**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE DE RIBEIRÃO PRETO**

**UTILIZAÇÃO DA VIDEOGRAMETRIA PARA A ANÁLISE
CINEMÁTICA DO FUTEBOL E FUTSAL**

PAULO ROBERTO PEREIRA SANTIAGO

RIBEIRÃO PRETO – SP

2016

PAULO ROBERTO PEREIRA SANTIAGO

**UTILIZAÇÃO DA VIDEOGRAMETRIA PARA A ANÁLISE
CINEMÁTICA DO FUTEBOL E FUTSAL**

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para o concurso de Livre Docência na área de Biomecânica.

Ribeirão Preto - SP

2016

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

Santiago, Paulo Roberto Pereira Santiago

Utilização da videogrametria para a análise cinemática do futebol e futsal. Ribeirão Preto, 2016.

207 p. : il. ; 30 cm

Tese de Livre Docência, apresentada à Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto/USP. Área de Biomecânica.

1. Biomecânica. 2. Câmera de vídeo. 3. Esporte 4. Chute 5. Paulo Roberto Pereira Santiago. II. Título: Utilização da videogrametria para a análise cinemática do futebol e futsal

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo Roberto Santiago e Luzia Batista Pereira Santiago e irmãos, Danilo Roberto Pereira Santiago e Fernanda Pereira Santiago, pelo apoio e amor incondicional em todos momentos da minha vida.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Esta tese é resultado de muitos anos de dedicação e tem grande contribuição das pessoas e instituições me ajudaram, ensinando e apoiando. Tendo alcançado esta etapa, não poderia deixar de agradecer a todos:

- Aos professores e funcionários da Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto pelo apoio em todos os momentos que precisei, em especial para Adelino, Carlos, Ellen, Matheus, Papoti e Renato;

- Aos meus “pais científicos” Sergio Augusto Cunha e Ildenize Barbosa da Silva Cunha;

- Aos amigos(as) da USP, UNICAMP, UFSCar, UNESP e UFG.

- À minha família - Paulo (pai), Luzia (mãe), Danilo (irmão) e Fernanda (irmã) que sempre estiveram ao meu lado e me fizeram chegar até aqui;

- Aos meus avós Ailda e Onofre por serem exemplos a serem seguidos;

- Aos meus alunos de Pós-graduação Bruno L. S. Bedo, Fábio P. Mariano, Felipe S. Serenza, Luiz H. P. Vieira, Reinaldo Macari, Vitor L. Andrade, pela prontidão em todos momentos e principalmente pela amizade;

- Aos amigos(as) Renan, Katherine, Marcelo, Thiago, Rafael, Tchack, Tarley, Renato S. Lima Jr. e Guilherme M. Cesar, pela paciência e prontidão em todos os momentos que precisei;

- À minha querida companheira Aline que esteve comigo durante a elaboração desta tese;

- À FAPESP, CNPq e Pró-reitora de Pesquisa da USP pelo apoio financeiro.

A todos meu sincero obrigado.

SANTIAGO, P. R. P. Utilização da videogrametria para a análise cinemática do futebol e futsal. 2016. 207 p. Tese (Livre Docência) – Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2016.

RESUMO

A videogrametria pode ser considerada um método altamente flexível e de alto nível de validade ecológica para analisar o desempenho no futebol e futsal. Após um texto introdutório, são apresentados três capítulos, dos quais a videogrametria foi utilizada para a investigação do futebol/futsal. No primeiro capítulo, são apresentados alguns conceitos básicos sobre as câmeras de vídeo digitais, seus ajustes e os procedimentos necessários para uma coleta de dados por meio da videogrametria. No segundo e terceiro capítulos, a videogrametria foi utilizada como método para a obtenção das variáveis cinemáticas no futebol e futsal. A videogrametria é uma ferramenta importante para o estudo do futebol/futsal. Em todos os estudos a videogrametria foi ferramenta primordial para a análise do fenômeno investigado, uma vez que em todos os casos as coletas ocorreram em ambientes externos, ou seja, não laboratoriais, sendo algumas em condições muito adversas para obtenção de variáveis cinemáticas. E os trabalhos aqui apresentados ressaltam a enorme possibilidade da utilização da videogrametria como um método para a investigação do esporte.

Palavras-chave: Biomecânica, Análise por vídeo, Esporte.

SANTIAGO, P. R. P. Use of videogrammetry for the kinematic assessment of soccer and futsal. 2016. 207 p. Thesis – School of Physical Education and Sport of Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2016.

ABSTRACT

Videogrammetry can be considered a highly flexible method of performance assessment in soccer and futsal with high ecological validity. After an introductory passage, three chapters are presented in which videogrammetry was used for the assessment of both sports. The first chapter covers basic concepts about digital video cameras and its adjustments, and the procedures required for data collection via videogrammetry. The second and third chapters present the manner at which videogrammetry was used to obtain kinematic variables in soccer and futsal. Given that data collection did not take place inside a laboratory, adverse conditions are usually expected to obtain kinematic variables. Videogrammetry was the primary tool for the investigated phenomena. This method proved to be an important tool towards the study of soccer/futsal. The material presented in this work highlight the great possibility of using videogrammetry as a method for sports analysis.

Key words: *Biomechanics, Video analysis, Sport.*

SUMÁRIO

1	<i>Introdução</i>	10
2	<i>Capítulo 1 – Procedimentos para coleta de dados cinemáticos do futebol e futsal por meio da videogrametria</i>	15
2.1	Introdução	15
2.2	Considerações básicas de funcionamento de uma câmera de vídeo	17
2.2.1	Resolução espacial	18
2.2.2	Resolução temporal	22
2.2.3	Tipos de lentes - objetiva fotográfica	25
2.2.4	Ajuste da abertura para a entrada de luz - Diafragma.....	27
2.2.5	Ajuste do tempo de exposição de luz - Obturador.....	29
2.2.6	Ajuste do foco.....	31
2.2.7	Sensibilidade ISO	31
2.3	análise bidimensional (2D)	31
2.4	análise tridimensional (3D)	35
2.5	Referências	36
3	<i>Capítulo 2 – Utilização da videogrametria para a análise cinemática do chute</i> ..	40
3.1	Descrição das rotações tridimensionais do tornozelo do membro de suporte em cobranças de pênaltis no futebol.....	40
3.1.1	Resumo.....	41
3.1.2	Introdução	43
3.1.3	Movimento de chute e seus aspectos biomecânicos	45
3.1.4	Descrição das rotações tridimensionais do tornozelo do membro de suporte em cobranças de pênaltis	56
3.1.5	Tarefa e coleta de dados.....	57
3.1.6	Articulação do tornozelo	59
3.1.7	Análise de dados.....	60
3.1.8	Procedimentos para o cálculo dos quatérnions.....	62
3.1.9	Análise estatísticas.....	66
3.1.10	Resultados e discussão.....	66
3.1.11	Conclusão	69
3.1.12	Referências	70
3.2	Comparison of the Kinematic Patterns of Kick Between Brazilian and Japanese Young Soccer Players.....	75
3.2.1	Abstract	76
3.2.2	Background	77
3.2.3	Objectives.....	79
3.2.4	Background	79

3.2.5 Results	84
3.2.6 Discussion	89
3.2.7 References	93
3.3 Velocidade da bola no chute no futsal: comparação entre garotos com diferentes níveis de desempenho e correlação de variáveis preditoras do desempenho	99
3.3.1 Resumo	100
3.3.2 Abstract	101
3.3.3 Introdução	102
3.3.4 Método	104
3.3.5 Resultados	107
3.3.6 Discussão	111
3.3.7 Referências	115
3.4 Desempenho do chute e parâmetros de força muscular com membro dominante e não dominante em jogadores brasileiros profissionais de elite	121
3.4.1 Resumo	122
3.4.2 Introdução	123
3.4.3 Métodos	125
3.4.5 Resultados	131
3.4.6 Discussão	134
3.4.7 Aplicações práticas	139
3.4.8 Referências	140
4 <i>Capítulo 3 – Utilização da videogrametria para a análise dos deslocamentos de jogadores de futsal</i>	146
4.1.1 Abstract	147
4.1.2 Introduction	148
4.1.3 Methods	150
4.1.4 Experimental results	155
4.1.5 Discussion	166
4.1.6 Conclusion	168
4.1.7 References	169
4.2 Preliminary results on organization on the court, physical and technical performance of Brazilian professional futsal players: comparison between friendly pre-season and official match	174
4.2.1 Abstract	175
4.2.2 Resumo	176
4.2.3 Resúmen	177
4.2.4 Introduction	178
4.2.5 Methods	181

4.2.6 Results	187
4.2.7 Discussion	193
4.2.8 Conclusion.....	198
4.2.9 References	198
5 <i>Considerações finais</i>	206

1

INTRODUÇÃO

O futebol e o futsal podem ser caracterizados como modalidades esportivas coletivas de invasão com bola e de habilidade motora predominantemente pedal. A enorme gama de ações técnicas e táticas realizadas durante as partidas faz com que estes esportes se tornem-se extremamente complexos, seja do ponto de vista da atuação profissional, seja da investigação científica.

Devido a esta complexidade, diversas áreas da ciência do esporte concentram suas análises em situações reais de jogo ou em testes com a maior similaridade possível dos fenômenos que ocorrem em uma partida. Neste contexto, as pesquisas em biomecânica aplicadas ao esporte despontam no cenário mundial como uma das mais importantes para o entendimento dos diversos aspectos técnicos e táticos ocorridos no futebol e no futsal.

Os avanços tecnológicos após a década de 80, principalmente os relacionados à área da eletrônica e da informática, contribuíram enormemente para que a biomecânica pudesse utilizar novas técnicas de registro e processamento de imagens nos esportes. Concomitantemente, presenciou-se uma enorme evolução qualitativa e quantitativa nos estudos sobre a cinemática aplicada ao futebol e futsal.

A cinemática é uma parte da mecânica que descreve o movimento de um corpo por meio da sua posição em função do tempo. Na biomecânica, uma ferramenta amplamente empregada para obter-se variáveis cinemáticas é a videogrametria: tecnologia de medição baseada na utilização de câmeras de vídeos.

A videogrametria, aplicada de forma apropriada e muito criteriosa, possibilita descrever os diversos tipos de movimentos ocorridos nos esportes. Sua

Introdução

grande vantagem nas análises esportivas, como no futebol e futsal, deve-se principalmente pela:

- Baixa interferência no fenômeno investigado, pois em muitos casos, não depende da fixação de nenhum objeto no atleta;
- Alta portabilidade, pois os equipamentos de vídeo utilizados são em sua maioria projetados para serem facilmente transportados;
- Alta resistência, pois muitas câmeras de vídeo resistem a diversas condições ambientais, como de temperatura, umidade e pressão.

Assim, a videogrametria pode ser considerada um método altamente flexível e de alto nível de validade ecológica.

Nesta tese apresento seis trabalhos em formato de artigos, agrupados em capítulos de acordo com tipo de movimento investigado. Como a apresentação no formato de artigos não permite uma descrição mais detalhada dos equipamentos e procedimentos da videogrametria para a análise cinemática do futebol e do futsal devido as restrições impostas pelas revistas científicas quando ao número de palavras e figuras, no **Capítulo 1 (Procedimentos para coleta de dados cinemáticos do futebol e futsal por meio da videogrametria)**, são apresentados alguns conceitos básicos sobre câmeras de vídeo digitais, seus ajustes e alguns procedimentos de procedimentos necessários para uma coleta de dados por meio da videogrametria no futebol/futsal.

Em seguida, são apresentados dois capítulos nos quais a videogrametria foi utilizada como método para a obtenção das variáveis cinemáticas em diferentes tipos de movimentos no futebol ou no futsal. Em todos os estudos a videogrametria foi ferramenta primordial para a análise do fenômeno investigado, uma vez que em todos os casos, as coletas ocorreram em ambientes não laboratoriais, sendo algumas em condições muito adversas para obtenção de variáveis cinemáticas.

O **Capítulo 2 (Utilização da videogrametria em análises cinemáticas do chute)** foi composto por um capítulo de livro e três artigos nos quais a videogrametria foi utilizada para investigar o chute no futebol ou no futsal:

Introdução

1. CUNHA, S. A.; MOURA, F. A.; BARBIERI, F. A.; **SANTIAGO, P. R. P.** Descrição das rotações tridimensionais do tornozelo do membro de suporte em cobranças de pênaltis. In: ARRUDA, M. De; SANTI MARIA, Thiago; CAMPEIZ, José Mário; COSSIO-BOLAÑOS, M. A. C. (Org.). *Futebol: ciências aplicadas ao jogo e ao treinamento*. 1ed. São Paulo: Phorte, 2013, v. 1, p. 189-210.
2. **SANTIAGO, P. R. P.**; VIEIRA, L. H. P.; BARBIERI, F. A.; MOURA, F. A.; SANTANA, J. E.; ANDRADE, V. L.; BEDO, B. L. S.; CUNHA, S. A. Comparison of the Kinematic Patterns of Kick Between Brazilian and Japanese Young Soccer Players. Aceito para publicação em 2015 no periódico *Asian Journal of Sports Medicine*. In Press.
3. ANDRADE, V. L.; VIEIRA, L. H. P.; BEDO, B. L. S.; MACARI, R.; MARIANO, F. P.; NODA, C. T.; **SANTIAGO, P. R. P.** Velocidade da bola no chute no futsal: comparação entre garotos com diferentes níveis de desempenho e correlação de variáveis preditoras do desempenho. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, v. 29, p. 371-381, 2015.
4. VIEIRA, L. H. P.; SERENZA, F. S.; ANDRADE, V. L.; OLIVEIRA, L. P.; MARIANO, F. P.; SANTANA, J. E.; **SANTIAGO, P. R. P.** Desempenho do chute e parâmetros de força muscular com membro dominante e não dominante em jogadores brasileiros profissionais de elite. Submetido em 2016.

O Capítulo 3 (Utilização da videogrametria para a análise dos deslocamentos de jogadores de futsal) foi composto por dois artigos nos quais a videogrametria foi utilizada para analisar o deslocamento de jogadores durante partidas de futsal:

1. VIEIRA, L. H. P.; PAGNOCA, E. A.; MILIONI, F.; BARBIERI, R. A.; MENEZES, R. P.; DÉNIZ, L. G.; CADRÉS-SANTANA, D.; **SANTIAGO, P. R. P.** Tracking futsal players with a wide-angle lens camera: accuracy analysis of the radial distortion correction based on an improved Hough transform algorithm. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, v. 5, p. 1-11, 2015.
2. VIEIRA, L. H. P.; DOGRAMACI, S. N.; BARBIERI, R. A.; MILIONI, F.; MOURA, F. A.; ANDRADE, V. L.; CESAR, G. M.; **SANTIAGO, P. R. P.** Preliminary results on organization on the court, physical and technical performance of Brazilian

Introdução

professional futsal players: comparison between friendly pre-season and official match. Motriz, Rio Claro, v.22 n.2, p. 80-92, Apr./June 2016.

O artigo “Tracking futsal players with a wide-angle lens camera: accuracy analysis of the radial distortion correction based on an improved Hough transform algorithm”, do **Capítulo 3**, apresenta um destaque especial, pois nele também foi desenvolvido um *software* para correção automática da distorção ótica de câmeras de vídeo que possuem lentes do tipo “grande angular”. Este *software* foi utilizado para corrigir os vídeos do terceiro estudo do **Capítulo 2**, que utilizou câmeras com lentes de grande angular.

Sou muito grato a três Universidades Públicas Paulistas (Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Rio Claro, Universidade Federal de São Carlos – São Carlos, Universidade de São Paulo – Ribeirão Preto) por toda oportunidade que me foi dada para o desenvolvimento dos estudos desta tese. Os estudos tiveram início em 2006, quando comecei minha atuação como professor de disciplinas relacionadas com o Futebol, Futsal e Biomecânica no ensino superior, além da orientação de alunos de Iniciação Científica e Mestrado.

As coletas de dados de cada trabalho ocorreram em uma ordem cronológica que refletem a minha passagem como docente nestas três Universidades. Contudo, a opção de agrupamento dos trabalhos não reflete esta cronologia, visto que julgo como mais importante agrupar os estudos pelo tipo de movimento investigado (chutar a bola e o deslocamentos em quadra).

É importante ressaltar que contribuí diretamente em todas as etapas dos estudos apresentados: formulação intelectual, coleta de dados, análise estatística, discussão dos resultados, revisão e aprovação da versão final dos manuscritos. Isso pode ser evidenciado nas autorias de todos os trabalhos apresentados, nos quais sou primeiro ou último autor, fato que denota minha participação direta na elaboração de cada um deles.

O texto do presente trabalho foi elaborado afim de sistematizar criticamente parte da minha trajetória científica no que se refere a utilização de câmeras de vídeo para a análise cinemática do futebol/futsal. Deste modo, esta obra segue a normativa estabelecida pela Universidade de São Paulo, que coloca como

Introdução

possibilidade de apresentar um texto alternativo à tese para a realização do concurso de Livre-docência (inciso II do art. 167, do Regimento Geral): 1 - O texto sistematizado, alternativo da tese original, deve ser elaborado de forma crítica, com a necessária articulação teórica, precedido por uma introdução e completado pelas conclusões, devendo ser individual, de autoria do próprio candidato e redigido em português; 2 - Os trabalhos nos quais se fundamenta o texto desenvolvido podem eventualmente ter sido produzidos em coautoria com outros pesquisadores e devem ser anexados em qualquer língua em que estejam escritos, podendo a Congregação solicitar ao candidato a sua tradução, caso considere necessário.

2

CAPÍTULO 1 – PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS CINEMÁTICOS DO FUTEBOL E FUTSAL POR MEIO DA VIDEOGRAMETRIA

2.1 INTRODUÇÃO

Para uma análise cinemática quantitativa de um atleta, em situações próximas às condições reais de jogo, é necessária a utilização de equipamentos robustos e com poucas restrições operacionais. Neste sentido, a utilização de câmeras de vídeo digitais tem se apresentado com uma das soluções mais viáveis, uma vez que são equipamentos altamente flexíveis para o registro de movimentos esportivos, considerando também que a fixação de dispositivos (como o GPS) ao corpo ou uniforme dos atletas não é permitido de acordo com as regras da FIFA.

A escolha da câmera depende muito do problema a ser resolvido e da sua capacidade de registrar o movimento desejado. Quando se deseja qualidade de imagens, o indicado são câmeras com alta resolução de imagem (quantidade de *pixels*¹); para movimentos extremamente velozes, o indicado são câmeras especiais com alta taxa de registro de imagem.

Atualmente, existem muitos modelos de câmeras disponíveis no mercado, podendo essas serem simples e baratas ou complexas e consideravelmente caras (Figura 1).

1 – *Pixel*, é a abreviatura em inglês de *Picture (Pix)* e *Element (el)*. Um Pixel é o menor elemento no dispositivo de exibição (por exemplo, um monitor), ao qual é possível atribuir-se uma cor. Um mosaico com milhares de pixels forma a imagem inteira.

Foto de divulgação no site do fabricante

Figura 1. Tipos de câmeras comerciais e suas especificações de resolução de imagem, frequência de aquisição e preço em dólar: (A) Câmera Sony 600TVL (resolução máxima 768x494 *pixels*, frequência máxima de 30 Hz em resolução de 768x494 *pixels*), preço aproximado em dólar US\$ 30,00. (B) Câmera Casio EX-F1 (resolução máxima 1920x1080 *pixels*, frequência máxima de 1.200 Hz em resolução de 336x96 *pixels*), preço aproximado em dólar US\$ 2.700,00. (C) Câmera ultra portátil GoPro Hero 4 Black (resolução máxima de 3840x2160 *pixels*, frequência máxima de 240 Hz em resolução de 1280x720 *pixels*), preço no *site* do fabricante em dólar US\$ 499,99. (D) Câmera de alta velocidade Photron FASTCAM SA-Z 480K-C-64GB (resolução máxima 1024x1024 *pixels*, frequência máxima de 480.000 Hz em resolução de 512x56 *pixels*), preço informado pelo representante no Brasil em dólar US\$ 115.300,00.

Contudo, o intuito deste capítulo não é apresentar marcas ou modelos de câmeras que possam ser utilizadas para a videogrametria. A intensão aqui é, mostrar alguns aspectos importantes para o registro de imagens com qualidade para posteriores análises cinemáticas. Assim, na sequência são apresentadas algumas considerações básicas e ajustes em câmeras de vídeo para uma coleta de dados cinemáticos do futebol/futsal.

2.2 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS DE FUNCIONAMENTO DE UMA CÂMERA DE VÍDEO

Trataremos neste tópico de alguns ajustes nas câmeras de vídeo que são importantes para obtenção de imagens de qualidade para uma posterior análise cinemática.

A maioria das câmeras digitais permitem alguns tipos de ajustes fundamentais para o registro de imagens. Mesmo que esses ajustes não estejam disponíveis para o usuário, certamente já foram pré-definidos e fixados pelo fabricante da câmera.

Caso a câmera permita ajustes, os principais a serem considerados para uma coleta de dados cinemáticos são: resolução espacial (quantidade de *pixel* que forma a imagem); resolução temporal (tempo necessário para formar e armazenar uma imagem); tipo de lente (objetiva fotográfica); quantidade de luz (diafragma); tempo de exposição de luz (obturador); nitidez de imagem (foco).

Na Figura 2 é apresentado um projeto de câmera com seus dispositivos essenciais: lente, diafragma, obturador, ajuste de foco e sensor CCD (*charge-coupled device*).

Figura 2. Projeto básico de uma câmera com os dispositivos essenciais (Adaptado de SHIMODA, 2009).

2.2.1 RESOLUÇÃO ESPACIAL

As câmeras de vídeo digitais utilizam como elemento primário para formar uma imagem, um dispositivo denominado de CCD (*charge-coupled device*) ou um dispositivo denominado de CMOS (*complementary metal-oxide-semiconductor*) (Figura 3).

Figura 3. Imagens de duas câmeras com seus sensores responsáveis por formar a imagem digital. Nikon D200 com sensor CCD (esquerda) e Sony alpha a77 como sensor CMOS (direita).

Estes sensores (CCD e CMOS) fazem o registro da luz projetada pela lente (apresentada no tópico 2.4 deste Capítulo - Tipo de lentes), funcionando de forma equivalente a uma película fotográfica.

O CCD surgiu primeiro, seguido pelo CMOS, que apresenta a mesma função na câmera de vídeo. Contudo, o CMOS é mais utilizado ultimamente nas câmeras portáteis, pois é mais barato para ser produzido e apresenta menor consumo de energia. Como o CCD é pioneiro, o mesmo será referido na sequência, como sensor para formação de imagens digitais.

A invenção do CCD foi considerada tão importante pela ciência que no ano de 2009 seus inventores, os pesquisadores Willard S. Boyle e George E. Smith, dividiram o Prêmio Nobel em Física com Charles Kuen Kao que realizou pesquisas

inovadoras relacionadas com a transmissão de luz em fibras óticas para a comunicação (Figura 4).

Figura 4. Fotos dos pesquisadores que dividiram o Prêmio Nobel em Física no ano de 2009.

Disponível em: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2009/>

Em sua invenção, Willard S. Boyle e George E. Smith, conseguiram desenvolver um dispositivo capaz de transformar padrões de luz em informação digital (Figura 5).

Figura 5. Foto clássica de Willard Boyle (esquerda) e George Smith (direita) em um teste com o CCD. Foto tirada em 1974. Foto: Alcatel- Lucent/Bell Labs.

Disponível em: <<http://qz.com/384254/bell-labs-once-led-the-world-in-tech-innovations-but-now-is-more-notable-for-its-string-of-owners/>>

Sem dúvida a invenção do CCD não só revolucionou a forma do ser humano se comunicar e enxergar os movimentos, mas também possibilitou explorar o universo (por exemplo, o telescópio espacial Hubble que registra imagens com CCDs).

Quando o objetivo é registrar um movimento no futebol/futsal, a quantidade de *pixel* existente em um sensor CCD é fundamental para que seja possível identificar os objetos de interesse na imagem. Assim, a quantidade de *pixel* no CCD, defini a resolução espacial que forma uma imagem. Em tese quanto maior for a quantidade de sensores, maior será a resolução. Como existem diferentes fabricantes de câmeras de vídeo e aparelhos de exibição de imagens, foram convencionados padrões de resolução que corresponde a quantidade em altura (linha) e a largura (colunas) de *pixels* ou ao tamanho da diagonal correspondente em polegadas (Figura 6).

Figura 6. Ilustração das diferentes resoluções de vídeo disponíveis no mercado com relação ao número de *pixels* em linhas e colunas.

Quanto maior for a quantidade de *pixel* que definem um objeto, mais fácil será sua identificação na imagem. Assim, caso um objeto seja representado numa escala abaixo de um *pixel*, não será possível sua identificação entre os demais objetos de uma imagem.

A Figura 7 ilustra uma situação jogadores e bolas de futebol espalhados no campo durante um treino. Teoricamente as bolas possuem o mesmo tamanho real, mas, na imagem, são representadas com diferentes números de *pixels*. É possível verificar que na situação onde a bola se encontra mais distante da câmera, uma quantidade pequena de *pixels* são utilizados para sua exibição. Caso o número de *pixel* que define a bola for menor que um (1), não será mais possível identificar a bola na imagem.

Figura 7. Imagem (Full HD - 1920x1080 *pixel*) de um treino de futebol com várias bolas em campo. As duas bolas que se encontram mais distantes da câmera, são representadas por um número menor de *pixels*.

Para uma análise no futebol/futsal não existe uma resolução ideal, mas sim uma resolução que permita identificar os objetos de interesse em todos locais do campo. Recomenda-se que a resolução espacial mínima seja compatível com a acurácia mínima aceitável para investigação do movimento desejado. Quanto maior for a resolução, mais espaço para armazenamento será necessário.

No passado, isso dificultava filmar dois tempos de 45 minuto de uma partida de futebol, por exemplo, em uma resolução de 1920x1080 *pixel*. Contudo, atualmente o espaço necessário para armazenar os vídeos não é tão problemático, pois os cartões de memória aumentaram suficientemente para gravar um jogo em alta resoluções. Assim, é indicado utilizar a maior resolução disponível na câmera para uma dada frequência de aquisição de vídeo (frequência de aquisição apresentada no tópico 2.3 - Resolução temporal).

Na atualidade, as resoluções de 1280x720 *pixels* (*High Definition* – HD 720) e 1920x1080 (*High Definition* – HD 1080 ou Full HD) têm sido as mais utilizadas para filmagens de jogos de futebol e futsal. Isso se deve, principalmente, pela quantidade de câmeras disponíveis no mercado com estas resoluções. Todavia, é importante sempre lembrar que o espaço de armazenamento gera custos financeiros e, quanto maior o espaço para armazenamento, maior é o gasto.

2.2.2 RESOLUÇÃO TEMPORAL

Se é possível registrar uma imagem em uma dada resolução espacial, logo seria lógico que isso pudesse ser feito várias vezes para um determinado tempo. Tornando o tempo como uma variável discreta, é possível obter-se um número finito de imagens dentro desta variável, se denominarmos toda imagem formada como quadro (em inglês *frame*) e o tempo como segundo, fica estabelecida uma relação de números de quadros formados por segundo (quadros por segundo - QPS ou no inglês *frames per second* - FPS). Como esta descrição assume uma característica de frequência de um evento periódico, atribui-se a unidade de medida derivada do Sistema Internacional de Unidades hertz (Hz).

Seguindo a mesma analogia da resolução espacial, qual seria a melhor frequência de amostragem para registrar um movimento? Na verdade, a frequência de registro depende basicamente da capacidade da câmera registrar e transferir os dados de imagens para um sistema de armazenamento.

Para armazenar dados de vídeo já foram utilizados muitos dispositivos de armazenamento:

- Magnéticos: disco rígido, disquete;
- Ópticos: CD, DVD, Blu-Ray;
- Eletrônicos: cartões de memória e pendrives (SSDs - *solid state drive*).

Os dispositivos eletrônicos do tipo SSD são recentes e mais utilizados nas atuais câmeras digitais. Sua evolução de desempenho na tarefa de armazenamento de informação se dá pelo fato de não possuírem partes móveis, apenas circuitos eletrônicos que não precisam se movimentar para ler ou gravar informações (Figura 8).

Capacidade	512 GB	256 GB	128 GB	64 GB	32 GB	16 GB
Velocidade de Leitura	até 95 MB/s	até 95 MB/s	até 95 MB/s	até 95 MB/s	até 95 MB/s	até 95 MB/s
Velocidades de Gravação	até 90 MB/s	até 90 MB/s	até 90 MB/s	até 90 MB/s	até 90 MB/s	até 90 MB/s
Fator de Forma	SDXC	SDXC	SDXC	SDXC	SDHC	SDHC
Velocidade de Vídeo	C10, U3	C10, U3	C10, U3	C10, U3	C10, U3	C10, U3

Foto de divulgação no site do fabricante

Figura 8. Tipos de cartões de memória e suas especificações de capacidade e velocidades de transmissão/gravação de dados.

A maioria das câmeras disponíveis no mercado são configuradas para operar em uma frequência padrão de 30 Hz ou, de uma forma mais simples, podemos entender que em 1 segundo são registradas 30 imagens. Algumas dessas imagens podem ser desentrelaçadas, técnica computacional que duplica a frequência de filmagem. No caso de uma filmagem a 30 Hz, após o desentrelaçamento a frequência passará a ser de 60 Hz. Contudo, esse processo implica em perder a qualidade da imagem, uma vez que uma nova imagem terá que ser gerada com metade dos campos de imagem. Na atualidade, as câmeras que trabalham com vídeos entrelaçados, não são mais comuns.

Devido a uma popularização e um interesse comercial crescente pelos recursos de câmera lenta (*Slow Motion*), alguns fabricantes de câmeras começaram a produzir câmeras que registram acima de 60 Hz (ver Figura 1, A e B). Isso permitiu a utilização de câmeras comerciais (baixo custo financeiro) para a análise de muitos movimentos esportivos que, até então, só podiam ser analisados com câmeras profissionais (alto custo financeiro).

Para a análise do deslocamento de jogadores em campo, estudos têm realizado filmagens com uma baixa frequência de aquisição (2 a 30 Hz) devido ao longo processo computacional envolvido para o tratamento dessas imagens e à dificuldade de armazenamento (BARROS, MISUTA et al., 2007; CARLING, BLOOMFIELD et al., 2008; BRADLEY, SHELDON et al., 2009, CAETANTO et al. 2015). Esses valores de frequência têm se mostrado suficientes para o cálculo das variáveis de interesse, como distância percorrida e velocidade dos atletas.

No entanto, para uma análise minuciosa dos movimentos corporais durante a execução de atividades esportivas rápidas, é necessária uma frequência de aquisição maior, visando reduzir a perda de informações. A Tabela 1 apresenta uma breve revisão sobre a frequência de aquisição utilizada em estudos sobre o chute no futebol. Um fato interessante é que pesquisas mais recentes nem sempre apresentam maior frequência de aquisição.

