga é um mecanismo protetor contra lesões. No entanto, manter alta frequência de passada com níveis altos de *stiffness* é um pré-requisito para o bom desempenho na corrida de velocidade (GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011).

Os estudos supracitados têm mostrado os efeitos da fadiga no desempenho em *sprints*, abordando aspectos cinéticos, cinemáticos e EMG. No entanto, a maioria dos protocolos de fadiga não representa demanda similar à presente nos esportes, considerando além do tipo de ação realizada, o volume e intensidade de trabalho. Nesse sentido, Small et al. (2009) objetivaram verificar o efeito de um protocolo de fadiga

específico para o futebol na cinemática dos *sprints*. Nove jogadores de futebol realizaram um protocolo de fadiga (SAFT⁹⁰), que consistiu em 90 min de corrida intermitente e multi-direcional, contemplando diversas velocidades que simulasse as demandas de uma partida de futebol. Foi mensurado o tempo em um sprint de 10 m, juntamente com análise cinemática, a cada 15 min do SAFT⁹⁰. Foram observados decréscimos do desempenho (tempo), no tamanho da passada e no ângulo de máxima flexão do quadril e extensão do joelho durante os *sprints* ao longo do tempo. De acordo com os autores, essas alterações puderam evidenciar que o protocolo simulando a partida de futebol causa fadiga, ocasionando conseqüentemente modificações na técnica de corrida, que pode levar a possível predisposição para lesões nos isquiotibiais no decorrer do jogo de futebol.

Têm sido desenvolvidos diversos estudos (SEMARK et al., 1999; TWIST; ESTON, 2005; HIGHTON; TWIST; ESTON, 2009) em que são analisados parâmetros de desempenho em *sprints* após protocolos de fadiga, porém, protocolos estes que ocasionam dano muscular. No estudo desenvolvido por Twist e Eston (2005), 10 indivíduos foram submetidos a um protocolo de fadiga induzido por saltos verticais (10 séries de 10 saltos), sendo analisado a performance em *sprints* de 10 m antes e após o exercício. Foi verificado decréscimo no desempenho (tempo) mensurado 30 min, 24 h e 48 h após o exercício, retornando aos valores de base em 72 h. No entanto, no referido estudo não foi analisado o desempenho no sprint imediatamente após o protocolo de fadiga. Desta forma, as considerações acerca das alterações ocasionadas no tempo do sprint devem ser atribuídas mais ao dano muscular do que propriamente aos efeitos agudos da fadiga. Tais conclusões também podem ser estendidas ao estudo de Highton, Twist e Eston (2009), em que também analisaram os efeitos do mesmo protocolo de fadiga utilizada por Twist e Eston (2005) no desempenho em *sprints* de 5 e 10 m. Foram realizadas as avaliações pré e 24 h, 48 h e 168 h após exercício. Foi observado que o tempo em ambos *sprints* aumentou 24 h e alcançou o máximo valor em relação ao valor de base em 48 h.

Por outro lado, Semark et al. (1999) encontraram resultados diferentes dos apresentados nos estudos supracitados. Após submeter os participantes a 70 saltos verticais, os autores não observaram reduções no desempenho em *sprints* de 5, 10, 20 e 30 m com saída baixa. Conforme mencionado por Highton, Twist e Eston (2009) é possível que o protocolo de fadiga não tenha gerado dano muscular, não ocasionando, desta forma, alterações no desempenho mensurado de modo tardio.

Desta forma, conforme apontam os estudos supracitados, diversas alterações ou ajustes cinéticos, cinemáticos e eletromiográficos são percebidos em *sprints* realizados sob fadiga, sendo as mesmas dependentes do exercício fatigante realizado.

2.3 *Sprints* em esportes coletivos: a importância da aceleração e da velocidade máxima

Correr, mais especificamente, correr em alta velocidade é uma ação motora ou gesto esportivo realizado em diversos esportes coletivos (futebol, futsal, basquetebol, hóquei, entre outros), além obviamente de ser uma modalidade atlética em sua essência (corridas de velocidade no Atletismo). Abordando especificamente a corrida de velocidade nos esportes coletivos, é comum a realização de corridas com deslocamentos curtos, em intensidades máximas ou quase máximas, que são usualmente denominados como *sprints* (GIRARD; MENDEZ-VILLANUEVA; BISHOP, 2011). O desempenho em um *sprint* (velocidade de corrida) é considerado um importante atributo para os esportes coletivos como o futebol e futsal, já que garante muitas vezes sucesso em ações de jogo, como chegar antes que o adversário na bola. Durante a realização de uma corrida ou *sprint* em que o objetivo é deslocar-se o mais rapidamente possível durante todo tempo, o aumento da velocidade será gradual, o que poderá passar por diferentes fases.

A primeira fase será a aceleração, fisicamente definida como a taxa de mudança da velocidade, ou seja, a capacidade de aumentar a velocidade a partir de um início parado ou em movimento. Em termos práticos, treinadores e pesquisadores costumam utilizar o desempenho (velocidade ou tempo) em um *sprint* curto de 5 ou 10 m como indicador da capacidade de aceleração (MURPHY; LOCKIE; COUTTS, 2003), baseado no fato de quanto mais rápido o atleta foi em tal *sprint*, maior foi sua capacidade de aumentar a velocidade. A importância da aceleração é mais notável quando se examina o desempenho em desportos de campo, tais como o futebol, rugby, hóquei de campo, dentre outros (LOCKIE et al., 2011).

Quando o atleta não consegue mais aumentar sua velocidade, ou seja, não consegue acelerar mais na corrida, normalmente encontra sua velocidade máxima. Tem sido demonstrado que a fase de aceleração é muito menor para atletas de esportes coletivos quando comparados com corredores de velocidade (BAKER; NANCE, 1999), apesar da distância em que ocorre a velocidade máxima durante um *sprint* irá depender do

nível técnico e das condições físicas do atleta. Para corredores de velocidade de alto nível em um 100 m rasos, por exemplo, é comum alcançá-la próxima aos 60 m (MERO; KOMI; GREGOR, 1992). Já em esportes em que são realizados *sprints* como ações de jogo (futebol, por exemplo), a velocidade máxima normalmente é atingida em distâncias menores, em média 40 m (BAKER; NANCE, 1999).

No entanto, de acordo com Lockie et al. (2011), a natureza ou característica dos esportes coletivos muitas vezes não permite que os atletas alcancem a velocidade máxima de corrida. Por exemplo, em esportes como o rugby e futebol, a duração média de um *sprint* em uma partida é de aproximadamente 2 s, sendo que após esse tempo, só é possível alcançar 70% da velocidade máxima do atleta (DUTHIE et al., 2006). Deste modo, para tais esportes, a aceleração pode ser considerada mais importante do que a velocidade máxima alcançada na corrida (MURPHY; LOCKIE; COUTTS, 2003; CRONIN; HANSEN, 2005).

2.4 Características biomecânicas da corrida em velocidade máxima

Correr é considerado um gesto instintivo e natural quando realizado como simples forma de locomoção. No entanto, apresenta certa complexidade quando realizada como atividade atlética, visto que alcançar velocidades elevadas e próximas da máxima requer movimentos coordenados em uma sequência apropriada de ativações musculares (NOVACHEK, 1998).

Conceitualmente, a corrida é constituída por um conjunto de movimentos cíclicos que são os passos. Neste estudo, o passo será definido entre o instante de contato de um pé e o instante de contato do pé contrário. O produto entre a frequência e amplitude dos passos vai determinar a velocidade da corrida (HAY, 1981; ČOH; TOMAŽIN; RAUSAVLJEVIĆ, 2007). A amplitude da passada depende principalmente da estatura e do comprimento do membro inferior e pela força desenvolvida pelos músculos extensores do quadril. Já a frequência da passada depende fundamentalmente do sistema nervoso central e da potência gerada pelos músculos (MERO; KOMI, 1987; SEAGRAVE, 1996; COH; MILANOVIC; KAMPMILLER, 2001). Existe uma relação inversa entre tais parâmetros, ou seja, os atletas com grande amplitude de passada tendem a apresentar baixa frequência de passada e vice-versa (COH; MILANOVIC; KAMPMILLER, 2001).

O passo é dividido para melhor compreensão em duas fases distintas: uma fase de suporte, na qual o pé faz contato com o solo e

uma fase de aérea, com ausência de qualquer contato (figura 1) (HAY, 1981; SCHMOLINSKY, 1978; DYSON, 1978; BRAVO; GIL; PASCUA, 1994). A fase de suporte para autores como Bravo, Gil e Pascua (1994) e Hay (1981) pode ser subdividida em uma fase chamada de bloqueio, que começa com o pé tocando o solo (figura 1 – instante 1) e termina quando o centro de gravidade do atleta o ultrapassa (figura 1 – instante 2), e outra chamada de fase de propulsão, que começa a partir do final da fase de bloqueio e acaba quando o pé deixa o solo (figura 1 – instante 3). Na fase aérea, o membro inferior livre que realizou a impulsão é movido para frente sem tocar o solo, passando por uma fase de recuperação seguida pela fase de balanço à frente, preparando-se para novo contato com o solo.



Figura 1. Figura ilustrativa das fases do passo na corrida (Fonte: Hay, 1981).

O indivíduo consegue deslocar-se durante uma corrida devido a uma associação de vários fatores biomecânicos. O corpo do atleta avança, principalmente, pela força propulsiva gerada pelo membro inferior na fase de suporte, sendo que em um primeiro momento, no instante de contato, há uma força de bloqueio, na qual as articulações do quadril e joelho flexionam para absorver o impacto. Em seguida, a extensão ativa do quadril e joelho irá empurrar o corpo para frente, usando a energia elástica acumulada na fase de absorção, gerando o impulso necessário para o deslocamento na fase aérea (NOVACHEK, 1998).

Além da força propulsiva, a ação dos membros livres (membros superiores e perna livre) tem uma importante função durante a corrida, que é conservar o momento angular gerado, promovendo o equilíbrio dinâmico durante a mesma (CAVANAGH, 1987). A movimentação dos

membros superiores irá gerar um par de velocidades angulares, movendo-se em sentidos contrários e com velocidades iguais, que deverão anular-se, garantindo assim, que um terceiro membro, o tronco, se desloque com movimento de translação (DONSKOI; ZATSIORSKI, 1988).

Adicionalmente, os membros superiores têm também a função de contrabalançar o membro inferior que está livre do solo, ajudando o corredor a manter a velocidade horizontal o mais constante possível (SCHMOLINSKI, 1982). A inércia do deslocamento e a correta disposição espacial dos segmentos corporais, essencial para manter um momento de inércia mínimo, também irão contribuir para que o movimento aconteça de forma econômica e eficiente (DYSON, 1978).

2.4.1 Indicadores técnicos da corrida em velocidade máxima

Dentre os muitos fatores que podem ser treinados para melhorar a velocidade de corrida, a técnica é um dos mais importantes. Uma técnica consolidada resultará em um corredor mais rápido e mais eficiente, por outro lado uma técnica pobre limitará a velocidade do atleta (HAY, 1981; SEAGRAVE, 1996).

Tendo em vista a importância da técnica na corrida, é importante conhecer quais são os principais indicadores da mesma. De modo geral, a habilidade para deslocar-se na máxima velocidade possível sob o ponto de vista biomecânico está relacionada com a movimentação e disposição dos segmentos corporais (cinemática da corrida) assim como o controle e a correta aplicação das forças de reação do solo que proporcionam propulsão ao corredor (cinética) (MERO; KOMI; GREGOR, 1992; NOVACHECK, 1998).

Analisando a técnica exclusivamente sob o ponto de vista cinemático, Rocha Jr (2006) aponta que os indicadores diretos do desempenho são aquelas variáveis mais frequentemente usadas para descrever a performance global na corrida, tais como a velocidade horizontal, a frequência e amplitude de passada e as variáveis temporais tempo de suporte e tempo de fase aérea. Além destes, o estudo da cinemática da parte superior e inferior do corpo (ângulos entre segmentos em instantes específicos, velocidades angulares, etc), do gesto técnico em si, também pode ser analisada como indicador de nível técnico e desempenho.

Importante mencionar que as variáveis cinemáticas indicadoras de desempenho normalmente são estudadas/analísadas na fase de

velocidade máxima da corrida. No entanto, durante a aceleração o atleta assume um posicionamento corporal diferente daquele apresentado na fase de velocidade máxima, o que implicará em padrão técnico diferente (MURPHY; LOCKIE; COUTS, 2003). O aspecto mais evidente é a posição do tronco, que permanece com grande inclinação durante a aceleração, vindo a aproximar-se da verticalidade quando o atleta alcança a velocidade máxima ou próxima dela.

Os indicadores cinemáticos do desempenho mais analisados e apresentados na literatura tem sido a amplitude (AP) e a frequência da passada (FP). O grande destaque a tais variáveis deve-se ao fato de ambos determinarem a velocidade de deslocamento, assim, o treinamento, seja ele técnico ou físico, visa em última instância o aumento de um ou de ambos os parâmetros. Outro parâmetro amplamente investigado na corrida é relação entre o tempo em que atleta permanece no ar (TF_{AE}) e em suporte (TF_{SU}) durante um passo. A duração do TF_{SU} é considerado um dos mais importantes indicadores da eficiência mecânica na corrida e conseqüentemente determinante da velocidade atingida na prova (COH, MILANOVIC; KAMPMILLER, 2001; COH, TOMAŽIN; RAUSAVLJEVIĆ, 2007). Para uma técnica considerada adequada, Hay (1981) aponta uma relação ótima de 60:40 em favor da fase aérea.

Tais variáveis parecem ser capazes de diferenciar o nível técnico dos atletas. De acordo com investigação realizada (COH; TOMAŽIN; RAUSAVLJEVIĆ, 2007), a amplitude da passada foi uma das principais variáveis que diferenciou um grupo de velocistas com maior velocidade daqueles atletas menos velozes. Já Coh, Milanovic e Kampmiller (2001) verificaram que o TF_{SU} foi a variável capaz de diferenciar atletas com maior aceleração em um *sprints* de 20 m.

Contudo, é importante destacar que a técnica e a performance podem também ser dependentes das propriedades inerciais e das características antropométricas do atleta (COH; MILANOVIC; KAMPMILLER, 2001). A estatura e, principalmente, o comprimento do membro inferior são variáveis antropométricas que estão relacionadas com a amplitude da passada, que por sua vez, é uma das determinantes da velocidade ($Velocidade = FP \times AP$).

Além destes parâmetros de performance, alguns indicadores cinemáticos relativos à ação dos membros superiores e inferiores também são analisados. Rocandio (2000) destaca algumas variáveis angulares durante a fase de corrida em velocidade máxima ou próxima da máxima, que são considerados fundamentais para o desempenho. Dois importantes indicadores mencionados pelo autor é o ângulo que o tronco

forma com a vertical e o ângulo que a coxa livre faz com a horizontal por ocasião da impulsão. É preconizado como uma boa técnica de corrida em fase de velocidade máxima o tronco praticamente ereto e um quase paralelismo da coxa com o plano horizontal, pois um bom movimento de elevação da coxa livre permite ao atleta posicionar corretamente o pé para o contato com o solo, dando início à próxima fase de apoio (HAY, 1981).

O ângulo do joelho por ocasião do contato (AJ_{CON}) e da impulsão (AJ_{IMP}) também são parâmetros angulares importantes para se determinar a eficiência técnica na corrida em velocidade. Em particular, o ângulo do joelho na impulsão está relacionado com o comprimento muscular ótimo dos músculos para gerar propulsão na impulsão assim como absorção no contato com o solo (HAY, 1981). Além disso, a força muscular é determinante na extensão do joelho do membro inferior que gera o impulso e também no controle da ação excêntrica dos músculos durante o contato, evitando que o joelho flexione muito (STOFELLS et al., 2007).

Murphy, Lockie e Coutts (2003) realizaram uma análise cinemática nos metros iniciais em um sprint de 15 m e verificaram que os atletas de esportes de campo com grande aceleração exibiram elevadas frequências de passadas, provavelmente devido a um breve tempo de contato com o solo. Os autores também observaram que os indivíduos com acentuada capacidade de aceleração também tenderam a ter elevada extensão de joelho no momento de impulsão, o que contribui para reduzir o tempo de contato e aumentar a propulsão.

Para finalizar, é importante destacar que tem sido relatado que o estilo de corrida do atleta de desportos coletivos difere do Atletismo. Os primeiros tendem a correr com um centro de gravidade relativamente mais baixo, flexionar menos joelho durante a recuperação e elevá-lo menos na propulsão (YOUNG; JAMES; MONTGOMERY, 2002). Assim, os indicadores técnicos da corrida podem ser relativamente diferentes aos corredores de velocidade.

2.4.2 Análise da coordenação na corrida

Um dos aspectos mais importantes para os estudiosos de comportamento motor é examinar como os segmentos corporais se relacionam durante a realização de uma tarefa motora, ou seja, a coordenação motora. Para Scholz (1990), a coordenação é definida como o processo pelo qual os componentes do movimento são

sequenciados e organizados temporalmente, e seus valores relativos determinados, a fim de produzir padrões de movimento funcional ou sinergia. Estruturas coordenadas também podem ser definidas como sinergias musculares, geralmente abrangendo diversas articulações, que são funcionalmente ligadas para satisfazer a demanda de uma determinada tarefa (TURVEY, 1990 apud HAMILL et al., 1999).

Na corrida, assim como para qualquer ação esportiva, a compreensão dos padrões de movimento associados entre segmentos é potencialmente importante na obtenção de uma visão completa para o desenvolvimento da técnica necessária para melhorar o desempenho (GITTOES; WILSON, 2010). A maioria dos estudos que analisaram os aspectos cinemáticos determinantes da performance da corrida consideram, no entanto, apenas os segmentos ou articulações isoladamente, como ângulos articulares, velocidades angulares, etc.

Alguns autores têm avaliado a coordenação na corrida, porém a maioria tem basicamente focado em aspectos clínicos, na possível associação com lesões (HAMILL et al., 1999; DIERKS; DAVIES, 2007) ou na simples descrição de padrões de coordenação (LI et al., 1999; GITTOES; WILSON, 2010).

Os estudos supracitados têm analisado a coordenação na corrida por uma abordagem de sistemas dinâmicos, considerando relações entre fases do movimento ou fase relativa entre segmentos corporais. Esta técnica, inicialmente descrito por Kelso (1984), permite avaliar a coordenação ao longo de um ciclo de movimento (fase relativa contínua - FRC), como durante um ciclo de passada na corrida. O FRC é calculado plotando a posição angular de um segmento ou articulação *versus* a velocidade angular deste/desta, no chamado “diagrama de fase”. Após diferentes procedimentos de normalização, se obtêm o “ângulo de fase”. A fase relativa ou FRC é obtida pela diferença entre os ângulos de fase de dois segmentos ou articulações (HAMILL et al., 1999).

O estudo de Li et al. (1999) foi um dos que analisou a coordenação da corrida utilizando a FRC, fazendo um comparativo com o padrão encontrado na marcha. Os autores observaram similaridades na coordenação da coxa e perna entre os dois modos de locomoção, que aconteceram com diferenças funcionais ao longo do ciclo do passo, principalmente da fase de suporte para a aérea.

Para obter um melhor entendimento sobre padrões “normais” de interação de segmentos na corrida, Dierks e Davis (2007) utilizaram a FRC para examinar a coordenação entre articulações do membro inferior durante corrida de fundo. Os principais resultados indicaram que

os instantes de maior “descoordenação” ou mais instáveis (fora de fase) estavam em instantes da corrida como a impulsão e o instante de contato.

Em um recente estudo, Gittoes e Wilson (2010) utilizaram a FRC objetivando obter uma visão sobre os movimentos comuns de interação/junção intrasegmentar dos membros inferiores em *sprints* máximos. Os autores verificaram que a interação entre joelho-tornozelo estava mais “fora de fase” em comparação com a interação quadril-joelho e produziu uma menor variabilidade na fase de suporte. O instante de contato com o solo produziu maior instabilidade (fora de fase) comparado ao instante de impulsão. De acordo com os autores, uma desestabilização ou maior instabilidade na coordenação da extremidade inferior é considerada necessária no contato ao solo a transição da fase aérea para a de suporte.

Já Miller et al. (2008) analisaram a FRC durante uma corrida até a exaustão objetivando verificar se existiam diferenças na coordenação intrasegmentar e na variabilidade da FRC entre corredores com e sem histórico de “síndrome da banda iliotibial” (SBI). Os resultados mostraram que os corredores com SBI apresentaram menor variabilidade da FRC dos segmentos analisados e maior instabilidade no acoplamento dos segmentos coxa e perna. De acordo com os autores, tais resultados sugerem que redução na variabilidade da FRC está associada a possíveis lesões.

Apesar de não ser uma técnica biomecânica recente, poucos estudos são encontrados analisando a coordenação ou interação entre segmentos nas corridas utilizando a FRC. Considerando que a fadiga ocasiona alterações na cinemática da corrida, possivelmente alterações na coordenação podem ocorrer. Desta forma, a análise do CRP pode ser empregada para o entendimento acerca dos efeitos da fadiga sobre a coordenação nos *sprints*. Contudo, não foram encontrados estudos com enfoque neste objetivo. Dos estudos com objetivos similares encontrados na literatura, Ferber e Pohl (2011) investigaram os efeitos da fadiga na coordenação intrasegmentar, porém realizada na marcha e utilizando outra técnica para avaliar a coordenação (plotagem ângulo-ângulo). Já Dal Pupo et al. (2013a) utilizaram a FRC neste mesmo propósito de investigar os efeitos da fadiga, porém durante saltos verticais contínuos.

2.5 Características e demandas fisiológicas e do futsal

O futsal é um esporte coletivo, podendo ser considerado como uma versão *indoor* do futebol, disputado por duas equipes com cinco jogadores (um goleiro e quatro de linha) em uma quadra com dimensões oficiais de 40 m de comprimento por 20 m de largura. Uma partida possui duração de 40 minutos, os quais são divididos em dois períodos de 20 minutos e um intervalo de 10 minutos entre eles (BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008). Em competições de categoria adulta de nível nacional e internacional o cronômetro é parado a cada interrupção do jogo, dessa forma, o tempo total da partida prolonga-se por até aproximadamente 70 min (BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008). O número de substituições é ilimitado, assim, a intensidade de jogo mantido pelo atleta permanece elevada durante quase todo período da partida (CASTAGNA; BARBERO-ALVAREZ, 2010; DOGRAMACI; WATSFORD; MURPHY, 2011).

A intensidade exigida nas partidas depende de diversos fatores, tais como a categoria, o nível de competição, as dimensões da quadra, as funções táticas desempenhadas, dentre outras (RAMPINI et al., 2007; BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008). Normalmente, a constante rotação que ocorre durante os jogos obriga os jogadores a passarem em todas as funções no jogo.

Um importante parâmetro que tem sido analisado como indicador de intensidade no futsal é a distância total percorrida durante uma partida. Alguns estudos têm apontado valores médios entre 3000 m e 4000 m percorridos, aproximadamente. Em uma análise de demanda de jogo (*time motion analysis*) realizado em jogadores profissionais brasileiros (SOARES; TOURINHO FILHO, 2006) verificou-se que a média da distância percorrida por partida foi de 3.554 metros. Já a média da distância total percorrida reportada para atletas profissionais durante uma partida da Liga de Futsal da Espanha foi de 4.313 ± 2.139 metros (BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008). Em outro estudo, Dogramaci, Watsford e Murphy (2011) verificaram que jogadores de nível internacional da Equipe Nacional Australiana realizaram um deslocamento 42 % maior durante as partidas que os de nível nacional (4.277 ± 1.030 m vs. 3.011 ± 999 m, respectivamente). Percebe-se assim as categorias adultas de nível profissional percorrem distâncias superiores quando comparadas à categorias inferiores.

Nos esportes com substituições ilimitadas, como o futsal, a distância total percorrida pode ser um fraco preditor de intensidade. Nesse sentido, a distância percorrida por minuto, pode muitas vezes

indicar com maior eficiência a intensidade de esforço ou as exigências da competição (BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008). Valores próximos a 120 – 130 m/min tem sido reportado durante partidas de futsal realizadas por jogadores profissionais (BARBERO ÁLVAREZ et al., 2008; CASTAGNA et al., 2009) e não-profissionais (DOGRAMACI; WATSFORD; MURPHY, 2011).

A distância total percorrida é distribuída em diferentes intensidades durante uma partida, ocorrendo constantemente alternância no ritmo dos deslocamentos. De modo geral, para atletas adultos de categorias profissionais, a maior parte do tempo predomina a realização de ações de baixa e média intensidade, que incluem caminhada, trote e corrida de baixa intensidade (SOARES; TOURINHO FILHO, 2006; BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008; DOGRAMACI; WATSFORD; MURPHY, 2011). As ações de alta intensidade, que incluem corrida veloz (acima de 15km/h) e *sprints*, somam próximo de 20% da distância total percorrida (DOGRAMACI; WATSFORD, 2006; BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008; CASTAGNA et al., 2009). Dogramaci, Watsford e Murphy (2011) observaram que, de modo geral, esta distribuição de intensidade é similar entre categorias de elite e subelite (com atletas jovens), ocorrendo apenas uma tendência de maior distância percorrida na forma de caminhada nos atletas de subelite.

Pela sua característica intermitente, com realização de ações de alta intensidade intercalada por ações de baixa e moderada intensidade, o futsal sob o ponto de vista fisiológico é uma modalidade mista, ou seja, depende tanto do suprimento energético provindo do metabolismo aeróbio quanto do anaeróbio (MEDINA et al., 2002; BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008; CASTAGNA; BARBERO-ÁLVAREZ, 2010).

Em função da duração jogo, o metabolismo aeróbio é considerado predominante na partida (MEDINA et al., 2002). Bons níveis de capacidade aeróbia podem resultar num aumento do potencial para cobrir uma distância maior em maior intensidade durante o jogo (HELGERUD et al., 2001). Adicionalmente, a capacidade aeróbia elevada permitirá melhor ressíntese dos fosfatos de energia no intervalo entre as ações realizadas em curta duração e alta intensidade (GAITANOS et al., 1993; BOGDANIS; NEVILL; BOOBIS, 1996), contribuindo assim para manter o desempenho nestas ações que são realizadas repetidamente durante uma partida de futsal. Castagna et al. (2009) também constataram que é indispensável que atletas de futsal possuam valores de VO_2max satisfatórios para que consigam suprir as demandas fisiológicas solicitadas durante as partidas, que segundo Medina et al. (2002), deveriam girar em torno de $60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

Nesse sentido, os autores destacam a importância da potência aeróbia máxima para o desempenho nas partidas de futsal.

Por outro lado, as ações sustentadas pelo metabolismo anaeróbio, apesar de ocorrerem em menor frequência, possuem um papel preponderante para o desempenho no futsal. Isso se deve ao fato que as principais e decisivas ações realizadas em uma partida (*sprints*, chutes, saltos, etc.) são consideradas “explosivas” e de eleva intensidade (SPENCER et al., 2005; BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008). De acordo com Medina et al. (2002), a maioria destas ações decisivas possui duração não superior a cinco segundos, sendo que nestes casos, a energia provinda das fontes anaeróbias, principalmente alática, é que sustenta o esforço (MEDINA et al., 2002; BOGDANIS; NEVILL; BOOBIS, 1996). A contribuição do metabolismo anaeróbio no futsal é considerada mais elevada se comparado ao futebol e outros esportes coletivos (BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008).

Diversos estudos foram realizados com o objetivo de analisar a intensidade de esforço durante partidas de futsal por meio das respostas da frequência cardíaca. De modo geral, têm sido verificados valores médios entre 85-90% da FC máxima em jogos oficiais ou simulados (MEDINA et al., 2002; BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008; CASTAGNA; BARBERO-ÁLVAREZ, 2010).

Fazendo uma análise detalhada da distribuição da frequência cardíaca e conseqüentemente da intensidade do esforço durante as partidas, Barbero-Alvarez et al. (2008) verificaram que os jogadores avaliados (atletas espanhóis adultos) permaneceram 83% do tempo total de jogo acima de 85% da FC máxima. Já na avaliação realizada por Castagna et al. (2009), os jogadores de futsal adultos permaneceram praticamente o tempo total de jogo (98%) em intensidade acima dos 80% da FC máxima. Em outro estudo, Castagna et al. (2007) observaram que 40 % do tempo de jogo realizado por atletas jovens (15-19 anos) foi realizado em baixa (<70% da FCmax) e moderada (70-85% da FCmax) intensidade, enquanto que 51% do tempo foi despendido em alta intensidade (>85% da FCmax). Tais dados permitem verificar a expressiva presença de ações de alta intensidade nas partidas de futsal.