Tabela 1. Frequência de aquisição utilizada em estudos do chute no futebol.

Estudo	Frequência (Hz)
HUSSAIN e ARSHAD BARI (2012)	50
DE WITT e HINRICHS (2012)	60
BARBIERI et al. (2010)	120
KELLIS, KATIS e VRABAS (2006)	120
BARBIERI et al. (2008)	120
SANTIAGO et al. (2007)	120
KAWAMOTO et al. (2007)	200
LEVANON e DAPENA (1998)	200
NUNOME et al. (2002)	200
KATIS e KELLIS (2010)	200
LEES, KERSHAW e MOURA (2005)	240
VIEIRA (2014)	240
KAPIDZIC, HUREMOVIC e BIBEROVIC (2014)	300
ANDERSEN, DØRGE e THOMSEN (1999)	400
APRIANTONO et al. (2006)	500
SINCLAIR et al. (2014)	500
NUNOME et al. (2006)	1000
SHINKAI et al. (2007)	2000

2.2.3 TIPOS DE LENTES - OBJETIVA FOTOGRÁFICA

As lentes, por definição, são sistemas ópticos de refração, ou seja, são sistemas que alteram a trajetória dos raios luminosos. As lentes utilizadas em câmeras são do tipo convergentes e o seu conjunto (algumas objetivas possuem mais de uma lente no seu interior), também são chamadas por objetiva fotográfica. As objetivas fotográficas distinguem-se pela medida da distância focal, sendo a distância focal uma medida em milímetros, entre o ponto de convergência da luz até o ponto onde a imagem focalizada será projetada (sensor) (Figura 9).

Figura 9. Desenho de convergência dos raios de luz de uma lente e da distância focal.

As objetivas podem ser classificadas em três tipos: Normal ou Padrão; Teleobjetiva ou Objetiva de Foco Longo; e Grande-Angular.

As objetivas Normal ocorre quando a distância focal é aproximadamente igual a diagonal da imagem formada no sensor. Elas captam os raios luminosos num ângulo de aproximadamente 50° (o mesmo do olho humano).

Nas objetivas Teleobjetiva, a distância focal é consideravelmente maior que a diagonal da imagem formada no sensor. Deste modo, o ângulo de entrada da luz na câmera é mais agudo (aproximadamente 16°) que o da visão humana, o que permite obter uma imagem aumentadas de uma pequena área.

Nas objetivas Grande Angular, a distância focal é consideravelmente menor que a diagonal da imagem formada no sensor (aproximadamente $2/3$). Nas Grande Angular o campo de visão é maior em comparação a uma objetiva normal, além da perspectiva ser mais acentuada, distorcendo consideravelmente as bordas da imagem.

A utilização de objetivas de Grande Angular é conveniente para verificar o deslocamento de jogadores, pois apresenta um grande campo de visão. Contudo, as calibrações realizadas são lineares. Deste modo, é necessário aplicar correções

para que seja possível utilizar calibrações lineares (verificar o primeiro artigo do Capítulo 3 desta tese).

2.2.4 AJUSTE DA ABERTURA PARA A ENTRADA DE LUZ - DIAFRAGMA

O diafragma é um dispositivo que controla a quantidade de luz que passa pela lente da câmera. Sua regulagem é definida como números de f ou “f-stop” (Figura 13).

Figura 13. Escala de abertura de f-stop do diafragma.

A escala de f-stop cresce em uma ordem de 2, isto é, à medida que a escala sobe, a entrada de luz na câmera cai pela metade do ajuste anterior.

Na prática, menores valores de f-stop (por exemplo um f-stop de f/2) mais luz passa através da lente e atinge o sensor da câmera (Figura 14).

Figura 14. Passagem de luz em duas aberturas do diafragma.

O ajuste do diafragma é importante, pois define se uma imagem ficará mais clara ou mais escura. Contudo, é importante saber que, além de controlar a passagem de luz pela lente, o diafragma também é responsável pelo controle da profundidade de campos nítidos em uma imagem. Isto quer dizer que, quanto menor for a abertura para a entrada de luz, mais nítida é a imagem. Então, o registro de uma imagem com diferentes aberturas de diafragma (por exemplo, $f/2.7$ e $f/7.5$) apresentariam diferença na quantidade de luz e nitidez (Figura 15).

Figura 15. Exemplo de dois chutes registrados com diferentes ajustes de abertura do diafragma. Diafragma de $f/2.7$ (A) e Diafragma de $f/7.5$ (B). Câmera utilizada: Casio EX-F1; velocidade do obturador = $1/100s$; sensibilidade ISO = 100.

No futebol em ambientes abertos e ensolarados, a nitidez é privilegiada, assim a abertura do diafragma geralmente é pequena, pois existe uma quantidade suficiente de luz para formação da imagem. Já em situações noturnas ou em ambientes fechados como, no futsal, a quantidade de luz é privilegiada, assim a abertura do diafragma é a maior possível.

2.2.5 AJUSTE DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO DE LUZ - OBTURADOR

Um importante ajuste a ser realizado nas câmeras durante a filmagem de movimentos relativamente velozes como, o chute, é o obturador (em inglês *shutter*). O obturador é um dispositivo que controla o tempo de luz que vai para o sensor da câmera. A unidade de medida adotada para o obturador é em segundos e está em uma escala de razão 2. Isso significa que o tempo de entrada de luz é dividido pela metade a cada escala: 1, $1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/15$, $1/30$, $1/60$, $1/125$, $1/250$, $1/1000$, $1/2000$, $1/4000$, $1/8000$, $1/10000$ segundos, e assim por diante.

A maioria dos eventos esportivos produz “borrões” na imagem devido à alta velocidade de execução do movimento. Desse modo, o ajuste do obturador

possibilita uma redução desses “borrões” ao limitar o tempo de entrada de luz para formar a imagem no sensor. Se os movimentos são muito rápidos, utilizam-se baixos tempos de entrada de luz (algumas câmeras permitem ajustes de até $1/1000000$ como é o caso da câmera Photron FASTCAM SA-Z 480K-C-64GB). Porém, quanto menor for o tempo de luz no sensor, menor quantidade de luz será utilizada para formar uma imagem e na prática, isso implica em imagens mais escuras. Para resolver isso, é necessário aumentar a quantidade de luz no ambiente (realizado com iluminação extra) ou deve-se aumentar o tempo de entrada, correndo o risco de obter imagens com “borrões” (Figura 16).

Figura 16. Exemplo de dois chutes registrados com diferentes ajustes de velocidade obturador. Com o obturador de $1/100$ s o “borrão” é maior (A) que o obturador de $1/2000$ s, mas nesta última condição, a imagem é mais “escura” (B). Câmera utilizada: Casio EX-F1; abertura do diafragma = $f/2.7$; sensibilidade ISO = 400.

Desta forma, o avaliador deve encontrar a melhor condição de luz e tempo de obturador para o registro dos movimentos. Coletas de dados em ambientes externos, com grande exposição à luz, normalmente permitem baixos valores de obturador.

2.2.6 AJUSTE DO FOCO

O foco é o ajuste que ocorre por meio da aproximação ou afastamento da objetiva do sensor. Assim, o ajuste do foco define a distância do plano focal ao objeto em foco que deve ficar nítido na imagem formada. Isso significa que, se o foco for ajustado para uma medida de 2 metros, estará nítido os objetos que estiverem a 2 metros do plano do sensor na câmera.

Geralmente, a escala do foco está impressa em um aro da objetiva em metros e pés. Após ajustado o foco da câmera, este deve permanecer fixo do início ao fim da coleta de dados, para isso, o foco deve ser fixado no modo manual no momento da calibração e deve ser mantido durante toda a filmagem do evento de interesse.

2.2.7 SENSIBILIDADE ISO

A sensibilidade ISO é uma escala da *International Organization for Standardization* (<http://www.iso.org/iso/home.html>) de sensibilidade à luz, em que quanto maior for o valor do ISO, maior será sensibilidade à Luz. Em termos simples e prático, aumentar o ISO significa deixar a imagem mais clara. Assim, o ISO pode ser entendido como um amplificador (fator de ganho) no sensor.

O ISO alto ajuda no registro de imagens em ambientes com baixa luminosidade, contudo, ele tem um lado negativo - o ruído digital. Ao aumentar a sensibilidade do sensor à luz, também é amplificado o ruído elétrico, deixando assim a imagem menos nítida.

2.3 ANÁLISE BIDIMENSIONAL (2D)

Quando o objetivo é obter o posicionamento de jogadores no plano do campo/quadra durante uma partida oficial, a análise 2D pode ser realizada. Este tipo de medida permite o cálculo das distâncias percorridas, velocidades, acelerações,

além de aspectos táticos como, posição média de atuação e estratégias da equipe de espalhamento dos jogadores. Em geral para este tipo de análise uma câmera pode ser suficiente (Figura 17).

Figura 17. Exemplo da filmagem de um jogo de futebol em que apenas uma câmera enquadrada todo campo de futebol.

Contudo, se a região de interesse for muito extensa e houver restrição no recuo disponível da câmera para o enquadramento de todo campo/quadra, mais câmeras são necessárias para uma análise dos deslocamentos em todo campo (Figura 18).

Figura 18. Exemplo de uma situação no qual duas câmeras foram necessárias para enquadrar todo campo de futebol.

A utilização de duas ou mais câmeras para filmar um jogo, muitas vezes, requer que mais de uma pessoa tenha que ir ao ambiente de jogo para operar ou monitorar as câmeras. Mais câmeras também implica no aumento considerável de espaço em disco rígido para armazenar os arquivos de vídeo. Tudo isso deixa todo processo de análise cinemática 2D de um jogo mais “oneroso”, tanto do ponto de vista operacional, quanto financeiro.

A medição consiste em identificar na tela do computador os objetos de interesse durante todos os quadros da filmagem. Na análise 2D do deslocamento de jogadores em campo, o atleta é identificado como um único ponto projetado no plano do campo/quadra. A Figura 19 apresenta as medições de um jogador para análise de seu deslocamento.

Esse procedimento é realizado por *softwares* específicos, como o DVIDEOW (FIGUEROA, LEITE et al., 2003; FIGUEROA, LEITE et al., 2006) que, por meio de operadores computacionais e matemáticos, é capaz de identificar os marcadores ou jogadores automaticamente. Para isso, o operador identifica a posição do marcador no primeiro quadro e, na sequência, o *software* acompanha o marcador nos quadros seguintes.

Após conhecer sua posição em tela é necessário que se conheça a sua posição no espaço em relação a um dado referencial real. A calibração é o nome dado a conversão dos pontos medidos na tela do computador (que estão com valores em pixels) para as coordenadas cartesianas x e y de campo em metros.

Figura 19. Ilustração da posição de tela de um jogador durante um jogo de futebol no software DVIDEOW.

Para reconstrução 2D, é preciso conhecer as dimensões da área onde o movimento ocorrerá, bem como também definir onde será fixado o sistema de referências. Para análise do deslocamento dos jogadores em campo, podem-se utilizar as marcações do próprio futebol (Figura 20). O método mais comum de realizar a reconstrução 2D é o 2D-DLT (*Direct Linear Transformation*) (ABDEL-AZIZ; KARARA, 1971).

Figura 20. Pontos utilizados para calibração com coordenadas reais (x, y) previamente mensuradas.

2.4 ANÁLISE TRIDIMENSIONAL (3D)

Para uma análise 3D são necessárias pelo menos duas câmeras registrando o mesmo fenômeno de interesse de forma simultânea (Figura 21).

Figura 21. Exemplo de um chute registrado de forma simultânea por duas câmeras de vídeo para posterior reconstrução 3D.

Para a calibração 3D, é necessário colocar algum objeto no local, que possua dimensões conhecidas, e definir uma origem onde será fixado o sistema de referências (Figura 22).

Figura 22. Calibrador com dez marcadores de posições conhecidas e para calibração do local onde a bola foi posicionada.

A partir das coordenadas de tela das duas câmeras de vídeo e dos valores de referência real do calibrador, realiza-se a reconstrução 3D por meio do 3D-DLT – *Direct Linear Transformation* (ABDEL-AZIZ e KARARA, 1971), obtendo-se assim as coordenadas x , y e z de cada um dos marcadores ao longo do tempo.

2.5 REFERÊNCIAS

ABDEL-AZIZ, Y. I. E H. M. KARARA. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry Illinois*, 1971. 1-18 p.

ANDERSEN, T. B., *et al.* Collisions in soccer kicking. *Sports Engineering*, v., n. 2, p. 121-125, 1999.

APRIANTONO, T., *et al.* The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *J Sports Sci*, v. 24, n. 9, p. 951-960, 2006.

BARROS, R. M. L., M. S. MISUTA, *et al.* Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine*, v.6, p.10. 2007.

BARBIERI, F. A., *et al.* Performance comparisons of the kicking of stationary and rolling balls in a futsal context. *Sports Biomech*, v. 9, n. 1, p. 1-15, 2010.

BARBIERI, F. A., *et al.* Diferenças entre o chute realizado com o membro dominante e não-dominante no futsal: Variabilidade, velocidade linear das articulações, velocidade da bola e desempenho. *Rev Bras Ciênc Esporte*, v. 29, n. 2, p., 2008.

BRADLEY, P. S., W. SHELDON, *et al.* High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci*, v.27, n.2, Jan 15, p.159-68. 2009.

CARLING, C., J. BLOOMFIELD, *et al.* The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Med*, v.38, n.10, p.839-62. 2008.

CAETANO, F. G., BUENO, M. J. O., *et al.* Characterization of the Sprints and Repeated-Sprint Sequences Performed by Professional Futsal Players During Official Matches According to Playing Position. *Journal of Applied Biomechanics* 31(6):423-429 · November 2015.

DE WITT, J. K.; HINRICHS, R. N. Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. *Sports Biomech*, v. 11, n. 3, p. 382-390, 2012.

FIGUEROA, P. J., N. J. LEITE, *et al.* A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Computer Methods Programs Biomed*, v.72, n.2, Oct, p.155-65. 2003.

Figueroa, P. J., N. J. Leite, *et al.* Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis. *Computer Vision and Image Understanding*, v.101, n.2, p.122-135. 2006.

GOMIDE, J. V. B.; ARAÚJO, A. D. A. Efeitos Visuais, uma Abordagem a Partir do Processamento Digital de Imagens. Revista de Informática Teórica e Aplicada, v. 16, n. 1, p. 25, 2009. ISSN 2175-2745.

HUSSAIN, I.; ARSHAD BARI, M. Biomechanical evaluation of ankle force during instep kicking. Indian Streams Research Journal, v. 2, n. 1, p. 225.

LEES, A.; KERSHAW, L.; MOURA, F. The three-dimensional nature of the maximal instep kick in soccer. In: Reilly, T.; Cabri, J.; Araújo, D. (Ed.). Science and Football V. London and New York: Routledge, 2005, p.65-70.

LEVANON, J.; DAPENA, J. Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. Med Sci Sports Exerc, v. 30, n. 6, p. 917-927, 1998.

KAPIDZIC, A., et al. Kinematic Analysis of the Instep Kick in Youth Soccer Players. J Human Kinet, v. 42, n. 1, p. 81-90, 2014.

KATIS, A.; KELLIS, E. Three-dimensional kinematics and ground reaction forces during the instep and outstep soccer kicks in pubertal players. J Sports Sci, v. 28, n. 11, p. 1233-1241, 2010.

KELLIS, E.; KATIS, A.; VRABAS, I. S. Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. Scand J Med Sci Sports, v. 16, n. 5, p. 334-344, 2006.

KAWAMOTO, R., et al. Kinetic comparison of a side-foot soccer kick between experienced and inexperienced players. Sports Biomech, v. 6, n. 2, p. 187-198, 2007.

NUNOME, H., et al. Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. Med Sci Sports Exerc, v. 34, n. 12, p. 2028-2036, 2002.

NUNOME, H., et al. Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg. J Sports Sci, v. 24, n. 5, p. 529-541, 2006.

VIEIRA, L. H. P. Alterações no desempenho de chutes de finalização associados a padrões de deslocamentos durante partidas de futsal. [Monografia]. Universidade de São Paulo, 2014.

SANTIAGO, P. R. P., et al. Relação do padrão cinemático de movimento com desempenho do chute em cobranças de falta no futebol. *Braz J Biomech*, v. 8, n. 15, p. 54-60, 2007.

SHIMODA, F. Imagem fotográfica. São Paulo: Alínea, 2009.

SHINKAI, H., et al. Foot and ball behaviour during impact phase of instep soccer kicking. *J Biomech*, v. 40, n. suppl. 2, p. S198, 2007.

SINCLAIR, J., et al. Three-dimensional kinematic correlates of ball velocity during maximal instep soccer kicking in males. *Eur J Sport Sci*, v. 14, n. 8, p. 799-805, 2014.

3

CAPÍTULO 2 – UTILIZAÇÃO DA VIDEOGRAMETRIA PARA A ANÁLISE CINEMÁTICA DO CHUTE

3.1 DESCRIÇÃO DAS ROTAÇÕES TRIDIMENSIONAIS DO TORNOZELO DO MEMBRO DE SUPORTE EM COBRANÇAS DE PÊNALTIS NO FUTEBOL

Sergio Augusto Cunha¹, Felipe Arruda Moura¹, Fábio Augusto Barbieri², Paulo Roberto Pereira Santiago³

1 - Faculdade de Educação Física, Universidade de Campinas – UNICAMP - Campinas

2 - Departamento de Educação Física, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquitas Filho” – UNESP - Rio Claro.

3 - Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo – USP - Ribeirão Preto.

3.1.1 RESUMO

Algumas abordagens matemáticas são utilizadas para descrever o componente rotacional das articulações durante os movimentos humanos, como por exemplo, as matrizes de rotação (matriz 3×3), ângulos de Euler, ângulos de Cardan, eixos helicais e quatérnions. Destes métodos, o menos difundido na biomecânica é o relacionado com os quatérnions. Grande parte dos estudos descreve os movimentos da articulação do joelho por meio de ângulos calculados a partir de dados bidimensionais ou tridimensionais. Para o cálculo desses ângulos são utilizadas abordagens matemáticas das quais dependem de uma parametrização na sequência de rotações e ainda estão sujeitas a ocorrência de singularidades e restrições numéricas. O objetivo deste projeto é utilizar a representação dos quatérnions para investigar os movimentos de rotação ocorridos na articulação do tornozelo do membro de apoio durante o chute no futebol. A amostra deste estudo foi composta de oito (8) participantes (sete jogadores de linha e um goleiro) da categoria adulta de futebol de campo do município de Rio Claro/SP – Brasil. Cada participante realizou quatro cobranças de pênaltis, simulando uma situação real de jogo. Para que fosse possível analisar um movimento tão rápido foi necessário a filmagens das cobranças de pênaltis com câmeras de alta velocidade, e neste caso foram utilizadas quatro câmeras digitais de alta velocidade que operaram a uma frequência de 300 Hz. O *software* Dvideow foi utilizado para a obtenção das variáveis tridimensionais de marcadores fixados em acidentes anatômicos específicos do membro de apoio. Por meio das coordenadas tridimensionais dos marcadores foram definidos os sistemas de coordenadas locais da perna e pé. Desta forma, foi realizado o cálculo dos quatérnions, utilizados para investigar os movimentos de rotação do tornozelo. Os ângulos de rotação do tornozelo expresso via quatérnions foram investigados com a mediana e o seu intervalo de confiança para verificar possíveis diferenças entre os pênaltis desperdiçados (CD) e os convertidos (CC). Os resultados mostraram que houve diferenças entre CC e CD apenas no componente rotação dos quatérnions no intervalo de 11,6 a 88,5% do ciclo de movimento, intervalo que abrange o ponto de contato do pé de chute com a bola (50% do ciclo de movimento). Além disso, nota-se que a variabilidade do componente de rotação para as CD apresentou-se superior às demais componentes e ciclo de movimento após 88,5% do ciclo. Os resultados do presente estudo permitiram concluir que é possível calcular os quatérnions a partir da orientação de bases locais na perna e pé e com isso descrever as rotações

tridimensionais que ocorrem no tornozelo do membro de apoio durante o chute no futebol.

Palavras chave: quatérnions, cinemática, chute no futebol.

3.1.2 INTRODUÇÃO

O pênalti tem sido hoje no futebol um fator decisivo em disputas internacionais (WILLIAMS & BURWITZ, 1993; McMORRIS & HAUXWELL, 1997; FRANKS et al., 1999; McGARRY & FRANKS, 2000), com grande influência no resultado final de uma partida e na decisão de grandes competições (KUHN, 1988; MORYA et al., 2003). Segundo WISIAK (2004), desde a Copa do Mundo de 1986, pelo menos três jogos em cada edição foram decididos por cobranças de pênalti. Na Copa do Mundo de 1990, quatro dos dezesseis jogos da fase eliminatória tiveram seus resultados decididos através desta situação (WILLIAMS & BURWITZ, 1993). Na competição de 1998 esse índice subiu para 35% em um número de 28 cobranças. Na edição de 2006 foram realizadas 38 cobranças dos quais 28% foram desperdiçadas ou defendidas. Considerando o fato do número de cobranças de pênalti desperdiçado em jogos oficiais estar entre 25 e 33% (KUHN, 1988) e o número de decisões por pênalti estar aumentando, é importante que novas investigações sejam feitas para identificar fatores que possam elevar ainda mais o desempenho do cobrador. Com isso, pode-se aumentar a precisão e a eficiência nas cobranças, sendo mais gols convertidos.

Apesar da perfeição com que os jogadores profissionais de futebol podem executar um chute (LEES e NOLAN, 2001), uma maior atenção tem que ser dada para o posicionamento do pé de apoio durante a cobrança de pênalti, pois ele pode ser decisivo durante a cobrança. Além disso, segundo MORYA et al. (2003) e VALETA (1998) outras variáveis como velocidade da bola e distância do pé de apoio até a bola também possuem estreita relação com o aproveitamento do atleta. A análise do posicionamento do pé de apoio em cobranças de pênalti associado a diferentes velocidades de saída da bola e a distância obtida entre o pé de apoio e a mesma, indicam que existe uma associação com o sucesso ou fracasso nesta situação (McLEAN e TUMILTY, 1993).

O estudo e compreensão dos movimentos corporais se apresentam como uma grande área para pesquisa entre os profissionais de Educação Física. Este campo de estudo desperta o interesse de muitos pesquisadores, sendo que nos movimentos dos esportes de alto rendimento se evidencia maior importância, pois existe a necessidade de eficiência máxima das ações corporais para se atingir os objetivos desportivos.

Investigar os movimentos lineares e angulares por meio de gráficos facilita a identificação de padrões motores e a análise das habilidades dos atletas (CUNHA et al., 2002). Desta forma, consegue-se observar e definir padrões de movimentos o que pode auxiliar na otimização do movimento no que se refere a sua eficiência e economia.

A partir da definição de padrões de movimentos existe a possibilidade de se analisar e comparar movimentos podendo determinar onde e quando estão ocorrendo as diferenças nas ações estudadas. Contudo, para se descrever e comparar os movimentos de chutes é necessário utilizar uma ferramenta que o avalie tridimensionalmente. Na Biomecânica existem inúmeras formas de se realizar este tipo de análise. Para isso, primeiramente deve ser realizada a modelagem do corpo. Uma forma de modelagem dos segmentos corporais é considerar cada segmento como rígidos conectados por articulações principais, o que simplifica a análise do movimento do sistema (TIPLER, 1978).

Existem algumas maneiras de se descrever os movimentos e as rotações que ocorrem. Uma forma de se realizar este tipo de análise é através da convenção dos ângulos de Euler (CHAO, 1980; HUANG et al., 1980; ZATSIORSKY, 1998), podendo assim identificar o grau de rotação que ocorre em determinada articulação.

Posicionar e orientar a perna e o pé por meio da construção de sistema de bases locais (nos segmentos) e relacioná-las com um sistema de base global (no laboratório) possibilita descrever os ângulos articulares com três graus de liberdade. Os valores obtidos com os ângulos de Euler descrevem os movimentos de flexão plantar e dorsiflexão, eversão e inversão e abdução e adução do tornozelo do membro de suporte.

A representação de rotações via ângulos de Euler são passíveis de interpretações errôneas devido a singularidades, restrições numéricas e ainda a dependência de uma parametrização na sequência de rotação utilizada. Outras abordagens matemáticas podem ser utilizadas para descrever o componente rotacional do movimento, como por exemplo, as matrizes de rotação (matriz 3x3), ângulos de Cardan, eixos helicais e quatérnions. Destes métodos, o menos difundido na biomecânica é o relacionado com os quatérnions.

Os quatérnions apresentam vantagens com relação às demais representação, pois evita a ocorrência de singularidades além de oferecer uma

maneira poderosa e fácil de manusear equações com restrições. Assim, essa técnica pode contribuir para o enriquecimento do conhecimento teórico-científico do estudo das rotações do tornozelo do membro de suporte em cobranças de pênaltis no futebol.

É perceptível que a biomecânica pode analisar e comparar padrões de movimentos, abrindo-se espaço para auxiliar na compreensão do processo de aprendizagem e de controle motor do movimento de chute. A partir de parâmetros cinemáticos e dinâmicos para o estudo do movimento humano, a orientação de segmentos corporais, como perna e pé, possibilita a obtenção de deslocamentos angulares causados por forças internas e externas. A utilização desta orientação na articulação do tornozelo do membro de suporte, em cobranças de pênalti, permite descrever ações envolvidas no posicionamento do pé de apoio.

3.1.3 MOVIMENTO DE CHUTE E SEUS ASPECTOS BIOMECÂNICOS

Várias pesquisas têm suas atenções voltadas para a obtenção de dados quantitativos a respeito do futsal e do futebol, levando em consideração as variáveis cinemáticas e buscando compreender e esclarecer os movimentos realizados nestes esportes. Assim, a seguir serão apresentados trabalhos envolvendo o movimento de chute e os aspectos biomecânicos que envolvem este fundamento.

Em um estudo de LEES & NOLAN (1998), os autores realizaram uma revisão de literatura e encontraram que o chute é a habilidade mais estudada no futebol, sendo que existem muitos tipos de chute, mas a variante mais relatada é o chute com o dorso do pé em velocidade máxima com a bola parada.

Chutar é uma forma de bater, na qual o pé é usado para fornecer força a um objeto (GALLAHUE & OZMUN, 2003). De acordo com ADRIAN & COOPER (1989), o chute é uma variação da corrida e uma modificação do padrão de andar, o diferindo dos outros padrões pela força que é aplicado com o membro de balanço anterior ao contato. Segundo estes autores, os pontos críticos do chute com o dorso do pé são: o posicionamento do membro de suporte, o balanço do membro de chute e o posicionamento do corpo para o contato com a bola.

O desenvolvimento do chute ocorre de acordo com o aperfeiçoamento motor das pessoas atingindo um padrão maduro que segundo WICKSTROM (1977), se caracteriza como:

- Posicionamento do membro de suporte ao lado e ligeiramente atrás da bola;

- O membro de chute é primeiramente levado para trás e o joelho é flexionado;
- O movimento para frente é iniciado por uma rotação do quadril sob o membro de suporte e com o avanço da coxa do membro de chute. O joelho continua flexionado neste estágio;
- Uma vez iniciada a ação do chute, a coxa começa a desacelerar até ficar essencialmente imóvel no momento de contato com a bola;
- Durante essa desaceleração, ocorre a extensão vigorosa do joelho, sendo quase uma extensão completa no contato com a bola;
- O membro mantém o movimento após o contato com a bola e inicia uma flexão, finalizando o movimento.

XIMENES (2002) realizou a análise cinemática comparando o chute com o dorso do pé e com a parte medial do pé e definiu as fases do chute que serão utilizadas neste estudo para melhor esclarecimento e que estão abaixo descritas:

- Corrida de aproximação: aproximação do jogador à bola até a última passada quando o membro de chute toca no solo;
- Posicionamento do pé de suporte: inicia no instante do contato do membro de chute com o solo até o momento de contato do membro de suporte no solo;
- Contato com a bola: inicia-se no instante do contato do membro de suporte no solo até o momento em que o membro de chute entra em contato com a bola;
- Finalização: continuação do movimento de todo o corpo a partir do contato com a bola.

Outros trabalhos trazem resultados quantitativos a respeito da análise Biomecânica do chute e da assimetria entre os membros inferiores. ROBERTS & METCALFE (1968) realizaram uma filmagem do chute em 3D (tridimensional) e sugeriram que os fatores que governam a velocidade de balanço são a rotação do quadril do início do chute e a flexão do quadril e extensão do joelho anterior ao impacto. PLAGENHOEF (1971) estudou a corrida de aproximação na diagonal e na reta, em relação à bola, e analisou a velocidade desta no chute realizado com o dorso do pé. Concluiu que a velocidade da bola é superior quando a aproximação é feita na diagonal em relação à aproximação reta. ELLIOT et al. (1980) realizaram uma pesquisa através da análise cinematográfica dos chutes de 51 meninos de dois a doze anos e compararam com chutes de jogadores de alto nível. Anterior aos chutes os participantes foram marcados nas articulações, sendo a melhor execução aproveitada para o trabalho. Os dados obtidos foram para a distância de corrida de aproximação,

o ângulo de aproximação para o chute, o movimento dos braços em relação aos membros inferiores e a posição do membro de suporte e dos braços durante o impacto do pé com a bola.

A partir dos 51 chutes estudados, os autores fizeram uma divisão de cinco grupos de crianças, por nível de habilidade. Estes grupos foram separados segundo a análise feita dos chutes apresentados pelas crianças comparados com os chutes dos participantes experientes. Mediante ao apresentado, concluíram que a idade cronológica não é um bom preditor para o nível de habilidade do chute. ASAMI & NOLTE (1983) realizaram uma pesquisa com quatro jogadores profissionais que chutaram uma bola parada a 10 m do gol empregando força máxima. Analisaram quantitativamente os efeitos da velocidade do pé e da rigidez deste sobre a velocidade da bola, utilizando uma plataforma de força no chão e um sistema de análise de vídeo para dados cinemáticos dos segmentos coxa, perna e pé. Após a análise, não foi encontrada correlação entre os dados analisados. ISOKAWA & LEES (1987) determinaram a relação entre os dados cinemáticos (velocidade do pé, tornozelo, joelho e quadril) e a velocidade da bola em diferentes ângulos de aproximação e encontraram a relação entre estas variáveis. Seis participantes chutaram uma bola, três vezes em cada ângulo de aproximação (0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 90°), empregando força máxima, com o dorso do pé e uma passada de aproximação. O zero grau foi definido em direção a bola. Os chutes foram filmados pelo lado direito do ângulo de aproximação e as velocidades das variáveis foram determinadas pela análise da filmagem. Os autores concluíram que os ângulos de aproximação entre 30° e 60° são os que produzem maiores velocidades da bola e os que minimizam o torque aplicado no pé. OPAVSKY (1987) estabeleceu as características cinemáticas lineares e angulares dos chutes sem corrida de aproximação e com corrida de aproximação (seis a oito passadas) no chute com o dorso do pé. Foram utilizados seis sujeitos que foram filmados chutando uma bola parada, sendo depois digitalizados cinco pontos e calculado suas velocidades e acelerações. O autor encontrou que os chutes com corrida de aproximação apresentaram velocidades maiores em todas as variáveis e concluiu que o chute com corrida de aproximação produz maior velocidade linear e angular do membro de chute e que no chute sem corrida de aproximação há maior esforço muscular.