A participação do componente anaeróbio durante partidas de futsal foi demonstrada por meio da avaliação da concentração de lactato produzido ao final das mesmas. Castagna et al. (2009) verificaram em jogadores profissionais adultos (idade média = 21,4 anos) concentrações médias de 5,3 (IC: 1,1 – 10,4) mmol.L⁻¹ após partidas simuladas de futsal. Com base em tais valores, os autores sugerem que o metabolismo anaeróbio pode ser um importante contribuinte para o fornecimento de

energia durante os jogos de futsal. Adicionalmente, o metabolismo anaeróbio possui importância na capacidade dos atletas realizarem *sprints* máximos com breves períodos de recuperação, que é considerado um importante componente da aptidão física nos esportes coletivos, a exemplo do futsal (SPENCER et al., 2005; IMPELLIZZERI; RAMPININI; MARCORÀ, 2005).

A alta intensidade das ações também pode ser justificada pelas características dos deslocamentos realizados no jogo de futsal. Na realização de um *sprint*, por exemplo, é comum a realização de mudança de direção, ocasionando acelerações e desacelerações, sendo exigido dos atletas forças de frenagem seguidas de forças propulsivas (YOUNG; JAMES; MONTGOMERY, 2002; BRUGHELLI et al., 2008). Na desaceleração em uma *sprint*, por exemplo, um grande trabalho muscular excêntrico é requisitado, o que contribui para elevar a intensidade das ações (BRUGHELLI et al., 2008). Tem sido relatado que a capacidade de mudar de sentido durante os deslocamentos (corrida, *sprints*) é considerada um importante requisito para o desempenho na maioria dos esportes coletivos, a exemplo do futsal (BRUGHELLI et al., 2008).

Assim, pode-se concluir com base no reportado nos parágrafos anteriores que o futsal é um jogo intermitente de alta intensidade, que solicita elevadas taxas das fontes energéticas tanto aeróbias quanto anaeróbias. Destaca-se a importância da potência aeróbia e a capacidade de realizar sprints repetidos para o desempenho no futsal. Ainda, fatores neuromusculares como a potência muscular é decisiva para a realização de ações com mudanças rápida de direção.

2.6 Indicadores de carga interna de exercício

Quantificar as cargas ou intensidade de treinamento é uma necessidade elementar dentro do processo de treinamento esportivo. Conforme descrito por Freitas, Miloski e Bara Filho (2012), ser hábil em quantificar a carga de treinamento e conhecer o quanto de carga deve-se aplicar em cada momento da periodização, torna-se um passo muito importante para o sucesso desportivo.

De acordo com Impellizzeri, Rampinini e Coutts (2005), as adaptações induzidas pelo treinamento são decorridas no nível de estresse imposto ao organismo, chamada de carga interna de treinamento. A magnitude da carga interna é determinada, principalmente, pelo treino prescrito (carga externa de treinamento).

Assim, o processo de controle do treinamento passa pelo monitoramento desta carga interna de treino.

Diversos parâmetros podem ser utilizados para avaliar a carga interna de exercício, sendo os mais comuns o monitoramento da frequência cardíaca (FC), da concentração de metabólitos no sangue como o lactato e a percepção subjetiva do esforço (PSE) (NAKAMURA; MOREIRA; AOKI, 2010).

A frequência cardíaca (FC) constitui-se em um dos métodos mais utilizados para avaliar a intensidade do esforço em diversas modalidades esportivas. Este método baseia-se na correlação linear existente da FC com o gasto energético e com o consumo de oxigênio (VO_2) (ROBERGS; LANDWEHR, 2002). Esta relação se mantém linear mesmo em atividades intermitentes, pois foi verificada correlação significativa entre FC e o consumo de oxigênio obtido tanto em teste de corrida contínua quanto de corrida intermitente (BANGSBO, 1994). Além disso, foi relatada uma alta correlação ($r = 0,83$) entre a FC e o consumo de oxigênio obtido durante jogos recreativos de futsal (CASTAGNA et al., 2007). Assim, este método é considerado válido para utilização em esportes coletivos como no Futsal (CASTAGNA et al., 2007).

Diversos estudos foram realizados com o objetivo de analisar a intensidade de esforço durante partidas de futsal por meio das respostas da frequência cardíaca (MEDINA et al., 2002; BARBERO-ÁLVAREZ et al., 2008; CASTAGNA; BARBERO-ÁLVAREZ, 2010). Dentre as vantagens deste método está a facilidade e simplicidade na utilização, além de não interferir na dinâmica dos exercícios realizados ou até mesmo do jogo.

A quantificação das concentrações de lactato sanguíneo [Lac] pós-esforço é outro método que também tem sido utilizado para avaliar a intensidade de esforço. Apesar de ser mais comum seu uso em exercícios contínuos, as [Lac] também têm sido analisadas em esportes coletivos com características intermitentes (BANGSBO, 1994; DEUTSCH et al., 1998; CASTAGNA et al., 2009). As respostas do lactato parecem ter boa sensibilidade em detectar as zonas de intensidade durante o exercício (JEUKENDRUP; HALSON, 2004).

A quantificação das concentrações de lactato [Lac] pós-exercício nada mais é do que uma medida da taxa de liberação de energia anaeróbia láctica durante o exercício (LACOUR; BOUVAT; BARTHÉLÉMY, 1990). Altos valores de [Lac] sanguíneo verificado após um esforço máximo indicam elevada taxa de participação da glicólise anaeróbia. Por sua vez, a alta participação anaeróbia durante o

exercício pode representar que a intensidade do trabalho realizado foi alta. Dessa forma, baseada na participação deste sistema, a intensidade do exercício pode ser estimada.

Apesar da análise deste metabólito ser considerada uma técnica mais direta de análise de intensidade de esforço, a mesma possui algumas desvantagens em relação aos demais métodos, tais como utilizar de procedimentos invasivos, que podem reduzir a usabilidade, além de normalmente demandar análises de maior custo financeiro. Outra limitação importante é que o lactato sanguíneo pode não refletir a produção muscular de lactato durante o exercício (JACOBS; KAISER, 1982; JACOBS, 1986). Além disso, é importante mencionar que este índice é um marcador limitado de intensidade de esforço, visto que durante exercícios intermitentes, como é o caso do FIRP, ocorre elevada taxa de produção de energia anaeróbia alática, o que eleva a intensidade do exercício sem elevar as concentrações de lactato sanguíneo.

A utilização da Percepção Subjetiva do Esforço (PSE) talvez seja o método mais utilizado para quantificação da carga de treinamento. A utilização dessa técnica está baseada na premissa de que os ajustes fisiológicos promovidos pelo estresse físico produzem sinais sensoriais aferentes que são capazes de alterar a percepção subjetiva do esforço (BERTUZZI et al., 2006). Assim, pode-se dizer que a percepção de esforço seria a sensação de quão pesado, difícil, ou desgastante foi a tarefa física executada. A PSE tem se apresentado como uma ferramenta simples e eficaz para uso inclusive em esportes coletivos que, devido a sua natureza intermitente, apresentam maior dificuldade para quantificar as intensidades de trabalho (FREITAS; MILOSKI; BARA FILHO, 2012).

O método da PSE foi inicialmente proposto por Borg (1982) utilizando uma escala de 0-20 e outra adaptada de 0-10. Anos mais tarde Foster et al.(2001) adaptaram a escala CR-10 de Borg (1982) e propuseram o método PSE da sessão, com algumas diferenças nos descritores e fracionamento da escala. A mesma se baseia em um simples questionamento: “Como foi sua sessão de treino?” A resposta a este questionamento é então fornecida a partir da escala, que classifica a intensidade de exercício em uma escala de 0 – 10. O valor máximo (10) deve ser comparado ao maior esforço físico realizado pela pessoa e o valor mínimo é a condição de repouso absoluto (0) (NAKAMURA; MOREIRA; AOKI, 2010). De acordo com os autores, recomenda-se realizar a avaliação da PSE 30 min após a sessão para que atividades leves ou intensas realizadas ao final da sessão não dominem a avaliação. Tempo superior a este também deve ser evitado a fim de evitar o

esquecimento e a atenuação da avaliação subjetiva da intensidade da sessão de treinamento. No entanto, foi verificado que a aplicação da escala realizada 15 min após o término da sessão de treino possui a mesma validade (OLIVEIRA et al., 2013). A PSE pode ser apresentada com valores referentes à escala ou ainda multiplicar este valor da escala pelo tempo total da sessão ou atividade realizada.

De modo geral, pode-se verificar a existência de diferentes métodos para quantificar a carga interna de treino ou intensidade de exercício, cada uma apresentando suas particularidades e pontos positivos e negativos. A utilização de tais métodos descritos acima parece ser uma estratégia válida e de grande relevância, visto a importância do controle da carga de treino dentro do processo de treinamento.

3. MÉTODO

A fim de atender aos objetivos do estudo e melhor organização estrutural e sequencial do texto, os métodos desta tese estão apresentados em duas partes: Estudo 1 e Estudo 2.

3.1 Estudo I - Desenvolvimento e validação de um protocolo de corrida multidirecional designado para simulação das demandas de jogo específicas do futsal.

3.1.1 Caracterização da pesquisa

Tendo em vista ao que se propõe, esta etapa da pesquisa pode ser classificada como aplicada quanto à sua natureza, visto que objetiva gerar conhecimentos de aplicação prática, e quantitativa quanto à abordagem do problema, conforme pressupostos apresentados por Silva et al. (2011). Do ponto de vista de seus objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva, segundo Ferrari et al. (2011).

3.1.2 Participantes

Para a realização deste estudo participaram 20 jogadores de futsal da categoria sub 17 pertencentes a uma equipe da cidade de Florianópolis. Os participantes apresentaram as seguintes características:

Tabela 1. Características descritivas dos participantes do estudo.

	Média	DP	CV (%)
Idade (anos)	16,74	0,56	3,34
Massa corporal (kg)	68,14	7,05	10,35
Estatura (m)	1,73	0,07	4,05
% de gordura	11,93	2,84	23,8

Os atletas treinavam regularmente cinco vezes por semana por um período mínimo de três anos na modalidade. A duração das sessões de treino era de 2 h, sendo voltadas aos aspectos técnico/tático e físico

do futsal (incluindo coletivos ou jogos-treino). Em turnos inversos grande parte dos participantes também participava de treinamento de futebol (3 vezes/semana). Os atletas participavam de competições a nível regional e estadual.

A seleção dos participantes da pesquisa foi realizada de modo intencional não probabilístico, com adesão por voluntariado. Foram adotados os seguintes critérios para inclusão no estudo: a) possuir experiência de no mínimo três anos com treinamento regular de futsal; b) estarem envolvidos em um treinamento de futsal de modo regular, sendo ao menos 3 vezes/semana; c) não possuírem nenhum tipo de lesão que impossibilite de realizar os testes físicos; d) assinar um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) previamente às coletas. Neste caso, por tratar-se de menores de idade, o TCLE deveria ser assinado pelos responsáveis.

3.1.3 Delineamento da pesquisa

O primeiro passo nesta etapa da pesquisa foi o desenvolvimento de um protocolo de corrida intermitente e multidirecional designado para simulação das demandas de jogo específicas do futsal, denominado *futsal intermittent shuttle-running protocol* (FIRP). Posteriormente, 20 sujeitos realizaram o FIRP, constituído por dois blocos de aproximadamente 20 min de exercício separados por 10 min de intervalo passivo. Durante o protocolo foram realizadas mensurações da frequência cardíaca, das concentrações de lactato sanguíneo, além da medida da percepção subjetiva de esforço (PSE) após o exercício. Tais variáveis fisiológicas foram obtidas para quantificar a sobrecarga ou carga interna gerada pelo protocolo (FIRP). A fim de apresentar evidências de validade deste protocolo, tais variáveis fisiológicas foram comparadas, de modo qualitativo, com as obtidas em situação real de jogo apresentadas na literatura, ou seja, verificar se a demanda fisiológica assemelhava-se nestas duas condições, conforme preconizado por Currel e Jeukendrup (2008).

Os participantes foram orientados a não realizarem nenhuma atividade intensa 24 h precedentes às avaliações. As mesmas foram conduzidas durante o período competitivo.

3.1.4 Protocolo para simulação das demandas de jogo do futsal

O *futsal intermittent shuttle-running protocol* (FIRP) foi desenvolvido para reproduzir ou simular as demandas fisiológicas e neuromusculares, bem como a natureza intermitente e de corrida multidirecional do futsal. O FIRP foi elaborado a partir de uma adaptação dos resultados da análise das demandas de jogo (*time-motion analysis*) do futsal apresentado na literatura (DOGRAMACI; WATSFORD; MURPHY, 2011) para atletas com idades entre 15 e 19 anos participantes de competições australianas de nível estadual e nacional. O protocolo é composto por corrida de natureza intermitente realizada em linha reta e com deslocamentos de costas e para os lados, envolvendo constantes acelerações/desacelerações. Tais atividades foram realizadas em um “circuito” de 15 m demarcados por cones, conforme representado na figura 2.

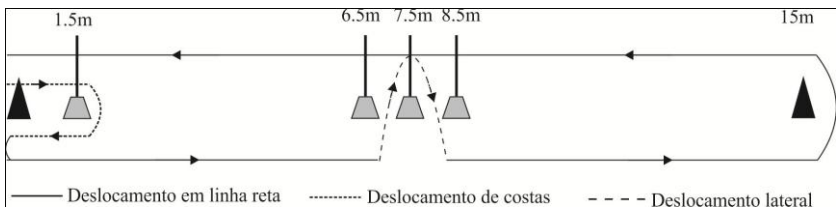


Figura 2. Representação esquemática do deslocamento realizado no FIRP.

As atividades realizadas no protocolo foram divididas nas seguintes categorias: caminhada, trote, corrida de média intensidade (MI), corrida de alta intensidade (AI) e *sprints*, além de incluir momentos na posição estacionária, conforme classificação proposta por Castagna et al. (2009). Os *sprints* e a caminhada foram realizados no circuito (figura 2) no sistema “vai-e-ven”, ou seja, saindo da posição inicial zero até os 15 m do percurso, onde contornavam o cone fazendo uma mudança de sentido em 180° até retornar a posição inicial, deslocando um total de 30 m em uma repetição. As corridas de MI e AI procediam de forma similar, porém, os atletas deviam contornar os cones centrais nos primeiros 15 m do percurso, com movimento de deslocamento lateral, totalizando, desta forma, 31 m por repetição. No trote, além de realizar tal deslocamento nos cones centrais, os atletas deviam iniciar o percurso realizando um deslocamento de costas da

posição inicial até a posição 1,5 m, contornar o cone, retornar a posição zero e então deslocar-se de frente a partir de então, totalizando assim, 34 m de percurso em uma repetição nesta atividade.

O percentual de cada atividade realizada (tabela 2) foi distribuído no protocolo a partir de uma adaptação do estabelecido em análises das demandas de jogo do futsal (*i.e.*, *time-motion analysis*) descrito na literatura (DOGRAMACI; WATSFORD; MURPHY, 2003) para atletas com idade, categoria e nível competitivo similar aos avaliados no presente estudo. O percentual para cada distância foi baseado na distância total a ser percorrida em uma partida (DOGRAMACI; WATSFORD; MURPHY, 2011), sendo tal distância implementada no FIRP. A velocidade de referência para cada categoria foi baseada no estudo de Castagna et al. (2009). Estabeleceu-se, com base em análises prévias de *sprints* realizados por tal público, que 18 km/k seria uma velocidade mínima que poderia ser obtida na tarefa, naquela distância do percurso. Assim, um tempo máximo (controlado por um “bipe”) foi estabelecido para completar uma repetição, porém, em função de ser um estímulo máximo, tempos inferiores poderiam ser executados.

Tabela 2. Atividades referentes a uma série do FIRP.

Atividade	Velocidade (km.h ⁻¹)	% realizado
Parado	-	-
Caminhada	06	10
Trote	8,5	36,6
Corrida de média intensidade	13	21,7
Corrida de alta intensidade	17	21,7
<i>Sprints</i>	≥18	9,8

Foi desenvolvida uma série de exercício com 2,3 minutos (137,5 s) de duração e com 286 m de distância percorrida, sendo as atividades estabelecidas de acordo com a tabela 2. A série foi então repetida 12 vezes a fim de representar uma partida de futsal de aproximadamente 40 min, sendo destas seis realizadas no bloco 1 (representando o 1º tempo) e mais seis no bloco 2 (representando o 2º tempo), totalizando 3436 m de distância percorrida. Os blocos 1 e 2 foram separados por 10 min de intervalo passivo. Adicionalmente, ao final de cada série havia um período de 30 s em que o atleta permanecia

parado e, ao final de três séries (8 min), houve um período de 3 min de recuperação. Este intervalo foi inserido para seguir as características do futsal, em que segundo Castagna et al. (2009), um atleta permanece em quadra continuamente por aproximadamente 7-8 min e posteriormente é substituído, retornando em quadra após alguns minutos. Desta forma, os atletas permaneceram ativos durante 75% do tempo total do protocolo. A representação esquemática do protocolo pode ser visualizada na figura 3 a seguir.

O controle da velocidade de cada estímulo foi determinado a partir de um arquivo de áudio, em que eram emitidos “bipes” que determinavam o ritmo de deslocamento e pausas no percurso. Ao final de cada estímulo ou repetição foi contabilizado um tempo de 5 s para o atleta poder ajustar-se para cada nova repetição da série. Os atletas deviam completar as 12 séries do protocolo no ritmo estabelecido, caso não o fizessem, o teste não seria considerado. Adotou-se uma tolerância de três atrasos no bipe para desconsiderar o teste. Trinta minutos precedentes à realização do FIRP, os jogadores realizaram uma familiarização. A mesma consistiu inicialmente em uma explicação verbal sobre o funcionamento do protocolo e, posteriormente, na realização de duas séries do FIRP a fim de familiarizar-se com a forma de deslocamento no circuito e com os ritmos estabelecidos.

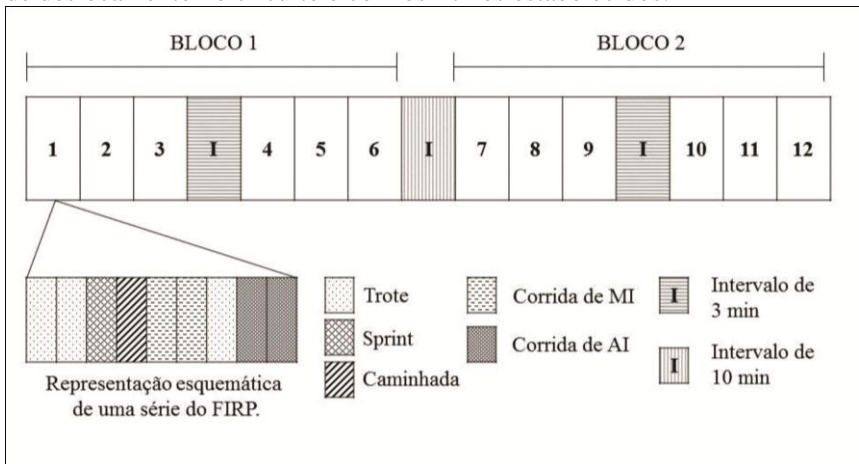


Figura 3. Representação esquemática do protocolo de simulação das demandas do futsal.

3.1.5 Avaliação do lactato sanguíneo

Foram coletadas amostras de 25 µL de sangue do lóbulo da orelha dos atletas com auxílio de um capilar heparinizado para a dosagem das concentrações de lactato sanguíneo. As amostras foram adquiridas nos seguintes momentos do protocolo: no 3º, 5º e 9º min após o bloco 1 (durante o período de recuperação) e no 3º e 5º min após realização do bloco 2 do FIRP. As coletas foram realizadas com os atletas sentados durante todo período. O sangue foi armazenado em microtúbulos de polietileno de 01 ml contendo 50 µl de solução de fluoreto de sódio 1%. Posteriormente realizou-se a análise das concentrações de lactato em um analisador eletroquímico (YSI 2700 Stat Select, Yellow Springs, OH, USA). O equipamento foi calibrado antes de cada mensuração de acordo com recomendações do fabricante.

3.1.6 Avaliação da frequência cardíaca

Durante a realização do FIRP, os jogadores tiveram a frequência cardíaca monitorada continuamente durante todo o protocolo, utilizando frequencímetros (Polar Team System, Polar Electro, Finlândia) com frequência de aquisição de 5 Hz.

Foi calculada a frequência cardíaca média para cada série, removendo os valores de repouso. Apresentou-se um valor médio relativo às seis séries iniciais para representar o 1º tempo (bloco 1) e das seis séries finais para representar o 2º tempo do protocolo (bloco 2). Os valores foram expressos tanto em termos absolutos (bpm) quanto relativos à máxima prevista pela idade, conforme equação: $208 - (0,7 \times \text{idade})$ (TANAKA; MONAHAN; SEALS, 2001). Esta equação parece ser a que melhor aproxima os valores de frequência cardíaca máxima predita dos valores reais mensurados em teste incremental máximo, considerando a idade dos sujeitos avaliados no presente estudo (MACHADO; DENADAI, 2011).

3.1.7 Avaliação da percepção de esforço

A fim de quantificar a carga de treinamento, neste caso, mais especificamente, a sobrecarga gerada pelo FIRP, avaliou-se a percepção subjetiva de esforço (PSE) dos jogadores após realização do protocolo. O método PSE proposto por Foster et al. (2001) utiliza a adaptação da

escala CR10 de Borg (1982) (Figura 4) para quantificação. O método baseia-se na resposta de um simples questionamento: “Como foi a sessão de treino (nesse caso o protocolo)?” Ou ainda, “quão intenso você considera os exercícios realizados?” A resposta ao questionamento é fornecida a partir da escala apresentada na Figura 4. O avaliador instruiu o avaliado a escolher um descritor e depois um número de 0 a 10, que também poderia ser fornecido em decimais. O valor máximo (10) foi considerado o maior esforço físico realizado pela pessoa e o valor mínimo a condição de repouso absoluto (0). A aplicação da escala foi realizada 15 min após o término da sessão de treino, conforme utilizado em estudo prévio (OLIVEIRA et al., 2013).

Classificação	Descritor
0	Repouso
1	Muito, Muito Fácil
2	Fácil
3	Moderado
4	Um Pouco Difícil
5	Difícil
6	-
7	Muito Difícil
8	-
9	-
10	Máximo

Figura 4. Escala 0-10 de Foster et al. (2001).

3.1.8 Análise estatística

Utilizou-se a estatística descritiva (média, desvio-padrão e coeficiente de variação) para a apresentação dos resultados. Aplicou-se o teste t de *student* para comparar a frequência cardíaca e as concentrações de lactato entre os blocos 1 e 2 do FIRP. O software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) v.17.0 (SPSS Inc., EUA) foi utilizado para tais análises.

3.2 Estudo II - Efeitos da fadiga do protocolo específica do futsal (FIRP) sobre a produção de torque e a cinemática dos *sprints*

3.2.1 Caracterização da pesquisa

Tendo em vista ao que se propõe, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada quanto à sua natureza, visto que objetiva gerar conhecimentos de aplicação prática, e quantitativa quanto à abordagem do problema, segundo classificação apresentado em Silva et al. (2011). Do ponto de vista de seus objetivos, trata-se de uma pesquisa pré-experimental, com design pré e pós-teste, conforme pressupostos de Karasiak et al. (2011). Neste tipo de design, um grupo é submetido a um determinado protocolo (tratamento) e o controle dos efeitos é realizado por meio de mensurações antes (pré), durante e ao final (pós) da intervenção.

3.2.2 Participantes do estudo

Para a realização deste estudo participaram 21 jogadores de futsal (16 da categoria sub-17 e cinco da categoria sub-20) pertencentes a duas equipes da cidade de Florianópolis. Os participantes apresentaram as seguintes características:

Tabela 3. Características descritivas dos participantes do estudo

	Média	DP	CV (%)
Idade (anos)	17,21	1,04	6.1
Massa corporal (kg)	68,17	4,45	6.5
Estatura (m)	1,75	0,05	3
% de gordura	10,95	1,9	17

Os atletas treinavam regularmente cinco vezes por semana, por um período de tempo mínimo de quatro anos na modalidade. A duração das sessões de treino era de 2 h, sendo voltadas aos aspectos técnico/tático do futsal (incluindo coletivos ou jogos-treino) e, duas vezes na semana, contemplando também a preparação física. As equipes participavam de competições a nível regional e estadual. Como os

participantes da pesquisa eram escolares (estudantes de ensino médio), os mesmos também participavam das aulas regulares de Educação Física escolar, com frequência de duas vezes na semana em turnos inversos ao treinamento do futsal.

A seleção dos participantes da pesquisa foi realizada de modo intencional não probabilístico, com adesão por voluntariado. Foram adotados os seguintes critérios para inclusão no estudo: a) estarem envolvidos em um treinamento de futsal de modo regular (ao menos 3x/semana) por no mínimo três anos; b) não possuírem nenhum tipo de lesão que o impossibilite de realizar os testes físicos; c) assinar um termo de consentimento livre e esclarecido previamente às coletas.

3.2.3 Procedimentos

Antes de iniciarem os procedimentos para a coleta de dados, os atletas que participaram do estudo e seus respectivos responsáveis (neste caso para os menores de idade) foram esclarecidos sobre os objetivos e procedimentos da pesquisa, para então assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) sob o parecer n. 144.465. Os dados foram coletados junto às dependências do Centro de Desportos (CDS) da UFSC.

Os procedimentos experimentais foram realizados em dois dias. No primeiro dia, os jogadores inicialmente realizaram uma familiarização com o dinamômetro isocinético e com os protocolos para a mensuração do torque. Trinta minutos após a familiarização, foram realizadas as medidas de base (pré) do torque muscular isocinético concêntrico e excêntrico dos músculos flexores e extensores do joelho. Em seguida, os atletas foram conduzidos a uma quadra esportiva onde realizaram a familiarização com o protocolo FIRP, que consistiu na explicação verbal do funcionamento do mesmo e, posteriormente, na realização de duas a três séries do exercício pelo atleta. No mesmo local, os participantes também realizaram 4 a 5 *sprints* nas distâncias de 10 e 20 m, conforme seria realizado posteriormente na avaliação.

Os participantes retornaram para o segundo dia de avaliação 48 a 72 horas após a primeira visita. Inicialmente, um aquecimento foi conduzido por um período de 10 minutos, que consistiu em 5 min de trote leve, 1 min de alongamento estático com ênfase para membros inferiores e 2-3 *sprints* de 10 e 20 m. Em seguida, os atletas realizaram

três *sprints* máximos de 10 m e três de 20 m para representar condição de base (avaliação pré). Durante os *sprints* foi realizada uma filmagem para posterior análise cinemática da corrida.

Após o procedimento descrito acima iniciou-se no mesmo local o tratamento experimental (realização do FIRP), que constou em dois blocos de 20 min de atividades, separados um por um intervalo passivo de 10 min (maiores detalhes estão descritos no item 3.1 da sessão de métodos). Novas avaliações de torque isocinético e um *sprint* de 10 m e um de 20 m foram realizados no intervalo entre o blocos 1 e 2 (avaliação meio) e ao final do bloco 2 do FIRP (avaliação fim). Nas avaliações das condições “meio” e “fim”, os *sprints* foram realizados entre o 1º e o 2º min do intervalo (sendo randomizada a ordem de realização das distâncias - 10 vs. 20 m) e a avaliação isocinética realizada entre o 4º e 6º min do intervalo recuperativo. Da mesma forma, a ordem de avaliação do torque dos músculos flexores e extensores do joelho foi randomizada a fim de evitar erros sistemáticos. A avaliação isocinética fora realizada em uma sala ao lado da quadra onde se realizava o FIRP, sendo o percurso e tempo de deslocamento entre tais locais padronizado. Esta logística das avaliações do torque e dos *sprints* após os blocos do protocolo foi determinada mediante a realização de um breve estudo piloto com dois sujeitos.

O delineamento do estudo pode ser visualizado na figura 5 a seguir.