LUHTANEN (1988) estudou a velocidade máxima da bola no chute com o dorso do pé em jogadores de diferentes idades para explanar o movimento do

quadril, joelho e tornozelo do membro de chute e a força de reação do solo no membro de suporte. Vinte e nove jovens foram marcados nas articulações do quadril, joelho e tornozelo e chutaram três vezes com força máxima, dorso do pé com dois passos de aproximação sob uma plataforma de força para a análise da força de reação do solo. Os chutes foram filmados por uma câmera colocada perpendicularmente ao plano de movimento, sendo as imagens digitalizadas e os dados cinemáticos suavizados por método de filtragem digital. Os resultados mostraram aumento na velocidade da bola de acordo com o aumento da idade e que a força de reação do solo difere vertical e lateralmente quando ocorre o contato do pé com a bola. O pesquisador concluiu que a velocidade da bola tem alta correlação com a máxima produção de momento durante a flexão do quadril, extensão do joelho e estabilização do tornozelo do membro de chute.

PUTNAM (1991) estudou o grau de interação entre os segmentos no movimento de chutar, andar e correr para explicar sobre a sequência proximal-distal dos segmentos durante estes movimentos. Utilizou dois grupos de participantes, sendo um grupo composto por quatro jogadores habilidosos e outro por duas mulheres e dois homens experientes em corridas. No primeiro grupo cada participante realizou um chute que foi filmado por uma câmera perpendicular ao movimento de chute com frequência de 300 Hz. A partir disso, o autor concluiu que no padrão da sequência proximal-distal o chute se inicia com movimento da coxa tendo sua velocidade angular diminuída e aumento da velocidade angular da perna. ANDERSON & SIDAWAY (1994) examinaram as mudanças da coordenação pela prática em jogadores de futebol. Participaram cinco homens e uma mulher, todos destros e sem nenhuma prática com futebol e três jogadores com dez anos de prática. Estes foram filmados realizando chutes para determinar um ótimo padrão deste fundamento. A tarefa dos não praticantes foi aprender a chutar com o dorso do pé num treinamento de 10 semanas. Os chutes foram com força máxima em uma bola parada e a uma distância de 5 m de um alvo de dois m², sendo delimitados dois passos de corrida de aproximação. A coleta de dados ocorreu em um laboratório. Em cada participante foram colocados marcadores nas articulações do lado direito para calcular as variáveis cinemáticas e realizaram três chutes que foram filmados no plano perpendicular de movimento. As marcas foram derivadas em 2D (bidimensional) no plano sagital para o ângulo formado pelo quadril e joelho. Os autores encontraram mudanças no padrão de coordenação com a prática, sendo este melhorado.

LEVANON & DAPENA (1998) utilizaram a análise cinemática 3D para comparar o movimento de chute com a parte medial do pé e com o dorso do pé. Foram analisados os ângulos entre as articulações dos membros inferiores, a velocidade do pé antes do contato deste com a bola e a velocidade desta após o contato do pé em ambos os chutes. Os autores verificaram que os chutes com o dorso do pé ocasionavam as maiores velocidades e também que numa visão superior, a orientação do plano coxa-perna do chute com o dorso do pé girou no sentido anti-horário até o impacto e que a orientação do plano perna-pé no instante do impacto com a bola é fator importante para o resultado final do chute, afetando a orientação do pé e a direção da bola.

TEIXEIRA et al. (1998) observaram as manifestações de assimetrias laterais em habilidades motoras relacionadas ao futebol em função da quantidade de prática prévia. Participaram 54 crianças de ambos os sexos com idade entre 12 e 16 anos que realizaram tarefas de condução de bola, chute de precisão e de potência, sendo as tarefas realizadas primeiro com o membro dominante e depois com o membro não dominante. Os autores encontraram que o chute de potência é o que possui maior assimetria de desempenho entre os membros, ficando as outras duas tarefas com desempenhos mais simétricos, mas com desempenho superior do membro dominante. LEES & NOLAN (1999) realizaram um estudo com o objetivo de investigar as mudanças ocorridas nas características cinemáticas do chute com o dorso do pé numa bola parada segundo uma velocidade exata. Foram utilizados dois jogadores profissionais que realizaram chutes de força máxima e de precisão com o objetivo de acertar um alvo de um m² colocado no canto direito superior do gol. Os chutes foram realizados com o dorso do pé simulando uma cobrança de pênalti no futebol. Os autores definiram o plano x-y como sendo na direção do chute e perpendicular a linha do gol. Após a análise cinemática dos chutes, concluíram que ela pode ser somente definida num estudo tridimensional. TEIXEIRA (1999) avaliou o efeito da precisão influenciada por bolas e alvos de tamanhos diferentes. Participaram cinco jogadores entre 19 e 22 anos que foram marcados na articulação do tornozelo direito. Os participantes foram filmados realizando cinco tentativas de chutes em uma bola parada com força máxima para diferentes tamanhos de bolas e alvos. Concluíram que a bola por si só não representa grande restrição na precisão dos chutes, sendo que diferentes alvos exercem restrições à precisão dos chutes pela lei de troca de velocidade e precisão.

NUNOME et al. (2002) investigaram através de análise de vídeo 3D dois tipos de chutes. Participaram cinco jogadores que chutaram com o dorso do pé e com a parte medial do pé uma bola posicionada a 11 m do gol. Os participantes tinham marcadores colocados pelo corpo, sendo após a digitalização desses marcadores utilizada a transformação DLT (Direct Linear Transformation). Os autores encontraram maiores velocidades da bola no chute com o dorso do pé. CUNHA et al. (2001a) estudaram os padrões do chute com a parte medial e com o dorso do pé através da inclinação do plano formado pelos segmentos coxa e perna em cada instante de tempo durante a execução do chute. Dois participantes, ambos de 20 anos, executaram da marca do pênalti do futebol (11 m do gol) cinco chutes com a parte medial sem a preocupação de força e com o objetivo de acertar o ângulo superior esquerdo e cinco chutes com o dorso do pé, sem a preocupação de acertar um local do gol, mas com força máxima. Os participantes foram filmados por duas câmeras com frequência de 60 Hz. Os resultados mostraram uma inclinação maior do plano formado pelos segmentos coxa e perna no final do movimento antes do contato com a bola até o contato, principalmente no chute executado com a parte medial do pé. Perante isto, Cunha et al. (2001b) resolveram testar a projeção estereográfica como metodologia para o estudo e compararam os padrões cinemáticos do movimento dos dois tipos de chutes estudados anteriormente. O estudo utilizou a mesma quantidade de jogadores e de chutes. A metodologia se mostrou efetiva no estudo e demonstrou uma diferença nas curvas que definiram os padrões de movimento, tanto entre os sujeitos, como entre os dois tipos de chute. Os resultados foram representados pela porcentagem de tempo em que as curvas tiveram padrões diferentes e através das próprias curvas que demonstraram uma diferença acentuada presente no segmento pé entre os dois tipos chutes.

SANTIAGO (1999) comparou os padrões cinemáticos do chute com a parte medial do pé, realizados por sujeitos com 13 e 20 anos de idade, pela análise das curvas obtidas pela projeção estereográfica dos segmentos coxa, perna e pé normalizados. Este trabalho contou com a participação de dois grupos, cada um com cinco sujeitos, sendo um com sujeitos de 13 anos e outro de 20 anos, todos destros e do sexo masculino. Foram fixados marcadores passivos nos seguintes acidentes anatômicos: trocânter maior, epicôndilo lateral do fêmur, maléolo lateral, calcâneo e quinto metatarso, definindo, assim, os segmentos coxa, perna e pé. Cada participante realizou uma série de dez chutes consecutivos, sem intervalo de descanso e com a

bola parada a uma distância de 20 m do gol que foram filmados por duas câmeras de vídeo digitais. A partir dos resultados encontrados, o pesquisador concluiu que os sujeitos com 13 anos de idade apresentaram um padrão cinemático de movimento similar ao padrão dos sujeitos com 20 anos de idade. MAGALHÃES JÚNIOR (2003) estudou o comportamento do membro inferior de chute no futebol, comparando o padrão cinemático dos segmentos coxa, perna e pé entre praticantes e não praticantes deste esporte em situação de descanso e em exaustão. Participaram dez praticantes e dez não praticantes que foram filmados realizando cinco chutes em situação de descanso e após serem induzidos a exaustão realizaram cinco chutes com o membro dominante, ambos simulando uma cobrança de falta. As imagens foram transferidas para o computador e foram definidos os padrões cinemáticos de cada segmento através da projeção estereográfica, sendo comparadas quantitativamente entre os grupos através da análise por cluster. O pesquisador concluiu que houve diferenças entre os grupos em ambas situações. O membro de suporte, também conhecido como membro de apoio, tem elevada importância para o desempenho do chute, apesar de não ser tão estudado pelos pesquisadores. Este membro tem a função de oferecer equilíbrio (postura) e ajudar na trajetória da bola.

ANJOS & ADRIAN (1986) realizaram um estudo com o objetivo de medir as forças de reação do solo produzida pelo membro de suporte de jogadores habilidosos e não habilidosos durante chutes com o dorso do pé e compará-la com a velocidade da bola. Participaram 18 jogadores que foram classificados como habilidosos ou não e chutaram três vezes uma bola com força máxima. Calcularam a velocidade média da bola e a força de reação do solo e encontraram que a habilidade de se realizar um chute forte está diretamente relacionado com a velocidade de aproximação do jogador, dependendo de um impulso ótimo para a bola.

No trabalho de SAGGINI et al. (1993), ocorreu o estudo das características da força de reação do solo de jogadores de futebol. A análise foi feita durante um chute normal com corrida de aproximação. Participaram 20 jogadores do time nacional da Itália e 40 jogadores com alto nível de habilidade. Foi utilizada uma plataforma de dinamometria que analisou a força de reação em diferentes direções da corrida de aproximação e o posicionamento do membro de suporte. Os resultados apresentaram que durante a fase de suporte a progressão da aplicação de força demonstrou menor velocidade do que durante o impacto e os autores concluíram que durante a fase de postura o corpo produz uma força de reação do solo composta da

força vertical e horizontal e que existem diferenças nos padrões da força de reação do solo entre os profissionais e os outros jogadores, sendo os padrões dos profissionais repetitivos e maduros.

Já VALETA (1998) analisou o posicionamento do pé de suporte em relação à bola durante o chute realizado com o dorso do pé, utilizando como participantes três crianças destros que executaram os chutes da marca do pênalti visando acertar um quadrante do gol pré-estabelecido. As filmagens foram divididas em duas etapas: pré-teste e pós-teste e no intervalo entre as duas etapas os atletas foram submetidos a uma metodologia de treinamento. Os resultados apontaram que após o treinamento houve uma melhora bastante significativa no desempenho dos chutes das crianças analisadas. Portanto, pode-se afirmar que o posicionamento do pé de suporte em relação à bola é um dos fatores que influenciam diretamente no desempenho do chute executado com o dorso do pé.

Em um estudo de BARFIELD (1998), houve a comparação do posicionamento do membro de suporte entre jogadores habilidosos e não habilidosos com idades de nove até dezoito anos. No entanto, os padrões de chutes não apresentaram diferenças significantes entre os jogadores habilidosos e não habilidosos. O autor constatou que a idade cronológica, por si só, não indica o nível de habilidade desenvolvida e que entre as idades de quatro e seis anos a habilidade de chute se desenvolve rapidamente.

LARA JÚNIOR (2003) analisou o posicionamento angular do pé de suporte e sua influência na direção de saída da bola parada durante o chute no futebol. Nove jogadores juvenis (15 e 17 anos) executaram três séries de seis chutes a gol com a parte medial do pé (cada série para um determinado local do gol) e partindo de uma distância de 3 m da bola. O autor pôde concluir que das quatro fases de colocação do membro de suporte classificadas no estudo (fase de suporte do calcanhar, fase em que o membro está totalmente apoiado, fase em que o membro de chute toca na bola e no instante de saída da bola), a fase em que o membro está totalmente apoiado foi a que apresentou maior contribuição no ângulo de saída da bola. O autor afirma também que não há grande variação no ângulo da posição do pé de suporte ao longo da execução do movimento, ou seja, fixado o calcanhar, a posição do membro de suporte tende a permanecer fixo até o final do chute.

MOURA (2003) em seu estudo teve como objetivo analisar o padrão cinemático de movimento dos segmentos do membro de suporte no chute realizado

com a parte medial do pé em sujeitos praticantes e não praticantes. Participaram dez pessoas, sendo cinco praticantes e cinco não praticantes. Quatro câmeras filmaram cada participante realizando cinco chutes a gol simulando uma cobrança de falta. As imagens já transferidas para o computador foram armazenadas e medidas. Em seguida os dados foram suavizados através da função estatística Loess e os padrões cinemáticos foram definidos através das projeções estereográficas das curvas de cada segmento, sendo elas comparadas entre os grupos através da análise visual. Os resultados permitiram concluir que existem diferenças entre os grupos com relação aos padrões cinemáticos da coxa, sendo este segmento que sofre as maiores influências das correções feitas pelos participantes durante o ciclo de chute, pois nenhuma de suas extremidades (proximal e distal) está fixa diferentemente dos segmentos perna e pé.

Diversos estudos da biomecânica tiveram como objetivo orientar os segmentos corporais durante a realização de tarefas motoras para analisar seus comportamentos. Deste modo, os movimentos articulares de rotações podem ser quantificados e alguns movimentos explicados de forma minuciosa, e até mesmo a identificação da amplitude angular que ocorre em determinada articulação (CHAO, 1980; ZATSIORSKY, 1998).

Porém, para este tipo de análise o primeiro passo é considerar os segmentos analisados como corpos rígidos conectados por articulações e então, definir a posição neutra (posição ortostática), que melhor representa o modelo anatômico. Desta forma, podem-se obter os ângulos articulares dos movimentos no eixo frontal, sagital e longitudinal. Em seguida é necessário escolher de que maneira quantificar e identificar estes ângulos. A maioria dos estudos utiliza as definições dos ângulos de Euler para este tipo de análise, permitindo assim, a comparação dos resultados entre os estudos (CHAO, 1980; YING e KIM, 2002). Os ângulos de Euler são definidos como uma sequência de três rotações como adotado por CHAO (1980) e ZATSIORSKY (1998).

O movimento angular no espaço tridimensional por ângulos de Euler é dado que qualquer rotação pode ser obtida utilizando três sequências de rotações sucessivas. Assim, em doze possíveis sequências de rotações é importante observar que a posição e a orientação estão associadas à sequência escolhida (ARAÚJO, 2005; YING e KIM, 2002).

CHAO (1980) quantificou e orientou os segmentos em três eixos anatômicos diferentes e considerando-os como corpos rígidos. Para quantificar os ângulos articulares, o autor seguiu a definição dos ângulos de Euler, com as letras gregas ϕ representando a flexão/extensão, θ abdução/adução e ψ a rotação interna/externa. O eixo em que ocorrem os movimentos de flexão/extensão foram associados ao fêmur, o eixo em que ocorrem os movimentos de rotação interna/externa está associado à direção longitudinal da tíbia e o eixo em que ocorre abdução/adução é perpendicular aos dois eixos anteriores, e este é denominado eixo flutuante. Os eixos foram fixados na parte distal do segmento. Como conclusão, o método mostrou-se confiável para análises de tarefas diárias sem impacto, como também para atender a uma grande população.

PIAZZA e CAVANAGH (2000) utilizaram a decomposição dos ângulos de Euler para descrever o movimento de “parafuso” da tíbia durante a extensão da articulação do joelho. Eles desenvolveram um modelo mecânico para coxa e perna, no qual foi possível controlar a rotação interna da perna durante a flexão de 90° do joelho. A tarefa realizada pela máquina consistiu em uma flexão de 90° e o retorno à posição de extensão completa. Em cada segmento os autores fixaram um conjunto de marcadores visualizados pelo sistema captura de movimento *Vicon*¹. Com o conjunto de dados obtidos, os autores extraíram os ângulos articulares decompostos segundo a sequência de Euler. Neste caso foi descrito como rotações em três eixos: 1 - flexão/extensão sobre o eixo médio lateral fixo na coxa; 2 - rotação interna/externa sobre o eixo da tíbia; 3 - abdução/adução sobre um eixo flutuante definido como produto vetorial dos dois eixos descritos anteriormente.

THOMAZ (2005) construiu sistemas de coordenadas locais, utilizando marcadores fixados nos pontos anatômicos da pelve, coxa, perna e pé. Os segmentos de interesse foram considerados como corpos rígidos interligados pelas articulações do quadril, joelho e tornozelo (ZATSIORSKY, 1998). Esses sistemas de bases locais definiram as orientações de cada segmento e permitiram quantificar os graus de rotação realizados em cada articulação. O cálculo dos ângulos foi feito através da posição do sistema fixo no segmento distal em relação ao sistema fixo no segmento proximal. Para a obtenção dos ângulos do quadril, joelho e tornozelo foram utilizados os ângulos de Euler. Entre as possíveis sequências de rotação adotou-se como a

¹ *Vicon Motion Systems – Sistema Motion Capture 3D comercial baseado em câmeras de infravermelho.*

primeira rotação aquela realizada em torno do eixo z , a segunda rotação a realizada em torno do eixo y' , rodado anteriormente, e a terceira rotação foi considerada a realizada em torno do eixo x'' rodado duas vezes anteriormente.

YING e KIM (2002) utilizaram os ângulos de Euler para descrição do movimento articular. Quatro adultos sem histórico de traumas de ou patologia foram voluntários deste estudo. Os participantes realizaram três movimentos de máxima flexão-plantar e dorsiflexão. Foram fixados, nos participantes, quatro marcadores na perna (maléolo medial e lateral, tuberosidade da tíbia e cabeça da fíbula) e mais quatro marcadores não colineares no pé. A partir destes pontos criaram-se os dois sistemas de coordenadas (perna e pé). Aos sistemas foi aplicada a sequência de rotação z , y' e x'' e obtidos os graus de rotação nos eixos z (flexão plantar e dorsiflexão), eixo y (pronação e supinação) e no eixo x (rotação interna e externa). Os autores identificaram padrões semelhantes em todos os participantes. Os valores de rotação no eixo z ficaram entre 58° e 62° , para o eixo y ficaram entre 1° e 4° e por fim, para o eixo x os valores variaram de 8° a 10° de rotação.

A teoria dos quatérnions foi introduzida e desenvolvida por Sir William Hamilton, em 1843, quando ele procurava encontrar um sistema algébrico que operasse no espaço tridimensional nas mesmas condições dos números complexos (HAMILTON, 1847). Desta forma ele tentou definir operações de adição e multiplicação para ternos de números reais (vetores em $\mathfrak{R}^3$) que fossem análogas àquelas definidas para pares de números reais (números complexos). Mais detalhadamente, Hamilton procurou encontrar uma regra de multiplicação para vetores em $\mathfrak{R}^3$. Como o objetivo de Hamilton era a generalização de operações sobre os números complexos, ele testava a conveniência de sua multiplicação usando uma propriedade do produto de números complexos: o valor absoluto do produto de dois números complexos é igual ao produto dos valores absolutos dos dois números complexos. Embora todas as tentativas nesse sentido tenham falhado, Hamilton obteve sucesso quando considerou elementos do espaço de quatro dimensões (vetores em $\mathfrak{R}^4$). Ao conjunto destes quatro componentes foi dado o nome de "*quaternions*". Um tratamento detalhado dos quatérnions e com as demonstrações de suas elegantes propriedades matemáticas podem ser encontradas em CUNHA et al (2008), KUIPERS (1999) e KANTOR & SOLODOVNIKOV (1989).

O uso dos quatérnions para representar e operar rotações é bastante frequente nas áreas de robótica, computação gráfica, física, sistemas aeroespaciais

e, mais recentemente, na biomecânica. VRONGISTINOS et al. (2002) mostraram a utilização de quatérnions na análise cinemática tridimensional de movimentos humanos e no cálculo de velocidades angulares. Os autores destacam vantagens na utilização de quatérnions ao invés de representações baseada em ângulos de Euler, por exemplo, mencionando que esta forma de representação sofre com a ocorrência de singularidades (Gimbal Lock) e com o fato de que é possível mais de uma parametrização para uma mesma rotação. TASORA (2001) representa rotações por meio de quatérnions no desenvolvimento de um método para a solução de problemas cinemáticos e dinâmicos em simulação de sistemas de múltiplos corpos. O autor justifica tal escolha comentando que o uso de quatérnions evita a ocorrência de singularidades além de oferecer uma maneira poderosa e fácil de manusear equações com restrições.

Os quatérnions ainda apresentam outras vantagens em relação às demais formas de representação baseadas nas matrizes de rotação (3X3) como o número menor de coordenadas usadas para a sua descrição, o número pequeno de restrições sobre as coordenadas (GLASSNER, 1990), a multiplicação efetuada de modo mais eficiente (HOWELL, 1975) e a maior facilidade em encontrar o ângulo de rotação em torno do eixo em que ocorre a rotação (KUIPERS, 1999).

Apesar das vantagens acima apresentadas verifica-se que a utilização dos quatérnions para o estudo das rotações tridimensionais na biomecânica ainda é pequena. Este fato pode ser confirmado através das poucas referências encontradas na literatura que abordem tal temática. Assim, representando-se uma rotação tridimensional por meio de um quatérnions obtém-se o vetor que define o eixo de rotação e um ângulo de rotação em torno deste eixo.

3.1.4 DESCRIÇÃO DAS ROTAÇÕES TRIDIMENSIONAIS DO TORNOZELO DO MEMBRO DE SUPORTE EM COBRANÇAS DE PÊNALTIS

Este estudo teve como objetivo descrever as rotações tridimensionais do tornozelo do membro de suporte em cobranças de pênalti no futebol. E objetivos específicos de: orientar a perna e o pé do membro de suporte utilizando sistema de bases locais; e calcular os quatérnions a partir da matriz de mudança de base da perna e do pé do membro de suporte.

A amostra deste estudo foi composta de oito (8) participantes (sete jogadores de linha e um goleiro) da categoria adulta de futebol de campo do município de Rio Claro/SP – Brasil. A escolha dos participantes seguiu a premissa de serem destros em relação à dominância de membros inferiores. Todos os participantes foram informados anteriormente sobre o protocolo experimental, atestando sua participação através de um termo de consentimento livre e esclarecido assinados por eles. O protocolo de pesquisa foi encaminhado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual Paulista – Campus Rio Claro (Ofício CEP 019/2006, protocolo 8451).

3.1.5 TAREFA E COLETA DE DADOS

A coleta foi realizada no campo de futebol da Universidade Estadual Paulista – Campus Rio Claro. Durante a coleta de dados os participantes utilizaram vestimentas especialmente confeccionadas para a coleta e chuteiras pretas. Através da técnica de anatomia palpatória (FIELD, 2001), foram fixados marcadores passivos, esferas brancas de isopor de 15 mm de diâmetro sobre as seguintes proeminências ósseas da perna e pé do membro de suporte: calcâneo porção lateral (*P1*); maléolo lateral (*P2*); quinta articulação metatarsofalangiana (*P3*); cabeça da fíbula (*P4*); maléolo medial (*P5*), calcâneo (porção medial) (*P6*) (Figura 1).

Figura 1. A – Visão posterior dos pontos localizados no pé: 1 - calcâneo porção lateral (*P1*), 3 - quinta articulação metatarsofalangiana (*P3*) e 6 - calcâneo porção medial (*P6*). B – Visão frontal dos marcadores localizados na perna: 2 - maléolo lateral (*P2*), 4 - cabeça da fíbula (*P4*) e 5 - maléolo medial (*P5*).

Esta aplicação foi realizada em duas etapas. A primeira consistiu em uma tomada estática do participante que foi utilizada para definir a posição anatômica (ou posição neutra) da articulação do tornozelo. Para este fim, o participante permaneceu em pé na posição ereta, com os pés paralelos e ligeiramente afastados (Figura 1). A segunda consistiu na tomada dinâmica, momento em que o participante realizou quatro cobranças de pênalti.

Para que fosse possível analisar um movimento tão rápido foi necessário a filmagem das cobranças de pênaltis com câmeras de alta velocidade, e neste caso foram utilizadas quatro câmeras digitais de alta velocidade (Casio EXILIM EX-F1) que operaram a uma frequência de 300 Hz. As imagens foram armazenadas em cartões de memória do tipo SDHC com capacidade armazenamento de 16GB (Giga bytes) e posteriormente foram transferidas para o disco rígido de um notebook. As câmeras foram posicionadas em tripés de forma a capturar todos os marcadores passivos.

O software Dvideow (BARROS et al. 1999; FIGUEROA et al. 2006) foi utilizado para obterem-se as variáveis tridimensionais de cada marcador. Para a calibração utilizou-se um objeto com dimensões conhecidas, possuindo dezesseis marcadores com suas posições espaciais absolutas previamente mensuradas. O sistema de referência utilizado foi orientado com o eixo **z** na direção vertical (orientado para cima), o eixo **y** em direção ao gol ortogonal a linha de fundo do campo e o eixo **x** como o produto vetorial de **y** por **z** (Figura 2).

Figura 2. Objeto calibrador com 16 marcadores e o sistema de referência adotado a partir do marcador número 1.

Como padronização o intervalo de tempo para as análises foram os mesmos para os quatro chutes. Nesse caso foi identificado, nas sequências de imagens de cada chute, um evento em comum; o quadro correspondente ao contato do pé de chute com a bola (Figura 3 - B). Então, foram selecionados 30 quadros que antecederiam (Figura 3 - A) e sucediam (Figura 3 - C) a este evento.

Figura 3. Imagens do intervalo de tempo do movimento analisado. Início no décimo segundo quadro que antecedeu o contato com a bola (A), o contato do pé de chute com a bola como instante em comum (B) e o final do movimento sendo o décimo segundo quadro após o contato do pé de chute com a bola (C).

3.1.6 ARTICULAÇÃO DO TORNOZELO

A articulação do tornozelo ou tálaro-társiana é considerada uma tróclea (articulação que apresenta apenas um grau de liberdade para os movimentos de rotação), pois realiza apenas os movimentos de flexão plantar e dorsiflexão. Os movimentos de abdução/adução e eversão/inversão ocorrem no conjunto das articulações subtalares.

Medir todos esses movimentos e atribuí-los a cada articulação em uma situação dinâmica é extremamente complexo. Assim, no presente estudo, considerou-se a perna e o pé como corpos rígidos e interligados através de uma única articulação (articulação do tornozelo), capaz de realizar todos os movimentos citados no parágrafo anterior.

3.1.7 ANÁLISE DE DADOS

As etapas de análise e processamento dos dados foram realizadas através de rotinas criadas no *software* MatLab (Mathworks Inc., Natick, MA, USA).

Definição dos sistemas de coordenadas locais da perna e pé

Inicialmente o sistema de coordenadas global (S_G) foi definido através das coordenadas dos marcadores do objeto calibrador. Na sequência foram realizados os procedimentos para determinação da matriz de rotação (M) que por sua vez foi utilizada para calcular os quatérnions.

Através das coordenadas tridimensionais dos marcadores contidos em cada segmento, foram definidos os sistemas de coordenadas locais da perna (S_{perna} - na ilustração da Figura 4) e pé ($S_{pé}$ - na ilustração da Figura 5) para cada instante de tempo:

Sistema de coordenadas local da perna S_{perna} :

$$k_{perna} = \frac{p4 - p2}{\|p4 - p2\|} \quad (1)$$

$$aux_{perna} = \frac{p5 - p2}{\|p5 - p2\|} \quad (2)$$

$$j_{perna} = k_{perna} \times aux_{perna} \quad (3)$$

$$i_{perna} = j_{perna} \times k_{perna} \quad (4)$$

Nos quais os símbolos $\|$ e $\times$ representam, respectivamente, as operações do módulo e produto vetorial em $\mathbb{R}^3$.

Então, o sistema de coordenadas da perna foi representado por:

$$S_{perna} = \{P_2, (i_{perna}, j_{perna}, k_{perna})\} \quad (5)$$

Figura 4. Ilustração da construção do sistema de coordenadas da perna (vista frontal dos ossos tíbia e fíbula da perna esquerda). (1) Vetores k e auxiliar da perna (aux_{perna}). (2) Vetores i , j e k .

Sistema de coordenadas do pé $S_{pé}$:

$$k_{pé} = \frac{p1 - p3}{\|p1 - p3\|} \quad (6)$$

$$aux_{pé} = \frac{p6 - p1}{\|p6 - p1\|} \quad (7)$$

$$j_{pé} = k_{pé} \times aux_{pé} \quad (8)$$

$$i_{pé} = j_{pé} \times k_{pé} \quad (9)$$

Nos quais os símbolos $\parallel$ e $\times$ representam, respectivamente, as operações do módulo e produto vetorial em $\mathbb{R}^3$.

Então, o sistema de coordenadas do pé foi representado por:

$$S_{pé} = \{P_1, (i_{pé}, j_{pé}, k_{pé})\} \quad (10)$$

Figura 5. Ilustração da construção do sistema de coordenadas do pé. (1) Vista superior do pé com a representação do vetor auxiliar ($aux_{pé}$) e do vetor k . (2) Vista lateral dos vetores i , j e k do pé com origem em $P1$. (3) Vista medial do posicionamento do ponto $P6$.

3.1.8 PROCEDIMENTOS PARA O CÁLCULO DOS QUATÉRNIOS

As coordenadas espaciais foram suavizadas pela função não paramétrica ponderada local robusta *LOESS* (CUNHA e LIMA FILHO, 2003).

Para o cálculo dos quatérnions da articulação do joelho foram utilizados os sistemas de referência local da perna e do pé, definidos anteriormente. Uma vez definidos os sistemas de referências locais foram possíveis os cálculos para a obtenção dos quatérnions a partir das matrizes de rotação $[M_R]$ que representaram os movimentos rotacionais ocorridos na articulação do tornozelo. O cálculo das rotações ocorridas foi padronizado de acordo com a rotação ocorrida do segmento distal (pé) em relação ao segmento proximal (perna) conforme demonstrado a seguir.

$$[M_R] = [S_{pé}] [S_{perna}]^T \quad (11)$$

No qual o T denota o transposto da matriz $[S_{perna}]$.

Assim, depois de obtida a matriz de rotação $[M_R]$ que representou as rotações do pé em relação à perna (sistema considerado como fixo), os quatérnions foram calculados:

$$\begin{aligned} \text{Caso 1: } [M_R]_{11} + [M_R]_{22} + [M_R]_{33} &\geq 0 \\ q_0 &= \frac{\sqrt{[M_R]_{11} + [M_R]_{22} + [M_R]_{33} + 1}}{2} \\ q_1 &= \frac{[M_R]_{23} - [M_R]_{32}}{4q_0} \\ q_2 &= \frac{[M_R]_{31} - [M_R]_{13}}{4q_0} \\ q_3 &= \frac{[M_R]_{12} - [M_R]_{21}}{4q_0} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{Caso 2: } [M_R]_{11} + [M_R]_{22} + [M_R]_{33} < 0 \text{ e } [M_R]_{11} \geq \max\{[M_R]_{22}, [M_R]_{33}\}$$

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{\sqrt{[M_R]_{11} - [M_R]_{22} - [M_R]_{33} + 1}}{2} \\ q_0 &= \frac{[M_R]_{23} - [M_R]_{32}}{4q_1} \end{aligned} \quad (13)$$

$$q_2 = \frac{[M_R]_{12} + [M_R]_{21}}{4q_1}$$

$$q_3 = \frac{[M_R]_{13} + [M_R]_{31}}{4q_1}$$

$$\text{Caso 3: } [M_R]_{11} + [M_R]_{22} + [M_R]_{33} < 0 \text{ e } [M_R]_{22} \geq \max\{[M_R]_{11}, [M_R]_{33}\}$$

$$q_2 = \frac{\sqrt{-[M_R]_{11} + [M_R]_{22} - [M_R]_{33} + 1}}{2}$$

$$q_0 = \frac{[M_R]_{31} - [M_R]_{13}}{4q_2}$$

$$q_1 = \frac{[M_R]_{12} + [M_R]_{21}}{4q_2}$$

$$q_3 = \frac{[M_R]_{23} + [M_R]_{32}}{4q_2}$$

(14)

$$\text{Caso 4: } [M_R]_{11} + [M_R]_{22} + [M_R]_{33} < 0 \text{ e } [M_R]_{33} \geq \max\{[M_R]_{11}, [M_R]_{22}\}$$

$$q_3 = \frac{\sqrt{-[M_R]_{11} - [M_R]_{22} + [M_R]_{33} + 1}}{2}$$

$$q_0 = \frac{[M_R]_{12} - [M_R]_{21}}{4q_3}$$

$$q_1 = \frac{[M_R]_{13} + [M_R]_{31}}{4q_3}$$

$$q_2 = \frac{[M_R]_{23} + [M_R]_{32}}{4q_3}$$

(15)

Esta regra é robusta sob o ponto de vista numérico, pois evita a divisão por zero, sem perder a generalidade da conversão. Então, ao representar a rotação por meio do quatérnion unitário q será obtido um vetor para definir o eixo de rotação da articulação do joelho (componente vetorial q_1 , q_2 e q_3), expresso em coordenadas

cartesianas, junto com a rotação ocorrida em torno deste vetor (componente escalar q_0) expresso em radianos.

$$q = (q_0, q_1, q_2, q_3)$$

ou

$$q = \left(\cos\left(\frac{\theta}{2}\right), \mathbf{v} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right), \quad -\pi \leq \theta \leq \pi \quad (16)$$

No qual $\mathbf{v}$ é um vetor unitário na direção do eixo da rotação ocorrida.

Uma forma interessante de notação para representar um quatérnion unitário e que facilita a sua representação e interpretação na biomecânica, é apresentar sua parte escalar em graus e sua parte vetorial em coordenadas esféricas (longitude, latitude e raio). E neste caso, a parte escalar foi normalizada (norma euclidiana 1) para representações em uma esfera unitária de raio 1 (Figura 6).

$$\begin{aligned} longitude &= \tan^{-1}\left(\frac{q_2}{q_1}\right) \frac{180}{\pi} \\ latitude &= \tan^{-1}\left(\frac{q_3}{\sqrt{q_1^2 + q_2^2}}\right) \frac{180}{\pi} \\ rotação &= \theta_{rot} = 2 \cos^{-1}(q_0) \frac{180}{\pi} \end{aligned} \quad (17)$$

Figura 6. Representação da parte vetorial normalizada de um quatérnio (q) através das coordenadas esféricas (longitude = θ , latitude = Φ e distância do raio da esfera = r).

3.1.9 ANÁLISE ESTATÍSTICAS

A mediana e o seu intervalo de confiança foram calculadas para os componentes longitude, latitude e θ_{rot} , dos quatérnios unitários. A diferença entre estas variáveis para os chutes CC e CD foi verificada por meio da sobreposição dos intervalos de confiança da mediana com um nível de significância de $p < 0.05$ (McGILL et al, 1978).

3.1.10 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi determinada a acurácia do estudo em relação à reconstrução tridimensional dos marcadores no teste de acurácia. Este teste nos possibilita maior confiabilidade nos valores dos quatérnios obtidos. Neste estudo, os valores médios encontrados para a distância esperada da haste, precisão, bias e acurácia foram de 51,6 cm, 0,53 cm, 0,45 cm e 0,70, respectivamente. Considerando que o diâmetro do marcador utilizado foi de 1,5 cm, pode-se considerar que o erro encontrado no estudo é aceitável.

Nas Figuras 7, 8 e 9 são apresentados os gráficos de mediana e intervalo de confiança para os componentes longitude, latitude e rotação das CC e CD, ao longo do ciclo de movimento.

Figura 7. Longitude - mediana e intervalo de confiança das CC (azul) e CD (vermelho).

Figura 8. Latitude - mediana e intervalo de confiança das CC (azul) e CD (vermelho).

Figura 9. Rotação - mediana e intervalo de confiança das CC (azul) e CD (vermelho).

Verificaram-se diferenças entre CC e CD apenas na componente rotação dos quatérnions no intervalo de 11,6 a 88,5% do ciclo de movimento, intervalo que abrange o ponto de contato do pé de chute com a bola (50% do ciclo de movimento).

Em uma análise visual, nota-se que a variabilidade para as CD, expressa pelas curvas do intervalo de confiança da mediana, foi maior que a variabilidade para as CC nos três componentes do quatérnions. Além disso, nota-se que a variabilidade do componente de rotação para as CD apresentou-se superior às demais componentes e ciclo de movimento após 88,5% do ciclo.

Apesar de não ser possível fazer correspondência dos quatérnions com os eixos anatômicos, podemos verificar que não há grandes modificações nos valores de latitude e longitude dos quatérnions ao longo do tempo. Por esses valores, pode-se fazer uma associação com o eixo talocrural, como pode ser observado pela figura 10, sugerindo assim que a rotação ocorre ao redor desse eixo. Uma vez que as diferenças entre os grupos não ocorrem nos valores de latitude e longitude, destaca-se a importância do movimento de rotação dos quatérnions e sua possível relação com o fato do chute ser convertido ou não.

Figura 10. (A) Planos anatômicos da articulação do tornozelo; vista posterior (B) e vista superior (C) da localização do eixo de movimento da articulação do tornozelo. ((B) e (C) Adaptado de MICHAUD, 1993, apud VALMASSY, 1996, p. 4).

Lees et al (2010) ressalta que a utilização dos ângulos de Cardan ou Euler para a análise tridimensional do chute pode ter algumas limitações, como o fato dos resultados alterarem de acordo com a sequência de rotação escolhida ou ainda quando velocidades angulares são calculados a partir deles. Desse modo, os quatérnions podem ser uma interessante ferramenta para evitar esse tipo de problema, além do fato de possuir uma vantagem matemática quando comparado aos ângulos de Euler, uma vez que o *gimbal lock* não ocorre (Woltring, 1994).

Por fim, cabe enfatizar que este estudo esteve voltado em descrever e comparar as rotações tridimensionais da articulação do tornozelo do membro de apoio em chutes convertidos e desperdiçados, mas outros fatores também influenciam no sucesso ou fracasso da tarefa. Dentre eles podemos citar as rotações de outras articulações, principalmente do membro de chute, posição do tronco e membros superiores e outras variáveis dinâmicas que certamente devem ser levadas em consideração em estudos posteriores.

3.1.11 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo permitiram concluir que é possível calcular os quatérnions a partir da orientação de bases locais na perna e pé e com isso descrever as rotações tridimensionais que ocorrem no tornozelo do membro de apoio durante o chute no futebol. Verificou-se que há diferenças nas rotações dos

quatérnions entre chutes bem-sucedidos e fracassados, sendo que os chutes convertidos apresentaram maiores valores de rotação dos quatérnions na maior parte do ciclo de movimento analisado.

Desse modo, destaca-se a importância das descrições de rotações tridimensionais das articulações envolvidas no chute do futebol, como o tornozelo do membro de apoio, conforme apresentado nesse trabalho. De fato, essas informações contribuem para uma melhor compreensão dos movimentos realizados durante essa complexa tarefa e, conseqüentemente, auxiliarão professores e técnicos a melhor compreender os movimentos dessa articulação tão complexa, que por consequência, se refletirá em uma melhor intervenção no processo de ensino e treinamento do chute no futebol.

3.1.12 REFERÊNCIAS

ABDEL-AZIZ, Y.I.; KARARA, H.M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates. In: *asp/vi symposium on range-close photogrammetry*. Proceeding: Urbana, 1971.

ADRIAN, M.J.; COOPER, J.M. *Biomechanics of human movement*. Benchmark Press, Inc. Indianapolis, 1989.

AMADIO, A.C. (Coord.). *Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano*. São Paulo: Laboratório de Biomecânica/EEFUSP, 1996. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, v.8, p.129-193, 1986.

ANJOS, L.A.; ADRIAN, M.J. Forças de reação do solo na perna de sustentação de jogadores habilidosos e não habilidosos durante chutes numa bola de futebol. *Revista Brasileira de Ciência do Esporte*. Campinas, n.8, p.129–135, 1986.

ARAÚJO, N.G.A.; ANDRADE M.L.; BARROS L.M.R. Sistema para análise cinemática da marcha humana baseado em videogrametria. *Revista de Fisioterapia da Universidade de São Paulo*, v.11, n.1, p.3-10, 2005.

BARFIELD, W.R. The biomechanics in soccer. Clinics in Sport Medicine, Charleston, v.17, n.4, 1988.

BARROS, R.M.L.; BREZIKOFER, R.; LEITE, N.J.; FIGUEROA, P.J. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise tridimensional de movimento humano. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v.15, n.1/2, p.78-79, 1999.

BLOOMENTHAL J. Calculation of reference frames along a space curve. In: Glassner A. S. (ed.), Graphics Gems. Massachusetts: Academic Press. p.567-571, 1990.

CHAO, E.Y.S. Justification of triaxial goniometer for the measurement of joint rotation. Journal of Biomechanics, v.13, p.989-1006, 1980.

CUNHA, S.A.; BARROS, R.M.L.; LIMA FILHO, E.C.; BREZIKOFER, R. Methodology for graphical analysis of soccer kicks using spherical coordinates of the lower limb. In: W. Spinks; T. Reilly; A. Murphy. (Org). Science and Football IV. London: Routledge, 2002, p.8-15.

CUNHA, S.A.; LIMA FILHO, E.C. Metodologia para suavização de dados biomecânicos por função não paramétrica ponderada local robusta. Revista Brasileira de Biomecânica. São Paulo: v.1, n.6, p.23-28, 2003.

CUNHA, S.A.; SANTIAGO, P.R.P.; CARDOSO JR, A.S.; CUNHA, M.C. Rotações em biomecânica usando quatérnios: formulação teórica e exemplo de aplicação In: Modelos matemáticos nas ciências não-exatas. São Paulo: Blucher, p.55-63, 2008.

FIGUEROA, P.J.; LEITE, N.J.; BARROS, R.M.L. Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis. Computer Vision and Image Understanding, 101:2, p.122-135, 2006.

FRANKS, I.M.; MCGARRY, T.; HANVEY, T. From notation to training: analysis of the penalty kick. Insight, 2, p.24-26, 1999.

GALLAHUE, L.D.; OZMUN, J.C. Compreendendo o Desenvolvimento Motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos. 2. ed. São Paulo: Phorte, 2003.

HAMILTON, W.R. On quaternions, Proceedings of the Royal Irish Academy, v.3, p.1-16, 1847.

HOWELL, T.D.; LAFON, J.C. The complexity of the quaternion product, Tech. Rep. TR 75-245, Cornell University, Ithaca, NY, USA, 1975, 5 [Online]. Available: <http://citeseer.ist.psu.edu/howell75complexity.html>

HUANG, T.C.; ROBERTS, E.M.; YOUM, Y. The biomechanics of kicking. In: Human Body Dynamics: impact, occupational and athletic aspects. Oxford: Clarendon Press, p.409–443, 1982.

KANTOR, I.L.; SOLODOVNIKOV, A.S. Hypercomplex numbers: an elementary introduction to algebras. Springer-Verlag, 1989.

KUIPERS, J.B. Quaternions and rotation sequences, Princeton University Press, 1999.

KUHN, W. Penalty-kick strategies for shooters and goalkeepers. In: Science and Football (edited by T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W.J. Murphy), London: E & FN Spon, p.489-492, 1988.

LARA JÚNIOR, A.A. Cinemática do chute com bola parada no futebol. Dissertação de Mestrado – Universidade do Estado de Santa Catarina - Florianópolis, 2003.

LEES, A.; NOLAN, L. Three-dimensional kinematic analysis of instep kick under speed and accuracy conditions. In: Science and Football IV (edited by T. Reilly, W. Spinks and A. Murphy), London: E & FN Spon, p.16-21, 2001.

LEES, A.; BARTON, G.; ROBINSON, M. The influence of Cardan rotation sequence on angular orientation data for the lower limb in the soccer kick. Journal of Sport Science, v.28(4), p.445–450, 2010.

LEVANON, J.; DAPENA, J. Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. Medicine & Science in Sports & Exercise. v.30, n.6, p.917-927, 1998.

McGILL, R., TUKEY, J.W., LARSEN, W.A.; Variations of boxplot. The American Statistician, v.32, n.1, p12-16, 1978.

McGARRY, T.; FRANKS, I.M. On winning the penalty shoot-out in soccer. Journal of Sports Sciences, v.18, p.401-409, 2000.

McLEAN, B.D.; TUMILTY, D.McA. Left-rigth asymetry in two types of soccer kick. *British Sport Medicine*, v.27, n.4, p.260-262, 1993.

McMORRIS, T.; HAUXWELL, B. Improving anticipation of soccer goalkeepers using video observation In: *Science and Football* (edited by T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W.J. Murphy), London: E & FN, p.290-294, 1997.

MORYA, E.; BIGATÃO, H.; LEES, A.; RANVAUD, R. Evolving penalty kick strategies world cup and club matches 2000-2002. 5th World Congress on Science and Football, Lisbon, p.11-15, 2003.

MOURA, F.A. Análise cinemática do membro de suporte do chute no futebol em sujeitos praticantes e não praticantes. Trabalho de Conclusão do Curso. Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

PIAZZA, S.J.; CAVANAGH, P.R. Measurement of the screw-home motion of the knee is sensitive to errors in axis alignment. *Journal of Biomechanics*, v.33, p.1029-1034, 2000.

SAGGINI, R.; CALLIGARIS, A.; MONTANARI, G.; TJOUROUDIS, N.; VECCHIET, L. The foot-ground reaction in the soccer player. In: REILLY, T. et al. (Ed.). *Science and Football II*. London: E&FN Spon, p.341–344, 1993.

SANTOS, E. Caderno técnico-didático: Futebol, Brasília, SEED/DDD, 1979.

TASORA, A. An Optimized Lagrangian-Multiplier Approach for Interactive Multibody Simulation in Kinematic and Dynamical Digital Prototyping. *Proceedings of Computer Simulation in Biomechanics*, Milano, p.3-12, 2001.

THOMAZ, T. Descrição e comparação de dois tipos de chute no futebol feminino através de variáveis angulares. Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Biociências para obtenção do título de mestre em Ciências da Motricidade. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – Campus Rio Claro, 2005.

TIPLER, P.A. Física. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, v.1, p.294, 1978.

VALETA, L.N. Análise biomecânica da posição do pé de apoio do chute no futebol. Rio Claro, Monografia apresentada ao Instituto de Biociências-UNESP, 1998.

VALMASSY, R.L. Clinical biomechanics of the lower extremities. Mosby. 1996

VRONGISTINOS, K.; STYLIANIDES, G.; HWANG, Y.S. Angular velocities and three dimensional analysis using quaternions. Proceedings of the 7th International Symposium on the 3-D Analysis of Human Movement, 2002.

WILLIAMS, A.M.; BURWIRTZ, L. Advance cue utilization in soccer. In: Science and Football II (editado por T. Reilly, J. Clarys y A. Stibbe), London: E & FN Spon, p.239-244, 1993.

WISIAK, M.; CUNHA, S.A. Análise da antecipação do goleiro em cobranças de pênaltis. Revista Motriz, Rio Claro, v.10, n.1, p.29-34, 2004.

YING, N., KIM, W. Use of dual Euler angles to quantify the three-dimensional joint motion and its application to the ankle joint complex. Journal of Biomechanics, v.35 p.1647-1657, 2002.

ZATSIORSKY, V.M. Kinematics of human motion. Champaign: Human Kinetics, 1998.

3.2 COMPARISON OF THE KINEMATIC PATTERNS OF KICK BETWEEN BRAZILIAN AND JAPANESE YOUNG SOCCER PLAYERS

Running Title: Kinematic analysis of side-foot kick

Authors: Paulo Roberto Pereira Santiago^{1,2}(✉); Luiz Henrique Palucci Vieira^{1,2}; Fabio Augusto Barbieri³; Felipe Arruda Moura⁴; Juliana Exel Santana⁵; Vitor Luiz de Andrade^{1,2}; Bruno Luiz de Souza Bedo^{1,2}; Sérgio Augusto Cunha⁵

Affiliations:

¹Laboratório de Biomecânica e Controle Motor, School of Physical Education and Sport of Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brazil

²Faculty of Medicine at Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brazil

³Laboratory of Information, Vision and Action, São Paulo State University, Bauru, SP, Brazil

⁴Laboratory of Applied Biomechanics, State University of Londrina, PR, Brazil

⁵Laboratory of Instrumentation for Biomechanics, State University of Campinas, SP, Brazil

* Paulo Roberto Pereira Santiago, Ph.D.(✉)

Avenida Bandeirantes n. 3900, Monte Alegre, Ribeirão Preto, SP, Brazil.

Tel: + 55 16 3602-0529

Fax: +55 19 3526-4100

Email: paulosantiago@usp.br

3.2.1 ABSTRACT

Background: Kicking performance is the most studied technical action in soccer and lower limbs kinematics is closely related to success in kicking, mainly because they are essential in imparting high velocity to the ball. Previous studies demonstrated that soccer leagues in different countries exhibit different physical demands and technical requirements during the matches. However, it has not been reported yet evidences if nationality has any influence in the kinematics of soccer-related skills. The nationality of the players is an aspect that might be also relevant to the performance in kicking. **Objectives:** The aim of this study was to compare the lower limbs kinematic patterns during kicking, between Brazilian and Japanese young top soccer players. **Materials and Methods:** Seven Brazilian (GA) and seven Japanese (GB) U-17 players performed 15 side-foot kicks each, with a distance of 20 m away from the goal, aiming a target of 1 x 1 m in upper corner, constrained by a defensive wall (1.8 x 2 m). Four digital video cameras (120 Hz) recorded the performance to further 3D reconstruction of thigh, shank and foot segments of both kicking and support limbs. The selected kicking cycle was characterized by the toe-off of the kicking limb to the end of the kicking foot when it came in contact with the ball. Stereographical projection of each segment was applied to obtain the representative curves of kicking as function of time for each participant in each trial. Cluster analysis was performed to identify the mean GA and GB curves for each segment. Silhouette coefficient (SC) was calculated, in order to determine the degree of separation between the two groups' curves. **Results:** Comparison between the median confidence intervals of the SC showed no differences between groups as regards lower limb patterns of movements. Task accuracy was determined by the relative frequency that the ball reached the target for all attempts and no differences were found (GA: $10.48 \pm 14.33\%$; GB: $9.52 \pm 6.51\%$; $P = 0.88$). **Conclusions:** We conclude that lower limb kinematic patterns, in support and ball contact phases, are similar in young Brazilian and Japanese soccer players during free kicks when adopting the side-foot kick style.

Keywords: Kicking; Cluster analysis; Nationality; Soccer; Biomechanics

3.2.2 BACKGROUND

Kicking performance is the most studied technical action in soccer (1), and a growing body of research has been dedicated to studying penalty kick performance (2). Information regarding the “number of kicks” and “number of kicks on target”, usually provided by notational analysis, are important indicators of success in high level competition (3), and it illustrates the need to understand and training such motor skill. Previous studies examined the differences in kicking kinematics utilizing a stationary ball and compared dominant versus non-dominant limbs (4), genders (5, 6), soccer cleats (7), kicking techniques (8, 9), skill levels (10) and age (11) using a penalty shoot-out format or distances less than 11 meters from the goal plane. Despite the extensive literature regarding kicking, studies related to the characteristics of free kicks are significantly less (12), despite such free kicks being an important opportunity for scoring in a match (13), with indexes of 6% to 12%, as previously reported (14).

However, in the last FIFA U-17 World Cup UAE 2013, only three out of the 172 goals were scored from free kicks (15), indicating that, at this level, success in this kind of situation may be more complex. The strength impressed on the ball when kicking, foot-ball contact, wind direction and velocity, body segments kinematics (16), location on the field where the kick is performed, target aimed at when kicking (17); and ball flight characteristics have been pointed out as elements that influence the performance of free kicks (18).

As previously highlighted, lower limbs kinematics are closely related to success in kicking, especially where the transferal of high velocity to the ball is concerned (1). High ball velocities are associated with thigh peak angular velocity, foot velocity relative to the knee, peak knee velocity relative to the hip (19), peak knee extension velocity (20), last step length of the kick approach (21), distance between the support foot and the ball (22), the foot-ball contact surface area (4, 5), and foot velocity (10).

The players' nationality is an aspect that might be also relevant to performance in kicking. Dellal et al. (23) demonstrated that different European soccer leagues exhibit different physical demands and technical performances in matches. However, it has not been reported yet whether there is any evidence of the influence

of nationality on the kinematics of soccer-related skills. According to data published by FIFA (www.fifa.com), the Brazilian U-17 national team's goal average is higher than Japan's (15), although college players from both nationalities show similar ball velocities in their kicking performances ($21.62 - 24.27 \text{ m.s}^{-1}$ and $25.8 - 28.4 \text{ m.s}^{-1}$, respectively [24-27]).

The analysis of the results in the literature regarding the performances of players from different countries is difficult because of the differences in the methods used for data collection (23) and in the kinematic variables chosen to represent phenomena related to the performance. For example, for Brazilian players, kicking kinematics have already been described for hip flexion, knee extension, and ankle dorsi-flexion angular velocity at foot-ball contact (25, 26). For Japanese players, the kinematic variables have already described thigh and shank angular velocity, as well as the knee peak angular moment (27). In addition, the studies focused on the performance of kicking in the Brazilian team sports players above mentioned were conducted with futsal players (25, 26), while studies on the population of Japanese in soccer are more common (27, 28).

There is no report in the literature describing and comparing kicking kinematics between soccer players of different nationalities, at an age close to their transition to the professional level. Brazil and Japan have internationally recognized free-kick specialists, such as Juninho and Keisuke Honda, (13). There is also a recent interest in talent identification in soccer, thus, understanding the movement pattern in situations directly related to matches (29), such as free kicks, can help to detect athletes' level of performance (17). Detailed characterization of kicking kinematics can also be useful to coaches as regards programing and directing their technical training. Additionally, Dellal et al. (23) showed that a direct comparison of technical performance between different leagues in different countries could be important in determining whether performance is general to all leagues or if each country has its own specific level of performance. Also, such analysis may contribute to understanding one's adversary, during the preparation period prior to competing in international competitions. In the present study, we chose to simultaneously analyze the kick kinematics of Brazilian and Japanese players given their differences in culture (e.g. training methods and talent development models) and traditions (e.g. the results obtained in international competitions) in a soccer context, in order to further our

understanding regarding kicking in soccer, as well as helping to understand these two nationalities located at opposite sides of the world.

3.2.3 OBJECTIVES

Thus, the aim of the present study was to investigate the lower limbs kinematical patterns between top level Brazilian and Japanese U-17 soccer players using side-foot kick in free kick simulation, using graphical analysis.

3.2.4 BACKGROUND

Subjects

Fourteen young U-17 top level soccer players participated in this study, and were distributed in two groups. The GA group ($n = 7$; identified as GA1 – GA7) consisted of Brazilian high-level youth players. The GB group ($n = 7$; identified as GB1 – GB7) consisted of Japanese high-level youth players. All the participants were right foot dominant. The Brazilian and Japanese players had a mean time of experience in playing soccer of 9.71 ± 1.11 and 9 ± 2 years, respectively. This information (i.e. lateral preference and time of experience in playing soccer) were self-reported by the players, before the experiment. All athletes were previously informed regarding the experiment procedures and volunteered to be part of this study. All practices were organized in keeping with the University's Institutional Review Board for Human Subjects (Human Research Ethics Committee) and were conducted in keeping with the Declaration of Helsinki. The players and their parents or guardians were informed regarding the experiment procedures and risks, and both provided a written informed consent authorizing the athletes' participation in the study.

Experimental Design

The experiment consisted of three series of five kicks ($N = 15$) of a stationary ball placed 20 m from the goal and perpendicular to the left goalpost. The participants were asked to perform the kicks aimed at 1 x 1 m target set in the upper

left side of the goal. The task was constrained by a 1.8 m high and 2 m long defensive wall placed 9.15 m from the ball (Figure 1(A)). We chose to put the target on the right side of the goal in order to make the task more difficult and guarantee that the participants had to kick the ball over the defensive wall. According to Alcock's (17) findings, free kicks in soccer aimed at the edge of the goal tend to result in a goal or forces a difficult save by the goalkeeper. The participants were instructed to "perform the task using the medial side of their kicking foot (i.e. side-foot kick) aiming the center of the target"; however, the length and distance of the approaching steps were not restricted (i.e. self-selected by the subject) to avoid influencing the movement pattern (26). The participants rested between trials and series, ranging from 1 minute and 30 seconds to two minutes.

Data collection

The kicking and support thigh, shank and foot were determined by the estimate of the hip, knee and ankle centers through 10 passive markers, with 25 mm diameter, on the following anatomical landmarks: great trochanter, lateral femoral epicondyle, lateral malleolus, lateral calcaneus tuberosity, and fifth metatarsal head.

The experiment was recorded by four digital cameras (JVC GR-DVL9800u®; NTSC), with sample rate of 120 Hz and 1/250 s shutter speed. These cameras were properly calibrated (i.e. a calibration frame) and the reference system adopted was oriented as follows: horizontal axis (Y) positive towards the goal, lateral axis (X) positive to the right, and vertical axis (Z) positive upwards, obtained as the cross product between the unit vectors representing X and Y directions (30).

The DVIDEO software (31) was used for (i) the cameras synchronization using beeps (32), (ii) semi-automatic measurement of the markers, (iii) calibration and (iv) 3D reconstruction of the image sequences by Direct Linear Transformation method (6, 25, 26). To confirm that the cameras were synchronized correctly, we checked common events (i.e. corresponding picture frame's) in the sequences of images from each camera (e.g. take-off of kicking foot previous to contact with the ball, contact of the support foot on the ground and foot-ball contact). To evaluate experimental errors, an accuracy test was performed based on previous

research using the same software (16, 25, 26). The accuracy obtained for the reconstruction method was 0.0056 m. The player accuracy during the task was determined by the relative frequency that the ball reached the target for all attempts (26).

Before all analysis, and in a S-PLUS 4.5 environment (TIBCO Software Inc., USA) the 3D data were smoothed using the robust locally weighted regression method, LOESS quadratic fit function (25, 26, 33). The smoothing parameter was set to 0.7 after residual analysis. The following unit vectors calculated from the filtered markers' coordinates represents how thigh, leg and foot segments were obtained:

$$\overrightarrow{\text{THI}} = \frac{(\overrightarrow{\text{LFE}} - \overrightarrow{\text{GFT}})}{(\|\overrightarrow{\text{LFE}} - \overrightarrow{\text{GFT}}\|_2)} \quad (1)$$

$$\overrightarrow{\text{LEG}} = \frac{(\overrightarrow{\text{LM}} - \overrightarrow{\text{LFE}})}{(\|\overrightarrow{\text{LM}} - \overrightarrow{\text{LFE}}\|_2)} \quad (2)$$

$$\overrightarrow{\text{FOOT}} = \frac{(\overrightarrow{\text{TEFM}} - \overrightarrow{\text{CA}})}{(\|\overrightarrow{\text{TEFM}} - \overrightarrow{\text{CA}}\|_2)} \quad (3)$$

In which $\|\cdot\|_2$ = Euclidean vector norm, $\overrightarrow{\text{LFE}}$ = marker of the lateral femoral epicondyle, $\overrightarrow{\text{GFT}}$ = marker of the greater femoral trochanter, $\overrightarrow{\text{MF}}$ = marker of the lateral malleolus of the fibula, $\overrightarrow{\text{CA}}$ = marker of the calcaneus, and $\overrightarrow{\text{TEFM}}$ = marker of the toe-distal end of fifth metatarsal.

Thus, the stereographic projection (16, 30), of each unit vector representing the body segments was calculated by centering an imaginary unit sphere proximally at each of the segments. This kind of movement representation allows the identification of a kinematic pattern related to the lower limb segments. It creates an imaginary line from the north pole of a sphere that passes through the unit vector and hull, and reaches the X-Z plane tangent to the spheres' south pole. The projection is

bijjective, meaning that for each location in the sphere there is only one point, which represents its projection in the plane (Figure 1(B)) (16, 30, 34).

Figure 1 - (A) Experimental design. (B) Kicking cycle and stereographic projection of the shank segment during a kick. Black line = normalized 3D shank movement. Gray line = projection of the shank movement in the “zx” plane, tangent to the South pole in the unit sphere. N = North pole. S = South pole. (C) Calculations of $s(j)$ at $t(i)$ example.

For purposes of analyses, the kicking cycle was normalized and divided in two phases. The first was the support phase (SP, 0 – 65 % of the kicking cycle), characterized by the toe-off of the kicking limb through the total support foot contact on the ground. The second was the contact phase (CP, 66 – 100% of the kicking cycle), which stands for the first instant of total support foot contact on the ground to the end of the kicking foot contact with the ball (25, 26) (see for instance Figure 1(B)). From the data set of each participant, mean curves were taken for all three body segments and considered as the individual kinematic movement pattern for kicking.

In order to identify possible differences in the movement of the kinematic pattern between groups (GA and GB), the PAM clustering method (Partition Around Medoid) (35) was applied to the segments' projection mean curves, initially setting the number of groups in two (Brazilian and Japanese players). With this procedure, we aimed to identify the point or interval, if any, during the kicking cycle in which the segment kinematics of each group might present any separation. The silhouette coefficient (SC) was calculated as follows, in order to determine the degree of separation between the groups' set of kicking trials, as proposed by Kaufman and Rousseeuw (35) (see for instance [36]). The SC is obtained using the Equation 4 (see also Moura, Martins and Cunha [3]).