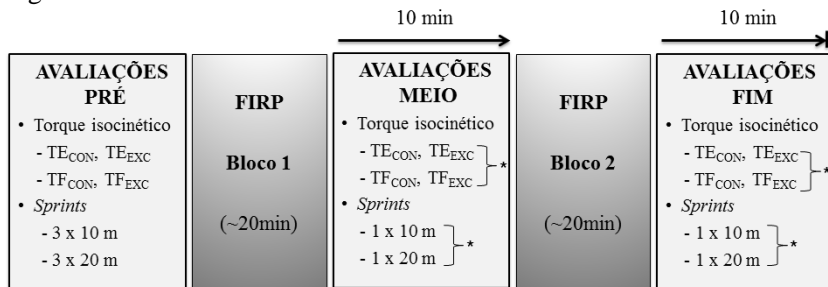


Figura 5. Delineamento do estudo. FIRP = *futsal intermittent shuttle-running protocol*; TE_{CON} e TE_{EXC} = torque concêntrico e excêntrico dos músculos extensores do joelho, respectivamente; TF_{CON} e TF_{EXC} = torque concêntrico e excêntrico dos músculos flexores do joelho, respectivamente.

* indica a seleção randômica na ordem de realização dos testes.

Foi solicitado aos participantes da pesquisa que não realizassem nenhum exercício intenso nas 24 h que antecederem o teste. Os mesmos relataram não ter ingerido bebida alcoólica ou algum tipo de

bebida energética neste mesmo período. Todos os testes foram conduzidos durante o período competitivo.

3.2.4 Controle dos fatores de interferência da validade interna/externa do estudo

No presente estudo se buscou controlar ou prevenir outros fatores, além da variável independente, que possam afetar as variáveis dependentes. Essas variáveis são organizadas em duas categorias: as que constituem ameaças à validade interna e as que constituem ameaças à validade externa.

Validade interna

Para garantir que os resultados do estudo fossem provenientes do tratamento experimental efetuado, foram controlados alguns aspectos inerentes a validade interna, conforme segue.

Em relação aos fatores que provém da experiência: a) *testagem*: os indivíduos receberam as mesmas instruções em todas as fases de coleta de dados (pré e pós-fadiga), sendo fornecidos estímulos verbais, padronizados e realizados sempre pelo mesmo avaliador; b) *expectativa*: este aspecto foi controlado padronizando as informações e tratamento dado pelos avaliadores a cada atleta durante as coletas; c) *história*: para que durante o tratamento experimental todos os sujeitos realizassem as mesmas atividades foi controlada a logística do ambiente de coleta, no qual os avaliados realizaram dentro do mesmo período de tempo o mesmo deslocamento entre locais de avaliação durante o período de recuperação do protocolo.

Em relação aos fatores de distorção que provém dos participantes. a) *regressão estatística*: o controle deste foi realizado selecionando indivíduos com níveis de treinamento semelhantes; b) *instrumentação*: os mesmos instrumentos de coleta de dados foram utilizados entre pré e pós-teste. Ainda, realizou-se uma randomização na ordem de realização de alguns testes.

Validade Externa

A fim de garantir a possibilidade de generalização dos resultados, foram controlados fatores da validade externa, tais como os efeitos relativos dos procedimentos experimentais, os quais foram

controlados aplicando testes de campo, ou seja, próximo da realidade esportiva. Para a avaliação de laboratório (avaliação isocinética), realizou-se um período de ambientação ao local.

Considerando tais fatores da validade interna e externa, o presente estudo foi classificado como pré-experimental em função da ausência de um grupo controle, embora o mesmo não seja considerado necessário especificamente nesta investigação.

3.2.5 Protocolo de avaliação do torque isocinético

Foram realizadas mensurações do torque isocinético dos músculos flexores e extensores do joelho (ações concêntricas e excêntricas) utilizando um dinamômetro isocinético (Biodex System 3, Biodex Medical Systems, Shirley, NY), em três momentos: a) antes do protocolo de fadiga (valores de base); b) no intervalo entre o blocos 1 e 2 do protocolo e; c) ao final do bloco 2 do protocolo.

As avaliações de base foram conduzidas na primeira visita dos atletas ao laboratório. Inicialmente procedeu-se uma familiarização com o equipamento e protocolo, sendo realizadas 2-3 séries de três repetições submáximas concêntricas e excêntricas de extensão/flexão do joelho. No processo de familiarização os participantes foram orientados a como “puxar” ou “empurrar” o braço do aparelho isocinético nas contrações concêntricas e a como “resistir” nas ações excêntricas. A partir disto, o avaliador julgava se o padrão do movimento estava satisfatório.

Trinta minutos mais tarde os participantes realizaram duas séries de três repetições máximas de extensão/flexão do joelho para mensuração do torque dos músculos extensores do joelho no modo concêntrico e excêntrico, respectivamente, e mais duas séries de três repetições de extensão/ flexão do joelho para mensuração do torque dos músculos flexores do joelho no modo excêntrico e concêntrico, respectivamente. Cada série foi separada por 5 min de intervalo. O mesmo protocolo foi realizado ao meio e ao final do FIRP (2º dia de avaliação), ocorrendo entre o 4º e o 6º min após o exercício. A ordem de realização dos grupos musculares avaliados (flexores vs. extensores) neste caso foi randomizada e os participantes realizaram apenas uma série de três repetições máximas para cada grupo muscular a fim de reduzir os efeitos da recuperação. A velocidade de execução foi fixada para todas as situações em 120° s^{-1} , sendo considerada como uma das velocidades mais rápidas que permite segurança na avaliação excêntrica (RAHNAMA et al., 2003).

Para a avaliação isocinética os participantes foram ajustados na cadeira posicionados sentados, com um ângulo de aproximadamente 90° entre tronco e coxa, com a parte superior do corpo fixada por cintos que cruzam pelo tronco e região da pelve. O eixo do dinamômetro foi alinhado com o eixo de rotação latero-lateral do joelho para a realização dos movimentos de flexão-extensão. Tendo em vista que as avaliações foram realizadas em dois dias, as configurações do aparelho (por exemplo, altura da cadeira, comprimento do braço, etc.) adotadas no primeiro dia para cada atleta foram anotadas para que pudessem ser repetidas e previamente ajustadas para o segundo dia de avaliação. De acordo com as recomendações do fabricante, foi solicitado ao participante relaxar sua perna de modo que a determinação passiva dos efeitos da gravidade sobre o membro e braço de alavanca possa ser realizada. Posteriormente foi estabelecida a amplitude de movimento em 70°, tendo a referência de 0° como a máxima extensão do joelho e 90° estando em flexão. Foi mensurado o torque apenas do membro inferior dominante (perna de preferência para o chute) dos atletas. Os sujeitos foram incentivados verbalmente a realizarem o máximo esforço possível durante todos os testes.

3.2.6 Protocolo de avaliação dos *sprints*

Da mesma forma que a avaliação isocinética, os atletas realizaram *sprints* máximos na distância de 10 m e 20 m em três momentos: a) antes do protocolo de fadiga (valores de base); b) no intervalo entre o blocos 1 e 2 do protocolo e; c) ao final do bloco 2 do protocolo. Os *sprints* foram realizados entre o 1° e o 2° min do intervalo recuperativo de 10 min adotado entre os blocos e ao final do protocolo de fadiga, sendo randomizada a ordem de realização das distâncias (10 vs. 20 m). Foram realizadas três tentativas para cada distância a fim de representar a condição de *baseline*, com 3 min de intervalo entre os mesmos, e apenas uma tentativa em cada distância ao meio e ao final do FIRP, a fim de minimizar o efeito da recuperação. Os *sprints* de 10 m foram executados a partir de saída estacionária em pé, enquanto que nos de 20 m a saída foi “lançada”, utilizando para tal um espaço adicional de 5 m, ambos com saída livre (sem tempo de reação). Os participantes foram instruídos a percorrerem o percurso na maior velocidade possível.

Os *sprints* foram realizados em uma quadra esportiva com piso de concreto “polido”. Duas fotocélulas eletrônicas (*Speed Test 4.0*, CEFISE, SP) foram utilizadas para registrar o tempo dos atletas nos

mesmos. O desempenho (velocidade média ou tempo) no *sprint* de 10 m foi considerado um indicativo da capacidade de aceleração na corrida, considerada fundamental para atletas de desportos coletivos (MURPHY; LOCKIE; COUTTS, 2003; LOCKIE et al., 2011), enquanto que o desempenho no *sprint* de 20 m seria um indicativo da capacidade em desenvolver maiores velocidades de corrida (PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000; ČOH; TOMAŽIN1; RAUSAVLJEVIĆ, 2007).

Foi realizada uma filmagem bidimensional da corrida no do plano sagital do movimento, utilizando uma câmera digital (*Canon PowerShot ELPH 500*, Tóquio, Japão), operando na frequência de 120 Hz. A câmera foi posicionada a fim de gravar as imagens na parte final dos *sprints*, ou seja, entre o 8º e 9º m e entre o 18º e 19º m do percurso nos *sprints* de 10 e 20 m, respectivamente. A câmera esteve em ambas as situações, a 6 m perpendicularmente ao plano sagital do movimento. O espaço foi calibrado com um o uso de calibrador plano retangular de 2,5 m x 1,8 m, contendo quatro pontos de referência. Para garantir que os participantes realizassem uma passada dentro da área calibrada e capturada pela câmera, os *sprints* de aquecimento foram filmados e analisados para que, caso necessário, pequenos ajustes no local de saída dos atletas fossem realizados sem alterar o “padrão usual” de corrida dos atletas.

Foram fixados marcadores brancos (aproximadamente 2 cm de diâmetro) com uso de fita branca (esparadrapo) nas seguintes referências anatômicas: 1) quinto metatarso do pé direito e pé esquerdo; 2) maléolo lateral; 3) epicôndilo lateral femoral; 4) protuberância do grande trocânter; 5) processo acromio-clavicular, no hemicorpo direito. O local dos marcadores foi demarcado na pele com um pincel de tinta para garantir que, caso eventualmente caíssem por algum motivo, fossem recolocados exatamente na mesma posição. As imagens obtidas foram posteriormente analisadas e tratadas para obtenção das variáveis cinemáticas de interesse.

3.2.7 Tratamento dos dados e variáveis analisadas

Torque isocinético

Os valores de torque isocinético, posição e velocidade angular do joelho foram extraídos do software *Biodex Advantage* e tabulados em planilhas eletrônicas do Excel®. Inicialmente as curvas de torque foram filtradas utilizando um filtro *Butterworth* do tipo passa-baixa (10 Hz).

Tal frequência de corte foi adotada a partir de análise espectral das curvas de torque. Posteriormente, o pico de torque isocinético concêntrico e excêntrico dos músculos extensores (TE_{CON} , TE_{EXC}) e flexores do joelho (TF_{CON} , TF_{EXC}) foram identificados. Na avaliação pré o pico de torque foi definido como o maior valor obtido dentre seis repetições realizadas (2 séries de 3 repetições de extensão/flexão de joelho), enquanto que nas tentativas realizadas ao meio e final do protocolo o pico de torque foi identificado dentre três repetições realizadas em apenas uma série. Adicionalmente, identificou-se a posição angular do joelho que ocorreu o pico de torque concêntrico e excêntrico dos flexores e extensores do joelho. Um rotina em ambiente MatLab (The MathWorks, Natick, Massachusetts, USA) foi desenvolvida para o tratamento de tais variáveis.

Além disso, foram calculadas as razões entre:

- a) torque concêntrico dos músculos flexores e extensores do joelho ($F_{CON}:E_{CON}$), definido como o quociente entre TF_{CON} e TE_{CON} ;
- b) torque excêntrico dos músculos flexores e concêntrico dos extensores do joelho ($F_{EXC}:E_{CON}$), definido como o quociente entre TF_{EXC} e TE_{CON} .

Os atletas com $F_{CON}:E_{CON} < 0.60$, com variação de 0,45-0,59 foram considerados com desequilíbrio, já aqueles com $F_{CON}:E_{CON} > 0,60$, com variação de 0,61–0,70, foram considerados em equilíbrio muscular (CAMARDA; DENADAI, 2011).

Variáveis cinemáticas

Antes de realizar as coletas de dados para análise cinemática testou-se se as coordenadas dos pontos nas imagens coletadas pela câmera correspondiam com as medidas reais. Para isso filmou-se dentro do espaço calibrado uma haste rígida com dois pontos separados por 01 m de distância (mensurado com paquímetro de precisão com resolução de 01 mm). A partir da digitalização destes pontos verificou-se que a imagem gravada estava devidamente calibrada e representativa do sistema de coordenadas do espaço real. Ainda, compararam-se as medidas obtidas nos extremos do espaço calibrado (lado direito e esquerdo) com a medida na região central do espaço (exatamente perpendicular ao eixo ótico câmera) a fim de testar os efeitos de paralaxe. Diferenças próximas a 0,15% foram encontradas entre tais medidas.

As imagens obtidas dos *sprints* foram inicialmente recortadas utilizando o software Kinovea[®], a fim de selecionar o trecho de interesse

para análise, que no presente estudo foi referente a um ciclo de passada. O ciclo foi definido como o período compreendido a partir do contato do pé direito com o solo (instante de contato) até o instante do próximo contato deste mesmo pé novamente ao solo. O ciclo da passada foi dividido em fase de suporte (período decorrido do instante de contato do pé direito com o solo até o instante de impulsão da perna direita) e fase aérea (do instante de impulsão da perna direita até o contato do pé esquerdo ao solo). Do instante de impulsão da perna direita até o instante em que ocorre novo contato do pé direito com o solo decorre-se a chamada fase de balanço da perna livre (direita). Tais eventos foram definidos a partir de inspeção visual das imagens, conforme tradicionalmente utilizado em estudos prévios (STOFELLS et al., 2007; LOCKIE et al., 2011).

As imagens foram digitalizadas no software *Skill Spector* (Video4coach, Dinamarca) no modo semiautomático. Os dados brutos das coordenadas x e y obtidos de cada ponto de referência foram exportados e filtrados com um filtro *Butterworth* de 4ª ordem do tipo passa-baixa, com frequência de corte de 15 Hz. A escolha desta frequência de corte deu-se após uma análise espectral das coordenadas obtidas de cada marcador anatômico, selecionado posteriormente uma frequência média. Após isso foram calculadas as variáveis cinemáticas espaciais, temporais e espaço-temporais (tanto lineares como angulares). Tais análises foram realizados por algoritmos implementados em ambiente MatLab (The MathWorks, Natick, Massachusetts, USA). Dentre os três sprints realizados pré-protocolo, foi selecionado para posterior análise estatística apenas a tentativa em que ocorreu o melhor desempenho (melhor tempo).

As variáveis analisadas foram: a) amplitude do passo (AP), considerada como a distância horizontal medida entre as pontas dos pés, projetada na direção do movimento (eixo x), em dois apoios consecutivos de pés contralaterais; b) frequência do passo (FP), refere-se ao número de passos por unidade de tempo; c) tempo da fase de suporte (TF_{SU}), definido como o tempo decorrido desde o contato do pé ao solo até a saída do mesmo pé; d) tempo da fase aérea (TF_{AE}), definido como o tempo decorrido desde a saída de um pé até o contato do outro pé no solo; e) ângulo do joelho, formado entre a coxa e a perna de apoio, analisado no instante de contato com o solo ($AJ_{CON} - \theta_1$) e no instante de impulsão ($AJ_{IMP} - \theta_2$); f) ângulo da coxa livre (AC_{IMP}), é o ângulo formado pela coxa livre e a horizontal (θ_3), no instante de impulsão, este ângulo aumenta à medida que a coxa faz rotação no sentido horário; g) velocidade angular da coxa (VA_{COXA}), definida como a velocidade do

ângulo formado entre o segmento da coxa com a horizontal (θ_4) analisada na fase de suporte da passada, este ângulo diminui à medida que a coxa faz rotação ao redor do quadril no sentido horário; h) velocidade angular da perna (V_{PERNA}), definida como a velocidade do ângulo formado entre o segmento perna com a horizontal (θ_5) analisada na fase de balanço (do instante de impulsão até imediatamente antes ao instante contato como solo), este ângulo diminui à medida que a perna faz rotação ao redor do joelho no sentido horário.

A representação esquemática dos instantes de contato e impulsão e das variáveis cinemáticas analisadas pode ser observada na figura 6.

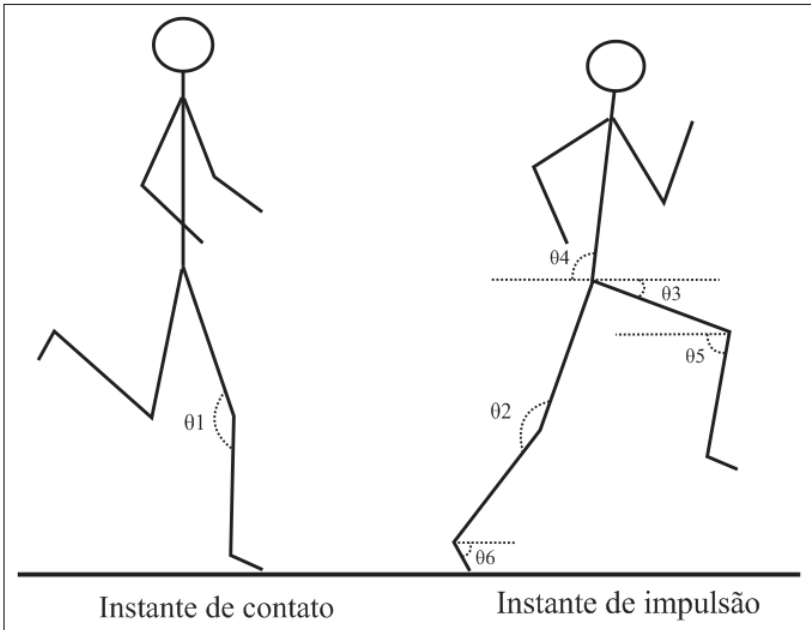


Figura 6. Representação gráfica dos ângulos absolutos e relativos analisados. θ_1 = ângulo do joelho no instante de contato; θ_2 = ângulo do joelho no instante de impulsão; θ_3 = ângulo da coxa; θ_4 = ângulo do tronco; θ_5 = ângulo da perna; θ_6 = ângulo do pé.

Análise da coordenação da corrida

Para analisar a coordenação intrasegmentar durante um ciclo de passada nos *sprints* foi calculada a fase relativa contínua (FRC), em uma abordagem de sistemas dinâmicos cujas mudanças ou variabilidade no padrão de coordenação ou ainda, ordem de parâmetros de um movimento podem ser avaliados (HAMILL et al., 1999). Para obtenção da FRC as seguintes etapas são necessárias:

1º) Obtenção do diagrama de fase dos segmentos: consiste na simples plotagem em um plano cartesiano do ângulo segmentar de interesse no eixo das abscissas (x) e a velocidade angular no eixo das ordenadas (y). No presente estudo foram analisados os ângulos segmentares (ângulos absolutos) do tronco (θ_4 – formado entre o segmento tronco com a horizontal esquerda), coxa (θ_3 – formando entre o segmento coxa e a horizontal esquerda), perna (θ_5 - ângulo entre a horizontal esquerda e o segmento da perna) e pé (θ_6 - ângulo entre a horizontal direita e o segmento pé), conforme ilustrados na figura 6. Todos os ângulos foram analisados somente do hemisfério direito durante todo ciclo da passada.

2º) Normalização do diagrama de fase: neste momento, os valores da posição angular (eixo horizontal) foram transformados para um valor máximo de +1 e o mínimo -1, tendo a origem no meio da variação ou amplitude (equação 1). Já a velocidade angular, o maior valor positivo e negativo foi definido como +1 e -1, respectivamente, mantendo a velocidade zero na origem (equação 2). Na figura 7 pode ser visualizado um exemplo de diagrama de fase normalizado.

$$\text{Eixo horizontal: } \theta_i = \frac{2 \times [\theta_i - \min(\theta_i)]}{\max(\theta_i) - \min(\theta_i)} \quad (\text{equação 1})$$

$$\text{Eixo vertical: } \omega_i = \frac{\omega_i}{\max[\max(\omega_i), \max(-\omega_i)]} \quad (\text{equação 2})$$

Sendo: θ = ângulo do segmento; i = determinado ponto ou valor dentro do ciclo do passo; ω = velocidade angular do segmento.

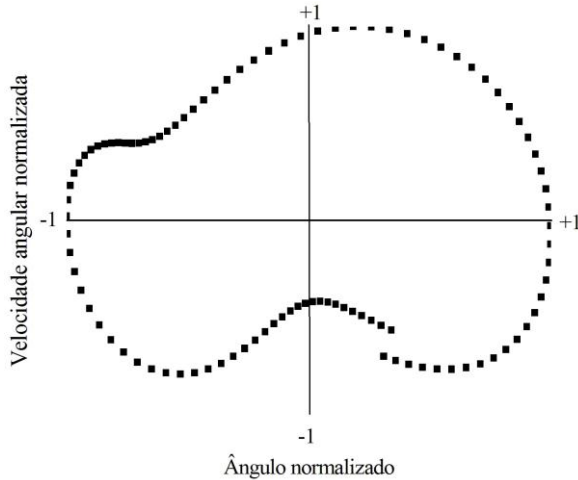


Figura 7. Exemplo ilustrativo do diagrama de fase normalizado.

3º) Obtenção do ângulo de fase: o ângulo de fase nada mais é do que o ângulo formado pela posição relativa dos valores referentes ao par ordenado posição (θ) e velocidade angular (ω) em um dado momento, dentro do diagrama de fase normalizado. O ângulo de fase (\emptyset) foi determinado para cada ponto como o ângulo formado entre uma linha desenhada a partir da origem (0,0) até um determinado ponto (θ , ω) e a horizontal direita (equação 3) (HAMILL et al., 1999).

$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{\omega(t)}{\theta(t)} \quad (\text{equação 3})$$

Sendo: \emptyset = ângulo de fase; ω = velocidade angular; θ = ângulo do segmento.

Um esquema ilustrativo do cálculo do ângulo fase no plano cartesiano pode ser observado na figura 8.

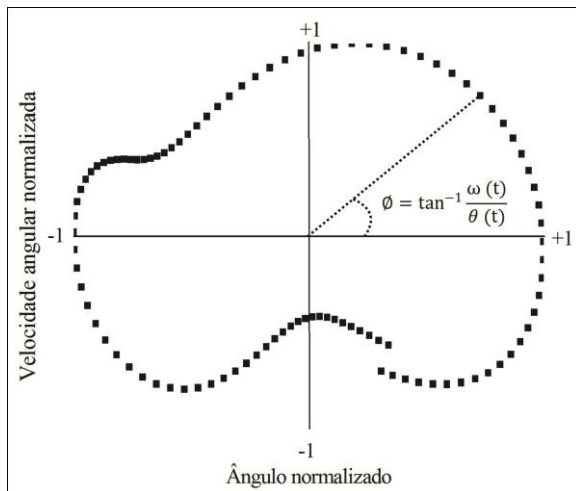


Figura 8. Esquema ilustrando a definição do ângulo de fase (ϕ)

4º) Fase relativa contínua (FRC): a FRC foi definida como a diferença entre os ângulos de fase de dois segmentos ($FRC = \phi$ segmento 1 - ϕ segmento 2), ao longo do ciclo do passo. No presente estudo foi analisada entre os segmentos coxa-tronco, perna-coxa e pé-perna, durante um passo da corrida (fase de suporte e fase aérea), todos considerando o movimento de flexão e extensão. Em cada “par” ou interação o segmento distal foi subtraído do proximal, sendo que valores obtidos próximos de zero indicam que os segmentos estão “em fase”, ou seja, na mesma trajetória e com velocidades angulares sincronizados/coordenados. À medida que a FRC aumenta, os segmentos passam a ficar mais “fora de fase”, diminuindo o sincronismo, sendo o valor máximo 180° . Um FRC positivo indica que o segmento proximal terá um maior ângulo de fase, enquanto um FRC negativo indica que o segmento distal tem um maior ângulo de fase (HAMILL et al., 1999). Estão apresentadas no presente estudo as curvas da FRC da condição inicial não-fadigada e as curvas da FRC obtidas nos *sprints* realizados após o bloco 1 e após o bloco 2 do FIRP (nestes dois últimos, apenas uma tentativa). Calculou-se a média RMS (root mean square) da CRP para comparar os valores das fases de suporte e aérea entre os três momentos (início x meio x fim) do protocolo.

3.2.8 Tratamento estatístico

Para apresentação dos resultados foi utilizada a estatística descritiva (média, desvio-padrão e coeficiente de variação). Inicialmente, a normalidade dos dados e dos resíduos foi verificada por meio do teste de *Shapiro-Wilk*.

As variáveis foram comparadas entre as condições pré, meio e fim do protocolo por meio de uma análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas, sendo utilizado o *post-hoc* de Bonferroni. Previamente a esta análise a esfericidade dos dados foi testada mediante a aplicação do teste de *Mauchly*. Adicionalmente, calculou-se o poder ($1-\beta$) para cada variável desta análise.

A reprodutibilidade das variáveis cinemáticas dos *sprints* e de torque isocinético obtidas em condição não fadigada foi testada por meio do coeficiente de correlação intraclassa (CCI) calculada entre as três tentativas realizadas na avaliação pré-protocolo.

Para todas as análises, foi considerada uma probabilidade de erro de até 5% ($p \leq 0,05$). Os softwares SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) v.17.0 (SPSS Inc., EUA), G*Power 3 e Microsoft Excel 2010[®] foram utilizados para tais análises.

4. RESULTADOS

4.1 Estudo I – Respostas fisiológicas obtidas no FIRP

Neste item estão apresentadas as respostas das variáveis fisiológicas obtidas durante o protocolo (frequência cardíaca, concentrações de lactato sanguíneo e percepção subjetiva do esforço), referentes aos dois primeiros objetivos específicos do estudo.

Na figura 9 está apresentada a representação da variação da frequência cardíaca, em valores absolutos, de um sujeito durante todo o protocolo, incluindo os períodos de repouso.

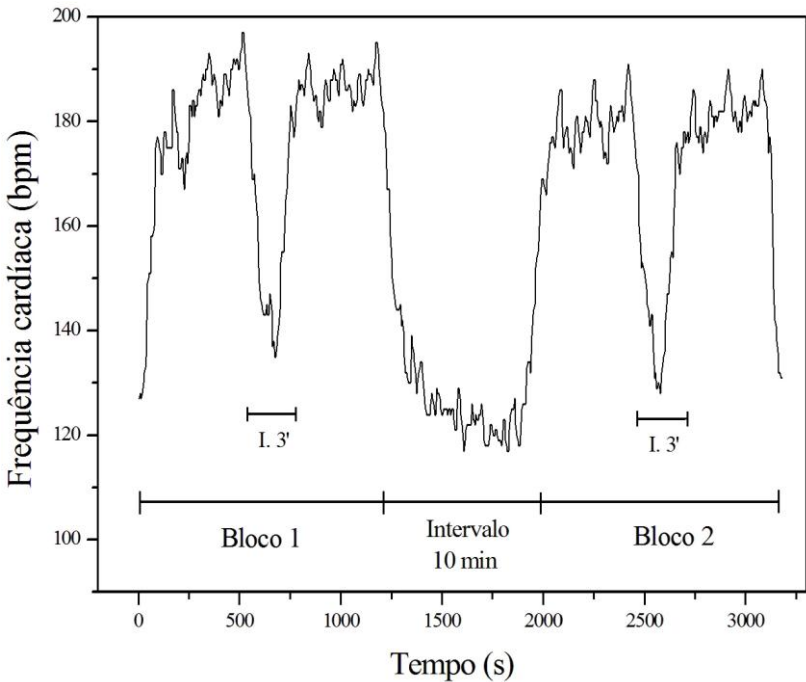


Figura 9. Figura representativa da frequência cardíaca durante o protocolo. (I. 3': intervalo de 3 minutos entre as séries 3 e 4 de cada bloco).

Foram obtidos valores médios de FC de $171,86 \pm 10,93$ e $171,04 \pm 12,32$ bpm nos blocos 1 e 2 do protocolo, respectivamente

(figura 10), não havendo diferença entre os blocos ($p = 0,2$). Em termos relativos, esses valores correspondem a $87,3 \pm 5,5\%$ e $87,49 \pm 6,19\%$ da frequência cardíaca máxima prevista pela idade, para os blocos 1 e 2, respectivamente. Importante destacar que os valores dos intervalos recuperativos (de 3 min entre as séries 3 e 4 de cada bloco e de 10 min entre os blocos) foram desconsiderados desta análise.

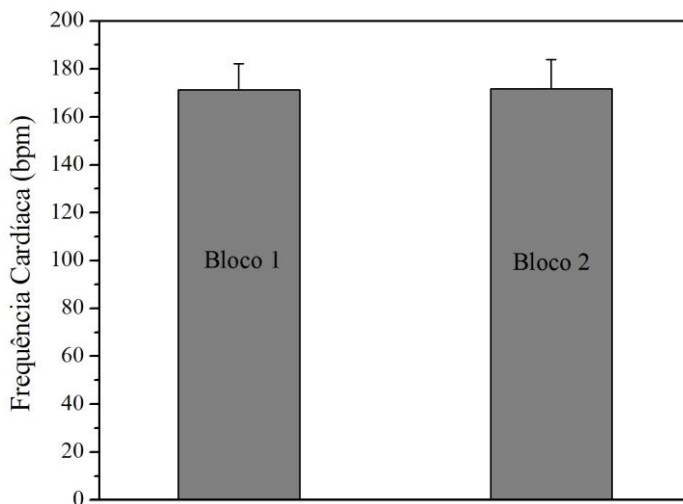


Figura 10. Frequência cardíaca média obtida nos blocos 1 e 2 do FIRP.

A concentração de lactato sanguíneo obtida durante o protocolo está apresentada na figura 11. Os atletas apresentaram valores de base mensurados antes do protocolo de $1,19 \pm 0,28$ mmol.L⁻¹. Já os valores obtidos 5 min após o bloco 1 do FIRP foram de $5,06 \pm 0,9$ mmol.L⁻¹, não diferindo ($p = 0,52$) da concentração verificada 5 min após o bloco 2, que foi $5,18 \pm 0,8$ mmol.L⁻¹. Um minuto precedente ao início do bloco 2 do protocolo (i.e., 9º min de recuperação após o bloco 1) os atletas apresentaram valores médios de $3,28 \pm 1,1$ mmol.L⁻¹, indicando uma remoção de aproximadamente 38% em relação à concentração obtida no 5º min de recuperação.

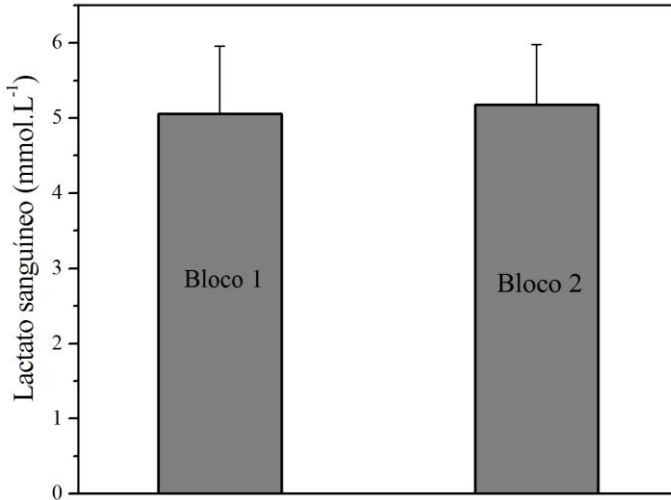


Figura 11. Concentrações de lactato sanguíneo obtidos 5 min após os blocos 1 e 2 do FIRP.

Por último, o terceiro indicador de intensidade ou sobrecarga utilizado foi a percepção subjetiva de esforço (PSE) relatado pelos atletas 15 min após completarem o protocolo. O escore médio relatado foi de $6,5 \pm 0,8$ (unidades adimensionais), em uma escala analógica de 01 a 10, classificando o esforço entre “difícil” e “muito difícil”.

4.2 Estudo II

4.2.1 Efeitos da fadiga induzida por um protocolo de corrida intermitente específico para o futsal (FIRP) sobre a produção de torque isocinético

Inicialmente, a reprodutibilidade do torque isocinético em condição não fadigada foi testada entre as variáveis obtidas na primeira e segunda série de extensão/flexão do joelho da avaliação pré-protocolo por meio do coeficiente de correlação intraclassa (CCI). Os picos e razões de torque apresentaram CCI variando entre 0,93 - 0,97, enquanto que os ângulos que ocorreram os picos de torque entre 0,83-0,9. Tais valores sugerem excelente reprodutibilidade, segundo classificação de Fleis (1981).

Na tabela 4 estão apresentados os valores de pico de torque isocinético dos músculos flexores e extensores do joelho obtidos antes, ao meio e ao final do FIRP. Todas as variáveis mostraram variâncias iguais ($p > 0,05$) entre as três condições testadas, confirmando a esfericidade do modelo. A análise de variância indicou diferenças do torque dos músculos flexores e extensores do joelho, tanto para ações concêntricas quanto excêntricas, entre as três medidas realizadas durante o FIRP. De acordo com a análise *post-hoc*, o TF_{CON} , TF_{EXC} e TE_{EXC} sofreram redução progressiva ao longo do FIRP, ou seja, as medidas da condição pré foram maiores que as centrais, sendo ambas maiores que as medidas finais ($p < 0,05$). Já o TE_{CON} reduziu da condição pré para o meio ($p < 0,01$), porém o valor deste último não diferiu do valor mensurado ao final do protocolo ($p = 0,89$). Com base em tais resultados pode-se rejeitar a H_0 e confirmar a hipótese alternativa H_1 deste estudo, ou seja, houve redução do torque dos músculos flexores e extensores do joelho após a realização do FIRP.

Tabela 4. Pico de torque dos músculos flexores e extensores do joelho (média \pm DP) obtido antes, ao meio e ao final do FIRP.

	PRÉ	MEIO	FIM	F (p)	η^2
TF_{CON} (N.m)	130,91 ^a ($\pm 25,39$)	119,82 ^b ($\pm 25,55$)	112,93 ^c ($\pm 23,96$)	22,41 ($< 0,01$)	0,55
TF_{EXC} (N.m)	204,25 ^a ($\pm 29,07$)	189,08 ^b ($\pm 36,1$)	177,64 ^c ($\pm 36,02$)	19,01 ($< 0,01$)	0,51
TE_{CON} (N.m)	208,11 ^a ($\pm 31,61$)	198,88 ^b ($\pm 29,78$)	195,61 ^b ($\pm 32,83$)	11,53 ($< 0,01$)	0,39
TE_{EXC} (N.m)	292,15 ^a ($\pm 20,57$)	279,04 ^b ($\pm 27,93$)	266,17 ^c ($\pm 32,53$)	16,4 ($< 0,01$)	0,46

TF_{CON} e TF_{EXC} : pico de torque concêntrico e excêntrico dos músculos flexores do joelho, respectivamente; TE_{CON} e TE_{EXC} : pico de torque concêntrico e excêntrico dos extensores do joelho, respectivamente. Nota: letras diferentes indicam diferenças significativas no tempo, enquanto que letras iguais indicam que não houve diferença (Obs. somente comparação na linha).

Conforme dados apresentados na tabela 4, é possível observar que as reduções percentuais na produção de torque entre início (pré) e fim do protocolo foram mais acentuadas nos músculos flexores quando

comparado aos extensores do joelho, na ação concêntrica (13,74% vs 6%, respectivamente; $p = 0,01$). Já na ação excêntrica a redução foi similar entre os flexores e extensores do joelho (13,02% vs 8,89%, respectivamente; $p = 0,27$). Tais resultados permitem rejeitar H_{02} e confirmar a hipótese H_2 deste estudo, considerando somente a ação concêntrica.

Além do pico de torque, também foi analisado e apresentado na tabela 5 os ângulos em que ocorreram os picos de torque dos músculos flexores e extensores do joelho, antes, ao meio e ao final do FIRP. Verificou-se que apenas o ângulo em que ocorreu o pico de torque excêntrico dos flexores do joelho (A_PTF_{EXC}) apresentou diferença entre as condições testadas. Não houve diferença desta variável entre as medidas pré e meio, contudo, houve aumento ao final do FIRP quando comparado ao meio ($p < 0,01$) e pré-protocolo ($p < 0,01$).

Tabela 5. Ângulo do pico de torque (média \pm DP) dos músculos flexores e extensores do joelho obtido antes, ao meio e ao final do FIRP.

	PRÉ	MEIO	FIM	F (p)	η^2
A_PTF_{CON} (°)	38,42 ($\pm 2,54$)	38,01 ($\pm 4,01$)	37,18 ($\pm 3,97$)	1,73 (0,19)	0,09
A_PTF_{EXC} (°)	39,42 ^a ($\pm 2,76$)	39,11 ^a ($\pm 3,22$)	42,01 ^b ($\pm 3,9$)	7,01 ($< 0,01$)	0,28
A_PTE_{CON} (°)	75,33 ($\pm 5,18$)	76,22 ($\pm 5,33$)	75,44 ($\pm 6,26$)	0,43 (0,66)	0,03
A_PTE_{EXC} (°)	71,44 ($\pm 5,88$)	71,22 ($\pm 4,92$)	72,67 ($\pm 6,22$)	0,55 (0,61)	0,04

A_PTF_{CON} e A_PTE_{CON} : ângulo do pico de torque concêntrico dos músculos flexores e extensores do joelho, respectivamente; A_PTF_{EXC} e A_PTE_{EXC} : ângulo do pico de torque excêntrico dos músculos flexores e extensores do joelho, respectivamente. Nota: letras diferentes indicam diferenças significativas, enquanto que letras iguais indicam que não houve diferença.

Na figura 12 está apresentada a razão entre o torque concêntrico dos músculos flexores e extensores do joelho ($F_{CON} : E_{CON}$), denominada razão convencional de torque. A análise de variância indicou diferença nas condições testadas ($F = 7,17$; $p < 0,01$; $\eta^2 = 0,28$; poder = 0,91),

sedo verificados menores valores ($p = 0,02$) da razão $F_{CON} : E_{CON}$ somente ao final ($0,578 \pm 0,088$) quando comparado ao início ($0,631 \pm 0,081$) do FIRP. Os valores mensurados no meio do protocolo ($0,603 \pm 0,089$) não apresentaram diferença em relação ao início ($p = 0,08$) e fim do mesmo ($p = 0,21$).

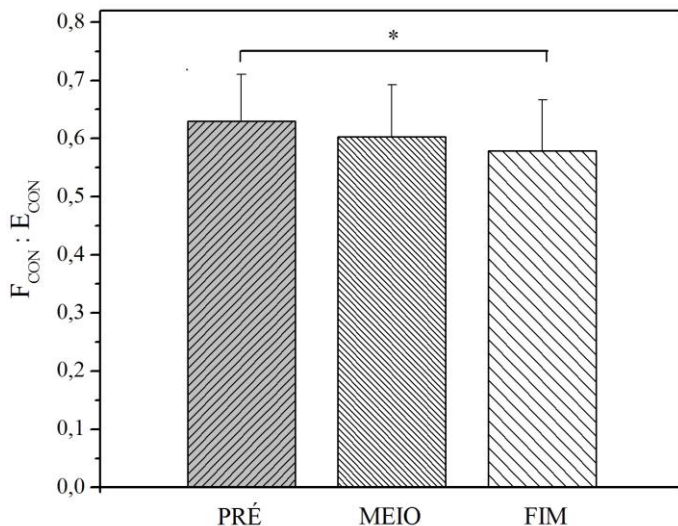


Figura 12. Razão convencional de torque ($F_{CON}:E_{CON}$) obtida durante o FIRP. Nota: * indica diferença significativa entre “Pré” e “Fim”.

Já na figura 13 está apresentada a razão entre o torque excêntrico dos músculos flexores e o torque concêntrico dos músculos extensores do joelho ($F_{EXC} : E_{CON}$), denominada razão funcional de torque. A análise de variância indicou diferença desta variável entre as condições testadas ($F = 5,01$; $p = 0,01$; $\eta^2 = 0,21$; poder = 0,78). Da mesma forma que ocorreu para a razão convencional, foram verificados menores valores ($p = 0,03$) da razão $F_{EXC} : E_{CON}$ somente ao final ($0,919 \pm 0,162$) quando comparado ao início ($0,991 \pm 0,121$) do FIRP. Os valores mensurados no meio do protocolo ($0,955 \pm 0,143$) não apresentaram diferença em relação ao início ($p = 0,341$) e fim do mesmo ($p = 0,37$). A partir de tal resultado rejeita-se H_0 e aceita-se a hipótese alternativa 3 deste estudo, ou seja, a fadiga gerada no FIRP reduziu a razão funcional de torque.

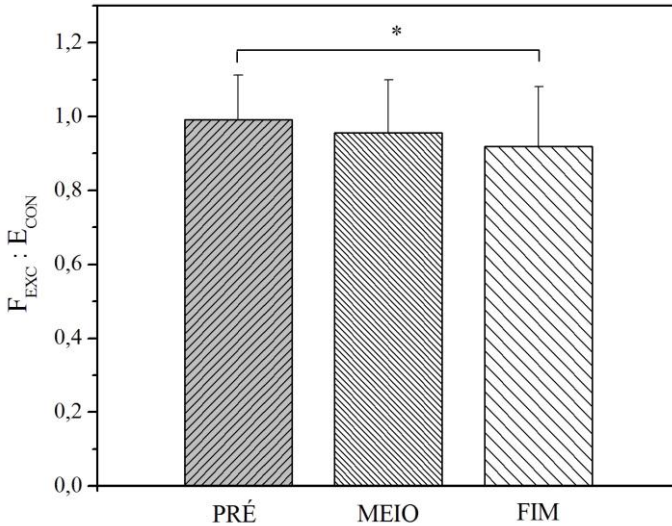


Figura 13. Razão funcional de torque ($F_{EXC} : E_{CON}$) obtido durante o FIRP. Nota: * indica diferença significativa entre “Pré” e “Fim”.

4.2.2 Efeitos da fadiga induzida pelo FIRP sobre o desempenho e variáveis cinemáticas nos *sprints*

A reprodutibilidade das variáveis obtidas nos *sprints* em condição não fadigada foi testada entre os três *sprints* realizados na avaliação pré-protocolo. As variáveis de desempenho (tempo e velocidade média) apresentaram CCI de 0,94-0,97 para os *sprints* de 10 e 20 m. Já as variáveis cinemáticas apresentaram CCI entre 0,82-0,96 nos *sprints* de 10 m e 0,84-0,97 nos *sprints* de 20 m. Conforme classificação de Fleis (1981), a reprodutibilidade é considerada alta nestas situações.

Na tabela 6 estão apresentadas as variáveis de desempenho (tempo e velocidade média) obtidas nos *sprints* nas distâncias de 10 e 20 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP. Todas as variáveis mostraram variâncias iguais ($p > 0,05$) entre as três condições testadas, assumindo-se deste modo a esfericidade do modelo. Em relação ao *sprint* de 10 m, a análise de variância indicou diferenças das variáveis analisadas entre as condições testadas. Tanto o tempo quanto a velocidade média não apresentaram diferença entre as medidas pré e

meio, mas na condição fim o tempo aumentou ($p < 0,01$) e a velocidade média diminuiu ($p < 0,01$) quando comparadas às duas medidas anteriores. Já para o *sprint* de 20 m, as diferenças apontadas pela ANOVA foram identificadas pelo *post-hoc* entre as três medidas realizadas. O tempo aumentou progressivamente ao longo do FIRP, ou seja, o valor na condição pré foi menor que o valor central ($p < 0,01$), sendo ambos menores que a medida final ($p < 0,01$ e $p = 0,01$, respectivamente). O mesmo ocorreu com a velocidade média, em que na condição pré verificaram-se maiores valores comparados à medida central ($p < 0,01$), sendo ambos maiores que a medida final ($p < 0,01$). A partir destes resultados rejeita-se H_0 e confirma-se a hipótese 4 do estudo, visto que o FIRP reduziu o desempenho nos *sprints*.

Tabela 6. Desempenho (média \pm DP) obtido nos *sprints* de 10 e 20 m antes, ao meio e ao final do FIRP.

	PRÉ	MEIO	FIM	F (p)	η^2
Tempo _{10M} (s)	1,852 ^a ($\pm 0,094$)	1,871 ^a ($\pm 0,107$)	1,898 ^b ($\pm 0,098$)	8,89 ($< 0,01$)	0,32
VM _{10M} (km/h)	19,49 ^a ($\pm 1,01$)	19,28 ^a ($\pm 1,1$)	19,01 ^b ($\pm 0,99$)	8,95 ($< 0,01$)	0,32
Tempo _{20M} (s)	2,764 ^a ($\pm 0,122$)	2,84 ^b ($\pm 0,128$)	2,882 ^c ($\pm 0,144$)	44,95 ($< 0,01$)	0,7
VM _{20M} (km/h)	26,11 ^a ($\pm 1,15$)	25,38 ^b ($\pm 1,15$)	25,04 ^c ($\pm 1,25$)	50,55 ($< 0,01$)	0,72

VM = velocidade média. Nota: letras diferentes indicam diferenças significativas no tempo, enquanto que letras iguais indicam que não houve diferença (Obs. comparação somente na linha).

As variáveis cinemáticas (espaciais, temporais e espaço-temporais) obtidas durante um ciclo de passada nos *sprints* de 10 m realizados antes, no meio e ao final do FIRP estão descritas na tabela 7. De acordo com a análise de variância, apenas a frequência do passo (FP) e a velocidade angular da perna (VA_{PERNA}) apresentaram diferença entre as condições testadas (pré, meio e fim). O teste *post-hoc* indicou que a FP apresentou redução ($p = 0,01$) e a VA_{PERNA} aumento ($p = 0,02$) ao final do FIRP quando comparadas aos valores pré-protocolo. Os valores de FP e VA_{PERNA} mensurados no meio do FIRP não apresentaram

diferença em relação ao início ($p = 0,4$; $p = 0,54$, respectivamente) e fim do mesmo ($p = 0,41$; $p = 0,59$, respectivamente).

Tabela 7. Variáveis cinemáticas (média \pm DP) obtidas durante um ciclo de passada em *sprints* de 10 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.

	PRÉ	MEIO	FIM	F (p)	η^2
AP (m)	1,31 ($\pm 0,2$)	1,33 ($\pm 0,15$)	1,34 ($\pm 0,16$)	0,27 (0,76)	0,02
FP (Hz)	4,2 ^a ($\pm 0,34$)	4,15 ^{a, b} ($\pm 0,31$)	4,01 ^b ($\pm 0,29$)	5,14 (0,01)	0,24
TF _{SU} (s)	0,146 ($\pm 0,009$)	0,148 ($\pm 0,013$)	0,151 ($\pm 0,019$)	2,11 (0,14)	0,11
TF _{AE} (s)	0,095 ($\pm 0,01$)	0,097 ($\pm 0,014$)	0,1 ($\pm 0,017$)	1,31 (0,28)	0,07
AC _{IMP} (°)	41,94 ($\pm 5,98$)	41,07 ($\pm 7,92$)	43,27 ($\pm 5,88$)	1,07 (0,35)	0,06
AJ _{CON} (°)	154,3 ($\pm 6,54$)	154,98 ($\pm 4,88$)	154,42 ($\pm 5,57$)	0,158 (0,85)	0,09
AJ _{IMP} (°)	161,36 ($\pm 4,68$)	160,53 ($\pm 4,72$)	161,12 ($\pm 4,69$)	0,28 (0,76)	0,02
VA _{PERN} (°/s)	282,54 ^a ($\pm 39,34$)	296,32 ^{a, b} ($\pm 32,45$)	314,82 ^b ($\pm 34,95$)	4,88 (0,02)	0,22
VA _{COXA} (°/s)	383,24 ($\pm 42,99$)	366,9 ($\pm 27,38$)	364,58 ($\pm 35,37$)	0,98 (0,34)	0,05

AP: amplitude do passo; FP: frequência do passo; TF_{SU}: tempo de fase de suporte; TF_{AE}: tempo de fase aérea; AC_{IMP}: ângulo da coxa no instante de impulsão; AJ_{CON}: ângulo do joelho no instante de contato; AJ_{IMP}: ângulo do joelho no instante de impulsão; VA_{PERNA}: velocidade angular da perna; VA_{COXA}: velocidade angular da coxa. Nota: letras diferentes indicam diferenças entre as condições, enquanto que letras iguais indicam que não houve diferença.

As variáveis cinemáticas referentes aos *sprints* de 20 m estão apresentadas na tabela 8. Assim como observado nos *sprints* de 10 m, a FP e a VA_{PERNA} apresentaram diferença entre as condições testadas. A

FP reduziu da condição pré para o meio ($p < 0,01$) e fim ($p < 0,01$) do protocolo, sendo o valor neste último menor ($p = 0,01$) em relação ao meio. Este resultado permite rejeitar $H0_5$ e confirmar a quinta hipótese deste estudo ($H5$), ou seja, a FP tanto nos *sprints* de 10 quanto de 20 m foi reduzida em função do FIRP. Já a VA_{PERNA} não apresentou diferença entre as medidas pré e meio, mas na condição fim houve aumento da mesma ($p = 0,04$) quando comparadas às duas medidas anteriores. Também foi observado nos *sprints* de 20 m alterações na VA_{COXA} , com menores valores verificados ao final do FIRP quando comparado ao pré ($p = 0,05$). Os valores do meio não diferiram da condição inicial ($p = 0,92$) e final do protocolo ($p = 0,31$). Por último, diferenças no AC_{IMP} também foram detectadas, ocorrendo redução da condição pré para o meio ($p = 0,04$) e fim ($p = 0,01$) do protocolo.

Ainda, com base nos resultados apresentados nas tabelas 7 e 8 pode-se aceitar a $H0_6$ e rejeitar a hipótese alternativa $H6$, visto que não foram verificadas alterações nos tempos de fase aérea e de suporte da passada nos *sprints* em função da fadiga gerada no FIRP.

Tabela 8. Variáveis cinemáticas obtidas durante um ciclo de passada em *sprints* de 20 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP.

	PRÉ	MEIO	FIM	F (p)	η^2
AP (m)	1,58 ($\pm 0,18$)	1,59 ($\pm 0,25$)	1,6 ($\pm 0,25$)	0,14 (0,88)	0,01
FP (Hz)	4,35 ^a ($\pm 0,34$)	4,2 ^b ($\pm 0,4$)	4,01 ^c ($\pm 0,29$)	7,64 ($<0,01$)	0,3
TF _{SU} (s)	0,129 ($\pm 0,008$)	0,131 ($\pm 0,007$)	0,134 ($\pm 0,107$)	2,76 (0,07)	0,14
TF _{AE} (s)	0,115 ($\pm 0,016$)	0,117 ($\pm 0,018$)	0,118 ($\pm 0,013$)	3,14 (0,06)	0,15
AC _{IMP} (°)	40,92 ^a ($\pm 5,48$)	43,62 ^b ($\pm 5,62$)	44,3 ^b ($\pm 5,3$)	7,72 ($<0,01$)	0,3
AJ _{CON} (°)	163,57 ($\pm 4,69$)	161,22 ($\pm 5,35$)	161,67 ($\pm 5,56$)	1,57 (0,22)	0,08
AJ _{IMP} (°)	160,56 ($\pm 6,33$)	159,81 ($\pm 5,4$)	159,86 ($\pm 6,01$)	0,35 (0,71)	0,02
VA _{PERNA} (°/s)	436,5 ^a ($\pm 39,54$)	439,57 ^a ($\pm 41,78$)	446,37 ^b ($\pm 45,02$)	3,88 (0,04)	0,18
VA _{COXA} (°/s)	435,77 ^a ($\pm 45,49$)	425,23 ^{a,b} ($\pm 49,41$)	413,01 ^b ($\pm 38,66$)	3,17 (0,05)	0,15

AP: amplitude do passo; FP: frequência do passo; TF_{SU}: tempo de fase de suporte; TF_{AE}: tempo de fase aérea; AC_{IMP}: ângulo da coxa no instante de impulsão; AJ_{CON}: ângulo do joelho no instante de contato; AJ_{IMP}: ângulo do joelho no instante de impulsão; VA_{PERNA}: velocidade angular da perna; VA_{COXA}: velocidade angular da coxa. Nota: letras diferentes indicam diferenças entre as condições, enquanto que letras iguais indicam que não houve diferença.

4.2.3 Efeitos do FIRP sobre a coordenação nos *sprints*

A seguir (figuras 14-16) está apresentada fase relativa contínua (FRC) calculada entre os segmentos coxa-tronco, perna-coxa e pé-perna durante uma passada em *sprints* de 10 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP. A reprodutibilidade da FRC entre os três *sprints* realizados na avaliação pré-protocolo (condição não fadigada) foi alta, com CCI de 0,88; 0,90 e 0,92 para os acoplamentos coxa-tronco, perna-coxa e pé-perna, respectivamente.

Em relação à FRC coxa-tronco (figura 14), não foram observadas diferenças na média RMS quando comparados os valores pré ($23,44 \pm 13,20^\circ$; $14,23 \pm 6,24^\circ$), meio ($23,09 \pm 11,97^\circ$; $17,02 \pm 8,24^\circ$) e fim ($26,22 \pm 11,55^\circ$; $16,86 \pm 7,55^\circ$), para as fases de suporte ($F = 1,23$; $p = 0,31$; $\eta^2 = 0,08$) e fase de recuperação da passada ($F = 1,87$; $p = 0,17$; $\eta^2 = 0,11$), respectivamente.

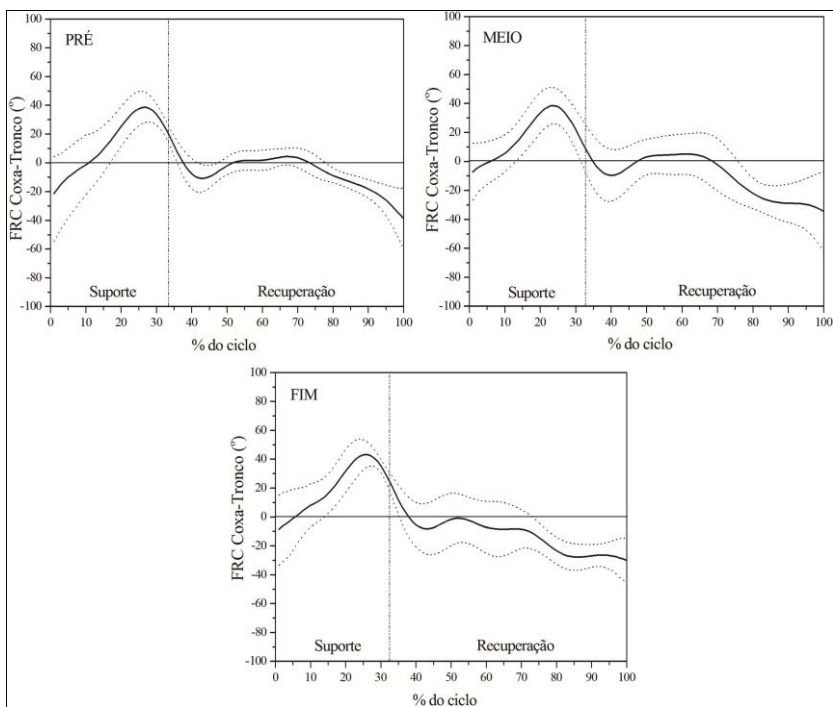


Figura 14. FRC dos segmentos coxa-tronco durante um ciclo de passada em *sprints* de 10 m realizados pré, ao meio e ao final do FIRP.

Da mesma forma, não foram observadas diferenças na média RMS da FRC perna-coxa (figura 15) entre as condições pré ($67,77 \pm 14,2^\circ$; $39,16 \pm 9,89^\circ$), meio ($64,51 \pm 15,45^\circ$; $37,98 \pm 10,72^\circ$) e fim ($63,58 \pm 14,48^\circ$; $36,88 \pm 10,71^\circ$), tanto na fase de suporte ($F = 1,35$; $p = 0,26$; $\eta^2 = 0,08$) quanto de recuperação ($F = 0,01$; $p = 0,99$; $\eta^2 = 0,01$) da passada, respectivamente.