Let A and B be the determined set of clusters, j represents the number of data points as a function of time $t(j)$ in the cluster A, and let $a(j)$ be the mean distance between j and all the other data points in A. Let $d(j,B)$ be the distance between j and each of the data points in the cluster B. The minimum value of $d(j,B)$ is denominated $b(j)$, and is the distance between j and the neighbor cluster (see for instance Figure 1 (C)). See Equation 4:

$$s(j) = \frac{b(j) - a(j)}{\max\{a(j), b(j)\}}, -1 \leq s(j) \leq 1, \text{ for each } j. \quad (4)$$

Where $s(j)$ is the silhouette coefficient of j each instant of time $t(i)$. $SC(i)$ is then the mean of $s(j)$ for all data points j .

Statistical Analysis

To check whether there was a difference between the groups or between the stages of the kick in the analyzed segments we used a comparison of the confidence intervals of the medians represented in the boxplot of the SC values in each phase. The boxplots indicate separation between two groups if the median of SC is greater than 0.5 (3, 35) and, two medians are significantly different at the 5% significance level if their intervals do not overlap (25, 26, 37). All analyses were performed in an S-PLUS 4.5 environment (36), for both support and kicking leg.

The accuracy of the task performance is presented as a percentage and was compared between groups using paired Student's *t*-test, after confirming the normal distribution of the data using the Shapiro-Wilk test. These tests were performed using the Statistical Package for the Social Sciences version 17 (SPSS Inc., USA), and $P < 0.05$ was adopted as significance level.

3.2.5 RESULTS

The mean curves (i.e. stereographical projection) of the support limb and kicking limb cycles for the GA and GB body segments are shown in Figure 2. The Figure 3 represents the SC values for the body segments during the entire kicking cycle for both lower limbs. Figure 4 shows the boxplots of the SC values for thigh, shank and foot of the kicking and supporting limbs.

Figure 2 – Mean curves of the kicking limb (2A – 2C) and support limb (2D – 2F) segments. A and D = thigh. B and E = shank. C and F = foot. DIV = indicates the division into support and contact phases. GA group = Brazilian U-17 players. GB group = Japanese U-17 players.

Figure 3 – SC values of the kicking limb (3A – 3C) and support limb (3D – 3F) segments during the kick cycle. A and D = thigh. B and E = shank. C and F = foot. SP = support phase. CP = contact phase.

Figure 4 – SC boxplot of the kicking segments (4A – 4C) and support segments (4D – 4F) during kicking cycle. A and D = thigh. B and E = shank. C and F = foot. SC = silhouette coefficient. SP = support phase. CP = contact phase. Notch can be used to show the 95% confidence interval (CI) for the median.

Figure 5 – SC at 70% of the kicking cycle. GA group = Brazilian U-17 players. GB group = Japanese U-17 players.

For the kicking limb, the kinematic patterns of all three segments analyzed proved to be similar between groups. The comparison of the confidence intervals corresponds to this assumption, presenting values under 0.5 of SC (Figure 4 (A–C)). However, when we analyze the kicking cycle in Figure 3B, there is an interval of the cycle where the shank motion is different between GA and GB. This difference or separation between the shank curves is confirmed by the SC values obtained throughout the movement cycle. The difference between groups occurred between 37.5% and 52% of the cycle (Figure 3B), corresponding to the support phase during kicking.

The lower limb body segments showed similar kinematic patterns for the supporting leg in the boxplot comparison of the SC confidence intervals, reported to be under 0.5 for SP and CP (Figure 4 (D–E)). However, when the entire kicking cycle is analyzed, two significant differences were found. The first difference was the shank motion from the beginning to 25% of the cycle (Figure 3E). The second was the foot

motion from 65 to 100% of the cycle (Figure 3F), which presented a SC higher than 0.5, indicating the separation between groups at CP (Figure 4F).

Our results indicated some differences in the support limb kinematics during contact phase between Brazilians and Japanese (Figures 3F and 4F) players. However, the cluster analysis applied to our data classified the participant GA3, GA4, GA6, GB2, GB3, GB5 and GB7 players at the same group, and participant GA1, GA2, GA5, GA7, GB1, GB4 and GB6 in another group. Thus, the possible differences found at this point for the support foot (i.e. 70% of the kicking cycle), is not due to differences between nationalities, but the identification of similar movements between GA and GB members occurs (Figure 5). For the other body segments, the classification obtained for SC above 0.5 also did not separate the participants by their nationality (i.e. there was no separation between the pre-established groups, but there was identification of similar movements between members), as occurred in the above cited case. For the task accuracy results, GA and GB did not present significant differences ($P = 0.88$) in their percentage of accuracy (GA: mean 10.48, $s = 14.33\%$; GB: mean 9.52, $s = 6.51\%$).

3.2.6 DISCUSSION

The main results of the present study showed that the kinematic patterns for all the body segments analyzed as regards to the support and kicking limbs are similar between Brazilian and Japanese players over the course of kicking cycle. The end-point task was also similar, given that both groups showed the same percentage of accuracy in the task, which confirms the temporal invariance between the patterns of movements performed by the two groups analyzed (26).

The movement control in kicking a stationary ball occurs in a closed-circuit fashion (26, 38), which characterizes this kick style as a well-defined movement. However, when the individual curves for the segment motion are visually analyzed, there is some variability between trials, mainly for the support foot. Studies in the literature report that kicking presents the highest variability in its performance compared to other motor actions in soccer (39, 40), and is due to the complexity inherent to its execution. The necessity of slight adjustments, identified through visual

feedback (25), during the performance may contribute to this variability observed between trials.

The side-foot kicking technique is characterized by precision in driving the ball with lower ball velocity. Most part soccer players choose the side-foot kick to perform penalties and free kicks near the penalty area (8, 9, 41). The stereographic projections of the thigh, shank and foot movements in the present study (i.e. Figure 2 (A – F)) are similar to those presented in the past, in studies that compared side-foot kicking performance between groups using cluster analysis (16, 42, 43). However, the SC adopted as a threshold to separate groups used in these studies was a confidence interval ≤ 0.4 , which is not as high as the threshold of 0.5 set for the present study. Thus, the SC confidence intervals found in the literature are between 0.35 and 0.48, and in cases in which the SC was found to be higher than 0.4, studies reported differences in kinematic patterns between groups. The present study based the SC threshold on Kaufman and Rousseeuw (35), and indicates a reasonable separation structure in SC above 0.5 (see also Moura, Martins and Cunha [3]).

According to previous studies (44), the characteristics of foot/ball impact appears to be a significant factor in kicking performance (see also [6]). The correlation coefficient between foot speed and ball speed can be assumed as an indirect measure of foot-to-ball impact quality during the kick movement (27). Kawamoto et al. (10) found a value of $r = 0.94$ in experienced players. In this sense, students at the university level from Brazil, even in a futsal context, demonstrated values ($r = 0.76$) (25, 26) higher than those of Japanese university soccer players ($r = 0.57$) (27). Inversely, the Brazilians showed slower foot speed ($15.58 - 17.61 \text{ m.s}^{-1}$) (24, 25) than Japanese ($18.4 - 27.1 \text{ m.s}^{-1}$) (27, 44). However, this comparison should be viewed with caution because futsal and soccer have important differences, such as the playing surface, footwear used, size and weight of the ball and the dimensions of the target (i.e. the goal), but to our knowledge, these were some of the few studies that have investigated the kicking ability of players in both countries.

The present results show that, apparently, the differences in the initiation, physical structure and training model between Japan and Brazil does not reflect in the performance of motor patterns, such as kicking among U-17 soccer players. By this age, soccer players probably already present mature and solid movement patterns and

various reasons can explain this. The frequency in which kicking is practiced is high because of the demand for that action during a match. This is a motor pattern taught at a very early age (4–6 years old) (40) and takes relatively few weeks of practice to result in a structured proximal-distal limb coordination (45). The participants recruited for the present study had a mean time of 9 years of experience, which explains the general consistency in execution of the kick. The lack of information regarding kinematic patterns during the performance of kicking by high level Brazilian and Japanese soccer players limits our understanding whether the characteristics found in the present study persist as a function of age and skill level.

Besides kicking skills, some other factors may influence the performance of Brazilian and Japanese teams in soccer. Japanese professional players present low height and body mass compared to European players and, also considering tactical experience, such factors may be a limiting factor to success in competitions (46). We also verified that high-level Brazilian players present higher height (179.5 and 175.0 cm) (47, 48), body mass (77.8 and 70.5 kg) (47, 48), body fat percentage (12.15 and 9.02%) (48, 49), maximum oxygen uptake (63.2 and $55.8 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) (48, 50), 20 m sprint performance (2.39 and 3.02 s) (46, 51) and quadriceps isokinetic peak torque at $180^\circ/\text{s}$ (234.94 and 150 N.m) (46, 52) compared to high-level Japanese players, respectively. Studies suggest that kicking performance is associated with the anaerobic pathway (53), body mass (54) and knee extension velocity of the kicking limb (20), and the literature reports that these variables are different between Brazilian and Japanese players. However, when kicking kinematics are observed, as in the present study, there are no evidences of differences between these groups.

It is also important to consider that the performance of technical skills during matches are not only the result of one individual, but are a result of collective skills, such as team tactical capacities (55). Thus, the main limitation of the present study is the experimental condition for the execution of the kick, which leads to the analysis of a closed motor skill. This may likely have contributed to the absence of differences between the kinematic patterns of movement between groups. During practice, generally, coaches dedicate a lot of time trying to refine kicking in a closed form, simulating specific situations such as penalties and free kicks. However, it has been suggested that the analyses of kicking kinematics should also use contexts

involving real match demands, such as with protocols using rolling balls (38, 39, 25, 26).

The present study simultaneously showed the kinematics features of Brazilian and Japanese U-17 players in a soccer context. Although both present some differences in culture (i.e. training methods and talent development models) and traditions (i.e. the results obtained in international competitions) in soccer, when kicking kinematics are observed, the present study concludes that the lower limb kinematic patterns, in both support and ball contact phases, during free kicks adopting the side-foot kick style is similar between Brazilian and Japanese U-17 soccer players. Additionally, the present article adopted a graphical methodology for analyzing the performance of the kick (i.e. movement patterns) and cluster analysis to group the data, which represents methods little explored in performance analysis within the context of soccer. In practical terms, and during the process of teaching, learning and training, soccer coaches of teams that have Japanese and Brazilian players should not differentiate the training sessions of kick to correct or improve the kinematic pattern of movement, since they present similar performance (i.e. suggesting that the pattern of kick motion in soccer is general for these nationalities).

Further, a limitation to our study is that the method adopted (i.e. graphical analysis) comprises the direct comparison of the results of a stereographic projection with the findings of other studies, whose comparisons is primarily visual. Future research should investigate the development of the kick performance by Brazilian and Japanese soccer populations (i.e. in different age groups in children up to the professional level) during competitions (i.e. match-related performance) and in an experimental context (i.e. field tests), and should include other variables not assessed in the present investigation, such as ball speed, foot speeds, angular joint speeds, and two-dimensional accuracy, since reference values are not available in scientific literature for these.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Rio Claro Football Club (Rio Claro, Brazil) and the Nihon Daigaku Koutouggakau team (Miyazaki, Japan), their players, parents, and coaching staff.

Funding/Support

This study was supported in part by FAPESP [2010/20538-7] and [2013/08302-6], CNPq [481833/2013-7], CAPES and FAPEMIG.

3.2.7 REFERENCES

1. Lees A, Asai T, Andersen TB, Nunome H, Sterzing T. The biomechanics of kicking in soccer: A review. *J Sports Sci.* 2010;28(8):805-817.
2. Lopes JE, Araújo D, Davids K. Investigative trends in understanding penalty-kick performance in association football: an ecological dynamics perspective. *Sports Med.* 2014;44(1):1-7.
3. Moura FA, Martins LE, Cunha SA. Analysis of football game-related statistics using multivariate techniques. *J Sports Sci.* 2014;32(20):1881-1887.
4. Dorge HC, Anderson TB, Sorensen H, Simonsen EB. Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *J Sports Sci.* 2002;20(4):293-299.
5. Barfield WR, Kirkendall DT, Yu B. Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players. *J Sports Sci Med.* 2002;1(3):72-79.
6. Katis A, Amiridis I, Kellis E, Lees A. Recovery of powerful kick biomechanics after intense running fatigue in male and female soccer players. *Asian J Sports Med.* 2014;5(4):e24013.

7. Sterzing T, Hennig EM. The influence of soccer shoes on kicking velocity in full-instep kicks. *Exerc Sport Sci Rev.* 2008;36(2):91-97.
8. Levanon J, Dapena J. Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(6):917-927.
9. Nunome H, Asai T, Ikegami Y, Sakurai S. Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(12):2028-2036.
10. Kawamoto R, Miyagi O, Ohashi J, Fukashiro S. Kinetic comparison of a side-foot soccer kick between experienced and inexperienced players. *Sports Biomech.* 2007;6(2):187-198.
11. Luhtanen P. Kinematics and kinetics of maximal instep kicking in junior soccer players. In: Reilly T, Clarys J, Stibbe A, editors. *Science and football*. New York, NY: E & FN Spon; 1988:441-448.
12. Brown EW, Wilson DJ, Mason BR, Baker J. Three dimensional kinematics of the direct free kick in soccer when opposed by a defensive wall. Book of Abstracts, XI International Symposium on Biomechanics in Sports, USA, 23–26 June 1993. Edited by Hamill J, Derrick TR, Elliott EH. <http://www.isbs.org>. Accessed January 30, 2015.
13. Dessing JC, Craig CM. Bending it like Beckham: how to visually fool the goalkeeper. *PloS One.* 2010;5(10):e13161. doi:10.1371/journal.pone.0013161
14. Acar M, Yapicioglu B, Arikan N, Yalcin S, Ates N, Ergun M. Analysis of goals scored in the 2006 World Cup. In: Reilly T, Korkusuz AF, editors. *Science and Football VI*. London: Routledge; 2009:235-242.
15. FIFA. FIFA U-17 World Cup UAE 2013: Technical report and statistics. 2013; http://www.fifa.com/mm/document/footballdevelopment/technicalsupport/02/24/73/87/technicalreportandstatistics_fifau-17worldcupuae2013_neutral.pdf.

16. Santiago PRP, Moura FA, Barbieri FA, Lima Junior RS, Cunha SA. Relação do padrão cinemático de movimento com desempenho do chute em cobranças de falta no futebol. *Braz J Biomech.* 2008;8(15):54-60.
17. Alcock A. Analysis of direct free kicks in the women's football World Cup 2007. *Eur J Sport Sci.* 2010;10(4):279-284.
18. Craig CM, Bastin J, Montagne G. How information guides movement: intercepting curved free kicks in soccer. *Hum Mov Sci.* 2011;30(5):931-941.
19. De Witt JK, Hinrichs RN. Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. *Sports Biomech.* 2012;11(3):382-390.
20. Sinclair J, Fewtrell D, Taylor PJ, Bottoms L, Atkins S, Hobbs SJ. Three-dimensional kinematic correlates of ball velocity during maximal instep soccer kicking in males. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(8):799-805.
21. Lees A, Kershaw L, Moura F. The three-dimensional nature of the maximal instep kick in soccer. In: Reilly T, Cabri J, Araújo D, editors. *Science and Football V*. London: Routledge; 2005:65-70.
22. Kapidžić A, Huremović T, Biberovic A. Kinematic Analysis of the Instep Kick in Youth Soccer Players. *J Hum Kinet.* 2014;42(1):81-90.
23. Dellal A, Chamari K, Wong DP, Ahmaidi S, Keller D, Barros R, et al. Comparison of physical and technical performance in European soccer match-play: FA Premier League and La Liga. *Eur J Sport Sci.* 2011;11(1):51-59.
24. Hong S, Chung C, Sakamoto K, Asai T. Analysis of the swing motion on knuckling shot in soccer. *Procedia Engineering.* 2011;13:176-181.
25. Barbieri FA, Gobbi LT, Santiago PR, Cunha SA. Dominant-non-dominant asymmetry of kicking a stationary and rolling ball in a futsal context. *J Sports Sci.* 2015;33(13):1411-1419.

26. Barbieri FA, Gobbi LT, Santiago PR, Cunha SA. Performance comparisons of the kicking of stationary and rolling balls in a futsal context. *Sports Biomech.* 2010;9(1):1-15.
27. Apriantono T, Nunome H, Ikegami Y, Sano S. The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *J Sports Sci.* 2006;24(9):951-960.
28. Inoue K, Nunome H, Shinkai H, Ikegami Y. The effect of kicking direction on soccer instep kicking kinetics. Paper presented at 23rd Congress of the International Society of Biomechanics 2011; Brussels, Belgium.
29. Unnithan V, White J, Georgiou A, Iga J, Drust B. Talent identification in youth soccer. *J Sports Sci.* 2012;30(15):1719-1726.
30. Cunha SA, Barros RML, Lima Filho EC, Brenzikofer R. Methodology for graphical analysis of soccer kick using spherical coordinates of the lower limb. In: Spinks W, Reilly T, Murphy A, editors. *Science and Soccer IV*. London: Routledge; 2002:8-15.
31. Figueroa PJ, Leite NJ, Barros RM. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Comput Methods Programs Biomed.* 2003;72(2):155-165. doi:10.1016/S0169-2607(02)00122-0
32. Leite de Barros RM, Guedes Russomanno T, Brenzikofer R, Jovino Figueroa P. A method to synchronise video cameras using the audio band. *J Biomech.* 2006;39(4):776-780.
33. Cleveland WS. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *J Am Statist Assoc.* 1979;74(368):829-836.
34. Coxeter HSM. *Introduction to geometry*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1969.
35. Kaufman L, Rousseeuw PJ. *Finding groups in data: An introduction to cluster analysis*. 1st edition. New York: John Wiley & Sons; 1990.

36. Struyf A, Hubert M, Rousseeuw PJ. Integrating robust clustering techniques in S-PLUS. *Computational Statistics & Data Analysis*. 1997;26(1):17-37.
37. McGill R, Tukey JW, Larsen WA. Variations of box plots. *The American Statistician*. 1978;32(1):12-16.
38. Shumway-Cook A. *Motor control: Theory and practical applications*. 2nd ed. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins; 2000.
39. Russell M, Benton D, Kingsley M. Reliability and construct validity of soccer skills tests that measure passing, shooting, and dribbling. *J Sports Sci*. 2010;28(13):1399-1408.
40. Ali A, Williams C, Hulse M, Strudwick A, Reddin J, Howarth L, et al. Reliability and validity of two tests of soccer skill. *J Sports Sci*. 2007;25(13):1461-1470.
41. Lees A, Nolan L. The biomechanics of soccer: A review. *J Sports Sci*. 1998;16(3):211-234.
42. Cunha SA. Biomechanics analysis in soccer. *Motriz*. 2003;9(1):25-30.
43. Magalhães Júnior WJ, Ximenes JM, Moura FA, Santiago PRP, Cunha SA. Comparative analysis of the movement pattern of the soccer kick between practitioners and non-practitioners through stereographic projection. *Braz J Biomech*. 2005;6(10):25-30.
44. Asai T, Carré MJ, Akatsuka T, Haake SJ. The curve kick of a football I: impact with the foot. *Sports Eng*. 2002;5:183-192.
45. Egan CD, Verheul MH, Savelsbergh GJ. Effects of experience on the coordination of internally and externally timed soccer kicks. *J Mot Behav*. 2007;39(5):423-432.
46. Brocherie F, Morikawa T, Hayakawa N, Yasumatsu M. Pre-season anaerobic performance of elite Japanese soccer players. In: Reilly T, Cabri J, Araújo D, editors. *Science and Football V*. London: Routledge; 2005:138-141.

47. Menzel HJ, Chagas MH, Szmuchrowski LA, Araujo SR, de Andrade AG, de Jesus-Moraleida FR. Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(5):1370-1377.
48. Nagahama H, Isokawa M, Suzuki S, Ohashi J. Physical fitness of soccer players affected by a maximal intermittent exercise "MIE.". In: Clarys J, Reilly T, Stibbe A, editors. *Science and Football II*. Florence, KY:1993:47-52.
49. Lollo PC, Amaya-Farfan J, de Carvalho-Silva LB. Physiological and physical effects of different milk protein supplements in elite soccer players. *J Hum Kinet.* 2011;30:49-57. doi:10.2478/v10078-011-0072-3
50. Signorelli GR, Perim RR, Santos TM, Araujo CG. A pre-season comparison of aerobic fitness and flexibility of younger and older professional soccer players. *Int J Sports Med.* 2012;33(11):867-872.
51. Coelho DB, Coelho LGM, Braga ML, Paolucci A, Cabido CET, Junior JBF, et al. Correlation between performance of soccer players in the 30-meter sprint test and in the vertical jump test. *Motriz.* 2011;17(1):63-70.
52. Fonseca STd, Ocarino JM, da Silva PL, Bricio RS, Costa CA, Wanner LL. Characterization of professional soccer players' muscle performance. *Rev Bras Med Esporte.* 2007;13(3):143-147.
53. Fernandez-Gonzalo R, De Souza-Teixeira F, Bresciani G, García-López D, Hernández-Murúa JÁ, Jiménez-Jiménez R, et al. Comparison of technical and physiological characteristics of prepubescent soccer players of different ages. *J Strength Cond Res.* 2010;24(7):1790-1798.
54. Wong PL, Chamari K, Dellal A, Wisløff U. Relationship between anthropometric and physiological characteristics in youth soccer players. *J Strength Cond Res.* 2009;23(4):1204-1210.
55. Williams AM, Reilly T. Talent identification and development in soccer. *J Sports Sci.* 2000;18(9):657-667.

3.3 VELOCIDADE DA BOLA NO CHUTE NO FUTSAL: COMPARAÇÃO ENTRE GAROTOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE DESEMPENHO E CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS PREDITORAS DO DESEMPENHO

Título resumido: Desempenho no chute em jovens no futsal.

Autores: Vitor Luiz de Andrade^{*,**}; Luiz Henrique Palucci Vieira^{*,**}; Bruno Luiz de Souza Bedo; Reinaldo Macari; Fábio Mariano Pamplona; Cesar Tadashi Noda^{***}; Paulo Roberto Pereira Santiago^{*,**} (✉)

Afiliações:

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

**Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.

***Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista - Rio Claro.

Paulo Roberto Pereira Santiago, Ph.D. (✉)

Avenida Bandeirantes n. 3900, Monte Alegre, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

Tel: + 55 16 3602-0529

Fax: +55 19 3526-4100

Email: paulosantiago@usp.br

3.3.1 RESUMO

O estudo objetivou comparar e verificar as possíveis correlações entre a velocidade da bola com a velocidade do pé, ângulo relativo do joelho e comprimento do último passo durante o chute entre garotos Praticantes e Não Praticantes do futsal. Participaram do estudo 14 garotos com idade entre 13 e 15 anos divididos em dois grupos, Praticantes (G1) e Não Praticantes (G2) de acordo com seu tempo de prática estruturada semanal na modalidade. Para a análise cinemática duas câmeras ajustadas a uma frequência de 120 Hz, foram fixadas lateralmente ao movimento realizado e focalizando os marcadores fixados no membro inferior do chute. Cada participante executou 10 chutes simulando uma cobrança de tiro livre no futsal. Os dados tridimensionais do membro inferior de chute foram obtidos pelo *software* DVIDEOW e tratados em ambiente Matlab, para obtenção das variáveis cinemáticas de interesse: velocidade da bola (VEL_{BOLA}), velocidade do pé ($VEL_{PÉ}$), ângulo de joelho (ANG_{JOELHO}) e comprimento do último passo (CP). Todas as variáveis exibiram índices estatisticamente maiores em G1 se comparado a G2 e, além disso, não foram encontradas diferenças intertentativas na tarefa ($p < 0,05$). No G1 uma análise de regressão múltipla somente revelou influência na VEL_{BOLA} em 17% causada pelo CP. Além disso, no G2 nenhuma variável influenciou na VEL_{BOLA} . Pode-se concluir que as variáveis estudadas são diferentes entre praticantes e não praticantes de futsal com idade entre 13 – 15, e que a VEL_{BOLA} pode ser ligeiramente influenciada pelo CP nesta faixa etária. Recomenda-se que treinadores monitorem periodicamente o desenvolvimento desta característica do movimento, principalmente em jogadores novatos, como forma de identificar jogadores com diferentes níveis de desempenho no chute em um contexto de futsal.

Palavras-chave: Biomecânica, Cinemática, Habilidades Motoras, Futsal.

3.3.2 ABSTRACT

The aim of this study was to compare and verify the possible correlations between ball velocity with foot velocity, knee angle and length of last stride between practitioners and non-practitioners of futsal game. Fourteen young males with aged between 13 and 15 years old divided into two groups: practitioners (G1) and non-practitioners (G2), according with the time of futsal structured practice. For the kinematic analysis we had used two cameras at a sampling frequency of 120 Hz, fixed laterally to the movement performed in order to focus the markers in the limb of kick. Each participant has performed ten kicks simulating a kick of ten meters in futsal. Three-dimensional data of the lower limb of kick were obtained in DVIDEO software and treated in Matlab environment in order to obtain the variables of interest: ball velocity (VEL_{BALL}), foot velocity (VEL_{FOOT}), knee angle (ANG_{KNEE}) and length of last stride (LLS). Statistically all data displayed higher levels in G1 compared to G2. In addition, no significant differences were found between trials in each group ($p < 0.05$). In G1 a multiple regression analysis revealed only influence on VEL_{BALL} 17% caused by LLS. Moreover, in G2 any variable have influenced VEL_{BALL} . However, we conclude that the variables are different between practitioners and non-practitioners of futsal game with aged between 13 and 15 years old, and the variable VEL_{BALL} could be little influenced by the LLS in this age band. Thus, we suggested that coaches maintain focus on development and monitoring this characteristic of movement, especially in novices, in order to identify players with different levels of performance of kicking in a futsal context.

Keywords: Biomechanics, Kinematics, Motor Skills, Futsal.

3.3.3 INTRODUÇÃO

O desempenho do chute é um dos fatores-chave para marcar gols no futsal¹. O desempenho relacionado a fatores biomecânicos nos chutes de finalização no futsal e no futebol são amplamente estudados¹⁻⁶. Em situação específica, o padrão de movimento no chute pode ser influenciado pela situação do jogo, sendo dessa forma um fenômeno variável⁷. Além disso, o corpo pode assumir posturas diferentes de acordo com o alvo e velocidade da bola⁴.

Estudos anteriormente realizados encontraram positivas correlações entre a velocidade do pé imediatamente antes do momento do impacto com a bola na velocidade da bola imediatamente após o contato⁸⁻¹⁰. Adicionalmente, o comportamento da velocidade da bola após um chute de força máxima do membro dominante e não dominante pode ser afetado principalmente pelas diferenças na velocidade do pé e na mecânica de colisão¹¹.

Em diferentes níveis de prática foram verificadas diferenças no desempenho do chute, em que aqueles com nível de desempenho superior (elite e profissionais vs. não elite e amadores) para a categoria adulta, obtiveram melhor desempenho no chute¹²⁻¹⁵. Embora as pesquisas relacionadas à técnica de chute no futebol sejam amplamente conclusivas e bem delineadas devido ao avanço da ciência do esporte, o futsal ainda é carente de estudos que possam caracterizar melhor as diferenças do futebol para o futsal.

Newell¹⁶ sugeriu que os movimentos dos seres humanos surgem das interações do organismo, do ambiente no qual os movimentos ocorrem e da tarefa a ser executada (ver também Haywood and Getchell¹⁷). Nesse sentido, a ação de “chutar”, enquanto uma habilidade motora, é essencialmente a mesma quando comparados os contextos do futsal ao do futebol. Entretanto, existem algumas pequenas diferenças tanto em relação as restrições ambientais quanto da própria tarefa entre estes dois jogos esportivos coletivos que podem potencialmente influenciar o padrão de movimento neste elemento técnico de jogo. O futsal apresenta menor número de jogadores em quadra, dimensões da área de jogo e tempo total de jogo¹⁸, além das diferenças em relação a superfície em que é praticado (piso rígido), menor tamanho e peso da bola e menor tamanho do alvo (gol)¹⁹ e o tipo de calçado utilizado. Em um jogo de futsal, os jogadores executam em média $11,7 \pm 4,13$ chutes

no gol e $15,2 \pm 3,43$ chutes para fora do gol²⁰ enquanto que no futebol os jogadores executam um número menor, entre 1,2 e $2,5 \pm 2,2$ chutes²¹ no total. A distância média do gol em que ocorrem os chutes no futebol é de $21,02 \pm 9,22$ m²² enquanto que no futsal a zona de maior número de chutes em gol fica localizada a uma distância de 10 m da linha de fundo²³. Especificamente, quando se trata da análise cinemática do chute, Kellis and Katis²⁴ indicaram que jogadores de futebol diminuem a velocidade de aproximação bem como nas rotações e velocidades articulares para execução de um chute com acurácia, enquanto que Barbieri et al.²⁵ evidenciaram que no futsal esse fenômeno não ocorre, sugerindo que os jogadores priorizam principalmente a velocidade da bola durante chutes nesta modalidade, o que está em contraste com os achados no futebol²⁵. Por isso, alguns pontos críticos como: comprimento do passo na fase balanço, ângulo de joelho no momento do contato com a bola, velocidade do pé e velocidade da bola no chute ainda necessitam de mais estudos no futsal, principalmente em categorias de formação.

Pesquisas anteriores sobre o chute no futsal verificaram diferença nos padrões cinemáticos e de coordenação para diferentes restrições da tarefa, como chute envolvendo bola parada e em movimento em jogadores amadores adultos¹. Em jovens jogadores a assimetria dos membros dominante e não dominante de chute² e as diferenças para a cinemática do membro de suporte durante a realização do chute³ foram confirmadas nas investigações feitas, além de que a fadiga muscular parece afetar de forma contundente a velocidade da bola no chute em jogadores de futsal sub-15²⁶.

Entretanto, para nosso conhecimento, ainda não foram investigadas as mudanças nos padrões cinemáticos de chute em decorrência da prática estruturada do futsal, comparando por exemplo indivíduos jovens praticantes e não praticantes da modalidade. Além disso, a influência das variáveis que cercam a velocidade da bola também não foi investigada para o futsal nestes diferentes níveis, em categorias de formação. Investigações conduzidas com o futebol evidenciam que mudanças fundamentais ocorrem nos padrões de coordenação durante o chute como resultado da prática²⁷. Entretanto isso ainda permanece no plano inferencial para o futsal, ou seja, não existem evidências que confirmem essa premissa.

Desse modo, os objetivos da presente investigação são comparar o padrão cinemático das variáveis: velocidade da bola, velocidade do pé, comprimento do passo e ângulo relativo do joelho relacionado ao chute em indivíduos praticantes e

não praticantes na modalidade futsal e verificar as possíveis correlações entre as variáveis de interesse. A hipótese do presente estudo é de que existem diferenças no padrão cinemático do chute entre indivíduos com prática regular e que não praticam a modalidade futsal e de forma singular o desempenho do chute seja superior no grupo de praticantes. Além disso, caso existam, as diferenças pontuais na mecânica de chute entre os grupos, muito provavelmente elas impactariam diretamente a qualidade do contato do pé com a bola, e desta forma, espera-se que existam correlações importantes entre as variáveis testadas com a velocidade da bola apenas no grupo de praticantes.