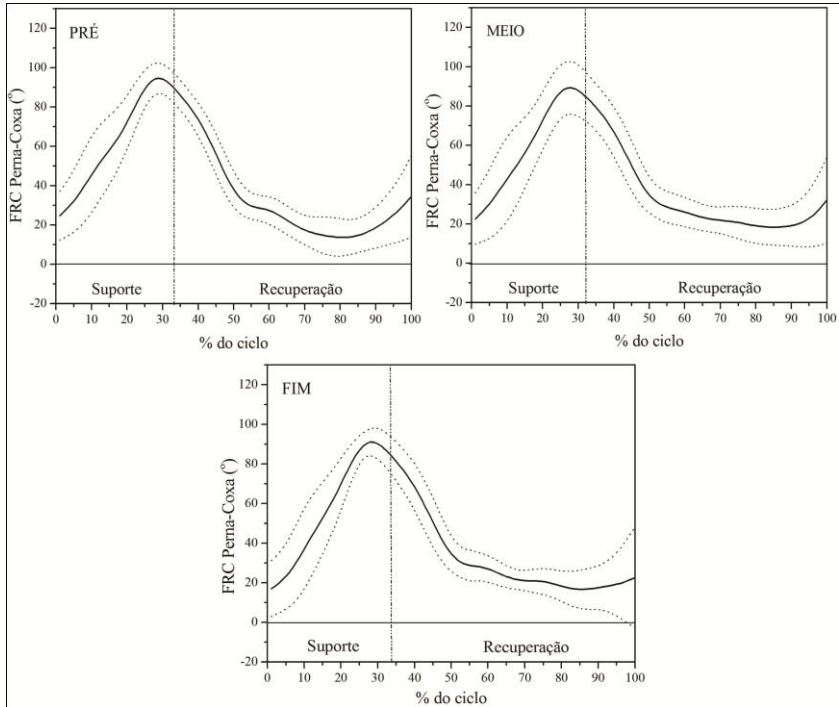


Figura 15. FRC dos segmentos perna-coxa durante um ciclo de passada em *sprints* de 10 m realizados pré, ao meio e ao final do FIRP.

Por último, verificou-se que o FIRP também não provocou alterações na FRC pé-perna (figura 16) no tempo, ou seja, as medidas pré ($43,72 \pm 15,96^\circ$; $22,28 \pm 8,96^\circ$), meio ($40,01 \pm 18,24^\circ$; $22,40 \pm 11,19^\circ$) e fim ($43,72 \pm 18,66^\circ$; $23,91 \pm 17,35^\circ$) não diferiram, nas fases de suporte ($F = 0,16$; $p = 0,86$; $\eta^2 = 0,01$) e recuperação ($F = 2,32$; $p = 0,11$; $\eta^2 = 0,13$), respectivamente.

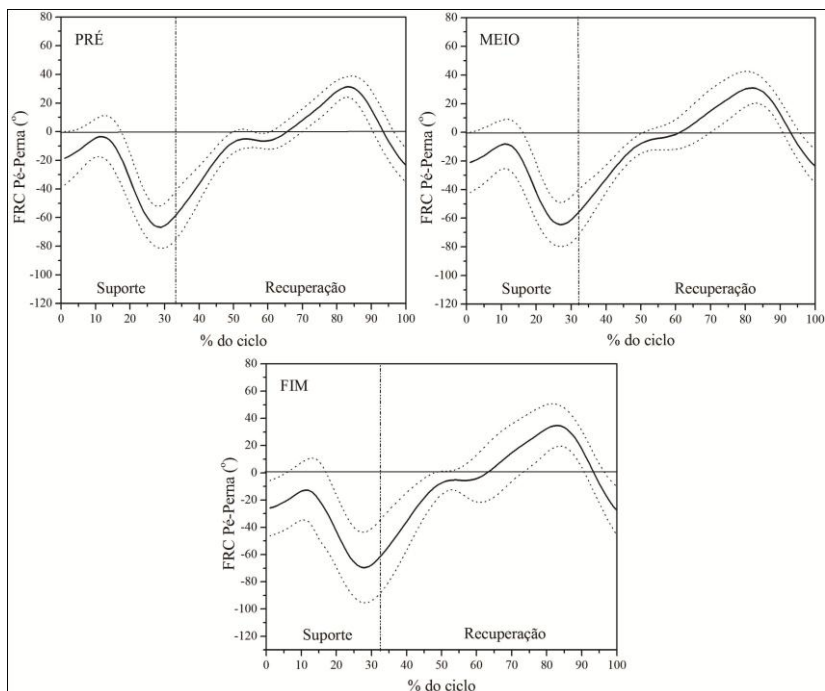


Figura 16. FRC dos segmentos perna-coxa durante um ciclo de passada em *sprints* de 10 m realizados pré, ao meio e ao final do FIRP.

Nas figuras 17 - 19 a seguir está apresentada a fase relativa contínua (FRC) para os *sprints* de 20 m realizados antes, ao meio e ao final do FIRP. A reprodutibilidade da FRC entre os três *sprints* de 20 m realizados antes do FIRP (valores de base) também foi considerada alta, com CCI de 0,87; 0,92 e 0,94 para os acoplamentos coxa-tronco, perna-coxa e pé-perna, respectivamente.

Em relação à FRC coxa-tronco (figura 17), não foram observadas diferenças na média RMS quando comparadas as medidas pré ($23,01 \pm 10,62^\circ$; $16,14 \pm 8,62^\circ$), meio ($21,56 \pm 11,6^\circ$; $14,05 \pm 7,41^\circ$) e fim ($19,03 \pm 10,67^\circ$; $15,81 \pm 7,76^\circ$), para as fases de suporte ($F = 0,08$; $p = 0,91$; $\eta^2 = 0,02$) e fase de recuperação da passada ($F = 0,35$; $p = 0,71$; $\eta^2 = 0,04$), respectivamente.

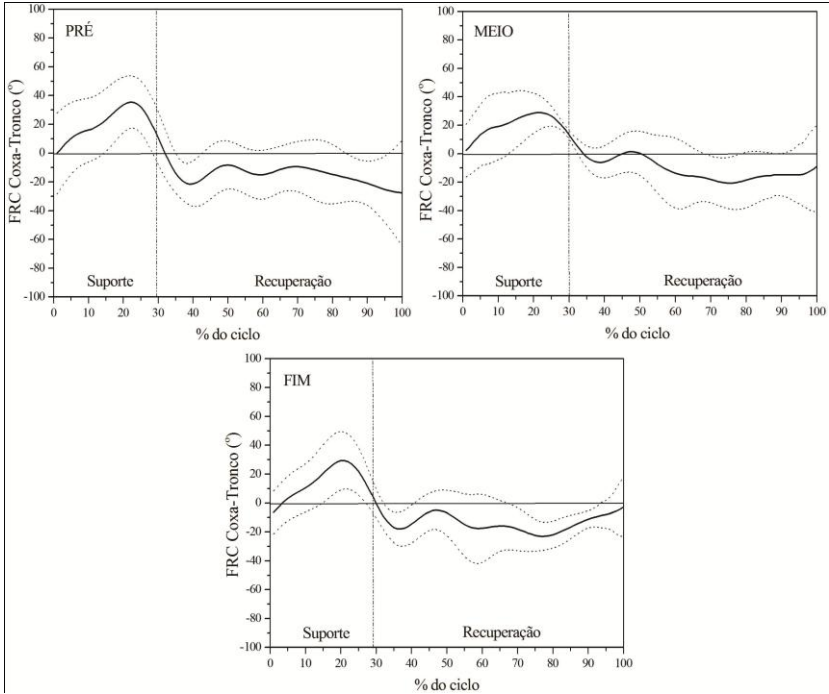


Figura 17. FRC dos segmentos coxa-tronco durante um ciclo de passada em *sprints* de 20 m realizados pré, ao meio e ao final do FIRP.

A FRC perna-coxa (figura 18) também não diferiu entre as condições pré ($54,68 \pm 11,96^\circ$; $34,91 \pm 8,82^\circ$), meio ($54,29 \pm 17,54^\circ$; $33,85 \pm 9,51^\circ$) e fim ($58,83 \pm 16,9^\circ$; $33,88 \pm 8,7^\circ$), tanto na fase de suporte ($F = 1,22$; $p = 0,32$; $\eta^2 = 0,12$) quanto de recuperação ($F = 0,02$; $p = 0,98$; $\eta^2 = 0,01$) da passada, respectivamente.

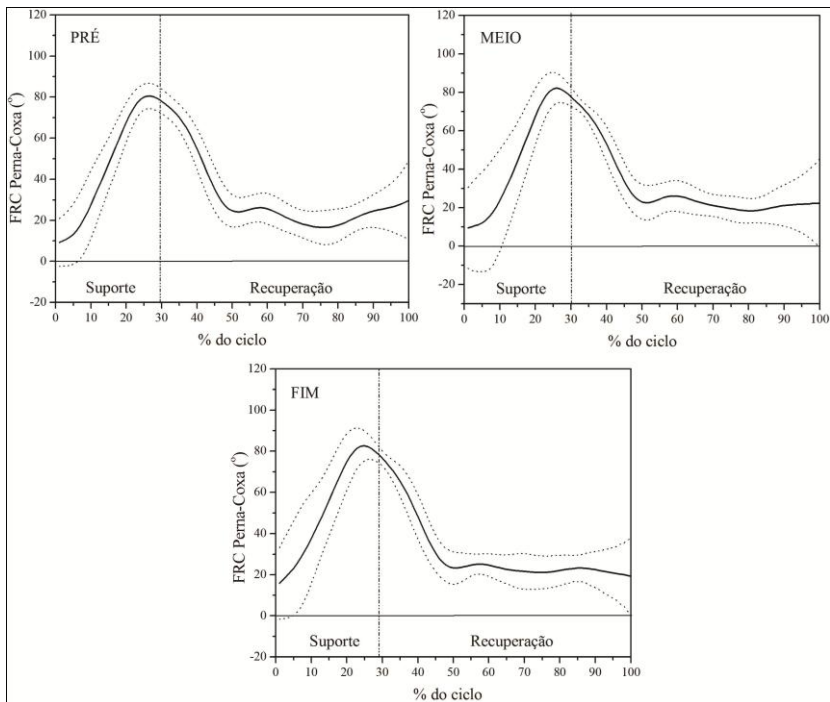


Figura 18. FRC dos segmentos perna-coxa durante um ciclo de passada em *sprints* de 20 m realizados pré, ao meio e ao final do FIRP.

Por último, verificou-se que o FIRP também não provocou alterações na FRC pé-perna (figura 19) no tempo, ou seja, a média RMS pré ($34,79 \pm 13,64^\circ$; $17,65 \pm 12,52^\circ$), meio ($38,75 \pm 13,83^\circ$; $21,83 \pm 10,28^\circ$) e fim ($38,96 \pm 16,69^\circ$; $21,15 \pm 14,11^\circ$) não diferiram, nas fases de suporte ($F = 2,75$; $p = 0,09$; $\eta^2 = 0,23$) e recuperação ($F = 1,22$; $p = 0,32$; $\eta^2 = 0,12$), respectivamente.

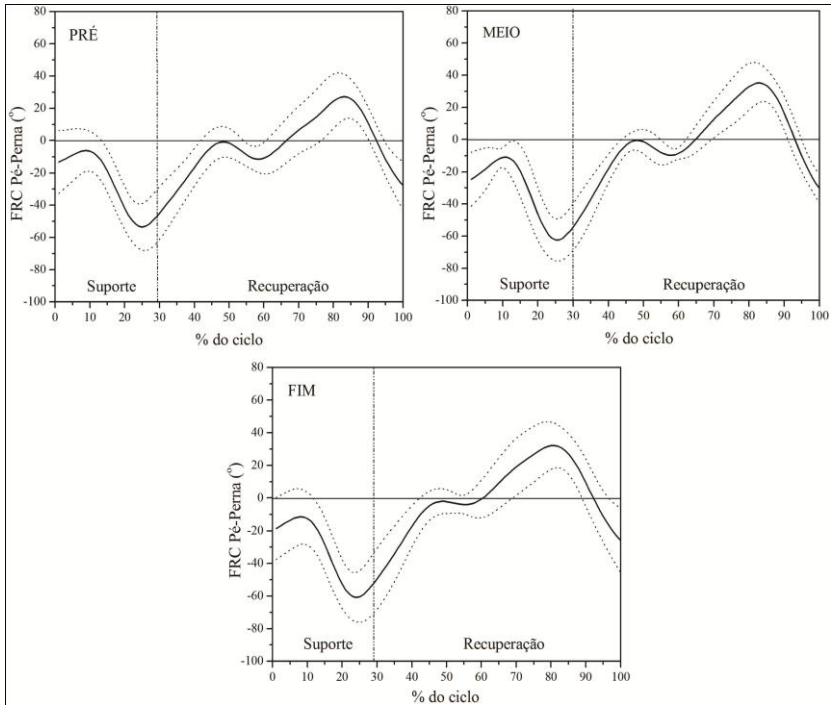


Figura 19. FRC dos segmentos pé-perna durante um ciclo de passada em *sprints* de 20 m realizados pré, ao meio e ao final do FIRP.

Pelo fato de nenhuma alteração na coordenação intrasegmentar durante os *sprints* de 10 e 20 m ter sido observada em decorrência da fadiga gerada pelo FIRP, a H0 da hipótese 7 do presente estudo foi confirmada.

5. DISCUSSÃO

Estudo 1

5.1 Características e respostas fisiológicas obtidas no FIRP.

A primeira etapa desta tese objetivou desenvolver um protocolo para simular ou reproduzir as demandas de jogo do futsal, baseado em dados de análises de jogos (*time motion analysis*) apresentados na literatura para jogadores com idades entre 15-19 anos (DOGRAMACI; WATSFORD; MURPHY, 2011).

O protocolo desenvolvido, denominado *futsal intermittent shuttle-running protocol* (FIRP) teve duração de 19,3 minutos por bloco, assemelhando-se, portanto, da duração de uma partida de futsal de 40 minutos. A distância total percorrida no protocolo foi de 3436 m, próxima da verificada nas análises de jogo para esta categoria apresentada na literatura (DOGRAMACI; WATSFORD; MURPHY, 2011), distribuída proporcionalmente em diferentes intensidades (caminhada, trote, corrida de média e alta intensidade e *sprints*). Além da distância total percorrida, a distância percorrida por minuto no jogo é um importante indicador de intensidade (BARBERO-ALVAREZ et al., 2008). Verificou-se que durante o FIRP os jogadores percorreram 124,3 m por minuto, assemelhando-se às situações de jogo (± 130 m/min), conforme dados apresentados por Dogramaci, Watsford e Murphy (2011). Adicionalmente, uma importante característica das partidas de futsal é que mais de 20% da distância total percorrida é realizada em alta intensidade (i.e., corrida de alta intensidade e *sprints*) (BARBERO-ALVAREZ et al., 2008), sendo tal característica incorporada ao FIRP. Conforme informado no próprio nome do protocolo, estas atividades foram realizadas de modo intermitente e com mudança de sentido, respeitando, portanto, as características da modalidade.

O protocolo foi realizado em um circuito que possibilitava requisitar, além das demandas fisiológicas, também as especificidades dos fatores neuromusculares envolvidos nas ações do futsal. Uma importante característica do percurso foi a necessidade de realizar mudanças de sentido, tanto mais “abruptas” de 180° ao final do 15° m do percurso, quanto deslocamentos laterais ao meio do circuito e de costas no início do percurso. Nestas ações, principalmente nas mudanças de 180°, ocorrem constantes desacelerações e acelerações, exigindo dos atletas forças de frenagem seguidas de forças propulsivas (YOUNG; JAMES; MONTGOMERY, 2002; BRUGHELLI et al., 2008). Tem sido

relatado que a capacidade de mudar de sentido durante os deslocamentos (corrida, *sprints*) é considerada um importante requisito para o desempenho na maioria dos esportes coletivos, a exemplo do futsal (BRUGHELLI et al., 2008).

Algumas diferenças na quantidade e frequência de atividades realizadas no FIRP com os dados de demanda de jogo apresentado por Dogramaci, Watsford e Murphy (2011) foram verificadas. A distância percorrida realizando *sprints*, por exemplo, foi de 9,8% no FIRP, enquanto os autores supracitados contabilizaram menos de 3% da distância total realizando *sprints* em situação de jogo. Essa diferença deve-se principalmente em virtude de todas as ações do FIRP serem realizadas em um percurso com distância fixa, ou seja, uma repetição de *sprint* era de 15 + 15 m, ou seja, vai-e-vem no circuito, enquanto que a distância média de um *sprint* realizado em situação de jogo foi de aproximadamente 8 m (DOGRAMACI; WATSFORD; MURPHY, 2011). Assim, ao incorporar um *sprint* por serie no FIRP, a distância total realizando tal ação ficaria consideravelmente superior ao apresentado na situação de jogo (aproximadamente 80 m).

Outro fator distinto é a velocidade utilizada como referência para classificar o esforço como *sprint*, sendo estabelecido \geq que 18 km/h no FIRP vs 25 km/h utilizado por Dogramaci, Watsford e Murphy (2011). Durante a realização dos *sprints* foi solicitado ao atleta que realizasse o esforço na maior intensidade possível. Estabeleceu-se, com base em análises prévias de *sprints* realizados por tal público que 18 km/h seria uma velocidade mínima que poderia ser obtida na tarefa, para aquela distância. Assim, um tempo máximo (controlado por um “bipe”) foi estabelecido para completar uma repetição, porém, em função de ser um estímulo máximo, tempos inferiores poderiam ser executados. Durante o processo de construção do protocolo, verificou-se, com base em *sprints* realizados na distância de 15 m, que seria muito difícil para um sujeito alcançar a velocidade de 25 km/h (tanto média como máxima). É importante destacar que nas análises das demandas de jogo como a realizada por Dogramaci, Watsford e Murphy (2011) a distância média de um *sprint* com velocidade igual ou superior de 25 km/h é descrito como sendo de aproximadamente 8 m, porém, este sempre é precedido por um período de aceleração com velocidade inferior, que não é contabilizado como *sprint*.

A fim de avaliar ou quantificar a carga interna (nível de estresse imposto ao organismo induzido pelo exercício) ou então simplesmente a “intensidade de esforço” do protocolo desenvolvido, foram monitoradas as respostas fisiológicas dos jogadores durante o FIRP por meio de três

parâmetros: frequência cardíaca, concentração de lactato sanguíneo e percepção subjetiva do esforço. Estas variáveis têm sido comumente utilizadas para tal fim em esportes coletivos (IMPELLIZZERI et al., 2004; MILANEZ et al., 2012). A fim de fornecer evidências de validade do FIRP, ou seja, o quanto o mesmo é capaz de representar as demandas do futsal, as respostas fisiológicas obtidas no protocolo foram então comparadas, de modo qualitativo, com as obtidas em situação real de jogo apresentadas na literatura. Conforme relatado por Currel e Jeukendrup (2008), para ser uma simulação válida, o protocolo deve apresentar respostas fisiológicas similares com a de jogo. Tal abordagem já foi previamente utilizada na validade de protocolos para simulação das demandas do futebol (DRUST; REILLY; CABLE, 2000; NICHOLAS; NUTTALL; WILLIAMS, 2000).

A frequência cardíaca (FC) constitui-se em um dos indicadores mais utilizados para testar a intensidade do esforço e é considerado um método válido para utilização em jogos e treinos de futsal, segundo Castagna et al. (2007). A utilização da FC como indicador da intensidade baseia-se na correlação linear existente com o gasto energético e consumo de oxigênio (ROBERGS; LANDWEHR, 2002) e, de acordo com Bangsbo (1994), esta relação se mantém mesmo em atividades intermitentes.

Foram observados durante o FIRP valores médios de FC de 171 bpm, correspondendo a 87,4% da frequência cardíaca máxima prevista para a idade. Não foram observadas diferenças nos valores entre o primeiro e segundo bloco do protocolo, indicando que a intensidade do esforço foi mantida nos mesmos. Essa intensidade de exercício baseada na FC pode ser classificada como “muito vigorosa”, ou de alta intensidade, segundo Barbero-Alvarez et al. (2008). Os dados do presente estudo assemelham-se aos observados por Castagna et al. (2007) em partidas de futsal de categorias similares. No referido estudo, a frequência cardíaca foi analisada em jogadores jovens (idade média = $16,8 \pm 1,5$ anos) durante uma partida de futsal com duração de 30 min. Os valores médios obtidos na partida foram de 166 ± 13 bpm, correspondente a 84% da FC máxima individual, sendo, portanto, ligeiramente inferiores aos obtidos no FIRP.

No entanto, grande parte dos estudos descritos na literatura analisando demandas de jogo no futsal refere-se a atletas com idades/categorias superiores aos avaliados na presente investigação. Um exemplo é o estudo de Castagna et al. (2009) que monitoraram a frequência cardíaca de jogadores profissionais de futsal (idade = $21,4 \pm 1,6$ anos) durante jogos simulados com duração de 40 min (divididos em

4 x 10 min com cinco min de recuperação). Verificou-se que a frequência cardíaca atingiu 90% da máxima, sendo que os atletas permaneceram praticamente o tempo total de jogo (98%) em intensidade acima dos 80% da FC máxima, o que caracteriza o esforço de jogo como de alta intensidade.

Em dois estudos bastante similares foi monitorada a frequência cardíaca de jogadores profissionais espanhóis durante partidas oficiais de futsal. No estudo de Barbero-Alvarez et al. (2008) foram verificados valores médios de 174 bpm obtidos durante 4 partidas, correspondendo a 90% da frequência cardíaca máxima individual. De acordo com os autores, os atletas permaneceram acima de 85% da FC máxima por 83% do tempo total de jogo. Na outra investigação referida (BARBERO-ALVAREZ; GRANDA-VERA; HERMOSO, 2004), a frequência cardíaca média referente a 5 partidas oficiais foi reportada em 172,9 bpm, ou 89,5% da FCmax.

Nessa mesma perspectiva de avaliar a intensidade de jogo do futsal, Rodrigues et al. (2011) monitoraram a frequência cardíaca de 14 jogadores profissionais durante 13 partidas da liga nacional brasileira. De acordo com os resultados, os jogadores mantiveram a média da FC próxima a $86,4 \pm 3,8$ % da FCmax, o que correspondeu a $79,2 \pm 9,0$ % dos valores do VO_2 max. Em outra investigação, Medina et al. (2002) analisaram a frequência cardíaca de jogadores de futsal profissionais e não-profissionais durante três partidas oficiais. Os valores observados foram de 161,7 e 166,98 bpm para profissionais e não-profissionais, respectivamente. Os autores não reportaram os valores relativos de modo pontual, apenas relatam que os mesmos ficaram entre 85-90% da FCmax individual.

Além das análises em jogos de futsal, pode-se tomar como exemplo as demandas de outros esportes *indoor* que possuem características similares, a exemplo do basquete. Neste, a alta intensidade, a intermitência das ações e o tempo total de esforço são bastante similares ao futsal. McInnes et al.(1995) ao analisar a frequência cardíaca de jogadores masculinos de basquetebol treinados registaram uma intensidade média entre 87% e 89% da FC máxima durante jogos de basquetebol, o que se assemelha do observado para o futsal.

De modo geral, os valores de FC reportados na literatura obtidos em jogos de futsal estão em uma faixa média entre 85-90% da FC máxima, próximos dos valores obtidos no FIRP. Nestes casos, segundo Barbero-Alvarez et al. (2008), o exercício é considerado de alta intensidade e que, apesar da predominância aeróbia nas partidas de

futsal, há importante participação do metabolismo anaeróbio (MEDINA et al., 2002; BARBERO-ALVAREZ et al., 2008; CASTAGNA; BARBERO-ALVAREZ, 2010).

Apesar das facilidades e benefícios, quantificar a carga ou intensidade de exercício a partir das respostas cardiovasculares em atividades intermitentes com elevada contribuição do metabolismo anaeróbio, como o futsal, requer cautela. De acordo com Algroy et al. (2011), os intervalos de recuperação ou atividades de baixa/moderada intensidade entre os esforços de alta intensidade poderiam reduzir consideravelmente a frequência cardíaca média, conseqüentemente, subestimar a carga interna de trabalho gerado pelas ações de alta intensidade.

Outro indicador utilizado neste estudo para quantificar a intensidade de esforço ou carga interna do protocolo foi a concentração de lactato sanguíneo obtida durante o período de recuperação do FIRP. Este método é bastante utilizado para tal fim, principalmente em exercícios contínuos, porém tem sido também aplicado em esportes coletivos com características intermitentes (BANGSBO, 1994; DEUTSCH et al., 1998; CASTAGNA et al., 2009).

A concentração máxima de lactato verificada no presente estudo no período de recuperação após os blocos 1 e 2 do FIRP foi, em média, $5,12 \pm 0,85 \text{ mmol.L}^{-1}$. Valores bastante semelhantes ($5,3 \text{ mmol.L}^{-1}$) foram observados por Castagna et al. (2009) em jogadores profissionais (21,4 anos - intervalo de confiança entre 18,8-25,3 anos) após partidas simuladas de futsal. Com base nisso, os autores sugerem que o metabolismo anaeróbio pode ser um importante contribuinte para o fornecimento de energia durante os jogos de futsal. No entanto, é importante mencionar que este índice é um marcador limitado de intensidade de esforço, visto que durante exercícios intermitentes, como é o caso do FIRP, ocorre elevada taxa de produção de energia anaeróbia alática, o que eleva a intensidade do exercício sem elevar as concentrações de lactato sanguíneo.

Embora a contribuição anaeróbia láctica possa ser considerada próxima a “moderada” nestas situações com concentrações próximas a 5 mmol.L^{-1} , (BUCHHEIT; LAURSEN, 2013), tais valores são bem inferiores se comparados à aqueles observados após exercícios intermitentes puramente de alta intensidade, como uma seqüência de *sprints* repetidos. São reportados, por exemplo, concentrações acima de 10 mmol.L^{-1} após 6 *sprints* de 35 m com intervalo de 20 s realizados por jogadores de futebol (ZAGATTO et al., 2009; DAL PUPO et al., 2010) e valores acima de 12 mmol.L^{-1} após uma seqüência de *sprints* repetidos

com mudança de sentido ($6 \times [2 \times 12,5 \text{ m}]$ – intervalo 20 s) realizados por jogadores de futsal (DAL PUPO et al., 2013b). As concentrações mais baixas observadas no FIRP e após jogos de futsal (CASTAGNA et al., 2009) quando comparadas à situações puramente de *sprints* repetidos deve-se à existência de exercícios de baixa/moderada intensidade (trotos, caminhadas) entre as repetições realizadas em alta intensidade. Nestes casos, o sistema oxidativo possui grande contribuição no fornecimento de energia, podendo restaurar pelo menos parcialmente as fontes de fosfocreatina, o que conseqüentemente reduzirá a participação glicolítica no exercício (GAITANOS et al., 1993; BOGDANIS; NEVILL; BOOBIS, 1996).

Por último, avaliou-se também a percepção subjetiva de esforço (PSE) após o FIRP no intuito de quantificar a intensidade do esforço realizado. Esse método baseia-se no fato de que a intensidade de exercício está diretamente relacionada com a percepção de esforço, ou seja, a sensação do indivíduo de quão pesado, difícil, ou desgastante foi a tarefa (NAKAMURA; MOREIRA; AOKI, 2010). A validade deste método para utilização em esportes coletivos já foi evidenciada em estudos prévios por meio da relação verificada entre a PSE com métodos baseados na frequência cardíaca, a exemplo dos impulsos de treinamento (TRIMP), que integram volume e intensidade de exercício, a partir de respostas da frequência cardíaca (IMPELLIZZERI et al., 2004; MILANEZ et al., 2012). Além da frequência cardíaca, também foram estabelecidas relações da PSE com as concentrações de lactato sanguíneo (FOSTER et al., 2001) e o consumo de oxigênio mensurados durante o exercício (DELATTRE et al., 2006), reforçando assim a validade deste método.

A PSE média obtida no presente estudo recorrente do FIRP foi $6,1 \pm 0,8$ (em unidades adimensionais), o que classifica o exercício, de acordo com a escala de Foster (2001), entre “difícil” e “muito difícil”. Esta classificação pode ser justificada pelo fato que aproximadamente 30% das atividades realizadas no FIRP são consideradas de alta intensidade (*sprints* + corrida de AI), atividades estas que, segundo Nakamura, Moreira e Aoki (2010), elevam o nível de estresse fisiológico do organismo.

A PSE é utilizado em diversas modalidades desportivas a exemplo do futebol (IMPELLIZZERI et al., 2004), porém mais comumente para quantificar a carga durante o treinamento, sendo ainda pouco utilizado em situação de jogo desportivo coletivo. O estudo de Castagna et al. (2009) foi o único encontrado na literatura que avaliou a PSE durante uma partida de futsal. Nesse estudo, jovens jogadores de

futsal (idade média = $16,8 \pm 1,5$ anos) realizaram uma partida de 30 min, obtendo-se um escore de $4,1 \pm 0,8$ relatado pelos jogadores. Tal valor é consideravelmente mais reduzido daquele observado no presente estudo durante o FIRP. O futsal é uma modalidade intermitente que exige grande contribuição do metabolismo anaeróbio, com ações mais intensas do que no futebol e outros esportes coletivos (BARBERO-ALVAREZ et al., 2008), o que poderia justificar uma PSE mais elevada no referido estudo. De acordo com Castagna et al. (2009), a falta de experiência em responder à escala de percepção de esforço pode explicar os baixos resultados encontrados.

De modo geral, é possível verificar que os resultados de frequência cardíaca e concentração de lactato sanguíneo obtidos no FIRP assemelham-se dos verificados em situação de jogo apresentados na literatura. A PSE, embora tenha apresentado valores um tanto que superiores ao apresentado por Castagna et al. (2009), apresentou classificação “difícil” e “muito difícil”, o que estaria em concordância com a alta intensidade reportada para jogos de futsal (BARBERO-ALVAREZ et al., 2008). Com base nisso, pode-se dizer que o FIRP é capaz de representar as demandas fisiológicas do futsal.

Contudo, importante ressaltar que existem poucos estudos realizados com o futsal nesta perspectiva de analisar as demandas ou intensidade de jogo, principalmente para categorias sub-17 e sub-20. Isso acaba, de certa forma, limitando a comparação com os dados do presente estudo.

Estudo 2

5.2 Efeitos da fadiga induzida pelo protocolo FIRP sobre a produção de torque isocinético

O protocolo desenvolvido nesta investigação para reproduzir as demandas de jogo do futsal induziu os jogadores à fadiga, sendo a mesma refletida na redução da capacidade dos músculos flexores e extensores do joelho em produzir torque, tanto nas ações excêntricas quanto concêntricas. Apesar de este estudo ser o primeiro a investigar os efeitos da fadiga específica do futsal sobre a produção de força muscular, estudos prévios com design semelhantes já foram realizados analisando os efeitos da fadiga específica do futebol (RAHNAMA et al., 2003; GREIG, 2008; SMALL et al., 2010; CAMARDA; DENADAI, 2011), sendo observado resultados semelhantes aos obtidos no presente

estudo no que se refere aos efeitos da fadiga sobre a produção de torque.

Rahnama et al. (2003) analisaram o torque dos músculos flexores e extensores do joelho em jogadores de futebol antes, ao meio e ao final de um protocolo de fadiga realizada em esteira rolante em que simulava as demandas e intensidades de uma partida de futebol. Os autores verificaram reduções significativas do pico de torque dos músculos flexores e extensores do joelho durante o protocolo, tanto nas ações concêntricas quanto excêntricas. As perdas mais expressivas de torque foram percebidas nos músculos flexores do joelho, principalmente durante a ação excêntrica que, segundo os autores, deve-se possivelmente ao maior esforço realizado pelos músculos isquiotibiais para estabilizar o joelho no contato com o solo e gerar tração na impulsão durante os *sprints*. Adicionalmente, os autores relataram que a redução da força ao final do exercício pode ter implicações nas tarefas motoras realizadas durante o jogo, consequentemente levando os atletas a realizar ações menos eficientes e aumentar a susceptibilidade às lesões musculares.

Outros estudos (GREIG, 2008; CAMARDA; DENADAI, 2011) foram conduzidos posteriormente utilizando o mesmo protocolo de fadiga utilizado no estudo de Rahnama et al. (2003). Camarda e Denadai (2011) submeteram 21 jogadores profissionais, separados em dois grupos (com equilíbrio muscular entre flexores e extensores do joelho considerado normal e outro com desequilíbrio) a realizar o protocolo. Em oposição aos resultados de Rahnama et al. (2003), verificou-se que não houve alterações do torque concêntrico dos músculos flexores e extensores do joelho comparando antes e após a realização do exercício. Apenas redução do torque excêntrico dos flexores do joelho foi verificado ao final do protocolo, contudo somente no grupo com equilíbrio muscular. Desta forma, os autores concluíram que as alterações na produção de torque excêntrico foram dependentes do equilíbrio de força muscular agonista/antagonista existente entre os músculos flexores e extensores do joelho. Já no estudo de Greig (2008) 10 jogadores profissionais realizaram o protocolo, contudo foram realizadas avaliações de torque isocinético dos flexores/extensores do joelho a cada 15 min. Resultados semelhantes ao estudo de Camarda e Denadai (2011) foram obtidos, ou seja, não houve alterações do torque concêntrico dos músculos flexores e extensores do joelho ao longo do protocolo e o torque excêntrico dos flexores do joelho reduziu nos dois últimos blocos de 15 min do exercício.

Tais estudos supracitados reproduziram as demandas do futebol a partir de um protocolo realizado em esteira rolante, o que pode de certa forma, limitar as conclusões sobre os efeitos da fadiga oriundas das ações do futebol. Deste modo, Small et al. (2010) e Deletrat, Gregory e Cohen (2010) preocuparam-se em investigar os efeitos da fadiga do futebol a partir de protocolos mais específicos, realizados em campo, envolvendo mudanças de sentido e desacelerações. Small et al. (2010) analisaram as alterações na produção de torque em jogadores de futebol antes, ao meio e final de um protocolo de campo específico para a modalidade (SAFT⁹⁰). Dentre as ações concêntricas e excêntricas dos músculos flexores e extensores do joelho avaliados, verificou-se redução apenas do torque excêntrico dos flexores do joelho no decorrer do SAFT⁹⁰. Já Deletrat, Gregory e Cohen (2010) verificaram que, após realizarem outro protocolo específico do futebol, denominado “LIST”, os jogadores avaliados apresentaram redução tanto do torque concêntrico quanto excêntrico dos músculos flexores do joelho, bem como do torque concêntrico dos extensores do joelho em comparação aos valores de torque pré-protocolo.

De modo geral, apesar de certas divergências, é possível verificar e concluir que os protocolos que simulam as demandas do futebol provocam fadiga e, conseqüentemente, redução na capacidade produzir força, especialmente em ações excêntricas dos músculos isquiotibiais. Esses resultados têm sido associados com o aumento do risco de lesões musculares, mais especificamente estiramentos nos isquiotibiais nos estágios finais da partida de futebol, principalmente em ações explosivas como em *sprints* que demandam cargas excêntricas elevadas (WOODS et al., 2004; CROISIER et al., 2008; DELETRAT; GREGORY; COHEN, 2010).

Tais respostas anteriormente mencionadas se assemelham às observadas durante o protocolo de simulação das demandas do futsal realizado no presente estudo. Contudo, as perdas de força foram verificadas em ambos os grupamentos musculares avaliados (flexores e extensores do joelho) e em ambas as ações (concêntricas e excêntricas). Ainda, com exceção do TE_{CON} que reduziu ao meio e permaneceu inalterado ao fim do protocolo, os demais torques sofreram redução progressiva ao longo do FIRP, ou seja, as medidas da condição pré foram maiores que as centrais, sendo ambas maiores que as medidas finais. Assim, mesmo com a inclusão de um período de recuperação de 3 min dentro de cada bloco do protocolo (o que representaria a substituição do atleta em quadra durante uma partida), alterações na capacidade de produzir força ocorreram. Esses resultados sugerem que

as demandas do futsal parecem ser de alta intensidade e com grande incidência de fadiga.

As alterações na capacidade de produzir força poderão implicar no desempenho dos jogadores durante uma partida. A redução da força excêntrica dos extensores do joelho pode, por exemplo, implicar em menor capacidade de desacelerar ao final de um *sprint* envolvendo uma mudança de sentido, amplamente realizado no futsal. Da mesma forma, redução na capacidade de produzir forças concêntricas de extensores e flexores do joelho podem trazer prejuízos na propulsão do atleta durante a aceleração e para alcançar uma velocidade elevada durante um *sprint* (PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000). Ainda, a redução na produção de força de tais grupamentos musculares poderá causar implicações nas habilidades motoras tais como chutes, saltos, dribles, etc., levando os jogadores à maior susceptibilidade de erros com o aparecimento da fadiga no decorrer do jogo (RAHNAMA et al, 2003).

Adicionalmente, a redução dos torques em função da fadiga observada no FIRP pode ser considerada um fator de risco ou predisposição para possíveis lesões musculares. Tem sido postulado que em função da redução da força excêntrica, principalmente nos flexores do joelho, há um aumento do risco de lesões musculares no decorrer da partida (MAIR et al., 1996; RAHNAMA et al., 2003; GREIG, 2008). Esse risco tende a ser maior quando realizados *sprints* máximos, em que ocorre forte demanda de força excêntrica dos músculos isquiotibiais durante a fase de balanço da perna livre em preparação ao contato com o solo (SMALL et al., 2009).

Além do pico de torque, também foram analisadas no presente estudo as razões de torque entre os músculos flexores e extensores do joelho, que vem a representar o nível de equilíbrio muscular existente ao redor desta articulação. O desequilíbrio muscular em atletas tem sido um tema amplamente estudado nos últimos anos, especialmente em futebolistas, sobretudo pelo fato de ser considerado um fator em potencial para predisposição de estiramentos dos isquiotibiais, bem como ruptura do ligamento cruzado anterior do joelho (CROISIER et al., 2008; DELETRAT; GREGORY; COHEN, 2010). De acordo com Yeung, Suen e Yeung (2009), o risco de estiramentos nos isquiotibiais em corredores de velocidade é 17 vezes maior quando a razão convencional de torque ($F_{CON}:E_{CON}$) esta inferior a 0,60.

Tomando como referência a razão convencional de torque mensurada no pré-teste (condição de *baseline*), os atletas avaliados apresentaram valores médios de $0,63 \pm 0,081$ (figura 12). De acordo com classificação apresentada por Camarda e Denadai (2011),

indivíduos podem ser considerados com equilíbrio muscular entre flexores/extensores do joelho apresentando valores entre 0,61 – 0,7. Assim, os atletas avaliados neste estudo apresentavam condição normal de equilíbrio antes da exposição à fadiga do protocolo.

Conforme verificado no presente estudo, a fadiga gerada durante o FIRP provocou alterações tanto na razão convencional quanto na razão funcional (F_{EXC} : E_{CON}) de torque, sendo verificados menores valores ao final do segundo bloco do FIRP quando comparados aos valores pré. Resultados similares foram verificados em estudos prévios (RAHNAMA et al., 2003; DELEXTRAT; GREGORY; COHEN, 2010; CAMARDA; DENADAI, 2011) realizados com jogadores de futebol. Tais estudos também mostraram que houve redução tanto da razão funcional quanto convencional de torque após um protocolo de fadiga que simulava as demandas fisiológicas de uma partida de futebol. Outros estudos com *design* bastante semelhante (GREIG, 2008; SMALL et al., 2010) mostraram, entretanto, que a fadiga específica do futebol parece reduzir apenas a razão funcional de torque ao final do protocolo.

A razão convencional de torque tem sido tradicionalmente utilizada para avaliar o desequilíbrio entre os músculos anteriores e posteriores da coxa, sendo considerado um índice preditor de lesão muscular e utilizado no controle de programas de reabilitação (COOMBS; GARBUTT, 2002). No entanto, recentemente tem sido proposto que a razão funcional de torque seria mais específica para representar as ações de jogo como *sprints* e chutes, em que os isquiotibiais agem excentricamente para controlar o movimento de extensão de joelho ocasionado pela ação concêntrica do quadríceps (DELEXTRAT; GREGORY; COHEN, 2010; CAMARDA; DENADAI, 2011).

De modo geral, a redução tanto na razão funcional quanto convencional de torque verificada no presente estudo indica que um maior efeito da fadiga foi percebido nos isquiotibiais quando comparado ao quadríceps. Isso sugere que maiores tensões e até possivelmente danos estruturais incidiram sobre os isquiotibiais na realização das ações de elevada intensidade do protocolo, tais como os *sprints*. A maior fadiga nos isquiotibiais também pode ser explicada pela distribuição do tipo de fibras nestes grupamentos musculares. Segundo Garret, Califf e Bassett (1984) os músculos isquiotibiais possuem maior proporção de fibras rápidas, o que os possibilita realizar esforços de alta potência, porém, ao mesmo tempo irão apresentar maior nível fadigabilidade.

A redução na razão funcional de torque observada no presente estudo ao final do FIRP quando comparado com as medidas pré indica

que os músculos flexores do joelho reduziram a capacidade de produzir força excêntrica com a fadiga em maior proporção que os extensores do joelho em produzir força concêntrica (13% vs 6%, respectivamente). Apesar das ações realizadas durante o FIRP demandar tanto forças excêntricas quanto concêntricas, parece que os níveis de fadiga e dano muscular causado por este tipo de atividade envolvendo ações combinadas excêntricas/concêntricas (i.e., ciclo alongamento-encurtamento) como observadas na corrida, refletem em maior redução na capacidade de produzir força excentricamente quando comparado ao modo concêntrico. Isto porque maior sobrecarga é imposta durante uma ação excêntrica, ocasionando maior stress mecânico nas estruturas musculares (BYRNE; TWIST; ESTON, 2004). Esse desequilíbrio excêntrico/concêntrico terá então uma implicação importante, por exemplo, nos *sprints* realizados ao final do jogo. Nesta situação, os isquiotibiais não terão força suficiente ou proporcionalmente suficiente para desacelerar o movimento da perna livre (extensão do joelho) durante a fase de balanço causado pela ação concêntrica do quadríceps. Esse desequilíbrio nesta fase da passada da corrida levará a uma menor estabilização na articulação do joelho no contato com o solo, diante disso, tem sido considerado um forte indicador ou fator de risco de lesão muscular, especialmente dos isquiotibiais (SMALL et al., 2009).

No presente estudo também foi analisado as possíveis alterações no ângulo correspondente ao pico de torque durante o FIRP. O ângulo do joelho, neste caso, pode indicar o comprimento em que os músculos envolvidos no movimento (flexores e extensores do joelho) estariam produzindo maior torque. De acordo com Bobbert et al. (2008), movimentações segmentares e articulares refletem na relação comprimento-tensão dos músculos e conseqüentemente na geração de força. Todo músculo ou grupo muscular irá gerar a maior tensão em um comprimento ótimo, situação em que o “maquinário contrátil” encontrará condições ideais para gerar força (GORDON; HUXLEY; JULIAN, 1966). No entanto, quando as fibras musculares encontram-se em comprimentos muito encurtados ou então muito alongados há menor interação entre as pontes cruzadas, diminuindo a capacidade de produção de força (GORDON; HUXLEY; JULIAN, 1966; RASSIER; MACINTOSH; HERZOG, 1999).

No presente estudo, a única alteração verificada foi no ângulo em que ocorreu o pico de torque excêntrico dos flexores do joelho ($A_{PTF_{EXT}}$), verificando-se aumento deste ângulo ao final do FIRP. Isto significa que tais músculos passaram a realizar sua maior tensão (torque) em um comprimento muscular menor em função da fadiga. Resultado

similar foi encontrado por Small et al. (2010) em jogadores de futebol após realizarem o protocolo de fadiga (SAFT⁹⁰), porém os autores também verificaram alterações nos ângulos relativos ao pico de torque concêntrico dos flexores e extensores do joelho após o SAFT⁹⁰.

Existem diversas teorias e explicações sobre o real significado ou implicação das alterações do comprimento muscular ótimo de produção de força. De acordo com Proske et al. (2004), o ângulo do pico de torque é um excelente indicador da ocorrência de dano muscular gerado pelo exercício, sendo que comprimentos musculares mais longos estão normalmente associados com grande dano muscular (MORGAN ; PROSKE, 2004). Por outro lado, um comprimento ótimo mais curto que o normal significa que uma maior amplitude de trabalho muscular está na parte descendente da curva da relação comprimento tensão, que é a região de maior instabilidade e que também é susceptível a dano muscular (PROSKE et al., 2004).

Este aspecto parece ter uma importante implicação para o risco de lesões. Conforme evidenciado por Proske et al. (2004), o ângulo ótimo de produção de torque avaliado em dinamômetro isocinético em atletas com lesão muscular prévia foi significativamente mais curto do que o observado em atletas sem lesões prévias. No presente estudo, o fato dos atletas passarem a produzir o pico de torque excêntrico dos flexores do joelho em um comprimento muscular menor ao final do FIRP pode representar que estariam em uma situação de maior susceptibilidade de lesões em tais músculos naquele momento.

Sabe-se que o efeito da fadiga sobre a produção de força é dependente, dentre diversos fatores, do nível de treinamento do indivíduo (MILLET; LEPERS, 2004). Nesse sentido, procurou-se neste estudo selecionar um grupo de atletas com características de treinamento homogêneas, engajados em treinamento regular e sistemático, com frequência mínima de treinamento 3 vezes/semana, o que possibilita credenciá-los como “treinados”. No entanto, apresenta-se como uma limitação deste estudo o fato de não ter sido realizado um teste de esforço máximo para determinação de variáveis como VO₂max, que apontaria como melhor propriedade o nível de treinamento físico dos atletas avaliados.

Por fim, importante comentar que, apesar desta investigação não ter objetivado e nem possuir dados que possam pontuar sobre as causas da fadiga observada no FIRP, evidências apresentadas na literatura mostram que a natureza da fadiga que ocorre em exercícios prolongados e intermitentes, como é o caso do FIRP, está ligada principalmente à redução dos estoques de glicogênio muscular

(BANGSBO, 1994). De acordo com o autor, as fibras rápidas que são frequentemente recrutadas durante as ações de jogo tornam-se depletadas primeiro, o que acaba reduzindo o número de fibras musculares que poderiam ser recrutadas para compensar a perda de força. Ainda, Bangsbo (1994) relata que a fadiga neste tipo de exercício possa estar relacionada à alterações nas funções do retículo sarcoplasmático.

5.3 Efeitos da fadiga induzida pelo FIRP sobre o desempenho e variáveis cinemáticas da corrida durante *sprints*

Está descrito que as perdas potenciais da capacidade de gerar força devido à fadiga podem ter implicações para o desempenho esportivo (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003). Nesse sentido, um dos objetivos do presente estudo foi analisar a influência do FIRP sobre o desempenho (tempo e velocidade) em *sprints* de 10 e 20 m. O desempenho na primeira distância costuma ser utilizado para representar puramente a capacidade de aceleração do atleta, enquanto que na segunda objetiva-se avaliar a capacidade do atleta em desenvolver maiores velocidades de corrida, possivelmente velocidade quase máxima considerando a distância analisada (MURPHY; LOCKIE; COUTTS, 2003).

Quando comparado aos valores iniciais (pré), verificou-se redução do desempenho nos *sprints* de 10 m somente ao final do protocolo, enquanto que nos 20 m ocorreu redução ainda no meio do FIRP. Tais dados sugerem que os efeitos da fadiga afetam mais tardiamente o desempenho em *sprints* curtos em que predomina grande aceleração quando comparado à *sprints* em que maiores velocidades de corrida são alcançadas. Os *sprints* possuem destacada importância para o desempenho no futsal, visto que normalmente precedem as principais e decisivas ações de jogo (SPENCER et al., 2005). Assim, pode-se dizer que o desempenho no futsal poderá sofrer prejuízos no decorrer da partida em virtude dos processos de fadiga que ocorrem.

Nos últimos anos tem-se percebido um crescente interesse em investigar os efeitos da fadiga na capacidade de gerar potência e no desempenho de atividades esportivas de alta intensidade, a exemplo em *sprints* (PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000; GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011; MORIN et al. 2011). No entanto, tais estudos tem analisado os efeitos da fadiga sobre o desempenho em *sprints* utilizando protocolos que não representam demanda similar à

presente nos esportes, considerando, além do tipo de ação realizada, o volume e intensidade de trabalho.

Por outro lado, alguns pesquisadores preocuparam-se em verificar os efeitos da fadiga no desempenho em *sprints* a partir de protocolos específicos que representem as demandas esportivas. Nessa perspectiva de investigação, Small et al. (2009) analisaram o desempenho em *sprints* de 10 m a cada 15 min de um protocolo de 90 min de corrida intermitente e multidirecional que simulava as demandas de uma partida de futebol (SAFT⁹⁰). Os autores verificaram queda no desempenho nos estágios finais do protocolo. Contudo, o presente estudo é o primeiro a investigar os efeitos da fadiga específica do futsal sobre o desempenho em ações de jogo como os *sprints*.

Buscando explicações ou causas da redução do desempenho nos *sprints* de 10 e 20 m com a fadiga, são encontradas evidências de que tal fenômeno deve-se, primariamente, à redução na produção de força e prejuízos das funções musculares (ESTON; BYRNE; TWIST, 2003). Assim, a queda do desempenho dos atletas do presente estudo nos *sprints* pode ser atribuída à redução na capacidade dos músculos flexores e extensores do joelho em produzir força. Conseqüentemente, está descrito na literatura que uma série de alterações cinéticas (GIRARD; MICALLEF; MILLET, 2011; MORIN et al. 2011) e cinemáticas do movimento são percebidas (PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000; SMALL et al., 2009), o que acaba refletindo diretamente sobre a técnica da corrida.

Analisando a técnica exclusivamente sob o ponto de vista cinemático, Rocha Jr (2006) aponta que os indicadores diretos do desempenho são aquelas variáveis mais frequentemente usadas para descrever o desempenho global na corrida, tais como a frequência e amplitude de passada e as variáveis temporais tempo de suporte (TF_{SU}) e tempo de fase aérea (TF_{AE}). Estas duas últimas variáveis temporais, que são importantes preditores de desempenho e eficiência técnica na corrida (STOFELLS et al., 2007), não sofreram alterações com a fadiga gerada pelo protocolo específico do futsal. Já Tartaruga et al. (2003) verificaram que ao final de uma corrida de velocidade de 100 m, corredores velocistas apresentaram aumento do tempo da passada em suporte, o que foi atribuído pelos autores à redução da potência muscular em função da fadiga.

Por outro lado, o FIRP ocasionou redução da frequência do passo (FP). Esta parece ser uma das principais alterações cinemáticas decorrentes da fadiga que contribuíram para a redução do desempenho nos *sprints*, visto que a FP juntamente com a amplitude da passada (AP)

são os determinantes finais da velocidade de corrida (Velocidade = FP x AP) (HAY, 1981). A fadiga gerada no FIRP, no entanto, parece ter afetado mais precocemente (ainda no meio do protocolo) a FP nos *sprints* de 20 m, enquanto que nos *sprints* de 10 m apenas ao final do protocolo são observadas alterações nesta variável. Tais resultados ajudam a explicar o fato dos efeitos da fadiga afetar mais tardiamente o desempenho nos *sprints* curtos (10 m). Comparando com dados da literatura, Pinniger, Steele e Groeller (2000) também verificaram redução da FC em um *sprint* de 40 m quando comparado pré e pós-fadiga induzida nos músculos isquiotibiais por ações específicas de corrida (10 *sprints* máximos de 40 m) e por ações concêntricas e excêntricas em um aparelho de musculação.

A FP é uma variável que depende fundamentalmente de estímulos do sistema nervoso central e da potência gerada pelos músculos (MERO; KOMI, 1987; SEAGRAVE, 1996; COH; MILANOVIC; KAMPMILLER, 2001). Assim, os principais fatores que podem explicar a redução da FP em decorrência da fadiga possivelmente estejam relacionados a incapacidade de gerar potenciais de ação repetidamente requeridos em exercícios máximos. Isso acaba comprometendo o processo de excitação-contração das fibras musculares de contração rápida e a consequente produção de potência muscular (GREEN, 1997).

Diversos estudos foram realizados (BROCHADO; KOKUBUN, 1997; MIZRAHI et al., 2000; PINNIGER; STEELE; GROELLER, 2000; TARTARUGA et al., 2003) em que se analisou as modificações da amplitude e frequência de passada a partir de diversos protocolos de fadiga. Os resultados provenientes de tais investigações demonstraram a possibilidade de estratégias variadas no que diz respeito a alterações na técnica (em termos de AP e FP) para compensar a fadiga e/ou manter a eficiência de movimento. Nesse sentido, uma importante questão a ser levantada é se as alterações induzidas pela fadiga na técnica de corrida são resultado de uma falha em manter uma mecânica ótima ou são as formas como os indivíduos se adaptam à fadiga para manter a eficiência o quanto possível.

Dentre as variáveis angulares analisadas, apenas o ângulo da coxa no instante de impulsão (AC_{IMP}) nos *sprints* de 20 m apresentou alteração em decorrência da fadiga gerada pelo FIRP. A angulação da coxa com a horizontal é um importante parâmetro de desempenho na corrida de velocidade visto que uma boa elevação da coxa livre permite ao atleta posicionar corretamente o pé para o contato com o solo, dando início à próxima fase de apoio (HAY, 1981). Os maiores ângulos

verificados ao meio e ao final do FIRP quando comparados aos valores pré-protocolo indicam que os atletas elevaram menos a coxa nestas situações. Este fato pode ser ocasionado pela redução na capacidade de produzir força dos músculos flexores do quadril, porém não avaliados neste estudo, ou então, em decorrência do antagonismo dos músculos extensores do quadril devido à fadiga (SMALL et al., 2010).

Ao contrário dos resultados do presente estudo, estudos prévios (PINNIGER, STEELE; GROELLER, 2000; SMALL et al. 2009) verificaram alterações no ângulo do joelho durante *sprints* realizados em condição de fadiga. Small et al (2009) submetem nove jogadores de futebol a realizarem um protocolo de fadiga (SAFT⁹⁰) que simulasse as demandas de uma partida de futebol. Foram analisados parâmetros cinemáticos em um *sprint* de 10 m, realizados a cada 15 min do SAFT⁹⁰. Verificou-se diminuição do ângulo de extensão máxima do joelho no instante de impulsão durante os *sprints* ao longo do SAFT⁹⁰. De acordo com os autores, essas alterações puderam evidenciar que o protocolo simulando a partida de futebol causa fadiga, ocasionando consequentemente modificações na técnica de corrida. No outro estudo, Pinniger, Steele e Groeller (2000) submetem 12 jogadores de futebol a um protocolo de fadiga, porém não com ações específicas da modalidade, sendo analisada a cinemática da corrida durante *sprints* de 40 m realizados antes e logo após o protocolo de fadiga. Em oposição aos resultados de Small et al. (2009), verificou-se aumento no ângulo de máxima extensão do joelho durante a impulsão após a fadiga, o que, segundo os autores, pode ser resultado da capacidade reduzida dos isquiotibiais fadigados limitar o ponto final do movimento angular do joelho.

Um importante resultado observado no presente estudo foram as alterações nas velocidades angulares da coxa (VA_{COXA}) na fase de suporte (fase propulsiva) e da perna livre (VA_{PERNA}) na fase final de balanço. Em relação à VA_{COXA} , verificou-se redução da mesma nos *sprints* de 20 m realizados ao final do FIRP quando comparado aos valores pré. Essa alteração cinemática possivelmente seja um dos fatores que contribuiu para a redução do desempenho nos *sprints* de 20 m ao final do FIRP, visto que a extensão “vigorosa” do quadril na fase de propulsão é um importante elemento técnico para propiciar aceleração horizontal do corpo durante a corrida (WIEMANN; TIDOW, 1995; NOVACHEK, 1998). Nessa fase do ciclo de passada, os isquiotibiais são considerados um dos grupos musculares motores primários do movimento e que, por serem biarticulares, atuam paradoxalmente como extensores do quadril e flexores do joelho. Os resultados desta

investigação mostraram que, em função da fadiga, tais músculos estão com a capacidade de produzir torque concêntrico diminuída em 14% ao final do protocolo quando comparado aos valores de base. Como consequência, neste momento final do exercício uma menor velocidade angular da coxa no sentido posterior pode ser verificada, o que pode representar uma extensão do quadril menos “vigorosa” durante a corrida.

Importante destacar que esta redução na velocidade angular da coxa não foi verificada ao final do FIRP nos *sprints* de 10 m, apesar dos músculos isquiotibiais estarem com a capacidade de gerar torque reduzida. Uma possível explicação seria que, em *sprints* curtos em que predomina uma grande aceleração, como é o caso nos 10 m, os músculos isquiotibiais teriam menor participação na geração do movimento (SLEIVERT; TAINGAHUE, 2004). De acordo com os autores, em função do posicionamento corporal assumido em tais *sprints* ocorre menor amplitude de deslocamento angular do quadril, o que acaba destacando o papel principal da ação concêntrica dos músculos extensores do joelho (i.e., quadríceps) na geração das forças propulsivas. O TE_{CON} , apesar de reduzir significativamente ao final do FIRP, foi o que apresentou a menor redução percentual de força (6%) entre início e fim do protocolo dentre as ações (excêntrica e concêntrica) e grupos musculares (flexores e extensores do joelho) avaliados, o que pode explicar este resultado.