Acreditamos que com os resultados da presente investigação, poderá se ter um melhor direcionamento das atitudes no treinamento para indivíduos com menor prática estruturada na modalidade e compreender as relações entre as variáveis que cercam a velocidade da bola no momento do chute para o futsal.

3.3.4 MÉTODO

Participantes e Delineamento experimental

Para o estudo, foram convidados por conveniência 14 participantes do sexo masculino com idade entre 13 e 15 anos. Antes de qualquer avaliação, foi solicitada a assinatura individual pelos responsáveis legais do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências da UNESP de Rio Claro. Os grupos foram divididos de acordo com a prática de cada garoto. Os que treinavam regularmente ou que faziam parte de algum programa de treinamento estruturado com no mínimo três sessões por semana foram selecionados para participar do grupo de praticantes (G1). No grupo de não praticantes (G2), os indivíduos foram selecionados quando não participavam em nenhum programa de treinamento estruturado na modalidade e que responderam não gostar de praticar futsal ou futebol. Nenhum dos participantes era profissional.

Tarefa

Com no mínimo 24 e no máximo 72 horas depois da divisão dos grupos, foi realizada a tarefa propriamente dita. Inicialmente todos foram submetidos a um aquecimento e alongamento padronizado pelo treinador e adequado a posterior

atividade. Em seguida, foram fixados marcadores reflexivos no membro inferior de chute.

Para o teste de chute de finalização foi posicionado um alvo no centro da meta¹ e foi solicitado que realizassem dez chutes com a bola parada posicionada na marcação do tiro livre direto de dez metros sem a barreira na segunda marca de pênalti (TL10m). Os participantes foram orientados por uma instrução verbal idêntica para todos participantes, que foi: “chutem com o dorso do pé com a máxima força no alvo”^{1, 28}. Entre cada tentativa o participante teve liberdade de decidir o tempo de descanso e se o mesmo era necessário. Os chutes foram filmados por duas câmeras posicionadas e posteriormente a uma análise das filmagens as variáveis de interesse foram selecionadas e analisadas estatisticamente.

Aquisição das Imagens

Foram utilizadas duas câmeras digitais de vídeo (JVC, GR-DVL9800u®) para a aquisição das imagens da execução dos chutes, ambas foram fixadas em tripés posicionados lateralmente ao movimento realizado de forma a focalizar os marcadores no membro inferior do chute (Figura 1). A frequência de aquisição das imagens foi de 120 Hz, “shutter” de 1/250, foco ajustado manualmente e balanço do branco regulado para ambientes externos com grande luminosidade.

Figura 1: Representação esquemática do posicionamento das câmeras para as coletas do TL10m.

Aquisição das Variáveis Cinemáticas

Previamente a realização dos chutes, foram fixados nos participantes marcadores reflexivos (esferas de 25 mm de diâmetro) nos seguintes pontos anatômicos: quadril (trocanter maior da cabeça do fêmur), joelho (epicôndilo lateral do fêmur), tornozelo (maléolo lateral), calcâneo (tuberosidade calcânea) e quinto metatarso (articulação metatarso falangeana do quinto metatarso). Os pontos representam os centros das articulações de interesse para definir os segmentos coxa, perna e pé.

Para a aquisição das variáveis cinemáticas de interesse, foi utilizado o *software* DVIDEO^{29, 30} para o “desentrelaçamento”, compactação, sincronização, medição e reconstrução tridimensional pelo método do DLT (*Direct linear transformation*)³¹.

Para a reconstrução tridimensional foi utilizado um objeto calibrador contendo 12 marcadores com distâncias com base no sistema cartesiano de coordenadas previamente medidas. O eixo y foi definido na direção longitudinal da quadra de futsal no sentido do gol, o eixo x paralelo à linha de fundo da quadra com sentido para a linha lateral direita e ortogonal ao eixo y e o eixo z foi definido como produto vetorial de x por y (direção vertical apontando para cima)^{1, 32}.

Após este processo, foram obtidas matrizes de dados contendo as coordenadas espaciais de cada marcador medido em função do tempo ($x(t)$, $y(t)$ e $z(t)$), para cada chute realizado pelos participantes.

Para análise e tratamento dos dados cinemáticos foi utilizado o *software* Matlab[®]. A velocidade tridimensional do pé e da bola foram calculadas pelo módulo do vetor de deslocamento do pé e da bola, antes e após o contato do pé com a bola.

O vetor deslocamento da bola (VEL_{BOLA}) foi calculado através das coordenadas da posição estacionária da bola (início), e no décimo quinto quadro após o contato do pé com a bola. O vetor de deslocamento do pé (VEL_{PE}) foi calculado através do ponto médio entre os marcadores do calcâneo e do quinto metatarso, de três quadros de imagem que antecederam o contato do pé com a bola (início) até o contato do pé com a bola (final).

O ângulo relativo do joelho (ANG_{JOELHO}) foi calculado através arco-coseno do produto interno entre os vetores normalizados da coxa e perna, no instante de contato do pé com a bola. Para o cálculo do comprimento do último passo (CP) foi

utilizada a distância euclidiana das coordenadas tridimensionais da ponta do pé de chute no quadro que representa o momento em que o pé perde o contato com o solo até que atingisse as coordenadas tridimensionais do centro da bola.

Determinação do erro de medida do estudo

A determinação do erro de medida do estudo foi feito através de um teste específico proposto por Ehara et al.³³ e também empregado por Barbieri et al.¹. Para isso, foi utilizada uma haste rígida contendo dois marcadores de 25 mm fixados nas extremidades a uma distância de 500 mm. Esta haste foi movimentada em torno de toda região calibrada e a distância Euclidiana entre os dois marcadores durante o tempo foi obtida pelos mesmos procedimentos descritos anteriormente no tópico de “Aquisição das variáveis cinemáticas”.

Análise Estatística

A normalidade dos dados foi testada a partir do teste de Shapiro-Wilk. Verificada a normalidade, a análise descritiva foi apresentada pela média $\pm$ desvio padrão. A análise de variância ANOVA *one-way* com análise *post-hoc* de *Tukey* foi utilizada em dois momentos, em um momento para verificar as diferenças entre os grupos (G1 e G2) nas variáveis VEL_{BOLA}, VEL_{PE}, ANG_{JOELHO} e CP, no segundo momento entre as tentativas das variáveis. Foi utilizada a análise de regressão múltipla para verificar o grau de influência das variáveis VEL_{PE}, ANG_{JOELHO} e CP na VEL_{BOLA}. Além disso, o teste de correlação de Pearson entre as tentativas em cada variável também foi feito. Em todos os casos o nível de significância foi pré-fixado em $p < 0,05$.

3.3.5 RESULTADOS

As medidas cinemáticas do estudo obtiveram um erro de viés de 5,6 mm, uma precisão igual a 7,3 mm e a acurácia foi de 9,3 mm. O erro de medida do estudo foi considerado aceitável, tendo em vista que é menor que o diâmetro dos marcadores utilizados nas avaliações (25 mm).

As variáveis cinemáticas VEL_{BOLA} , VEL_{PE} , ANG_{JOELHO} e CP foram significativamente diferentes entre os grupos de Praticantes e Não Praticantes (Tabela 1).

Tabela 1. Média (MD) $\pm$ Desvio Padrão (DP) das variáveis provenientes dos chutes nos grupos com Praticantes (G1) e Não Praticantes (G2).

	G1 (n = 7)		G2 (n=7)	
	MD	DP	MD	DP
VEL_{BOLA} (m.s ⁻¹)	17,15*	1,63	13,42	1,71
VEL_{PE} (m.s ⁻¹)	14,87*	1,04	13,47	0,97
ANG_{JOELHO} (graus)	132,57*	14,23	125,50	11,84
CP (m)	1,02*	0,09	0,93	0,10

*Indica diferença significativa em relação ao grupo G2. $p < 0,05$.

Não foram encontradas diferenças intertentativas para as variáveis analisadas tanto para o grupo de Praticantes (G1) quanto para os Não Praticantes (G2) (Figura 2).

Figura 2: Desempenho nas dez tentativas dos sete participantes do G1 (Praticantes) e as dez tentativas dos sete participantes do G2 (Não Praticantes). Cada tentativa é representada pela média e desvio padrão dos sete participantes de seus respectivos grupos onde: (VEL_{BOLA}) vetor deslocamento da bola, (VEL_{PE}) vetor de deslocamento do pé, (ANG_{JOELHO}) ângulo relativo do joelho e (CP) comprimento do último passo.

A análise de regressão múltipla para os dois grupos demonstrou um R^2 fraco ($G1 = 0,31$ e $G2 = 0,04$). No $G1$ a hipótese do estudo foi confirmada pelo teste F ($F = 0,001$) e foi encontrada uma influência positiva do CP de até 17% na VEL_{BOLA} ($p = 0,01$). No $G2$ a hipótese do estudo não foi confirmada ($F = 0,35$) e, além disso, não foi encontrada nenhuma influência das variáveis VEL_{PE} , ANG_{JOELHO} e CP sobre a VEL_{BOLA} .

A VEL_{BOLA} no $G1$ foi significativamente correlacionada apenas nas tentativas quatro e dez com o CP e nenhuma outra tentativa no $G1$ obteve correlação significativa entre a VEL_{BOLA} , VEL_{PE} e ANG_{JOELHO} (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficiente de correlação entre a VEL_{BOLA} e as variáveis VEL_{PE} , ANG_{JOELHO} e CP em cada uma das tentativas no grupo Praticantes ($G1$).

	VEL_{PE}	ANG_{JOELHO}	CP
Tentativa 1	0,27	0,63	0,48
Tentativa 2	-0,01	-0,36	0,58
Tentativa 3	-0,11	0,55	0,46
Tentativa 4	0,02	0,04	0,76*
Tentativa 5	0,61	0,19	0,43
Tentativa 6	0,11	0,03	0,37
Tentativa 7	-0,51	0,63	0,71
Tentativa 8	0,26	0,62	0,63
Tentativa 9	0,30	0,48	0,03
Tentativa 10	0,44	0,49	0,88**

* $p < 0,05$. ** $p < 0,01$.

No $G2$ a VEL_{BOLA} foi significativamente correlacionada apenas na quarta tentativa com a VEL_{PE} e negativamente correlacionada na tentativa três com o

ANG_{JOELHO} e nenhuma outra correlação significativa foi observada entre as tentativas nos grupos (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficiente de correlação entre a VEL_{BOLA} e as variáveis VEL_{PE}, ANG_{JOELHO} e CP em cada uma das tentativas no grupo Não Praticantes (G2).

	VEL _{PE}	ANG _{JOELHO}	CP
Tentativa 1	-0,56	-0,36	-0,60
Tentativa 2	-0,21	-0,29	0,43
Tentativa 3	-0,25	-0,79*	-0,39
Tentativa 4	0,78*	-0,49	0,63
Tentativa 5	0,27	0,28	0,43
Tentativa 6	0,52	0,42	0,26
Tentativa 7	0,22	-0,08	0,44
Tentativa 8	0,58	-0,23	0,60
Tentativa 9	0,17	0,04	0,04
Tentativa 10	0,39	0,34	0,49

* $p < 0,05$.

3.3.6 Discussão

A presente investigação verificou se as variáveis determinantes no chute de finalização do futsal eram diferentes de acordo com o nível de experiência do atleta e, se a VEL_{BOLA} era dependente da VEL_{PE}, ANG_{JOELHO} e CP em jogadores Praticantes e Não Praticantes de futsal. Os principais achados foram que as variáveis determinantes para o chute de finalização no futsal são diferentes de acordo com o nível de prática na modalidade e, que a VEL_{BOLA} não necessariamente é dependente das variáveis estudadas.

A velocidade da bola média para G1 é bastante similar ao que foi verificado por Barbieri et al. ² em jovens praticantes de futsal com idade similar ao participantes deste estudo na tarefa de TL10m (18,2 m.s⁻¹), e de jogadores titulares

de equipes de elite sub-13 e sub-15 do estado de São Paulo ($18,6 \text{ m.s}^{-1}$)³⁴, e estão acima do que foi verificado em jogadores sub-15 de uma equipe Paranaense ($\sim 12 \text{ m.s}^{-1}$)²⁶. As equações descritas na literatura para o futebol que explicitam a relação entre o vetor de VEL_{BOLA} com a $VEL_{PÉ}$ foram apresentadas e estão aproximadamente entre 1,06 e 1,23³⁵. No presente estudo a relação entre as variáveis foram de 1,15 para o G1 e 0,99 para o G2.

De acordo com Bernshtein³⁶ indivíduos pertencentes ao primeiro estágio de desenvolvimento de um comportamento habilidoso na execução de tarefas tendem a simplificarem e reduzirem os movimentos nas articulações envolvidas. Os valores inferiores de ANG_{JOELHO} e CP em G2 representam menor amplitude de movimento nos participantes deste grupo, sobretudo na extensão da articulação do joelho durante o chute, e vão ao encontro do que propôs Bernshtein³⁶. A idade é um fator que interfere diretamente na mecânica do chute, e apresenta-se determinante pelo fato do aumento da força decorrente da maturação biológica³⁷.

Na presente investigação, a idade entre os grupos foi semelhante, entretanto, todas as variáveis entre si foram diferentes o que corrobora com os achados no futebol. No presente estudo foram relatadas diferenças significativas para o desempenho do chute de finalização no futsal comparando-se grupos de indivíduos com diferentes níveis de desempenho dentro da modalidade, o que corrobora com achados da literatura específica para o futebol¹²⁻¹⁵ e reforça a ideia de que a prática induz mudanças nos padrões de coordenação²⁷. Anderson and Sidaway²⁷ haviam reportado que novatos apresentam uma velocidade linear resultante do pé inferior a jogadores experientes no futebol. Estes autores haviam sugerido que isso ocorre por conta de fatores como uma menor amplitude de movimento do joelho em novatos. Tais fenômenos estão em acordo com nossos achados com o futsal, tendo em vista maiores índices de $VEL_{PÉ}$ e ANG_{JOELHO} em G1 se comparado a G2.

Asami and Nolte³⁸ encontraram forte correlação entre VEL_{BOLA} e $VEL_{PÉ}$ em jogadores profissionais de futebol (0,74), e Barbieri et al.³, em estudo no futsal com jogadores amadores adultos, encontraram valores entre 0,67 – 0,76. Contudo, estudo recente de Sinclair et al.³⁹ utilizando uma análise de regressão múltipla não reportou significativa correlação entre VEL_{BOLA} e $VEL_{PÉ}$, quadro similar ao de Lees et al.⁴⁰ que também não encontraram correlação significativa entre tais variáveis no momento de impacto ($r = 0,352$), ambos no futebol. Barbieri et al.² também haviam relatado que a VEL_{BOLA} e $VEL_{PÉ}$ não se correlacionam (r entre 0,15 –

0,42; $p > 0,05$) em jogadores praticantes de futsal com idade de 13,6 anos, o que está em acordo com os resultados em nosso estudo.

Na presente investigação os resultados mostram que há extensa possibilidade dos estudos referentes à $VEL_{PÉ}$ no futebol não servirem como parâmetro para predição da VEL_{BOLA} no futsal, algo que também foi evidenciado por Barbieri et al. ². Uma das prováveis explicações para isso é de que a bola de futsal pode apresentar um coeficiente de restituição menor se comparada a uma bola padronizada de futebol em virtude de suas características, como as dimensões e a massa total. Por isso, há possibilidade, a partir dos resultados, de especular que a transferência de energia do quadril até a bola possa ser mais dissipada pela rigidez da bola no momento do impacto. Contudo, na presente investigação o coeficiente de restituição não foi determinado.

Outro parâmetro como ANG_{JOELHO} está diretamente ligado ao desempenho no chute e representa a capacidade de transferência de energia da flexão do quadril, desaceleração da coxa e aceleração da perna no momento do impacto com a bola. Nesse caso, a aceleração da perna em comum com a aceleração e velocidade final do pé gera uma maior VEL_{BOLA} ⁴¹. Entretanto, na presente investigação não foram encontradas quaisquer correlações conclusivas ou influências na VEL_{BOLA} pelo ANG_{JOELHO} . O que reforça a hipótese do coeficiente de restituição da bola de futsal ser menor e, por isso, há uma perda maior de energia durante o impacto do pé com a bola. Dessa forma, sugere-se que futuras investigações ocupem-se com esse fator, que possivelmente pode explicar as diferenças dos achados entre o futsal e o futebol.

A melhor representante do desempenho nos dois grupos foi o CP que caracteriza o afastamento da perna de chute e flexão de joelho na preparação da fase de balanço. O CP apresentou uma fraca influência na variável VEL_{BOLA} (17%) para os atletas do G1, o que mostra a maior capacidade e experiência individual dos atletas do grupo para impor mais velocidade sobre a bola. Além disso, foram encontradas fortes correlações ($r = 0,76$ e $r = 0,88$) em algumas tentativas no G1, ao contrário do G2 onde não foram evidenciadas correlações significativas nem qualquer influência da medida na VEL_{BOLA} . Lees et al. ⁴⁰ evidenciaram correlação moderada ($r = 0,419$) entre o comprimento do último passo antes do chute e a velocidade da bola, em jogadores de futebol adultos. É provável que um maior comprimento do último passo antes do chute tenha feito com que os jogadores realizassem maior retração pélvica,

fator que permitiu maior amplitude de movimento posterior na protração pélvica durante a rotação para frente do membro inferior de contato⁴¹. No entanto, nossos dados devem ser compreendidos com cautela, haja vista que as correlações encontradas e a influência evidenciada não obtiveram valores satisfatórios de correlação na maioria das tentativas e o R^2 da regressão múltipla não foi relevante.

Dois fatores relacionados ao chute poderão ser talvez interessantes para desenvolver um método que chegue mais próximo da real medida de predição da VEL_{BOLA} para o futsal. O primeiro estaria ligado à análise de mais variáveis relacionadas com o chute como a hiperflexão do joelho no momento da fase máxima de balanço e a flexão plantar. A segunda e provavelmente mais aceita estaria ligada ao desenvolvimento de uma equação de predição a partir da análise do chute em diferentes velocidades.

As principais limitações do presente manuscrito são o baixo controle da amostra, haja vista que não foi controlada a idade dos indivíduos. Entretanto, a faixa de idade utilizada na amostra pode não sofrer alterações maturacionais que possam interferir nas análises⁴². A não mensuração da massa da perna e de alguns parâmetros importantes para a realização do chute como a flexão plantar e a flexão do joelho na fase de balanço e as poucas referências encontradas com essa temática para o futsal e a interpretação dos achados tomando como referência os achados anteriormente relatados no futebol tornam difíceis as conclusões das reais contribuições das variáveis estudadas para o desempenho do chute no futsal. Levando em consideração que o futsal é um esporte adaptativo e complexo, sem uma sequência previsível de padrões de ataque e defesa das equipes envolvidas no jogo⁴³, mais estudos devem ser realizados cercando as variáveis para definir com acuidade as possíveis influências e correlações entre as variáveis testadas. Sobretudo, futuras investigações deveriam investigar o desempenho do chute no futsal em um contexto que envolvesse as demandas técnicas, físicas e táticas de um jogo real, e não como uma habilidade motora “fechada”³⁴.

Para que um professor possa ensinar e corrigir com sucesso a execução de um determinado fundamento é necessário que ele tenha conhecimento sobre algumas características do esporte e de seus praticantes (iniciantes ou alto nível)⁴⁴. Desse modo, nós demonstramos que o comprimento do último passo parece ser um potencial preditor da velocidade da bola no futsal em jovens praticantes com idade entre 13 e 15 anos, o que até o momento não havia sido descrito. Desta forma,

recomenda-se que treinadores monitorem periodicamente o desenvolvimento desta característica do movimento, principalmente em jogadores novatos. O chute é um movimento balístico, assim, gravações de vídeo, mesmo que em baixa de frequência de aquisição e com uma simples câmera posicionada lateralmente durante a execução de chutes (i.e., em uma vista no plano sagital), certamente poderão auxiliar nesse processo, como é feito na aplicação do TGMD-2 por exemplo, que se baseia em avaliações *offline* por meio de gravações de vídeo⁴⁵, sem o emprego de *softwares* para análises biomecânicas sofisticadas. Em adição, sugere-se que futuros estudos desenvolvam escalas de desenvolvimento do chute no futsal, utilizando-se também de métodos de análise qualitativa, que até o momento não foram amplamente explorados para investigação desta e de outras habilidades neste esporte.

Portanto, de acordo com os resultados encontrados entre os dois grupos, pode-se concluir que as variáveis velocidade do pé, ângulo de joelho e o comprimento do passo (na fase de aproximação para o impacto com a bola) são diferentes entre indivíduos praticantes e não praticantes de futsal. Além disso, a VEL_{BOLA} pode ser ligeiramente influenciada pelo CP na faixa etária de 13 a 15 anos. Com isso, fica evidente a necessidade de novos estudos que se ocupem em identificar quais fatores que estariam relacionados ao desenvolvimento de alta velocidade da bola neste esporte, em crianças, adolescentes e também em profissionais de alto nível.

3.3.7 REFERÊNCIAS

1. Barbieri FA, Gobbi LT, Santiago PR, Cunha SA. Performance comparisons of the kicking of stationary and rolling balls in a futsal context. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports*. 2010;9(1):1-15.
2. Barbieri FA, Santiago PRP, Gobbi LTB, Cunha SA. Diferenças entre o chute realizado com o membro dominante e não-dominante no futsal: Variabilidade, velocidade linear das articulações, velocidade da bola e desempenho. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*. 2008;29(2).
3. Barbieri FA, Santiago PR, Gobbi LT, Cunha SA. Análise cinemática da variabilidade do membro de suporte dominante e não dominante durante o chute no futsal. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*. 2008;8(1):68-76.

4. Katis A, Giannadakis E, Kannas T, Amiridis I, Kellis E, Lees A. Mechanisms that influence accuracy of the soccer kick. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013;23(1):125-31.
5. Scurr JC, Abbott V, Ball N. Quadriceps EMG muscle activation during accurate soccer instep kicking. *Journal of sports sciences*. 2011;29(3):247-51.
6. Nunome H, Asai T, Ikegami Y, Sakurai S. Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. 2002.
7. Ishii H, Yanagiya T, Naito H, Katamoto S, Maruyama T. Numerical study of ball behavior in side-foot soccer kick based on impact dynamic theory. *Journal of biomechanics*. 2009;42(16):2712-20.
8. Kawamoto R, Miyagi O, Ohashi J, Fukashiro S. Kinetic comparison of a side-foot soccer kick between experienced and inexperienced players. *Sports Biomech*. 2007;6(2):187-98.
9. Levanon J, Dapena J. Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(6):917-27.
10. De Witt JK, Hinrichs RN. Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. *Sports Biomech*. 2012;11(3):382-90.
11. Dorge HC, Anderson TB, Sorensen H, Simonsen EB. Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of sports sciences*. 2002;20(4):293-9.
12. Finnoff JT, Newcomer K, Laskowski ER. A valid and reliable method for measuring the kicking accuracy of soccer players. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*. 2002;5(4):348-53.
13. Ali A, Williams C, Hulse M, Strudwick A, Reddin J, Howarth L, et al. Reliability and validity of two tests of soccer skill. *Journal of sports sciences*. 2007;25(13):1461-70.

- 14.Coelho ESMJ, Figueiredo AJ, Simoes F, Seabra A, Natal A, Vaeyens R, et al. Discrimination of u-14 soccer players by level and position. *International journal of sports medicine*. 2010;31(11):790-6.
- 15.Russell M, Benton D, Kingsley M. Reliability and construct validity of soccer skills tests that measure passing, shooting, and dribbling. *Journal of sports sciences*. 2010;28(13):1399-408.
- 16.Newell KM. Constraints on the development of coordination. *Motor development in children: Aspects of coordination and control*. 1986;34:341-60.
- 17.Haywood KM, Getchell N. *Desenvolvimento motor ao longo da vida*2004.
- 18.Gorostiaga EM, Llodio I, Ibanez J, Granados C, Navarro I, Ruesta M, et al. Differences in physical fitness among indoor and outdoor elite male soccer players. *European journal of applied physiology*. 2009;106(4):483-91.
- 19.Ré AN. Características do futebol e do futsal: implicações para o treinamento de adolescentes e adultos jovens. *Lectures Educación Física y Deportes*. 2008(127).
- 20.Dogramaci S, Watsford M, Murphy A. Changes in futsal activity profiles in a multi-day tournament. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2014.
- 21.Carling C, Dupont G. Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play? *Journal of sports sciences*. 2011;29(1):63-71.
- 22.MOURA F. Análise das ações técnicas de jogadores e das estratégias de finalizações no futebol, a partir do tracking computacional. 2006. 98 f: Dissertação (Mestrado em Ciências da Motricidade)–Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro; 2006.
- 23.Lapresa D, Alvarez L, Arana J, Garzon B, Caballero V. Observational analysis of the offensive sequences that ended in a shot by the winning team of the 2010 UEFA Futsal Championship. *Journal of sports sciences*. 2013;31(15):1731-9.

24. Kellis E, Katis A. Biomechanical Characteristics and Determinants of Instep Soccer Kick. *Journal of sports science & medicine*. 2007;6(2):154-65.
25. Barbieri FA, Gobbi LT, Santiago PR, Cunha SA. Dominant-non-dominant asymmetry of kicking a stationary and rolling ball in a futsal context. *Journal of sports sciences*. 2015:1-9.
26. dos Santos AD. O efeito da fadiga nas variáveis cinemáticas do chute de jogadores de futsal sub-15 [Trabalho de conclusão de curso]. Londrina, Paraná: Universidade Estadual de Londrina; 2012.
27. Anderson DI, Sidaway B. Coordination changes associated with practice of a soccer kick. *Research quarterly for exercise and sport*. 1994;65(2):93-9.
28. van den Tillaar R, Ulvik A. Influence of instruction on velocity and accuracy in soccer kicking of experienced soccer players. *Journal of motor behavior*. 2014;46(5):287-91.
29. Barros Rd, Brenzikofer R, Leite N, Figueroa PJ. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. *Rev Bras Eng Biomed*. 1999;15(1-2):79-86.
30. Figueroa PJ, Leite NJ, Barros RM. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Computer methods and programs in biomedicine*. 2003;72(2):155-65.
31. Abdel-Aziz YI, Karara HM, editors. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings of the Symposium on Close-Range photogrammetry*; 1971.
32. Cunha SA, Barros RML, Lima Filho EC, Brenzikofer R. Methodology for graphical analysis of soccer kick using spherical coordinates of the lower limb. In: Spinks W, Reilly T, Murphy A, editors. *Science and Soccer IV*; London: Routledge; 2002. p. 8-15.

- 33.Ehara Y, Fujimoto H, Miyazaki S, Mochimaru M, Tanaka S, Yamamoto S. Comparison of the performance of 3D camera systems II. *Gait & Posture*. 1997;5(3):251-5.
- 34.Ré AH, Cattuzzo MT, Santos F, Monteiro C. Anthropometric characteristics, field test scores and match-related technical performance in youth indoor soccer players with different playing status. *International Journal of Performance Analysis in Sport*. 2014;14(2):482-92.
- 35.Reilly T, Williams AM. *Science and Soccer*: Taylor & Francis; 2003.
- 36.Bernshtein NA. *The co-ordination and regulation of movements*. 1967.
- 37.Tol JL, Slim E, van Soest AJ, van Dijk CN. The relationship of the kicking action in soccer and anterior ankle impingement syndrome. A biomechanical analysis. *The American journal of sports medicine*. 2002;30(1):45-50.
- 38.Asami T, Nolte V. Analysis of powerful ball kicking. *Biomechanics VIII-B*. 1983;4:965-70.
- 39.Sinclair J, Fewtrell D, Taylor PJ, Bottoms L, Atkins S, Hobbs SJ. Three-dimensional kinematic correlates of ball velocity during maximal instep soccer kicking in males. *Eur J Sport Sci*. 2014;14(8):799-805.
- 40.Lees A, Kershaw L, Moura F, editors. *The three-dimensional nature of the maximal instep kick in soccer. Science and Football V: The Proceedings of the Fifth World Congress on Sports Science and Football*; 2005: Routledge.
- 41.Lees A, Asai T, Andersen TB, Nunome H, Sterzing T. The biomechanics of kicking in soccer: A review. *Journal of sports sciences*. 2010;28(8):805-17.
- 42.Degache F, Richard R, Edouard P, Oullion R, Calmels P. The relationship between muscle strength and physiological age: a cross-sectional study in boys aged from 11 to 15. *Annals of physical and rehabilitation medicine*. 2010;53(3):180-8.

43. Correa UC, Alegre FA, Freudenheim AM, Dos Santos S, Tani G. The game of futsal as an adaptive process. *Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences*. 2012;16(2):185-203.
44. Cunha SA, Moura FA, Santiago PRP, Castellani RMP, Barbieri FA. *Educação Física no Ensino Superior - Futebol*. Guanabara Koogan, 2011.
45. Valentini NC. Validity and reliability of the TGMD-2 for Brazilian children. *Journal of motor behavior*. 2012;44(4):275-80.

3.4 DESEMPENHO DO CHUTE E PARÂMETROS DE FORÇA MUSCULAR COM MEMBRO DOMINANTE E NÃO DOMINANTE EM JOGADORES BRASILEIROS PROFISSIONAIS DE ELITE

Título resumido: Força e desempenho do chute no futsal

Autores: Luiz Henrique Palucci Vieira^{1,2}, Felipe de Souza Serenza^{1,2}, Vitor Luiz de Andrade^{2,3}, Lucas de Paula Oliveira¹, Fábio Pamplona Mariano^{1,2}, Juliana Exel Santana², Paulo Roberto Pereira Santiago^{1,2}(✉)

¹ Faculty of Medicine at Ribeirão Preto (FMRP), Post-graduate Program in Rehabilitation and Functional Performance, University of São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brazil.

² Laboratório de Biomecânica e Controle Motor (LaBioCoM), School of Physical Education and Sport of Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brazil.

³ Institute of Biosciences, Post-graduate Program in Human Movement Science, São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP, Brasil.

Apoio: Este trabalho foi apoiado pela CAPES, CNPq [481833/2013-7] e FAPESP process nº [2013/08302-6].

Agradecimentos: A comissão técnica e jogadores da equipe de futsal da A.D.C. Intelli Orlândia, Brasil.