Em relação à VA_{PERNA} na fase de balanço, verificou-se um aumento da mesma ao final do FIRP, tanto nos *sprints* de 10 quanto de 20 m. Este aumento da VA_{PERNA} possivelmente esteja ligado à redução do torque excêntrico dos músculos flexores do joelho, especialmente os isquiotibiais, verificado no presente estudo. Isso por que a ação excêntrica deste grupo muscular possui uma importante função na corrida, desacelerando o movimento da perna para frente (na direção da corrida) e controlando a extensão do joelho durante a fase final de balanço da perna livre em preparação ao contato com o solo (STANTON; PURDAM, 1989; NOVACHEK, 1998). Desta forma, a redução da capacidade em produzir torque excêntrico dos isquiotibiais verificada ao final do FIRP em função da fadiga pode prejudicar esta função durante a corrida.

Este quadro acima descrito pode ter implicações em dois aspectos: o primeiro trata-se de um possível prejuízo ao desempenho, visto que, neste momento do ciclo da passada, a perna é preparada para sofrer o peso do corpo na fase de suporte e evitar ao máximo as forças de frenagem (HAY, 1981). Com a presença da fadiga e aumento da

velocidade angular da perna momentos antes do contato com o solo, esse controle poderá ser afetado.

O segundo aspecto está relacionado com a possível incidência de lesões musculares. O *sprint* é geralmente reportado como o mecanismo primário de estiramento muscular dos isquiotibiais em jogadores de futebol e futsal (WOODS et al., 2004). Normalmente, a fase final de balanço da perna livre é o momento mais vulnerável durante o ciclo da passada a sofrer tais lesões musculares, em que os isquiotibiais agem excêntrica para desacelerar a perna e controlar a extensão do joelho (NOVACHEK, 1998; PINNEGER; STEELE; GROELLER, 2000). Woods et al. (2004) reportaram que 57% dos estiramentos nos músculos isquiotibiais em jogadores de futebol ocorreram enquanto realizam *sprints*, sendo aproximadamente metade destas lesões ocorrendo nas partes finais dos tempos de jogo. Desta forma, os autores concluem que parece lógico assumir uma relação entre realizar *sprints* em condição de fadiga e o aumento de risco de lesões musculares.

No presente estudo, a redução da força excêntrica dos isquiotibiais e o aumento da VA_{PERNA} nos *sprints* ao final do FIRP podem ser então considerados fatores de risco para o surgimento de estiramento muscular dos isquiotibiais em jogadores de futsal. Resultados semelhantes foram obtidos por Small et al. (2009) os quais verificaram, dentre as variáveis cinemáticas analisadas, um aumento da velocidade da perna na fase de balanço ao final de um protocolo que simulava as demandas de jogo do futebol (SAFT⁹⁰). Com isso, os autores sugerem que a fadiga gerada pelas ações específicas do futebol prejudica a função dos isquiotibiais em desacelerar a perna na fase de balanço durante *sprints* e assim evitar o risco de lesão. Por outro lado, Pinneger, Steele e Groeller (2000) obtiveram resultados opostos, em que uma diminuição da VA_{PERNA} foi verificada após um protocolo de fadiga realizado por jogadores de futebol. Contudo, tal protocolo não representava as ações específicas da modalidade, o que pode explicar tais divergências.

Adicionalmente, os estudos realizados comumente enfocam a análise somente em distâncias ou instantes de velocidade máxima dos *sprints*, não sendo apresentadas informações acerca dos efeitos da fadiga durante as fases de aceleração, considerada de grande importância nos esportes coletivos como o futsal (MURPHY; LOCKIE; COUTTS, 2003).

5.4 Efeitos da fadiga induzida pelo FIRP sobre a coordenação intrasegmentar

A fase relativa contínua (FRC) foi utilizada no presente estudo como uma medida para representar a coordenação intrasegmentar durante a corrida em uma abordagem de sistemas dinâmicos, que considera as relações entre fases do movimento ou fase relativa entre segmentos corporais. Quanto mais próximos de zero estão os valores de FRC mais “em fase” podem ser considerados os segmentos, ou seja, com deslocamentos angulares sincronizados/coordenados. À medida que a FRC aumenta, os segmentos passam a ficar mais “fora de fase”, diminuindo o sincronismo, sendo o valor máximo 180° (HAMILL et al., 1999).

De maneira geral, pode-se verificar em uma análise descritiva das figuras 13 - 18, que os três acoplamentos analisados (coxa-tronco; perna-coxa e pé-perna) estiveram mais “em fase” durante a fase de recuperação e mais “fora de fase” na fase de suporte da passada. Ainda, é possível observar que o maior valor dentro da curva da FRC, para todos os acoplamentos, encontra-se ligeiramente antes do final da fase de suporte. Assim, este instante em que ocorre a impulsão ou a saída do pé do solo pode ser considerado como o de maior “instabilidade” durante o ciclo da passada nos *sprints*. Tais resultados estão em concordância com o estudo de Dierks e Davis (2007) em que utilizaram a FRC para examinar a coordenação entre articulações do membro inferior durante uma corrida de fundo. Reportou-se que os instantes de maior “descoordenação” ou mais instáveis (fora de fase) da passada estavam no momento da impulsão e de contato com o solo.

Um dos objetivos do presente estudo foi verificar “se” ou “como” o padrão de coordenação intrasegmentar nos *sprints* seria modificada pela fadiga específica do futsal. A análise de como o sistema neuromuscular reorganiza a coordenação dos movimentos segmentares durante os *sprints* realizados em condição de fadiga podem fornecer importantes informações para entender o controle motor em tais movimentos, conforme evidenciado por Rodacki, Fowler e Bennett (2001). Assim, a FRC dos segmentos coxa-tronco, perna-coxa e pé-perna foram comparados nos instantes pré, meio e final do FIRP. Considerando que o movimento segmentar é, em última instância, determinado pela força muscular, poderia ser esperado que alterações ou uma reorganização no movimento segmentar ocorra quando a capacidade de gerar força está diminuída em função da fadiga. Contudo,

os resultados apontaram que não houve alterações da FRC com a presença da fadiga gerada pelo FIRP.

A principal teoria que pode explicar tais resultados é que parece existir um padrão pré-programado de estimulação neural que não é facilmente modificado, mesmo com a capacidade de gerar força reduzida (BOBBERT; VAN SOEST, 1988; RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2001). Nestes casos, mudanças no padrão de coordenação com a fadiga não ocorreriam. Contudo, poucos estudos investigaram os efeitos da fadiga sobre a coordenação, sendo que as únicas evidências observadas até então foram em estudos realizados com saltos verticais (RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2001; RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2002, DAL PUPO et al., 2013a). Para o nosso conhecimento, este foi o primeiro estudo a investigar os efeitos da fadiga sobre a coordenação intrasegmentar em *sprints*.

Rodacki, Fowler e Bennett (2001) não encontraram diferenças na coordenação dos membros inferiores no salto vertical comparando antes e depois de um protocolo de fadiga envolvendo saltos verticais contínuos. No entanto, a coordenação não foi analisada por meio da FRC, mas com outra técnica que considera o tempo de início de extensão de cada articulação. A hipótese proposta pelos autores para explicar esses resultados é a existência de um padrão de estimulação pré-programado ou um padrão robusto, que orienta a execução do movimento por um conjunto fixo de comandos (*input* neural), independentemente das mudanças impostas nas propriedades de geração de força muscular (VAN ZANDWIJK; BOBBERT; MUNNEKE, 2000). Resultados semelhantes que corroboram esta hipótese foram encontrados por Dal Pupo et al. (2013a), os quais verificaram não existir alterações na coordenação intrasegmentar dos membros inferiores (neste caso mensurada por meio da FRC) comparando o início e o fim de um protocolo de 30 s de saltos verticais contínuos máximos.

Outras evidências acerca dos efeitos da fadiga sobre a coordenação intrasegmentar foram apontadas por Rodacki, Fowler e Bennett (2002) analisando o sinal eletromiográfico dos músculos flexores e extensores do joelho durante um salto vertical (CMJ) realizado antes e após uma tarefa de fadiga. Verificou-se que houve redução da força dos músculos e aumento do sinal eletromiográfico no CMJ nas medidas pós-fadiga, porém, o padrão temporal do sinal permaneceu inalterado, indicando que a coordenação intramuscular dos músculos flexores e extensores do joelho durante o CMJ não se modificou na condição fadigada. A explicação para tal resultado foi atribuída à existência de um drive comum (um gerador de padrão

movimento) que controla a atividade de pares de músculos agonistas/antagonistas por um único *input*, tratando os dois grupos musculares como uma entidade funcional única (PSEK; CAFARELLI, 1993). Assim, no salto vertical a atividade neural dos flexores e extensores do joelho (músculos que atuam no movimento) seria controlada por esse *drive* único, independente se um destes grupos musculares esteja em fadiga (RODAKI; FOWLER; BENNETT, 2002).

No entanto, a ocorrência deste mecanismo neural parece ser observada basicamente em movimentos realizados em máxima intensidade em termos de exigência neuromuscular (popularmente conhecidos como movimentos “explosivos”), como é o caso de um salto vertical ou um *sprint*. Segundo Van Zandwijk, Bobbert e Munneke (2000), em tais ações utiliza-se um único conjunto de sinais neurais de controle que possibilitam produzir ou desenvolver o máximo desempenho. Contudo, quando esta mesma tarefa é realizada em intensidade submáxima tal característica parece não ser observada, visto que o sistema neural pode encontrar diferentes estratégias para resolver/realizar a tarefa em questão.

Ferber e Pohl (2011) conduziram um estudo cujo objetivo foi investigar os efeitos da fadiga muscular localizada no tibial posterior sobre a coordenação intrasegmentar entre pé e perna (mensurada por meio da plotagem ângulo-ângulo) durante um movimento não explosivo, a caminhada. Ao contrário do observado no presente estudo, houve significantes alterações no padrão de acoplamento segmentar pé-perna quando os músculos tibiais posteriores tiveram sua capacidade de produzir força reduzida. Neste caso, diferentemente dos *sprints* ou possivelmente qualquer outro exercício máximo, a condição de força dos músculos parece interferir no padrão de coordenação e os *inputs* neurais serem modificados com a presença da fadiga.

De modo geral, os resultados do presente estudo permitem afirmar que a redução do desempenho nos *sprints* no decorrer do FIRP não foi em decorrência de alterações no padrão de coordenação. Tal fato deve-se, sobretudo, à redução na capacidade funcional dos músculos em produzir força. Nesse sentido, realizar treinamentos para aumentar a resistência na capacidade de produzir força parece primordial. Kraemer et al. (2002) sugere, alternativamente, que treinar em condição de fadiga pode ser uma importante estratégia para preservar a força muscular, ao mesmo tempo em que é possível manter estável o padrão de coordenação dos segmentos corporais durante a corrida.

Apesar de não ter sido analisada no presente estudo, é importante destacar que a variabilidade intra-sujeito da FRC também pode ser uma importante variável para auxiliar na compreensão do controle motor em sistemas dinâmicos (MILLER et al., 2008) e sua relação com a fadiga. Tem sido postulado que baixa variabilidade na coordenação entre segmentos durante uma exercício cíclico como a corrida seria um indicador de uma condição mais susceptível à lesões, enquanto que indivíduos com maior variabilidade na FRC apresentariam menor fator de risco (HAMILL et al., 1999; DIERKS; DAVIS, 2007). De acordo com Hamill et al. (1999), a maior variabilidade da FRC indicaria que houve várias combinações de padrões de acoplamento que podem ser utilizados no exercício realizado. Isto é considerada uma importante estratégia de controle porque possivelmente nenhum dos tecidos moles sejam repetidamente estressados durante o movimento cíclico, o que poderia levar à uma lesão por sobre uso.

Poucos estudos investigaram a variabilidade da FRC em ações esportivas e sua relação com a fadiga, sendo os resultados ainda inconclusivos. Miller et al. (2008) verificaram que a fadiga não provocou alterações na variabilidade da FRC dos segmentos dos membros inferiores analisada ao longo de uma corrida até a exaustão. Por outro lado, evidências obtidas a partir de estudos realizados na marcha (FERBER; POHL, 2011) e em saltos verticais contínuos (DAL PUPO et al., 2013a) apontam que maior variabilidade da coordenação é verificado ao final do exercício em condição fadigada, quando comparado ao início do exercício. Isso indicaria que uma adaptação ou novas estratégias de controle motor ocorreriam com a fadiga como um mecanismo protetor contra lesões causadas por estresse repetitivo. Considerando a relevância destes fatos, a variabilidade da FRC deve ser futuramente investigado nos *sprints*.

Por fim, importante mencionar como uma limitação do presente estudo a realização da análise cinemática somente de modo bidimensional. Possivelmente, demais ajustes ou alterações cinemáticas provocadas pela fadiga durante os *sprints* poderiam ser percebidos em outros planos do movimento. Ainda, a videografia tridimensional possibilitaria a análise da coordenação entre segmentos (direito x esquerdo), sendo assim uma sugestão de análise em futuros estudos.

6. CONCLUSÕES

Com base no que foi proposto e respeitando as delimitações e limitações desta tese, chegaram-se as seguintes conclusões:

✓ Em relação ao protocolo desenvolvido, é possível concluir que o mesmo é uma ferramenta válida para simular as demandas do futsal, visto que as respostas fisiológicas (frequência cardíaca, concentração de lactato sanguíneo e percepção de esforço) obtidas no mesmo foram similares às reportadas na literatura durante partidas de futsal.

✓ Ao investigar os efeitos da fadiga gerada pelo FIRP sobre a produção de torque isocinético, conclui-se que ocorreu redução tempo-dependente do torque flexor e extensor do joelho, tanto nas ações concêntricas quanto excêntricas. As reduções percentuais do torque foram mais acentuadas nos músculos flexores quando comparado aos extensores do joelho, o que conseqüentemente acarretou em redução na razão convencional de torque ($F_{CON} : E_{CON}$) ao final do FIRP, o mesmo ocorrido com a razão funcional de torque ($F_{EXC} : E_{CON}$). A redução nestas razões aponta desequilíbrio muscular ao final do protocolo em decorrência da fadiga gerada pelas ações específicas do futsal.

✓ Os resultados da presente investigação indicaram que o protocolo de simulação das demandas do futsal provocou alterações tempo-dependente no desempenho (i.e., velocidade média ou tempo) em *sprints* de 10 e 20 m. Verificou-se redução do mesmo nos *sprints* de 10 m somente ao final do protocolo, enquanto que nos 20 m ocorreu redução ainda no meio do FIRP. Tais dados sugerem que os efeitos da fadiga afetam mais tardiamente o desempenho em *sprints* curtos em que ocorre grande aceleração quando comparado à *sprints* em que maiores velocidades de corrida (máxima ou próxima da máxima) são alcançadas.

✓ A fadiga gerada no FIRP também provocou alterações na cinemática dos *sprints*, evidenciada principalmente na redução da frequência de passada, tanto nos *sprints* de 10 quanto de 20 m, o que parece ser uma das principais alterações na técnica da corrida decorrentes da fadiga que contribuirão para a redução do desempenho nos *sprints*. Nos *sprints* de 20 m também ocorreu aumento do ângulo da coxa no instante de impulsão e redução da velocidade angular da coxa ao final do FIRP. Adicionalmente, conclui-se que a fadiga também afeta a velocidade angular da perna livre (VA_{PERNA}) na fase de balanço da passada, verificando-se um aumento da mesma ao final do FIRP, tanto nos *sprints* de 10 quanto de 20 m.

✓ A coordenação intrasegmentar durante os *sprints* não foi alterada com a presença da fadiga, o que evidencia a existência de um padrão pré-programado de estimulação que não é facilmente modificado, mesmo com a capacidade de gerar força reduzida devido à fadiga. Assim, os resultados do presente estudo permitem afirmar que a redução do desempenho nos *sprints* durante o FIRP não foi em decorrência de alterações no padrão de coordenação. Esta parece ser uma importante estratégia de controle utilizada pelo sistema neural, a fim de preservar a mecânica do movimento e evitar a ocorrência de possíveis lesões.

7. APLICAÇÕES PRÁTICAS E RELEVÂNCIA DOS ACHADOS

A partir das conclusões acima apresentadas, algumas considerações podem ser feitas visando destacar a aplicação e a relevância destes achados.

Em relação ao protocolo de fadiga desenvolvido, conforme destacado anteriormente, o mesmo pode ser utilizado por pesquisadores como uma ferramenta para investigar os efeitos da fadiga específica do futsal em diversos objetivos ou perspectivas de interesse. Adicionalmente, a possibilidade de utilização do presente protocolo como uma ferramenta de treinamento para jogadores de futsal também pode ser considerada, aspecto este a ser analisado em estudos futuros.

Quanto aos efeitos da fadiga percebidos na capacidade de produção de torque, é importante destacar, particularmente, a redução do torque excêntrico dos isquiotibiais e da razão funcional de torque. Tais alterações podem ser consideradas como fatores de risco e representar um aumento da predisposição para lesões, principalmente de estiramento muscular dos isquiotibiais e rupturas no ligamento cruzado anterior do joelho, na parte final de uma partida de futsal. Associada à redução da força excêntrica dos isquiotibiais, o aumento da VA_{PERNA} ao final do FIRP também pode ser considerado como outro fator de risco para o surgimento de estiramento muscular dos isquiotibiais em jogadores de futsal durante as partidas.

Diante disso, a equipe de preparação física e médica das equipes deveriam levar em consideração tais efeitos gerados pela fadiga de jogo do futsal na elaboração dos programas de treinamento. Fundamentalmente, exercícios com foco na manutenção da força dos músculos isquiotibiais, principalmente a excêntrica, deveriam ser privilegiados na tentativa de ao menos reduzir os efeitos deletérios da

fadiga e assim reduzir a chance para a predisposição de tais lesões. Pensando no princípio da especificidade, treinamento em condição fadigada poderia ser uma importante estratégia nestas situações. Tal medida poderá também influenciar positivamente no controle desta alteração cinemática do membro inferior sofrida durante os *sprints*.

Adicionalmente, a redução na produção de torque com a fadiga pode refletir no desempenho das ações de jogo, tais como nos *sprints*, chutes, etc. O nível de força dos músculos extensores do joelho (quadríceps) possui uma particular importância no futsal, visto que tal esporte é caracterizado por predominar ações de corrida com forte presença de acelerações e desacelerações. Assim, a redução da força excêntrica dos extensores do joelho pode implicar em menor capacidade de desacelerar ao final de um *sprint* envolvendo uma mudança de sentido, amplamente realizado no futsal. Da mesma forma, redução na capacidade de produzir forças concêntricas de extensores e flexores do joelho podem trazer prejuízos na propulsão do atleta durante a aceleração e para alcançar uma velocidade elevada durante um *sprint*. Desta forma, justifica-se a necessidade em treinar a força deste grupamento muscular na tentativa de reduzir os efeitos da fadiga sobre o desempenho do futsal.

Por último, em relação aos efeitos da fadiga sobre a coordenação, pode-se sustentar a ideia que o treinamento com ênfase no desenvolvimento/aprimoramento na habilidade motora “correr”, possa ser realizado mediante fadiga sem maiores prejuízos à coordenação do movimento.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, D.G. Eccentric muscle damage: mechanisms of early reduction of force. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 171, n. 3, p. 311-319, 2001.
- ALGROY, E.A.; HETLELID, K.J.; SEILER, S.; PEDERSEN, J.I.S. Quantifying training intensity distribution in a group of norwegian professional soccer players. **Intentional Journal of Sports Physiology and Performance**, v.6, p.70-81, 2011.
- ASCENSÃO, A.; MAGALHÃES, J.; OLIVEIRA, J.; DUARTE, J.; SOARES, J. Fisiologia da fadiga muscular. Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 3, n. 1, p.108-123, 2003.
- ASCENSÃO, A.; LEITE, M.; REBELO, A.N.; MAGALHÃES, S.; MAGALHÃES, J. Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. **Journal of Sports Science**, v. 29, n. 3, p.217-225, 2011.
- AVELA, J.; KYRÖLÄINEN, H.; KOMI, P.V.; RAMA, D. Reduced reflex sensitivity persists several days after long-lasting stretch-shortening cycle exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 86, n. 4, p.1292-1300, 1999.
- BAKER, D.; NANCE, S. The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 13, n. 3, p.230-235, 1999.
- BANGSBO, J. The physiology of soccer-with special reference to intense intermittent exercise. **Acta Physiologica Scandinavica Suppl**, v. 619, p.150-155, 1994.
- BARBERO-ÁLVAREZ, J. C.; GRANDA VERA, J.; HERMOSO, V. M. Análisis de la frecuencia cardíaca durante la competición en jugadores profesionales de fútbol sala. **Apunts Educación Física y Deportes**, v. 77, p.71-78, 2004.
- BARBERO-ÁLVAREZ, J. C.; SOTO, V. M.; BARBERO-ÁLVAREZ, V.; GRANDA-VERA, J. Match analysis and heart rate of futsal players during competition. **Journal of Sports Sciences**, v. 26, n. 1, p. 63-73, 2008.

BATTERHAM, A.M.; HOPKINS, W.G. Making meaningful inferences about magnitudes. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v.1, p.50-57, 2006.

BERTUZZI, R.C.; FRANCHINI, E.; KISS, M.A. Fadiga muscular aguda: uma breve revisão dos sistemas fisiológicos e suas possíveis relações. **Motriz**, v.10, n.1, p.45-54, 2004.

BERTUZZI, R. C. M.; NAKAMURA, F.Y.; ROSSI, L.C.; KISS, M.A.; FRANCHINI, E. Independência temporal das respostas do esforço percebido e da frequência cardíaca em relação à velocidade de corrida na simulação de uma prova de 10 km. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 12, n. 4, p. 175-183, 2006.

BERTUZZI, R.C.; SILVA, A.E.L.; ABAD, C.C.; PIRES, F.O. Metabolismo do lactato: uma revisão sobre a bioenergética e a fadiga muscular. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v.11, n.2, p. 226-234, 2009.

BISHOP, D.; EDGE, J.; GOODMAN, C. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. **European Journal of Applied Physiology**, v. 92, n. 4-5, p. 540-547, 2004.

BOBBERT, M. F.; VAN SOEST, A.J. Effects of muscle strengthening on vertical jump height: a simulation study. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 26, p. 1012–1020, 1994.

BOBBERT, M.F.; CASIUS, L.J.R.; SIJPKENS, I.W.T.; JASPERS, R.T. Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. **Journal of Applied Physiology**, v.105, p.1428-1440, 2008.

BOGDANIS, G.C.; NEVILL, M.E.; BOOBIS, I.H. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.80, n.3, p.876-884, 1996.

BONNARD, M.; SIRIN, A.; ODDSON, L.; THORSTENSSON, A. Different strategies to compensate for the effects of fatigue revealed by neuromuscular adaptation processes in humans. **Neuroscience Letters**, v. 166, p. 101-105, 1994.

BOSCO, C.; KOMI, P.V.; ITO, A. Pre-stretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.111, n.2, p.135-40, 1981.

- BRAVO, J.; GIL, F.; PASCUA, M. **Atletismo 1: Carreras**. 2ª ed. Madrid: Real Federación Española de Atletismo, 1994.
- BROCHADO, M.M.V.; KOKUBUN, E. Treinamento intervalado de corrida de velocidade: efeitos da duração da pausa sobre o lactato sanguíneo e a cinemática da corrida. **Motriz**, v.3, n.1, p. 11-19, 1997.
- BROOKS, G.A. Current concepts in lactate exchange. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 23, n. 8, p.895-906, 1991.
- BRUGHELLI, M.; CRONIN, J.; LEVIN, G.; CHAOUACHI, A. Understanding change of direction ability in sport: A review of resistance training studies. **Sports Medicine**, v. 38, n.12, p. 1045-1063, 2008.
- BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P.B. High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle – Part II. **Sports Medicine**, v. 43, p. 927–954, 2013.
- BYRNE, C.; ESTON, R.G.; EDWARDS, R.H.T. Characteristics of isometric and dynamic strength loss following eccentric exercise-induced muscle damage. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 11, n. 3, p.134-140, 2001.
- BYRNE, C.; ESTON, R. Maximal intensity isometric and dynamic exercise performance following eccentric muscle actions. **Journal of Sports Science**, v. 20, n. 12, p.951-959, 2002.
- BYRNE, C.; TWIST, C.; ESTON, R.G. Neuromuscular function following exercise-induced muscle damage: theoretical and applied implications. **Sports Medicine**, v. 34, n.1, p.49–69, 2004.
- CAMARDA, A.; DENADAI, B.S. Does muscle imbalance affect fatigue after soccer specific intermittent protocol? **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.15, n.4, p.355-60, 2012.
- CASTAGNA, C.; BELARDINELLI, R.; IMPELLIZZERI, F.M.; ABT, G.A.; COUTTS, A.J.; D’OTTAVIO, S. Cardiovascular responses during recreational 5-a-side indoor-soccer. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.10, n.2, p.89-95, 2007.
- CASTAGNA, C.; D’OTTAVIO, S.; GRANDA-VERA, J.; BARBERO-ALVAREZ, J.C. Match demands of professional Futsal: A case study. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.12, p. 490–494, 2009.

CASTAGNA, C.; BARBERO-A LVAREZ, J.C. Physiological demands of an intermittent futsal-oriented high-intensity test. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.24, n 9, p.2322-2329, 2010.

CAVANAGH, P.R. The biomechanics of lower extremity action in distance running. **Foot Ankle**, v.7, n.4, p.197–217, 1987.

CHILD, R.B.; SAXTON, J.M.; DONNELLY, A.E. Comparison of eccentric knee extensor muscle actions at two muscle lengths on indices of damage and angle-specific force production in humans. **Journal of Sports Science**, v. 16, n. 4, p.301-308, 1998.

CLARKSON, P.M.; KAZUNORI, N.; BRAUN, B. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 24, n. 5, p.512-520, 1992.

CLEAK, M.J.; ESTON, R.G. Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. **British Journal of Sports Medicine**, v. 26, n. 4, p.267-272, 1992.

CHRISTINA, K.A.; WHITE, S.C.; GILCHRIST, L.A. Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction forces and ankle joint motion during running. **Human Movement Science**, v. 20, p. 257-276, 2001.

ČOH, M.; MILANOVIC, D.; KAMPMILLER, T. Morphologic and Kinematic Characteristics of Elite Sprinters. **Coll of Antropology**, v.25, n.2, p.605–610, 2001.

ČOH, M.; TOMAŽIN, K.; RAUSAVLJEVIĆ, N. Differences in morphological and biodynamic characteristics of maximum speed and acceleration between two groups of female sprinters. **Biology of Sport**, v. 24, n.2, 2007.

COHEN, M.; ABDALLA, R.J.; EJNISMAN, B.; AMARO, J. Lesões ortopédicas no futebol. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 32, p.940-944, 1997.

COOMBS, R.; GARBUTT, G. Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. **Journal of Sports Science and Medicine**, v.1, p.56–62, 2002.

CROISIER, J.L.; GANTEAUME, S.; BINET, J.; GENTY, M.; FERRET, J.M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. **American Journal of Sports Medicine**, v.36, p.1469–1475, 2008.

CRONIN, J.B.; HANSEN, K.T. Strength and power predictors of sports speed. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, p.349–357, 2005.

CURREL, K.; JEUKENDRUP, A.E. Validity, Reliability and Sensitivity of Measures of Sporting Performance. **Sports Medicine**, v. 38, n.4, p.297-316, 2008.

DAL PUPO, J.; ALMEIDA, C.M.P.; DETANICO, D.; SILVA, J.F.; GUGLIELMO, L.G.A.; SANTOS, S.G. Muscle power and repeated sprint ability in soccer players. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v.12, n.4, p. 255-261, 2010.

DAL PUPO, J.; ACHE DIAS, J.; GHELLER, R.G.; DETANICO, D.; SANTOS, S.G. Stiffness, intralimb coordination, and joint modulation during a continuous vertical jump test. **Sports Biomechanics**, v.12, n.3, p. 259-271, 2013a.

DAL PUPO, J.; DETANICO, D.; CARMINATTI, L.J.; SANTOS, S.G. Physiological and neuromuscular responses in the shuttle and straight line-repeated sprint running. **Apunts: Medicina de L'Esport**, v.48, n.178, p. 43-48, 2013b.

DAVIS, J.M. Central and peripheral factors in fatigue. **Journal of Sports Sciences**, v. 13, sup. 49-53, 1995.

DAVIS, J.M.; BAILEY, S.P. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 29, n. 1, p.45-57, 1997.

DELATTRE, E.; GARCIN, M.; MILLE-HAMARD, L.; BILLAT, V. Objective and subjective analysis of the training content in young cyclists. **Applied Physiology and Nutritional Metabolic**, v.31, n.2, p.118-125, 2006.

DELEXTRAT, A.; GREGORY, J.; COHEN, D. The use of the functional H:Q ratio to assess fatigue in soccer. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, n.3, p.192-197, 2010.

DEUTSCH, M. U.; MAW, G. J.; JENKINS, D.; REABURN, P. Heart rate, blood lactate and kinematic data of elite colts (under-19) rugby union players during competition. **Journal of Sports Sciences**, v.16, p. 561 – 570, 1998.

DIERKS, T.A.; DAVIS, I. Discrete and continuous joint coupling relationships in uninjured recreational runners. **Clinical Biomechanics**, v. 22, n. 5, p. 581-591, 2007.

DOGRAMACI, S.N.; WATSFORD, M.L. A comparison of two different methods for time-motion analysis in team sports. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, v.6, p. 73-83, 2006.

DOGRAMACI, S.N.; WATSFORD, M.L.; MURPHY, A.J. Time-motion analysis of international and national level futsal. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 3, p.646-651, 2011.

DONSKOI, D.; ZATSIORSKI, V. **Biomecânica de los ejercicios físicos**. Editora Madrugá: Moscou, 1988.

DRUST, B.; REILLY, T.; CABLE, N.T. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. **Journal of Sports Science**, v. 18, n.11, p. 885-92, 2000.

DUTHIE, G.M.; PYNE, D.B.; MARSH, D.J.; HOOPER, S.L. Sprint patterns in rugby union players during competition. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 20, n. 1, p.208-214, 2006.

DYSON, G. **Mecánica del atletismo**. Madrid: INEF, 1978

ENOKA, R.M.; STUART, D.G. Neurobiology of muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v. 72, n. 5, p.1631-1648, 1992.

ENOKA, R. Mechanisms of muscle fatigue: Central factors and task dependency. **Journal of Electromyographic and Kinesiology**, v. 5, n. 3, p.141-149, 1995.

ESTON, R.; BYRNE, C.; TWIST, C. Muscle function after exercise-induced muscle damage: Considerations for athletic performance in children and adults. **Journal of Exercise Science and Fitness**, v. 1, n. 2, p.85-96, 2003.

FAVERO, T.G. Sarcoplasmic reticulum Ca⁺ release and muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 2, p.471-483, 1999.

FERBER, R.; POHL, M.B. Changes in joint coupling and variability during walking following tibialis posterior muscle fatigue. **Journal of Foot and Ankle Research**, v.4, n.6, p. 1-8, 2011.

FERRARI, E.; PACHECO, R.; SANTOS, S.; SANTOS, S.G. Pesquisa descritiva. In: SANTOS, S.G. (org). **Métodos e técnicas de pesquisa**

quantitativa aplicada à Educação Física, Tribo da Ilha: Florianópolis, 2011.

FINNI, T.; KOMI, P.V.; LEPOLA, V. In vivo human triceps surae and quadriceps femoris muscle function in a squat jump e counter movement jump. **European Journal of Applied physiology**, v. 83, p. 416-426, 2000.

FITTS, R.H. Cellular mechanisms of fatigue muscle. **Physiological Reviews**, v.74, n. 1, 49-94, 1994.

FLEISS JL. **Statistical methods for rates and proportions**. John Wiley: New York, 1981.

FOSTER, C.; FLORHAUG, J. A.; FRANKLIN, J.; GOTTSCHALL, J. L.; HROVATIN, L. A.; PARKER, S. B.; et al. A new approach to monitoring exercise training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.15, n.1, p.109-115, 2001.

FREITAS, V.H.; MILOSKI, B.; BARA FILHO, M.G. Quantificação da carga de treinamento através do método percepção subjetiva do esforço da sessão e desempenho no futsal. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v.14, n.1, p.73-82, 2012.

GAITANOS, G.C.; WILLIAMS, C.; BOOBIS, L.H.; BROOKS, S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.75, n.2, p.712-719, 1993.

GANDEVIA, S.C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiological Reviews**, v. 81, n. 4, p.1726-1771, 2001.

GARRETT Jr, W.E.; CALIFF, J.C.; BASSETT, F.H. Histochemical correlates of hamstring injuries. **American Journal of Sports Medicine**, v.12, p.98-103, 1984.

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, 2011.

GIRARD, O.; MENDEZ-VILLANUEVA, A.; BISHOP, D. Repeated-Sprint Ability – Part I: Factors Contributing to Fatigue. **Sports Medicine**, v, 41, n.8, p. 773-694, 2011.

GITTOES, M.J.R; WILSON, C. Intralimb joint coordination patterns of the lower extremity in maximal velocity phase sprint running. **Journal of Applied Biomechanics**, v.2, p.188-195, 2010.

- GORDON, A.M.; HUXLEY, A.F.; JULIAN, F.J. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. **Journal of Physiology**, v.184, p.170-192, 1966.
- GREEN, H. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. **Journal of Sports Science**, v. 15 n. 3, p.247-256, 1997.
- GREIG M. The influence of soccer-specific fatigue on peak isokinetic torque production of the knee flexors and extensors. **American Journal of Sports Medicine**, v. 36, n. 7, p.1403–1409, 2008.
- GUEZENNEC, C. Y.; ABDELMALKI, A.; SERRURIER, B.; MERINO, D.; BIGARD, X.; BERTHELOT, M.; PIERARD, C.; PERES, M. Effects of prolonged exercise on brain ammonia and amino acids. **International Journal of Sports Medicine**, v.19, p.323-327, 1998.
- HAWKINS, R.D.; HULSE, M.A.; WILKINSON, C.; HODSON, A.; GIBSON, M. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. **British Journal of Sports Medicine**, v.35, p. 43-47, 2001.
- HAMILL, J.; VAN EMMERIK, R.E.A.; HEIDERSCHEIT, B.C.; LI, L. A dynamical systems approach to lower extremity running injuries. **Clinical Biomechanics**, v.14, n. 5, p.297-308, 1999.
- HARRINSON, A.J.; KEANE, S.P.; COGLAN, J. Force-velocity relationship and stretch-shortening cycle function in sprint and endurance athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 18. n.3, p.473-479, 2004.
- HAY, J.G. **Biomecânica das técnicas desportivas**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1981.
- HELGERUD, J.; ENGEN, L.C.; WISLØFF, U.; HOFF, J. Aerobic endurance training improves soccer performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 33, p. 1925 –1931, 2001.
- HENNESSY, L.; KILTY, J. Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.15, n.3, p.326-331, 2001.
- HIGHTON, J.M.; TWIST, C.; ESTON, R.G. the effects of exercise-induced muscle damage on agility and sprint running performance. **Journal of Exercise Science and Fitness**, v.7, n.1, p. 24–30, 2009.

- HORITA, T.; KOMI, P.V.; HÄMÄLÄINEN, I.; AVELA, J. Exhausting stretch-shortening cycle (SSC) exercise causes greater impairment in SSC performance than in pure concentric performance. **European Journal Applied Physiology**, v. 88, n. 6, p.527-534, 2003.
- HOWATSON, G.; MILAK, A. Exercise-induced muscle damage following a bout of sport specific repeated sprints. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n.8, p.2419-2424, 2009.
- IMPELLIZZERI, F. M.; RAMPININI, E.; COUTTS, A. J.; SASSI, A.; MARCORA, S. M. Use of RPE-based training load in soccer. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n.6, p. 1042-1047, 2004.
- IMPELLIZZERI, F.M.; RAMPININI, E.; MARCORA, S.M. Physiological assessment of aerobic training in soccer. **Journal of Sports Science**, v. 23, p.583-592, 2005.
- JACOBS I.; KAISER, P.; TESCH, P. Muscle strength and fatigue after selective glycogen depletion in human skeletal muscle fibers. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.46, n.1, p.47-53, 1981.
- JACOBS, I.; KAISER, P. Lactate in blood, mixed skeletal muscle, and FT or ST fibres during cycle exercise in man. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.114, n.3, p.461-466, 1982.
- JACOBS, I. Blood lactate. Implications for training and sports performance. **Sports Medicine**, v.3, n.1, p.10-25, 1986.
- JEUKENDRUP, A.; DIEMEN, A. V. Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. **Journal of Sports Science**, v.16, p. 91-99, 1998.
- KARASIAK, F.C.; SCHERER, R.L.; FERNANDES, S.; SANTOS, S.G. Pesquisa Experimental. In: SANTOS, S.G. (org). **Métodos e técnicas de pesquisa quantitativa aplicada à Educação Física**, Tribo da Ilha: Florianópolis, 2011.
- KELSO, J.A.S. Phase transitions and critical behavior in bimanual coordination. **American Journal of Physiology: Regulation Internal Comp Physiology**, v.15, p.1000 – 1004, 1984.
- KEMP, G. Lactate accumulation, proton buffering, and pH change in ischemically exercising muscle. **American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology**, v. 289, n. 3, p. 895-901, 2005.

- KOMI, P.V.; GOLLHOFER, A. Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC-exercise. **Journal of Applied Biomechanics**, v.13, p.451-460, 1997.
- KOMI, P.V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. **Journal of Biomechanics**, v. 33, p. 1197-1206, 2000.
- KRAEMER, W.J.; ADAMS, K.; CAFARELLI, E.; DUDLEY, G.A.; DOOLY, C.; FEIGENBAUM, M.S. et al. Joint position statement: progression models in resistance training for healthy adults. **Journal of Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, p.364-380, 2002.
- KREIDER, R.; MIRIEL, V.; BERTUN, E. Amino acid supplementation and exercise performance - Analysis of proposed ergogenic value. **Sports Medicine**, v. 16, n. 3, p.190-209, 1993.
- KRELL, J.B.; STEFANYSHYN, D.J. The relationship between extension of the metatarsophalangeal joint and sprint time for 100m Olympic athletes. **Journal of Sports Sciences**, v. 24, p. 175-180, 2006.
- KUBO, K; KANEHISA, H.; KAWAKAMI, Y.; FUKUNAGA, T. Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinters. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.168, p. 327-335, 2000.
- KUITUNEN, S.; KYRÖLÄINEN, H.; AVELA, J.; KOMI, PV. Leg stiffness modulation during exhaustive stretch-shortening cycle exercise. **Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports**, v. 17, n. 1, p. 67-75, 2007.
- LACOUR, J.R.; BOUVAT, E.; BARTHÉLÉMY, J.C. Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.61, n.3-4, p. 172-176, 1990.
- LEPPIK, J.A.; AUGHEY, R.J.; MEDVED, I.; FAIRWEATHER, I.; CAREY, M.F.; MCKENNA, M.J. Prolonged exercise to fatigue in humans impairs skeletal muscle $\text{Na}^+ \text{K}^+$ ATPase activity, sarcoplasmic reticulum Ca^{2+} release, and Ca^{2+} uptake. **Journal of Applied Physiology**, v. 97, n. 4, p. 1414-1423, 2004.
- LI, L.; VAN DE BOGERT, E.C.H.; CALDWELL, G.E.; VAN EMMERIK, R.E.A.; HAMILL, J. Coordination patterns of walking and

running at similar speed and stride frequency. **Human Movement Science**, v.18, p. 67-85, 1999.

LIEBER, R.L.; FRIDEN, J. Selective damage of fast glycolytic muscle fibres with eccentric contraction of the rabbit tibialis anterior. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.133, n.4, p. 587-588, 1988.

LINDINGER, M.I. Point:couterpoint: Lactic acid accumulation is an advantage/disadvantage during muscle activity. **Journal of Applied Physiology**, v.100, n.6, p. 2100, 2006.

LOCKIE, R.G.; MURPHY, A.J.; KNIGHT, T.J.; JANSE DE JONGE, X.A.K. Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.25, n.10, p. 2704–2714, 2011.

MACHADO, F.A.; DENADAI, B.S. Validity of Maximum Heart Rate Prediction Equations for Children and Adolescents. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 97, n.2, p. 136-140, 2011.

MAGALHÃES, J.; REBELO, A.; OLIVEIRA, E.; SILVA, J.R.; MARQUES, F.; ASCENSÃO, A. Impact of Loughborough Inter-mittent Shuttle Test versus soccer match on physiological, biochemical and neuromuscular parameters. **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 1, p. 39-48, 2010.

MAIR, S.D.; SEABER, A.V.; GLISSON, R.R.; GARRETT JR, W.E. The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. **American Journal of Sports Medicine**, v.24, n.2, p.137–143, 1996.

MANN, R.A. Comparative electromyography of the lower extremity in jogging, running and sprinting. **American Journal of Sports Medicine**, v. 14, p. 501-510, 1986.

McINNES, S. E.; CARLSON, J. S.; JONES, C. J.; McKENNA, M. J. The physiological load imposed on basketball players during competition. **Journal of Sports Science**, v.13, n.5, p.387- 397, 1995.

MEDINA, J.A.; SALLILLAS, L.G.; VIRÓN, P.C.; MARQUETA, P.M. Necesidades cardiovasculares y metabólicas del futbol sala: análisis de la competición. **Apunts Educación Física y Deportes**, v. 67, n. 1, p. 45-51, 2002.

MERO, A.; KOMI, P.V. Electromyographic activity in sprinting at speeds running from sub-maximal to supra-maximal. **Medicine and Science in Sports and Exercises**, v. 19, p. 266-274, 1987.

- MERO, A.; KOMI, P.V.; GREGOR, R.J. Biomechanics of sprint running. **Sports Medicine**, v. 13, n. 6, p. 376–92, 1992.
- MERO, A.; KUITUNEN, S.; KOMI, P.V. Stretch-reflex potentiation during sprint running in sprinters and endurance athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.33, n.5, Supplement 1, p. 282, 2001.
- MILANEZ, V.F.; RAMOS, S.P.; SALLE-NETO, F.; MACHADO, F.A.; NAKAMURA, F.Y. Relação entre métodos de quantificação de cargas de treinamento baseados em percepção de esforço e frequência cardíaca em jogadores jovens de futsal. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v.26, n.1, p.17-27, 2012.
- MILLER, R.H.; MEARDON, S.A.; DERRICK, T.R.; GILLETTE, J.C. Continuous Relative Phase Variability During an Exhaustive Run in Runners With a History of Iliotibial Band Syndrome. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 24, p. 262-270, 2008.
- MILLET, G.Y.; LEPERS, R. Alteration of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercise. **Sports Medicine**, v. 34, p.105-116, 2004.
- MIZRAHIA, J.; VERBITSKYA, O.; ISAKOV, E.; DAILYA, D. Effect of fatigue on leg kinematics and impact acceleration in long distance running. **Human Movement Science**, v. 19, n. 2, p. 139–151, 2000.
- MORGAN, D.L.; PROSKE, U. Popping sarcomere hypothesis explains stretch induced muscle damage. **Proceedings of the Australian Physiological and Pharmacological Society**, v.34, p.19-23, 2004.
- MORIN, J.B.; SAMOZINO, P.; EDOUARD, P.; TOMAZIN, K. Effect of fatigue on force production and force application technique during repeated sprints. **Journal of Biomechanics**, v. 44, p. 2719–2723, 2011.
- MURPHY, A.J.; LOCKIE, R.G.; COUTTS, A.J. Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 2, p.144-150, 2003.
- NAKAMURA, F.Y.; MOREIRA, A.; AOKI, M.S. Monitoramento da carga de treinamento: a percepção subjetiva do esforço da sessão é um método confiável? **Revista de Educação Física da UEM**, v.21, n.1, p.1-11, 2010.

- NEWSHOLME, E.; BLOMSTRAND, E.; EKBLÖM, B. Physical and mental fatigue: Metabolic mechanisms and importance of plasma amino acids. **Sports Medicine**, v. 48, n. 3, p.477-495, 1992.
- NICHOLAS, C.W.; NUTTALL, F.E.; WILLIAMS, C. The Loughborough Intermittent Shuttle Test: a field test that simulates the activity pattern of soccer. **Journal of Sports Science**, v.18, n. 2, p. 97-104, 2000.
- NICOL, C.; AVELA, J.; KOMI, P.V. The stretch-shortening cycle : a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. **Sports Medicine**, v. 36, n. 11, p.977-999, 2006.
- NOVACHEK, T.F. The biomechanics of running – review paper. **Gait and Posture**, v. 7, p. 77-95, 1998.
- NUMMELA, A.; RUSKO, H.; MERO, A. EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 26, p.605- 609, 1994.
- OLIVEIRA, R.S.; LEICHT, A.S.; BISHOP, D.; BARBERO-ÁLVAREZ, J.C.; NAKAMURA, F.Y. Seasonal changes in physical performance and heart rate variability in high level futsal players. **International Journal of Sports Medicine**, v. 34, n.5, p.424-430, 2013.
- ØRTENBLAD, N.; SJØGAARD, G.; MADSEN, K. Impaired sarcoplasmic reticulum Ca^{2+} release rate after fatiguing stimulation in rat skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 1, p.210-217, 2000.
- PINNIGER, G.; STEELE, J.; GROELLER, H. Does fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function? **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 3, p.647-653, 2000.
- PROSKE, U.; MORGAN, D.L.; BROCKETT, C.L.; PERCIVAL, P. Identifying athletes at risk of hamstring strains and how to protect them. **Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology**. v.31, n.8, p.546-550, 2004.
- PSEK, J. A.; CAFARELLI, E. Behaviour of coactive muscles during fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v.74, p.170–175, 1993.
- RAHNAMA, N.; REILLY, T.; LEES, A.; GRAHAM-SMITH, P. Muscle fatigue induced by exercise stimulating the work rate of competitive soccer. **Journal of Sports Science**, v. 21, p. 933-942, 2003.

- RAMPININI, E. ; IMPELLIZZERI, F.; CASTAGNA, C. ; ABT, G. ; CHAMARI, K.; SASSI, A. et al. Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. **Journal of Sport Sciences**, v.25, n. 6, p.659 – 666, 2007.
- RASH, P.J. **Cinesiologia e Anatomia Aplicada**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1977.
- RASSIER, D.E.; MACINTOSH, B.R.; HERZOG, W. Length dependence of active force production in skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v.86, n.5, p.1445-1457, 1999.
- ROBERGS, R.A.; LANDWEHR, R. The surprising history of the “ $HR_{MAX}=220-age$ ” equation. **Journal of Exercise Physiology**, v.5, n.2, p. 1-10, 2002.
- ROBERTS, D.; SMITH, D. Biochemical aspects of peripheral muscle fatigue - a review. **Sports Medicine**, v. 7, n. 2, p.125-138, 1989.
- ROBERGS, R.A.; GHIASVAND, F.; PARKER, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. **American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology**, v. 287, n. 3, p.502-516, 2004.
- ROCANDIO, V. Aplicaciones prácticas para el desarrollo de la velocidad em los jóvenes. **Cuadernos de Atletismo – Atletismo Iniciación IV**, n. 46, p. 111-140, 2000.
- ROCHA Jr., I.C. **Análise biomecânica da corrida de velocidade em crianças com distintos níveis técnicos e da eficácia de uma intervenção didática**. Tese (Doutorado em Ciência do Movimento Humano). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- RODACKI, A.L.F.; FOWLER, N.E.; BENNETT, S.J. Multi-segment coordination: fatigue effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 33, n. 7, p. 1157–1167, 2001.
- RODACKI, A.L.F.; FOWLER, N.E.; BENNETT, S.J. Vertical jump coordination: fatigue effects. **Medicine Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 1, p. 105-116, 2002.
- RODRIGUES, V.M.; RAMOS, G.P.; MENDES, T.T.; CABIDO, C.E.T.; MELO, E.S.; CONDESSA, L.A.; COELHO, D.B.; SILAMI-GARCIA, E. Intensity of official futsal matches. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.25, n.9, p. 2482–2487, 2011.

- SAHLIN, K. Metabolic factors in fatigue. **Sports Medicine**, v. 13, n. 2, p. 99-107, 1992.
- SAHLIN, K.; TONKONOOGI, M.; SÖDERLUND, K. Energy supply and muscle fatigue in humans. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 162, n. 3, p. 261-266, 1998.
- SANTOS, M.G.; DEZAN, V.H.; SARRAF, T.A. Bases metabólicas da fadiga muscular aguda. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 11 n. 1 p.7-12, 2003.
- SCHMOLINSKI, G. **Atletismo**. Lisboa: Estampa, 1982.
- SCHOLES, C.J. **The effects of muscle fatigue on knee function during landing**. (Thesys) Queensland University of Technology, 2010.
- SCHOLZ, J.P. Dynamic pattern theory – some implications for therapeutics. **Physical Therapy**, n, 12, p. 81-97, 1990.
- SEAGRAVE, L. Introduction to sprinting. **New Studies in Athletics**, v. 11, n. 2-3, p.93-113, 1996.
- SEMARK, A.; NOAKES, T.D.; CLAIR GIBSON, A.; LAMBERT, M.I. The effect of a prophylactic dose of flurbiprofen on muscle soreness and sprinting performance in trained subjects. **Journal of Sports Science**, v. 17, p. 197-203, 1999.
- SERRANO, J.M; SHAHIDIANI, S.; VOSER, R.C.; LEITE, N. Incidência e fatores de risco de lesões em jogadores de futsal portugueses. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.19 n.2, p.123-129, 2013.
- SEWARD, H.G.; PATRICK, J. A three year survey of Victorian Football League injuries. **Australian Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 24, n. 2, p.51-54, 1992.
- SILVA PINTO, P.D.N. **Monitorização da Carga de Treino através da Escala de PSE no Futsal** (Dissertação). Universidade Técnica de Lisboa - Faculdade de Motricidade Humana, 2011.
- SILVA, S.G.; MINATTO, G.; FARES, D.; SANTOS, S.G. Caracterização da pesquisa – tipos de pesquisa. In: SANTOS, S.G. (org). **Métodos e técnicas de pesquisa quantitativa aplicada à Educação Física**, Tribo da Ilha: Florianópolis, 2011.

- SLEIVERT, G.; TAINGAHUE, M. The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. **European Journal of Applied Physiology**, v.91, p.46–52, 2004.
- SMALL, K.; McNAUGHTON, L.; GREIG, M.; LOHKAMP, M.; LOVELL, R. Soccer Fatigue, Sprinting and Hamstring injury risk. **International Journal of Sports Medicine**, v. 30, p.573 – 578, 2009.
- SMALL, K.; McNAUGHTON, L.; GREIG, M.; LOVELL, R. The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 13, p. 120–125, 2010.
- SOARES, B.; TOURINHO FILHO, H. Análise da distância e intensidade dos deslocamentos, numa partida de futsal, nas diferentes posições de jogo. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v.20, n.2, p.93-101, 2006.
- SPENCER, M.; BISHOP, D.; DAWSON, B.; GOODMAN, C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities. **Sport Medicine**, v. 35, n. 12, p.1025-1044, 2005.
- STACKHOUSE, S.; DEAN, J.; LEE, S.; BINDER-MACLOAD, S. Measurement of central activation failure of the quadriceps femoris in healthy adults. **Muscle and Nerve** v. 23, n. 11, p. 1706-1712, 2000.
- STANTON, P.; PURDAM, C. Hamstring injuries in sprinting: the role of eccentric exercise. **Journal of Orthopedic of Sports Physiology Therapy**, v.10, p. 343 - 349, 1989.
- STOFFELS, F.; KOBER, R.; DAL PUPO, J.; ROCHA Jr, I.C.; MOTA, C.B. Análise de variáveis cinemáticas da corrida de jovens velocistas. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 7, n.1, p. 59-67, 2007.
- STROJNIK, V.; KOMI, P.V. Neuromuscular fatigue after maximal stretch-shortening cycle exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 84, n.1, p. 344–350, 1998.
- TARTARUGA, L.A.P.; COERJENS, M.; BLACK, G.V.; TARTARUGA, P.T.; RIBAS, L.R.; KRUEL, L.F. Efeito da fadiga na cinemática de corredores. **Revista Brasileira de Biomecânica**, v. 6, p. 39-44, 2003.
- TANAKA, H; MONAHAN, K.G.; SEALS, D.S. Age - predicted maximal heart rate revisited. **Journal of the American College of Cardiology**, v.37, n.1, p.153-6, 2001.

- TUPA, V.; GUSENOV, F.; MIRONENKO, I. Fatigue influenced changes to sprinting technique. **Modern Athlete and Coach**, v.33, n.3, p. 7–10, 1995.
- TWIST, C.; ESTON, R. The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 94, p.652–658, 2005.
- WESTERBLAD, H.; ALLEN, D.E.; LÄNNERGREN, J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? **News Physiology Science**, v.17, p.17-21, 2002.
- WIEMAN, K.; TIDOW, G. Relative activity of hip and knee extensors in sprinting - implications for training. **New Studies in Athletic**, v.10, n.1, p.29-49, 1995.
- WILLIAMS, J.; KLUG, G. Calcium exchange hypothesis of skeletal muscle fatigue: a brief review. **Muscle and Nerve**, v.18, p. 421-434, 1995.
- WINTER, D. A. **Biomechanics and Motor Control of Human Movement** (2nd Ed.). Ontario: John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- WOODS, C.; HAWKINS, R.D.; MALTBY, S.; HULSE, M.; THOMAS, A.; HODSON, A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football - analysis of hamstring injuries. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, p. 36-41, 2004.
- WORRELL, T. W. Factors associated with hamstring injuries: an approach to treatment and preventative measures. **Sports Medicine**, v.17, p. 338 –345, 1994.
- VAN ZANDWIJK, J. P.; BOBBERT, M.F.; MUNNEKE, M.; PAS, P. Control of maximal and sub-maximal vertical jumps. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.32, p. 477–485, 2000.
- YEUNG, S.S.; SUEN, A.M.; YEUNG, E.W. A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor . **British Journal of Sports Medicine**, v.43, p. 589 – 594, 2009.
- YOUNG, W.B.; JAMES, R.; MONTGOMERY, I. Is muscle power related to running speed with changes of direction? **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 42, p.282–288, 2002.

ZAGATTO, M.A.; 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.

ZATSIORSKY, V. **Biomecânica no esporte**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

ANEXOS

ANEXO A – Parecer consubstanciado do comitê de ética em pesquisa

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITOS DA FADIGA NO DESEMPENHO, NA TÉCNICA E NA COORDENAÇÃO DA CORRIDA DURANTE SPRINTS EM ATLETAS DE ESPORTES COLETIVOS

Pesquisador: Saray Giovana dos Santos

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 07482612.9.0000.0121

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (Hospital Universitário HU-

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 144.465

Data da Relatoria: 12/11/2012

Apresentação do Projeto:

O presente estudo está delineado como um design pré-experimental, em que um grupo que será submetido a um determinado protocolo (exercícios) e o controle dos efeitos será realizado por meio de mensurações antes (pré) e ao final (pós) da intervenção. As avaliações serão realizadas em quatro dias, e com três diferentes protocolos de fadiga. Para verificar se houve diferença nas variáveis entre pré a pós-fadiga será utilizado o teste t para amostras dependentes. Uma análise de variância para medidas repetidas (ANOVA) com post-hoc de Bonferroni será empregada para testar as diferenças nas variáveis entre os três protocolos de fadiga.

Objetivo da Pesquisa:

Analisar os efeitos da fadiga induzida por ações funcionais (sprints repetidos) e por fadiga muscular localizada (FML) nos músculos flexores e extensores do joelho sobre o desempenho, a técnica e a coordenação da corrida em sprints máximos nas fases de aceleração e de velocidade máxima, em atletas de esportes coletivos.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os autores avaliam como risco possível desconforto muscular e sensação de fadiga em função do esforço intenso, ressaltando que para participar deste estudo o atleta deve estar apto a realizar esforço físico de alta intensidade, no entanto este será semelhante ao que ele realiza nas sessões de treino e nas competições. Os autores mencionam que entre os principais benefícios será a contribuição de forma única para o desenvolvimento da ciência esportiva, especialmente na

Endereço: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima

Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-900

UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS

Telefone: (48)3721-9206 **Fax:** (48)3721-9696 **E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



modalidade estudada. Além disso, os resultados provenientes da avaliação servirão de diagnóstico da atual condição física do atleta durante situações específicas da modalidade, podendo contribuir com os treinadores na planificação do treinamento físico, a fim de melhorar o desempenho esportivo.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Este é um estudo bem delineado e escrito adequadamente, com os objetivos adequados à metodologia e com relevância para o desenvolvimento do esporte e o pesquisador orientador tem a experiência necessária.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

A documentação exigida pelo sistema CEP/CONEP está presente e o TCLE está elaborado de forma adequada.

Recomendações:

Nenhuma recomendação é necessária.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Somos pela aprovação do presente projeto na sua forma atual.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

FLORIANOPOLIS, 12 de Novembro de 2012

Assinador por:
Washington Portela de Souza
(Coordenador)

Endereço: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-900
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-9206 **Fax:** (48)3721-9696 **E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br