3.4.1 RESUMO

Os objetivos do presente estudo foram de analisar o chute de 10 m (cinemática e performance) em um contexto de futsal (COURT_{test}) e os parâmetros de força muscular através do dinamômetro isocinético (LAB_{test}), nos membros inferiores dominante (DL) e não-dominante (NDL), em referência a possíveis associações entre os índices obtidos em COURT_{test} e LAB_{test}; identificar possíveis assimetrias no COURT_{test} e LAB_{test}, e verificar possíveis influências das variáveis estudadas sobre a acurácia. Participaram 17 jogadores profissionais de elite (10 of these are regularly invited to Brazil National Futsal team). Em ambiente de quadra (COURT_{test}) foi avaliada a performance do chute a partir da segunda marca penal. Em seguida, os atletas completaram uma avaliação de força muscular no dinamômetro isocinético nas velocidades 60, 180 e 300°·s⁻¹ (LAB_{test}). Diferenças significativas foram verificadas ($p < 0.05$) nas velocidades (km·h⁻¹) do quadril (15.64±3.44; 13.97±2.62), tornozelo (63.19±8.90; 52.55±8.72), pé (82.31±7.93; 68.41±7.85) e da bola (99.74±8.45; 88.31±7.93); e na potência média em 180°·s⁻¹ (325.59±40.47; 315.79±39.49 W), entre DL e NDL, respectivamente. Foram verificadas poucas correlações ($p < 0.05$) somente classificadas como moderadas no DL ($r = 0.54 - 0.64$) e no NDL ($r = 0.53 - 0.55$) entre os parâmetros provenientes de LAB_{test} e do COURT_{test}. Em adição, a acurácia não foi influenciada significativamente pelas variáveis do COURT_{test} (DL: adjusted $R^2 = -0.03$ and NDL: adjusted $R^2 = -0.05$) e do LAB_{test} (DL: adjusted $R^2 = -0.25$ and NDL: adjusted $R^2 = 0.81$) ($p > 0.05$). Foi possível identificar que jogadores altamente treinados apresentam assimetrias no movimento de chute, mas o desequilíbrio de força muscular entre os membros é muito pequeno. Nós recomendamos que testes específicos de quadra sejam conduzidos para caracterizar de forma confiável a performance do chute em um contexto de futsal. Ademais, o sucesso no chute parece ser um fenômeno variável e complexo para ser totalmente predito.

Palavras-chave: 3D Kinematics; Motor control; Accuracy; Force; Power; Asymmetry.

3.4.2 INTRODUÇÃO

O processamento de imagens obtidas por câmeras de vídeo é uma forma comum de analisar o desempenho de equipes em esportes coletivos (43). Muito é conhecido sobre cinemática 3D de movimento durante a ação de chutar – particularmente no futebol – em decorrência do uso de técnicas de análise e sistemas de medições avançados (22). Masuda, et al. (25) determinou que a prática de habilidades de chute deve ser o primeiro item para melhorar o desempenho global, desde que as qualidades técnicas, conhecimento tático e as capacidades físicas são relacionadas, condicionadas e existe uma interferência de uma sobre a outra no futsal (44).

A performance do chute é crucial para marcar gols em um contexto de futsal (2). Tanto a velocidade da bola quanto a acurácia são fatores importantes em tarefas de chutes (16, 22, 42). Lapresa, et al. (21) reportou que os chutes executados a partir de uma área de 10 m de comprimento a partir da linha de gol e largura de 7.5 m (i.e. 3.75 m distante a direita ou esquerda a partir do ponto médio das traves) possuem probabilidade de obterem maior sucesso durante o jogo, além de serem aqueles de maior percentual de ocorrência. Além disso, de acordo com as regras estabelecidas pela FIFA (Futsal Laws of the Game 2014/2015 – www.FIFA.com), se um jogador comete a sexta falta coletiva acumulada no oponente, é permitido um chute a partir da segunda marca de pênalti (i.e. 10 m de distância da linha do gol), e a equipe infratora não pode formar uma barreira defensiva. Isso propicia um cenário favorável para marcar gols, e simular essa condição representa um método que têm sido utilizado de forma mais recorrente nos estudos sobre performance do chute (2, 3, 4, 13).

De acordo com duas recentes revisões de literatura, existe predomínio manuscritos que tratam das demandas em ambiente de jogo referentes ao desempenho físico e tático no futsal (5, 30). Entretanto, a análise de características técnicas é limitada pelo pequeno número de publicações (44) relacionadas, sobretudo ao comportamento do chute nessa modalidade indoor (e.g. (2, 3, 4, 13)). Em adição, nos estudos prévios foram descritas variáveis cinemáticas [e.g. velocidades da bola, do pé, velocidades lineares ou angulares de articulações (quadril, joelho e tornozelo), comprimento do último passo] e de desempenho (e.g. acurácia) durante o chute de

10 m no futsal com amostras de jovens jogadores (13 – 15 anos) (4, 13) ou jogadores adultos jovens de nível amador de equipe estadual (2, 3), com escassez de dados sobre jogadores profissionais de elite. Somente uma investigação recente (33) reporta valores (e.g. velocidade da bola) em jogadores profissionais, que competem na New Zealand National Futsal League.

A velocidade do pé foi amplamente descrita como correlacionada a velocidade da bola no futebol (16, 34, 35), e mais recentemente em jogadores de futsal ($r = 0.67 - 0.76$) (2). Para obter índices elevados de velocidade do pé, níveis elevados de força e potência muscular (6, 25, 32) como dos músculos flexores e extensores da articulação do joelho são essenciais, ao mesmo tempo em que ocorre um movimento coordenado (i.e. timing adequado das contrações excêntricas e concêntricas na região destas musculaturas) (45). Nesse sentido, um método de mensurar a força muscular de membros inferiores muito difundido, que é considerado uma ferramenta confiável assim como o padrão ouro para a investigação da performance em humanos, é a avaliação em dinamômetro isocinético (7, 26).

A associação entre índices de força muscular isocinética dos membros inferiores e parâmetros de desempenho durante o chute foi amplamente relatada em uma grande quantidade de pesquisas no futebol (6, 8, 9, 11, 15, 20, 24, 27, 29, 32, 40). Entretanto, os resultados obtidos no futebol não podem ser extrapolados diretamente para o futsal, pois existem muitas diferenças importantes entre os dois esportes de equipe (41).

Consequentemente, Barbieri, et al. (3) verificaram que jogadores de futsal não necessariamente diminuem as rotações e velocidades articulares para a executar um chute com acurácia, em oposição ao que foi descrito no futebol (19, 42). Exceto a velocidade do pé, nenhum outro parâmetro cinemático 3D (e.g. velocidade angular de flexão e extensão do joelho) apresentou significativa correlação com a velocidade da bola durante o chute no futsal (2). Portanto, mais especificamente, o uso de avaliações da força muscular isocinética dos membros inferiores (i.e. de flexão e extensão do joelho) teria utilidade para prever a performance em uma tarefa técnica específica de jogo, como o chute no futsal?

Desta forma, os objetivos do presente estudo foram de analisar o chute de 10 m (cinemática e performance) em um contexto de futsal (avaliação em quadra [COURT_{test}]) e os parâmetros de força muscular através do dinamômetro isocinético (avaliação laboratorial [LAB_{test}]), nos membros inferiores dominante e não-dominante,

em jogadores profissionais de elite em referência a (a) possíveis associações entre os índices obtidos em COURT_{test} e LAB_{test}; (b) identificação de possíveis assimetrias entre os membros em COURT_{test} e LAB_{test}, isoladamente e (c) verificar possíveis influências da cinemática de movimento durante o chute no COURT_{test} e dos parâmetros de força muscular na LAB_{test} sobre a acurácia dos jogadores.

3.4.3 MÉTODOS

Abordagem experimental para o problema

Foi aplicado um design cross-sectional para testar jogadores profissionais de elite de futsal do Brasil. Todos os sujeitos foram avaliados em três ocasiões diferentes, em um único dia (em fevereiro de 2015).

Para caracterização dos atletas foi determinada a massa corporal total em uma balança digital (Sb623 DLK Sports® - São Paulo, Brasil; aproximação de 0.1 kg), a estatura foi aferida por meio de um estadiômetro (PRIME MED – São Paulo, Brasil; aproximação de 0.1 cm) e a preferência lateral em relação ao membro inferior foi obtida por auto-relato do jogador (35). Todos os participantes foram instruídos a não ingerirem álcool ou qualquer tipo de bebida estimulante antes das avaliações. Em ambiente de quadra (padrão FIFA), foi realizado o protocolo de performance dos chutes (COURT_{test}) [i.e. foram mensuradas as velocidades do quadril, joelho, tornozelo, pé e bola (km.h^{-1}), acurácia (m) e índice de simetria (SI) (%)] utilizando o membro inferior dominante e não-dominante, com a bola posicionada estacionária na segunda marca penal (i.e. 10 m) (2, 3). Em seguida, respeitando um intervalo mínimo de 90 minutos, foram conduzidos ao laboratório (LAB_{test}) para avaliação da força muscular [i.e. pico de torque (W), potência média (N.m), relação agonista/antagonista (%), tempo de pico do torque (s) e índice de simetria (%)] dos membros inferiores no dinamômetro isocinético, nas velocidades pré-fixadas de 60, 180 e 300°. s^{-1} (11, 20, 26, 28, 29).

Foram ministrados pelo treinador da equipe aquecimentos padronizados específicos em relação ao volume e conteúdo, previamente a avaliação em quadra (20 min.) compostos de alongamento, corrida e chutes (2) e antes do protocolo no dinamômetro isocinético (5 min.), em bicicleta ergométrica estacionária (26). Todos os jogadores utilizaram os equipamentos (i.e. calçados e roupas) usualmente adotados para treinamentos e competições oficiais de futsal.

Participantes

Dezessete jogadores brasileiros profissionais, altamente treinados e de elite (dez destes jogadores são convocados regularmente para servir a Seleção Brasileira de Futsal; idade = $26,30 \pm 3,32$ anos de idade; massa corporal = $78,32 \pm 8,42$ kg; estatura = 177 ± 6 cm; 13 com preferem chutar com o pé direito e 4 com o pé esquerdo) participaram deste estudo, sem relatos de desordens musculoesqueléticas crônicas, geralmente engajados entre 6 – 8 sessões de treinamento periodizado e 1 – 2 jogos oficiais, por semana, pertencentes a uma equipe de elite do Brasil, que compete em nível nacional na primeira divisão, campeã em 2013 e vice-campeã em 2014 e 2015, e ocasionalmente internacional (e.g. Campeonato Sul Americano de clubes CONMEBOL e FIFA Intercontinental Futsal Cup).

Para as avaliações no dinamômetro isocinético, foram excluídos da amostra inicial jogadores que relataram lesões por rompimento no LCA no passado ($n = 3$). Todos os procedimentos foram previamente explicados pelos pesquisadores responsáveis e conduzidos com base nos termos do Comitê de Ética em Pesquisa Institucional da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto (protocolo 668.069/2014) em acordo com a declaração de Helsinki, e todos os jogadores foram instruídos a assinar um termo de consentimento confirmando por escrito a sua participação como um voluntário.

Desempenho do chute ($COURT_{test}$)

Para avaliação da performance do chute, os participantes foram conduzidos a uma quadra de futsal oficial (padrão FIFA). No centro do gol (3 x 2 m) foi posicionado um alvo de 1 x 1 m, a bola foi posicionada estacionária em cima da segunda marca penal, 10 m distante do plano de gol, e os participantes foram instruídos a executarem um chute com a máxima força possível com o objetivo de atingirem o centro do alvo (2, 3). Cada participante executou três tentativas com cada membro. Para obtenção das variáveis cinemáticas de interesse, quatro câmeras digitais (GoPro HERO 3+ Black Edition, Woodman Labs Inc., USA) ajustadas a uma frequência de aquisição de 240 Hz (848 x 480 pixel de resolução) foram posicionadas lateralmente, duas a direita e duas a esquerda da área em que aconteceram os evento de chute (Figura 1).

Figura 1. Exemplo de quadros de imagens das quatro câmeras utilizadas (240 Hz) para a análise cinemática durante o protocolo de chute; (A e B) lado direito e (C e D) lado esquerdo.

Obtenção das variáveis cinemáticas

As variáveis cinemáticas selecionadas foram: velocidade da bola, velocidade do pé, velocidade linear das articulações do quadril, joelho e tornozelo (2, 3, 4). Para tanto foram definidos os centros articulares com base nas seguintes proeminências ósseas: trocânter maior do fêmur (quadril), cabeça da fíbula (joelho), maléolo lateral (tornozelo) e falange distal do quinto metatarso (pé). A trajetória da bola foi medida a partir de seu ponto central (3).

Posteriormente a aquisição dos dados, as sequências de imagens foram transferidas para o computador e os procedimentos cinemáticos foram realizados no software DVIDEOW (17). Em sequências de passos (2, 3, 13, 41) foram executados os seguintes comandos: (a) as câmeras foram sincronizadas por meio de identificação de eventos em comum (i.e. quadro de imagem correspondente) para todas as câmeras, como o instante de contato com a bola, retirada do pé de contato do solo ou quando o pé de suporte faz contato com o solo; (b) rastreamento dos pontos de interesse; (c) foi definido um frame de calibração (4 x 2 x 1,3 m) com 56 pontos de controle com coordenadas reais previamente conhecidas nos eixos X, Y e Z do plano

definido (Figura 2A) e finalmente; (d) reconstrução 3D pelo método DLT (*Direct Linear Transformation*) contido no pacote do software.

Figura 2. (A) Pontos de controle usados para calibração de 3D na região em que ocorrem os chutes. (B) Visão da câmera que gravou a precisão dos chutes dos jogadores.

Desta forma, foram geradas matrizes de dados contendo os dados sobre a posição (m) de cada um dos marcadores em função do tempo $[x(t), y(t), z(t)]$ (41). Em ambiente Matlab (The MathWorks Inc., Natick, USA), primeiramente a distorção radial provocadas nas sequências de imagens pelo tipo de lente da GoPro (43) foram corrigidas para análises 3D (38). Em seguida, os dados de cinemática do movimento humano (i.e. quadril, joelho, tornozelo e pé) foram filtrados e suavizados pela função ponderada local robusta LOESS – quadratic fit (2, 3, 41) (span = 0.7). Os componentes horizontais da bola (X e Y) foram considerados lineares e o componente vertical de segundo grau (Z) e a suavização e filtragem de sua trajetória foram feitas com base em recomendações de estudos anteriores (2, 3, 35).

Para proposta de análise, foi selecionado um trecho compreendido entre os dez quadros que antecedem o contato do pé com a bola até o instante de impacto (i.e. para mensurar as velocidades do quadril, joelho, tornozelo e pé) e a partir do impacto até dez quadros subsequentes (i.e. para mensura a velocidade da bola) (3, 16, 35). A velocidade média tridimensional dos segmentos dos membros inferiores e da bola foi calculada a partir da distância percorrida nos quadros dividida pelo tempo de percurso para os dados parametrizados (4).

Acurácia

Para determinar a acurácia dos chutes, uma câmera (GoPro HERO 3+ Black Edition, Woodman Labs Inc., USA) ajustadas a 60 Hz (1280 x 720 pixel de resolução) foi alocada frontalmente ao gol (Figura 2B). A distorção radial destes vídeos foi devidamente corrigida para uma análise 2D (43), antes do cálculo da acurácia dos chutes. Para confirmar o momento em que a bola cruza a linha de gol, uma câmera auxiliar foi posicionada na linha do gol, próxima ao arco de escanteio. Dez pontos com coordenadas nos eixos X e Y previamente mensuradas foram utilizados para a calibração deste experimento a partir de um frame de calibração (3 x 2 m). As coordenadas 2D do centroide da bola no instante em que cruza a linha de gol foram digitalizadas, similarmente aos procedimentos cinemáticos aplicados ao membro inferior; e por meio de uma rotina específica foi calculada a acurácia, de modo similar a Barbieri, et al. (3), de acordo com as seguintes equações:

$$D_{target} = \sqrt{(x_{target} - x_{ball})^2 + (y_{target} - y_{ball})^2} \quad (1)$$

$$AC = \sqrt{\left(\sqrt{(STD_{x1,x2,x3})^2 + (STD_{y1,y2,y3})^2} \right)^2 + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |D_{target}| \right)^2} \quad (2)$$

Onde: D_{target} = distância Euclidiana entre o centroide da bola e o ponto mais próximo do alvo; $(x,y)_{target}$ = coordenadas 2D do alvo ao ponto mais próximo do da bola; $(x,y)_{ball}$ = coordenadas 2D do centroide da bola; AC = acurácia; STD = desvio padrão; N = número de tentativas.

Teste de isocinético (LAB_{test})

Os voluntários foram posicionados na cadeira do dinamômetro isocinético *Biodex Munt-joint System 4 Pro* (Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA) (26) e fixados por cintos em seu tronco, pelve e membro contralateral com o intuito de evitar movimentos compensatórios (12). O eixo de rotação da articulação do joelho foi obtido através da palpação do epicôndilo lateral do fêmur (i.e. eixo

anatômico) e sua direção deveria coincidir com o eixo de rotação do dinamômetro (12, 26). A amplitude de movimento padronizada para todas as avaliações foi de 110° - 10° de flexão. Foi realizada a correção da força de gravidade com o joelho em máxima extensão permitida conforme recomendado pelo fabricante do aparelho (12, 28).

O protocolo consistiu em 3 séries de contrações concêntricas dos extensores e flexores do joelho sendo 5 repetições na velocidade $60^{\circ} \cdot s^{-1}$, 10 repetições em $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ e 20 repetições em $300^{\circ} \cdot s^{-1}$. O protocolo foi iniciado em todos os casos pelo membro inferior dominante. Durante os esforços foi fornecido encorajamento verbal e os participantes foram instruídos a executar um esforço máximo voluntário durante todas as repetições (12, 26, 28). O intervalo de descanso entre as séries foi de 60 segundos. As variáveis analisadas foram: pico de torque (W), potência média (N.m), H:Q ratio (%), tempo de pico do torque (s) e SI para os movimentos de flexão e extensão do joelho (%), para todas as velocidades.

Análise estatística

A normalidade na distribuição dos dados foi testada utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Confirmado esse pressuposto, os dados foram descritos como média $\pm$ desvio padrão. Testes de correlação de Pearson foram adotados para verificar possíveis associações entre as variáveis do COURT_{test} com os parâmetros provenientes do LAB_{test}, com os valores de r interpretados como: muito fraco (0 – 0.2); fraco (0.21 – 0.4); moderado (0.41 – 0.7); forte (0.71 – 0.9) e muito forte (0.91 – 1) (39). Para comparações entre o membro inferior dominante e o membro não dominante foi utilizado o teste t de *Student* para amostras dependentes. O tamanho do efeito (ES) e 95% do intervalo de confiança [95% CI] para determinar a magnitude das diferenças encontradas foram calculados e interpretados ($0 \leq ES_{\text{trivial}} < 0.20$; $0.20 \leq ES_{\text{small}} < 0.50$; $0.50 \leq ES_{\text{medium}} < 0.80$; $ES_{\text{large}} \geq 0.80$) como proposto por Cohen (10). Para checar se as variáveis de força muscular do LAB_{test} ou de cinemática dos membros inferiores do COURT_{test} (i.e. variáveis independentes) influenciam a acurácia (i.e. variável dependente), foi feita uma análise de regressão linear múltipla *backward elimination*. Esse procedimento permite que a variável independente com menor correlação parcial com a variável dependente seja primariamente removida do protocolo de regressão; com critério de remoção de $p > 0.10$. Em todos os casos, o nível de significância estatística foi pré-fixado para $p \leq 0.05$.

3.4.5 RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta estatística descritiva dos valores de caracterização das variáveis cinemáticas dos membros inferiores dominante e não-dominante e de acurácia durante o COURT_{test}. Diferenças significativas foram verificadas nas velocidades do quadril ($t_{16} = 3,324$; $p < 0.01$) com effect size medium, tornozelo ($t_{16} = 0,879$; $p < 0.02$), pé ($t_{16} = 3,738$; $p < 0.01$) e da bola ($t_{16} = 4,358$; $p < 0.001$) com effect size large, comparando-se o membro inferior dominante e não dominante (Tabela 1). Para os parâmetros de força muscular provenientes do LAB_{test}, nós verificamos diferença significativa entre os membros dominante e não-dominante somente para a potência média na velocidade de $180^{\circ}.s^{-1}$ ($t_{13} = 2,319$; $p < 0.05$) com effect size small (Tabela 2).

Tabela 1. Caracterização da performance do chute e parâmetros cinemáticos dos membros inferiores utilizando o membro dominante e não-dominante ($n = 17$).

	Membro dominante	Membro não-dominante	p	ES [95% CI] – rating
Acurácia (m)	1.33±0.57	1.66±0.77	0.22	-0.49 [-0.89 – 0.22] – small
Velocidade do pé (km.h ⁻¹)	82.31±7.93*	68.41±7.85	0.002	1.76 [6.19 – 22.43] – large
Velocidade da bola (km.h ⁻¹)	99.74±8.45*	88.31±7.93	< 0.001	1.39 [5.87 – 16.99] – large
Velocidade linear do quadril (km.h ⁻¹)	15.64±3.44*	13.97±2.62	0.004	0.55 [0.61 – 2.74] – medium
Velocidade linear do joelho (km.h ⁻¹)	23.04±3.46	22.44±2.85	0.39	0.19 [-0.85 – 2.05] – trivial
Velocidade linear do tornozelo (km.h ⁻¹)	63.19±8.90*	52.55±8.72	0.013	1.21 [2.51 – 18.77] – large

Notas: ES: effect size. CI: intervalo de confiança. rating: interpretação do ES. * $p < 0.05$

Tabela 2. Caracterização dos parâmetros de força muscular usando o membro inferior dominante e não-dominante. ($n = 14$).

	Membro dominante	Membro não-dominante	p	ES [95% CI] – rating
60°/s				
Pico de Torque (N.m)	253.31±33.81	244.83±24.78	0.33	0.29 [-9.53 – 26.50] – small
Potência média (W)	172.51±29.96	161.73±17.70	0.08	0.44 [-1.41 – 22.99] – small
Tempo para o pico de torque (s)	517.14±146.42	499.29±113.03	0.71	0.14 [-84.03 – 119,75] – trivial
Razão H:Q	51.16±7.62	51.74±7.70	0.88	-0.08 [-8.53 – 7.37] – trivial
180°/s				
Pico de Torque (N.m)	184.04±18.84	182.86±20.17	0.62	0.06 [-3.85 – 6.22] – trivial
Potência média (W)	325.59±40.47*	315.79±39.49	0.04	0.25 [0.67 – 18.92] – small
Tempo para o pico de torque (s)	225.71±28.48	226.43±27.63	0.93	-0.03 [-16.32 – 14.89] – trivial
Razão H:Q	59.15±7.04	58.94±9.73	0.94	0.02 [-5.59 – 6.02] – trivial
300°/s				
Pico de Torque (N.m)	138.59±17.27	142.33±18.77	0.24	- 0.21 [-10.31 – 2.84] – small
Potência média (W)	318.99±49.39	314.81±42.17	0.60	0.09 [-12.59 – 20.95] – trivial
Tempo para o pico de torque (s)	151.43±32.55	160.00±26.31	0.26	-0.29 [-24.40 – 7.26] – small
Razão H:Q	68.06±11.40	69.04±9.46	0.75	-0.09 [-7.43 – 5.46] – trivial

Notas: ES: effect size. CI: interval de confiança. rating: interpretação do ES. * $p < 0.05$

Os valores de coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros de força muscular no LAB_{test} e das variáveis de cinemática de movimento provenientes do COURT_{test} utilizando o membro inferior dominante e não dominante estão descritos nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Para o membro inferior dominante, foram verificadas correlações significativa moderadas somente entre a relação H:Q na velocidade de $300^{\circ} \cdot s^{-1}$ com a velocidades da articulação do joelho e da bola (Tabela 3). Em relação ao membro inferior não-dominante, nós encontramos correlações significativas entre a velocidade linear do joelho com a potência média e o pico de torque em $180^{\circ} \cdot s^{-1}$. A velocidade linear do pé correlacionou-se significativamente, embora de forma moderada, com a relação H:Q nas velocidades de $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ e $300^{\circ} \cdot s^{-1}$ (Tabela 4).

Tabela 3. Matriz de correlação entre os parâmetros de força muscular isocinética em $60/180/300^{\circ} \cdot s^{-1}$ com as variáveis de performance do chute usando o membro dominante. ($n = 14$).

	V_{knee}	V_{foot}	V_{ball}
Pico de Torque	0.29 / 0.24 / -0.18	0.33 / 0.29 / -0.01	0.18 / 0.18 / -0.19
Potência média	0.27 / 0.22 / -0.07	0.29 / 0.22 / 0.26	0.06 / 0.19 / 0.05
Tempo	-0.22 / 0.02 / 0.19	0.05 / -0.18 / -0.10	-0.39 / 0.09 / -0.04
Razão H:Q	0.21 / 0.25 / 0.54*	0.09 / 0.12 / 0.15	0.13 / 0.51 / 0.64*

Notas: V_{knee} : Velocidade linear do joelho; V_{foot} : velocidade linear do pé; V_{ball} : velocidade linear da bola. Tempo: Tempo para o pico de torque. * $p < 0.05$.

Tabela 4. Matriz de correlação entre os parâmetros de força muscular isocinética em 60/180/300°.s⁻¹ com as variáveis de performance do chute usando o membro não-dominante. ($n = 14$).

	V _{knee}	V _{foot}	V _{ball}
Pico de Torque	0.52 / 0.53* / -0.01	0.25 / 0.03 / 0.13	0.50 / 0.34 / 0.11
Potência média	0.34 / 0.55* / 0.20	0.34 / 0.19 / -0.18	0.46 / 0.49 / 0.39
Tempo	-0.40 / -0.37 / -0.37	0.23 / 0.15 / 0.15	0.17 / -0.21 / -0.21
Razão H:Q	0.08 / 0.31 / 0.04	0.31 / 0.54* / 0.55*	0.18 / 0.30 / -0.15

Notas: V_{knee}: Velocidade linear do joelho; V_{foot}: velocidade linear do pé; V_{ball}: velocidade linear da bola. Tempo: Tempo para o pico de torque. * $p < 0.05$.

O modelo de regressão geral não foi significativa, i.e., a acurácia não foi influenciada significativamente pelas variáveis cinemáticas de movimento dos membros inferiores (DL: $R^2 = 0.37$; adjusted $R^2 = -0.03$; $p = 0.51$ and NDL: $R^2 = 0.36$; adjusted $R^2 = -0.05$; $p = 0.53$) e parâmetros de força muscular (DL: $R^2 = 0.90$; adjusted $R^2 = -0.25$; $p = 0.72$ and NDL: $R^2 = 0.99$; adjusted $R^2 = 0.81$; $p = 0.32$). Os jogadores apresentaram SI para as velocidades do quadril, joelho, tornozelo, pé e bola e acurácia de 10.61±14.84%, 2.34±12.40%, 18.40±29.96%, 18.49±20.17%, 12.15±11.39% e 20.52±69.9%, respectivamente (COURT_{test}). Para o movimento de flexão, exibiram SI de 4.85±21.67%, -0.16±31.91%, 8.30±37.63% e no movimento de extensão o SI encontrado foi 4.50±11.63%, -0.47±4.68% e -4.41±8.26%, nas velocidades de 60°.s⁻¹, 180°.s⁻¹ e 300°.s⁻¹, respectivamente (LAB_{test}).

3.4.6 Discussão

O principal objetivo deste estudo foi de avaliar as possíveis associações entre a performance do chute de 10 m (i.e. COURT_{test}) com a força muscular medida no dinamômetro isocinético (i.e. LAB_{test}), nos membros inferiores dominante e não dominante. Secundariamente, nós objetivamos comparar os índices entre os membros, para verificar possíveis assimetrias, no que se refere as variáveis do

COURT_{test} e provenientes do LAB_{test}, isoladamente, e verificar também possíveis influências (i) das variáveis cinemáticas de movimento dos membros inferiores durante o COURT_{test} e (ii) dos níveis de força muscular no LAB_{test} sobre um parâmetro central de performance (i.e. acurácia) durante os chutes dos jogadores de futsal.

Jogadores profissionais de futsal Brasileiros apresentaram menor taxa de trabalho (i.e. desempenho físico) durante competições oficiais comparados a jogadores de equipes de outros países (e.g. Spanish) ou mesmo menos bem sucedidos (e.g. Australia e Thailand) (14). Entretanto, no presente estudo, os jogadores do Brasil apresentaram índices de velocidade da bola utilizando o membro dominante ($99,74 \pm 8,45 \text{ km.h}^{-1}$) superiores ($\sim 22,8\%$) ao que foi relatado para jogadores de futsal da New Zealand National Futsal League ($n = 8$), que inclui membros da seleção nacional NZ ($77,0 \pm 5,6 \text{ km.h}^{-1}$) (33). Esses achados indicam que os jogadores de futsal de elite do Brasil compensam menor aptidão física relatada com performance técnica bem desenvolvida, para obterem sucesso neste esporte de equipe, como em competições internacionais.

Para responder as questões apontadas aqui, foi recrutada uma amostra de jogadores profissionais e de elite, incluindo jogadores regularmente convocados para a seleção Nacional de Futsal do Brasil. Dentre os principais resultados, diferenças significativas (com large effect sizes) foram identificadas entre os membros inferiores dominante e não-dominante para os parâmetros cinemáticos durante o chute (exceto acurácia). Em oposição, somente um parâmetro de força muscular demonstrou diferença significativa entre os membros, variável potência média na velocidade de $180^\circ.\text{s}^{-1}$, embora com effect size considerado small.

Assimetrias no movimento de chute estão presentes em todas as faixas de idade de praticantes e níveis de competição na população de Brasileiros. Jovens jogadores apresentam assimetria para velocidades da bola, pé, e tornozelo e sucesso nos chutes (4), jogadores adultos jovens de nível amador, para velocidades da bola, pé, velocidade angulares das articulações (quadril, joelho e tornozelo) e acurácia (3) e em profissionais de elite foram identificadas assimetrias para velocidades do quadril, tornozelo, pé, e bola, como ilustrado pelo nosso estudo (veja Tabela 1). Um fator associado a estes resultados é a maior porcentagem de pratica estruturada dedicada para o membro dominante (4). Desta forma, níveis de desempenho inferiores são esperados devido a pior coordenação intersegmentar do membro não-dominante (16), em que o controle do movimento nesse membro não é feito como a forma predita (3).

Entretanto, no presente estudo, os jogadores apresentaram acurácia semelhante entre os membros, em oposição ao que foi encontrado nos jogadores amadores (MD: $1,17 \pm 0,84$ m; MND: $1,56 \pm 1,3$ m) (3), o que demonstra que o sucesso em chutes com ambos os membros é um fator discriminante entre os dois níveis de competição (i.e. profissionais versus amadores). Adicionalmente, Naser and Ali (33), por meio de medida indireta de acurácia (i.e. alvos no gol com pontuações específicas), também haviam relatado diferenças significativas entre jogadores de futsal de elite para os de semi-elite e jogadores de nível social.

Os resultados obtidos a partir de análises no futebol são discordantes até o momento (45), quanto às correlações entre a força muscular do quadríceps mensurada por dinamometria isocinética e medidas de performance do chute. Muitos estudos (6, 15, 20, 23, 32) verificaram correlações significativas e positivas, enquanto que correlações incertas (11, 29) ou não significativas (8, 9, 24, 27, 40) também já foram encontradas (45). Para a extensão de nosso conhecimento, este é o primeiro estudo a investigar esse tipo de interação em um contexto de futsal, desde que os resultados obtidos no futebol – principalmente aqueles relacionados a performance do chute – não podem servir como referência e extrapolados diretamente para o futsal, devido a existência de diferenças pontuais entre os dois esportes de equipe (41).

de Andrade, et al. (13) evidenciou que embora a ação de chutar seja essencialmente a mesma quando se trata de futsal e futebol (i.e. uma habilidade motora fundamental), muitas diferenças cruciais entre estes esportes coletivos devem ser consideradas e que podem potencialmente interferir no padrão de movimento nessa tarefa (13). Exemplificando, existem diferenças entre as superfícies em que são praticados (grama versus piso rígido), tipos de calçados utilizados (chuteira versus calçado com sola de borracha lisa), tamanhos dos alvos ($7,32 \times 2,44$ versus 2×3 m), e características das bolas ($\varnothing 62 - 64$ versus $68 - 70$ cm) (13, 37, 41) e de acordo com as regras do Futsal estabelecidas pela em 2014/2015 (www.FIFA.com), no futebol e no futsal, respectivamente. Os chutes também ocorrem mais frequentemente mais próximos do gol no futsal profissional (máximo de ~ 10 m de distância da linha de gol) (21), enquanto que no futebol profissional ocorrem em média mais distantes ($21,02$ m) (31).

Por outro lado, para os níveis de força muscular dos membros inferiores, existe um quadro diferente do que foi evidenciado acima. Menzel, et al. (28) estudaram 46 jogadores profissionais de futebol que competem na primeira divisão brasileira,

avaliaram o pico de torque e o trabalho total produzido pela articulação do joelho durante ações musculares isocinéticas. Estes autores reportaram valores de pico de torque normalizado pela massa corporal total para o membro dominante de $3,36 \pm 0,51$, $2,33 \pm 0,29$ e $1,74 \pm 0,23$ N.m.kg⁻¹, e para o membro não-dominante de $3,43 \pm 0,57$, $2,35 \pm 0,31$ e $1,71 \pm 0,26$ N.m.kg⁻¹, nas velocidades de 60, 180 e 300°.s⁻¹, respectivamente (28). Quando nós também realizamos essa normalização, identificamos valores muito similares, de $3,23 \pm 0,45$, $2,35 \pm 0,26$ e $1,76 \pm 0,16$ N.m.kg⁻¹ para o membro inferior dominante e $3,13 \pm 0,42$, $2,33 \pm 0,25$ e $1,80 \pm 0,12$ N.m.kg⁻¹ no membro não-dominante, nas velocidades de 60, 180 e 300°.s⁻¹, respectivamente. Esses dados indicam que os níveis de força muscular dos membros inferiores de jogadores de futebol de elite e de futsal de elite (i.e. Primeira Divisão Nacional) são muito próximos. Em referência a ausência de diferenças significantes para os parâmetros de força muscular entre DL e NDL, novamente esses resultados corroboram com Masuda, et al. (25), em um estudo conduzido com jogadores de futebol bem treinados, o que reafirma a similaridade dos dois esportes de equipe nesse ponto.

Pobres correlações, somente classificadas como moderadas, entre as variáveis provenientes do protocolo de chutes com os parâmetros de força provenientes da avaliação no dinamômetro isocinético foram encontradas (Tabelas 3 e 4). Em uma breve revisão de literatura, Young and Rath (45) argumentam que a ausência de correlações significantes ocorre devido à falta de especificidade da avaliação no isocinético quando comparado a tarefa de chutar (40), i.e., o papel do quadríceps é diferente nas duas condições; no aparelho isocinético a exigência do movimento ocorre em torno de uma simples articulação enquanto que durante o chute o desempenho é resultado de movimentos com padrão de coordenação próximo-distal (36), em que o quadríceps possui papel biarticular (20, 45), embora os dois movimentos sejam em cadeia cinética aberta.

Em um outro estudo que comparou atletas profissionais e amadores, nenhuma correlação foi encontrada para os profissionais (i.e. velocidade da bola vs valores de pico de torque de flexores e extensores do joelho e H:Q ratio), embora em amadores houve relação significativa entre a velocidade da bola e variáveis provenientes do isocinético ($r = 0.49 - 0.72$), em diferentes velocidades (60, 180, 240 e 300°.s⁻¹) (8). A partir dessas informações, é importante destacar que o relacionamento entre os índices de força produzidos a partir dos movimentos em torno

da articulação do joelho e a velocidade da bola durante o chute é dependente do nível de habilidade dos sujeitos, e nos mais altos níveis é sugerido que os níveis de correlação sejam realmente inferiores ou inexistentes (1, 8), o que explica parcialmente os resultados obtidos em nosso estudo.

Respondendo a um dos objetivos secundários da presente investigação, a acurácia dos chutes não demonstrou nenhuma correlação significativa com (i) variáveis cinemáticas durante o chute no COURT_{test} ou (ii) parâmetros de força muscular no LAB_{test}, tanto para o membro dominante quanto para o membro não-dominante.

No futebol, evidências da existência do fenômeno da troca velocidade-acurácia foram apontadas por van den Tillaar and Ulvik (42), além de que a acurácia dos chutes é afetada pelos níveis de ativação muscular (mensurado por EMG) (18). Entretanto, o fato da acurácia não ser dependente das velocidades articulares e nem da velocidade do pé e da bola revela que os jogadores de futsal conseguem produzir chutes com sucesso sem diminuir necessariamente as velocidades de movimento, e isso está alinhado com o estudo recente de Barbieri, et al. (3). Nossos achados também reforçam a teoria de que o sucesso no chute não é produto somente dos níveis de força muscular ou parâmetros cinemáticos do chute, em isolamento, mas é resultado de uma combinação destes fatores (i.e. níveis de força e potência muscular e coordenação de movimento) (45), embora medidas específicas de coordenação ou EMG não tenham sido conduzidas, sendo essa uma limitação do presente estudo. Recomenda-se que futuros estudos abordem esses temas.

Outra limitação notada é que durante o chute com a bola estacionária no futsal, no momento de impacto pé-bola, a velocidade angular de extensão da articulação do joelho atinge valores picos de $\sim 8 \text{ rad.s}^{-1}$ ($\sim 458^\circ.\text{s}^{-1}$) (2, 3), enquanto que no protocolo utilizado no dinamômetro isocinético a máxima velocidade adotada foi de $300^\circ.\text{s}^{-1}$ ($\sim 5.24 \text{ rad.s}^{-1}$) baseados em muitos outros protocolos (11, 20, 26, 28, 29). Portanto, velocidades acima daquelas adotadas em nosso estudo não são usuais. Além disso, velocidades muito altas podem revelar avaliações pouco precisas, i.e., os jogadores não conseguem produzir torque suficiente em velocidades muito elevadas no dinamômetro isocinético [see for a instance Masuda, et al. (25)], o que limita ainda mais o uso dessa ferramenta como forma de predizer a performance do chute no futsal.

Em resumo, nós concluímos que o aparelho isocinético, padrão ouro para mensurar força muscular, pode representar uma ferramenta limitada para verificar a real performance dos jogadores em um gesto técnico específico de jogo no futsal (i.e. o chute). Isso também se confirma pela ausência de assimetrias importante no protocolo laboratorial adotado similares aquelas verificadas em quadra. Foi possível identificar que mesmo jogadores de futsal altamente treinados apresentam assimetrias no movimento de chute no futsal, mas o desequilíbrio de força muscular entre os membros é muito pequeno. Velocidades articulares, do pé e da bola, e parâmetros de força muscular dos membros inferiores não são preditores da acurácia durante o chute de dez m. É provável que a coordenação intersegmentar seja a principal responsável pelo sucesso no chute, mas isso requer investigações adicionais. Ferramentas e protocolos para análise do chute no futsal são apenas recentes (2, 3, 33), portanto o desenvolvimento de novas metodologias válidas, confiáveis e reproduzíveis, além das que já foram propostas, para análise das características Biomecânicas e técnicas em um contexto dinâmico que emule a realidade do jogo, são ainda necessárias.

3.4.7 APLICAÇÕES PRÁTICAS

Nossos dados sugerem que os resultados de avaliações de força muscular isocinética de flexão e extensão da articulação do joelho, nas velocidades de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$, $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ e $300^{\circ} \cdot s^{-1}$ devem ser vistos com cautela, porque não predizerem a performance do chute no futsal profissional. Nós recomendamos que testes específicos (e.g. COURT_{test}) sejam conduzidos para identificar de forma mais confiável as possíveis assimetrias e a performance do chute em um contexto de futsal. Adicionalmente, as assimetrias no movimento de chutes dos jogadores, reveladas em estudos do passado com jogadores jovens e adultos amadores e agora em profissionais de elite (nosso estudo) no futsal demonstram a existência de um problema relacionado ao processo de ensino-aprendizagem-treinamento nesse esporte de equipe. Como forma de solucionar ou amenizar esse cenário, é recomendado aumento da prática com o membro não-dominante (3), e nesse caso específico (i.e. jogadores Brasileiros), em perspectiva de longo-prazo, devido a característica longitudinal das assimetrias no chute. Ademais, treinadores devem

considerar que o sucesso no chute parece ser um fenômeno variável e complexo para ser totalmente predito.

3.4.8 REFERÊNCIAS

1. Asami T and Nolte V. Analysis of powerful ball kicking. *Biomechanics VIII-B* 4: 965-970, 1983.
2. Barbieri FA, Gobbi LT, Santiago PR, and Cunha SA. Performance comparisons of the kicking of stationary and rolling balls in a futsal context. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports* 9: 1-15, 2010.
3. Barbieri FA, Gobbi LT, Santiago PR, and Cunha SA. Dominant-non-dominant asymmetry of kicking a stationary and rolling ball in a futsal context. *Journal of sports sciences* 33: 1411-1419, 2015.
4. Barbieri FA, Santiago PRP, Gobbi LTB, and Cunha SA. Diferenças entre o chute realizado com o membro dominante e não-dominante no futsal: variabilidade, velocidade linear das articulações, velocidade da bola e desempenho. *Rev Bras Ciênc Esporte* 29, 2008.
5. Beato M, Coratella G, and Schena F. Brief review of the state of art in futsal. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 2014.
6. Cabri J, De Proft E, Dufour W, and Clarys J. The relation between muscular strength and kick performance. *Science and football* 1: 186-193, 1988.
7. CARUSO JF, BROWN LE, and TUFANO JJ. The reproducibility of isokinetic dynamometry data. *Isokinetics and exercise science* 20: 239-253, 2012.
8. Cerrah AO and Ertan H. Evaluating relationship between isokinetic muscle strength and different kicking techniques ball velocities in soccer. *Pamukkale Journal of Sport Sciences* 6: 33-45, 2015.

9. Cerrah AO, Gungor EO, Soylu AR, Ertan H, Lees A, and Bayrak C. Muscular activation patterns during the soccer in-step kick. *Isokinetics and Exercise Science* 19: 181, 2011.
10. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Vol. 2. *Lawrence Earlbaum Associates, Hillsdale, NJ*, 1988.
11. Cometti G, Maffiuletti N, Pousson M, Chatard J, and Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International journal of sports medicine* 22: 45-51, 2001.
12. Dal Pupo J, Detanico D, and Santos SG. The fatigue effect of a simulated futsal match protocol on isokinetic knee torque production. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports* 13: 332-340, 2014.
13. de Andrade VL, Vieira LHP, Macari R, Mariano FP, Noda CT, and Santiago PRP. Velocidade da bola no chute no futsal: comparação entre garotos com diferentes níveis de desempenho e correlação de variáveis preditoras do desempenho. *Rev Bras Educ Fis Esporte* 29: 371-381, 2015.
14. De Oliveira Bueno MJ, Caetano FG, Pereira TJ, De Souza NM, Moreira GD, Nakamura FY, Cunha SA, and Moura FA. Analysis of the distance covered by Brazilian professional futsal players during official matches. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports* 13: 230-240, 2014.
15. De Proft E, Cabri J, Dufour W, and Clarys J. Strength training and kick performance in soccer players. *Science and football* 11: 108-114, 1988.
16. Dorge HC, Anderson TB, Sorensen H, and Simonsen EB. Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of sports sciences* 20: 293-299, 2002.
17. Figueroa PJ, Leite NJ, and Barros RM. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Computer methods and programs in biomedicine* 72: 155-165, 2003.

18. Katis A, Giannadakis E, Kannas T, Amiridis I, Kellis E, and Lees A. Mechanisms that influence accuracy of the soccer kick. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology* 23: 125-131, 2013.
19. Kellis E and Katis A. Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine* 6: 154-165, 2007.
20. Kellis E and Katis A. The relationship between isokinetic knee extension and flexion strength with soccer kick kinematics: an electromyographic evaluation. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 47: 385, 2007.
21. Lapresa D, Alvarez L, Arana J, Garzon B, and Caballero V. Observational analysis of the offensive sequences that ended in a shot by the winning team of the 2010 UEFA Futsal Championship. *Journal of sports sciences* 31: 1731-1739, 2013.
22. Lees A, Asai T, Andersen TB, Nunome H, and Sterzing T. The biomechanics of kicking in soccer: a review. *Journal of sports sciences* 28: 805-817, 2010.
23. Luhtanen P. Kinematics and kinetics of maximal instep kicking in junior soccer players. *Science and football* 1: 441-448, 1988.
24. Masuda K, Kikuhara N, Demura S, Katsuta S, and Yamanaka K. Relationship between muscle strength in various isokinetic movements and kick performance among soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 45: 44, 2005.
25. Masuda K, Kikuhara N, Takahashi H, and Yamanaka K. The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *Journal of sports sciences* 21: 851-858, 2003.
26. Mazuquin BF, Pereira LM, Dias JM, Batista Junior JP, Silva MAC, Finatti ME, Leme LC, Carregaro RL, Moura FA, and Cardoso JR. Isokinetic evaluation of knee muscles in soccer players: discriminant analysis. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* 21: 364-368, 2015.

27. McLean BD and Tumilty DM. Left-right asymmetry in two types of soccer kick. *British journal of sports medicine* 27: 260-262, 1993.
28. Menzel HJ, Chagas MH, Szmuchrowski LA, Araujo SR, de Andrade AG, and de Jesus-Moraleida FR. Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 27: 1370-1377, 2013.
29. Mognoni P, Narici M, Sirtori M, and Lorenzelli F. Isokinetic torques and kicking maximal ball velocity in young soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 34: 357-361, 1994.
30. Moore R, Bullough S, Goldsmith S, and Edmondson L. A Systematic Review of Futsal Literature. *American Journal of Sports Science and Medicine* 2: 108-116, 2014.
31. Moura FA. Analysis of the player's technical actions and shots to goal strategies, through computational tracking, in: *Institute of Biosciences*. Rio Claro, SP, Brazil: São Paulo State University, 2006, p 98.
32. Narici M, Sirtori M, and Mognoni P. Maximal ball velocity and peak torques of hip flexor and knee extensor muscles. *Science and football* 1: 429-433, 1988.
33. Naser N and Ali A. A descriptive-comparative study of performance characteristics in futsal players of different levels. *Journal of sports sciences*: 1-9, 2016.
34. Nunome H, Asai T, Ikegami Y, and Sakurai S. Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Medicine and science in sports and exercise* 34: 2028-2036, 2002.
35. Nunome H, Ikegami Y, Kozakai R, Apriantono T, and Sano S. Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg. *Journal of sports sciences* 24: 529-541, 2006.

36. Putnam CA. A segment interaction analysis of proximal-to-distal sequential segment motion patterns. *Medicine and science in sports and exercise* 23: 130-144, 1991.
37. RÉ A. Características do futebol e do futsal: implicações para o treinamento de adolescentes e adultos jovens. *Revista Digital Buenos Aires* 13, 2008.
38. Rossi MM, Silvatti AP, Dias FA, and Barros RM. Improved accuracy in 3D analysis using DLT after lens distortion correction. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering* 18: 993-1002, 2015.
39. Rowntree D. *Statistics without tears: An introduction for non-mathematicians*. 2000.
40. Saliba L and Hrysomallis C. Isokinetic strength related to jumping but not kicking performance of Australian footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport* 4: 336-347, 2001.
41. Santiago PRP, Vieira LHP, Barbieri FA, Moura FA, Santana JE, de Andrade VL, Bedo BLS, and Cunha SA. Comparison of the Kinematic Patterns of Kick Between Brazilian and Japanese Young Soccer Players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 2016.
42. van den Tillaar R and Ulvik A. Influence of instruction on velocity and accuracy in soccer kicking of experienced soccer players. *Journal of motor behavior* 46: 287-291, 2014.
43. Vieira LH, Pagnoca EA, Milioni F, Barbieri RA, Menezes RP, Alvarez L, Déniz LG, Santana-Cedrs D, and Santiago PR. Tracking futsal players with a wide-angle lens camera: accuracy analysis of the radial distortion correction based on an improved Hough transform algorithm. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*: 1-11, 2015.
44. Vieira LHP, Dogramaci SN, Barbieri RA, Milioni F, Moura FA, Andrade VL, Cesar GM, and Santiago PRP. Preliminary results on organization on the court, physical and technical performance of Brazilian professional futsal players:

comparison between friendly pre-season and official match. *Motriz* 22: 79-91, 2016.

45. Young WB and Rath DA. Enhancing foot velocity in football kicking: the role of strength training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 25: 561-566, 2011.

4

CAPÍTULO 3 – UTILIZAÇÃO DA VIDEOGRAMETRIA PARA A ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS DE JOGADORES DE FUTSAL

4.1 Tracking futsal players with a wide-angle lens camera: accuracy analysis of the radial distortion correction based on an improved Hough transform algorithm

Authors: Luiz H. P. Vieira^a, Emilio A. Pagnoca^b, Fabio Milioni^c, Ricardo A. Barbieri^c, Rafael P. Menezes^a, Luis Alvarez^d, Luis G. Déniz^d, Daniel Santana-Cedrs^d & Paulo R. P. Santiago^{a,*}.

^a *Laboratrio de Biomecnica e Controle Motor, School of Physical Education and Sport of Ribeiro Preto, University of So Paulo, Av. Bandeirantes 3900, Ribeiro Preto, SP, Brazil*

^b *Faculty of Pharmaceutical Sciences of Ribeiro Preto, University of So Paulo, Av. Bandeirantes 3900, Ribeiro Preto, SP, Brazil*

^c *Institute of Biosciences, So Paulo State University “Jlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP, Brazil.*

^d *CTIM (Image Technology Center). Departamento de Ingeniera Electrnica y Automtica, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Campus de Tarifa, Las Palmas de Gran Canaria (Canary Islands), 35017, Spain.*

4.1.1 ABSTRACT

The aim of this study was to assess the applicability and reliability of a single wide angle lens GoPro® camera for tracking and kinematics analysis of futsal players. An official game of a Brazilian professional team in the quarter-final round of the 2013 São Paulo futsal league was recorded by four digital video cameras (30 Hz; 720 X 480) placed at the highest points of the court (40 x 20 m; FIFA standard). We compared tracking performed with three cameras equipped with conventional lenses to a GoPro® camera with a wide-angle lens with a 170° field of view. Manual and automatic tracking of players trajectories ($n = 5$; 23.20 ± 2.39 years) during competition and in a controlled environment were performed. We found that the root mean square (RMS) error calculated to determine the position on the court based on images captured with a GoPro® camera was 0.32 m and for the velocity was $0.71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. A five-minute excerpt of the game showed an average difference of 2.11% between the total distance covered obtained by tracking with the GoPro® with radial distortion correction ($438.97 \pm 164.65 \text{ m}$), and cameras with conventional lenses ($449.54 \pm 170.92 \text{ m}$). Temporal correlation analysis confirmed the great similarity between the reconstructed trajectories obtained by these cameras ($r = 0.99$ for movements on both x and y axes). We showed that a single GoPro® Hero 3+ can provide reliable kinematic analysis of computational tracking based on videogrammetry for futsal, using the Hough transform and division model technique for radial distortion correction.

Keywords: Radial distortion; Hough transform; GoPro; automatic tracking; futsal; Biomechanics

4.1.2 INTRODUCTION

Generally speaking, studies that analyze team sports performance use video cameras to investigate kinematic variables of motion by means of image processing. By computational tracking, it is possible to identify the total distances covered, range of velocities, and kinematical analysis of player movement trajectories or collective coordination during competition (Barros et al. 2007; Barbero-Alvarez et al. 2008; Barros et al. 2011; Vilar et al. 2014; Bueno et al. 2014).

In indoor sports, such as swimming, basketball and futsal, there are physical limitations (walls, roofs, bleachers) on the use of conventional cameras that are able to frame the whole venue for further computational tracking, as it is necessary to move the cameras backwards and it is not always possible to get the appropriate distance in such venues (Pers, Kristan et al. 2002). Therefore, it is often necessary to use more than one camera or device in order to obtain the desired data, which increases the amount of time and resources required, and in some cases this may be impossible. A very common solution is the use of wide-angle spherical lenses, as they include more of the scene due to their wider field of view, which can be up to 180°, and they are capable of capturing the whole scene, even when they are close to the object (Pers, Kristan et al. 2002).

Progress in the field of computer vision techniques with the use of cameras equipped with wide-angle lenses for motion capture by means of tracking in the context of sports is the result of the work of Pers and colleagues (Pers, Kristan et al. 2002; Pers, Bon et al. 2002; Perše et al. 2009; Martínez-Gallego et al. 2013). There are reports of studies that used wide-angle lens cameras to obtain motion variables during tennis (Martínez-Gallego et al. 2013), basketball (Perše et al. 2009), handball (Pers, Bon et al. 2002), and squash games (Vučković et al. 2010). Radial distortion correction of image sequences was achieved using a nonparametric exponential function instead of the traditional polynomial approximation models (Pers, Kristan et al. 2002; Pers and Kovacic 2002).

Few correction models, except for the non-parametric barrel distortion correction model of Pers and Kovacic (2002), have been used in a sports context for computational tracking (see also Pers, Kristan et al. 2002). A recent

review reported that the best radial distortion model for cameras with high degrees of distortion is the division model (Alemán-Flores et al. 2013). It is important to note that image distortion of wide-angle cameras strongly affects post-processing operations, it is very important to know this when we deal with sports events monitoring such as computational tracking, which requires the use of very accurate models. However, the division model has not been widely applied to image processing for tracking.

For futsal and many other team sports, a single camera with a wide-angle lens has not yet been widely used. Previous research on court team sports has used at least two cameras (Pers, Bon et al. 2002; Perše et al. 2009). A great number of studies involving computational tracking specifically for futsal have used at least two (Barbero-Alvarez et al. 2008; Bueno et al. 2014), and sometimes four (Moura et al. 2012; Morais et al. 2014) conventional lens cameras to obtain variables of interest, due to the difficulty of capturing the whole court scene with cameras with this type of lens, which tends to result in high costs of image storage and processing time (Barros et al. 2007; Perše et al. 2009; Barros et al. 2011). For example, despite a playing time of 40 minutes (two 20-minute halves) as established by futsal game rules (FIFA 2014), an official futsal game extends over 75 – 85% than the scheduled (Barbero-Alvarez et al. 2008). When cameras with a standard acquisition frequency of 30 Hz are used, a futsal game yields 144,000 frames per camera. Therefore, reducing the number of cameras to a minimum is essential to perform tracking analysis more quickly (see for instance: Carling et al. 2008).

In addition, the use of a single camera, as opposed to multiple cameras, has been proposed for team sports tracking, since it is more cost effective (Pers, Bon et al. 2002; Toki and Sakurai 2005). Studies that have used a single camera for tracking soccer have obtained only partial results for errors associated with the use of a single camera (as in Toki and Sakurai 2005), and the radial distortion correction model has only been partially reported when wide-angle lenses are used (as in Clemente et al. 2014). In this way, errors associated with the use of a single camera for computational tracking analysis are as yet unknown (Carling et al. 2008).

Therefore, the aim of this study was to assess the applicability and reliability of a single wide-angle lens camera, with barrel distortion images

corrected by an improved Hough transform algorithm that includes the division model (Alemán-Flores et al. 2014), by comparing it with the use of three conventional lens cameras in the kinematic analysis of computational tracking in futsal.

4.1.3 METHODS

Participants and data collection

An official futsal game of a Brazilian professional team in the quarter final round of the 2013 São Paulo futsal league was recorded in full by four digital video cameras placed at the highest points of the court. They were set to an acquisition frequency of 30 Hz (720 X 480 and 24-bit colour resolution); three were cameras with conventional lenses (CCL) (SONY™ DCD-SR21) and one was a camera with a wide-angle lens (CWAL) (GoPro® Hero 3+ Black Edition, Woodman Labs Inc., USA) that captured the whole court (Figure 1).

An excerpt of the game was selected, in which five players were monitored (23.20 ± 2.39 years; 73.78 ± 6.05 kg; 173.60 ± 6.05 cm). Procedures complied with the terms of the local Research Ethics Committee (protocol no. 5069 of 18/07/2012).

Subsequently, the sequences of images were transferred to a computer in order to perform distortion correction of the wide-angle lens camera images, and then perform computational tracking for both types of video.

Figure 1. Depiction of the how the scene was acquired by the three CCL cameras (A-C) and a single CWAL camera (D) and the respective court area that was figured.

Radial distortion correction

Given a distorted point in the original image (x_d, y_d) , the radial lens distortion correction was performed using Equation (1):

$$\begin{pmatrix} x_u \\ y_u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} + L(r) \begin{pmatrix} x_d - x_c \\ y_d - y_c \end{pmatrix} \quad (1)$$

where x_c, y_c is the distortion center and x_u, y_u are the distortion free point coordinates.

The shape of the function $L(r)$ determines the amount of distortion correction. For the division model we selected, $L(r)$ can be estimated by considering that 3D lines in the image must be projected onto 2D straight lines, and minimizing the distortion error, which is given by the sum of the squares of the distances from the points to the lines (Alvarez et al. 2009). We applied an automatic method to extract

(segment) a set of straight lines within the image; this must be done efficiently, with subpixel precision and at low computational cost in order to make the approach reliable for application to real video sequences of interest (Alemán-Flores et al. 2014). The Hough transform (Duda and Hart 1972; Hough 1959) is a well-known and widely applied method in image processing and computer vision to identify lines in an image. We refer the reader to any computer vision text for a complete description of the method (see for instances: Shapiro and Stockman 2001; Alemán-Flores et al. 2013; Alemán-Flores et al. 2014). For our purposes, the use of Hough classical transform allows easy detection of the lines within an image by the standard related algorithm, which is also quite efficient.

In previous studies (Alemán-Flores et al. 2013; Alemán-Flores et al. 2014), the proposed algorithm has been described in detail and used for radial distortion correction of single pictures (e.g. paintings, photo of buildings, doors and people walking along the street). In the present study, for any video sequence, we first extract an initial collection of distorted lines using the division model with one parameter embedded into the Hough space. It was assumed that the distortion that affected all lines within the image was the same for all of them. Hence, at this stage, a single value for the distortion parameter was estimated for the whole image. The following expression was used (Equation 2):

$$L(r) = \frac{1}{1 + k_1 r^2} \quad (2)$$

The selection of longest lines was performed through the usual voting scheme related to the standard Hough method: first we extracted the edge points and estimated the edge point orientations. Each edge point votes for the set of lines in the Hough space with a similar orientation to the edge point orientation. Next, from the voting score matrix, we selected the n most voted lines for each possible value of the radial distortion parameter. This stage provided the set containing the longest lines within the image, which constituted the first step for lens distortion correction. After that, with the same collection of primitives, a two-parameter model was extracted by minimizing an energy function given by the distance from the corrected points to their associated lines. If we denote by d the tuple (k_1, k_2, x_c, y_c) , which defines the distortion model, this minimization consists of reducing the following energy (Equation 3):

$$E(d) = \sum_j^{Nl} \sum_i^{N(j)} \text{distance}(C_d(\bar{x}_{ji}), \text{line}_j)^2 \quad (3)$$

where Nl is the number of lines, $N(j)$ is the number of points of the j^{th} line, and $C_d(\bar{x}_{ji})$ represents the corrected points associated to line_j , using the model given by d . This error measures how distant the points are from their respective lines (Alemán-Flores et al. 2013; Alemán-Flores et al. 2014). The initial value for k_1 is given by the final value obtained in the previous step, whereas the initial value for k_2 is 0. The center of distortion is initialized at the geometric center of the image. The Taylor expansion of $E(d)$ around the initial approximation d_0 is given by (Equation 4):

$$\begin{aligned} E(d) = E(d_0) + \nabla(E(d_0))^T (d - d_0) \\ + (d - d_0)^T \nabla^2 E(d_0) (d - d_0) + \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Since we want to minimize this energy, we derive the previous expression and make it equal to 0 (Equation 5):

$$\nabla E(d) \approx \nabla E(d_0) + \nabla^2 E(d_0) (d - d_0) = 0 \quad (5)$$

Note that the minimum of this energy function E stands for the case of the most detected lines that are rectified; so, once this minimum is calculated, the related solution (distortion parameters) is obtained. With the new distortion parameters, an iterative process starts which feedbacks into the initial search of lines using the Hough transform until no new lines are obtained or no more points are added to the existing lines. The iterative optimization applied provides a refined solution because the most lines are detected and, therefore the energy function E handles information for most of the pixels within the image which implies a better distortion correction. By applying a simple mathematical inversion to the model, the image distortion is corrected.

This correction was applied to each frame in the futsal sequence. The computational cost per frame (image resolution was 720 x 480) was around 30 ms in an 8-core Intel Xeon(R) CPUX5650 machine with 12.04 Ubuntu Linux. The

computational cost for the line extraction stage (only required for the first video frame) was around 5 seconds. The proposed algorithm to correct the radial distortion can be summarized as follows:

1. For the first video frame: to extract, in an automatic way, the set of lines using a modified Hough transform embedded with a one-parameter division model. The result of this step is the set of distorted lines and an estimate (initial value) of the first distortion parameter.

2. For the first video frame: Lens distortion model improvement using nonlinear optimization techniques. The result of this step is an optimized 2-parameter division model and the optimal center of distortion.

3. To correct the radial distortion of each video frame using the lens distortion model estimated for the first frame.

We point out that the proposed method is fully automatic and does not require user intervention (Figure 2).

Figure 2. Example of the sequences of steps carried by the proposed algorithm. (i) Loading the original distorted frame of the GoPro® (A), (ii) automatic extraction of the set of lines using a modified Hough transform embedded with a one-parameter division model (B), (iii) lens

distortion model improvement using nonlinear optimization techniques and (C) an example of another corrected frame of the same video sequence (D).

Computational tracking

Player trajectories were obtained by DVideo™ software (Barros et al. 2007; Barros et al. 2011). Synchronization of images was performed by identifying common events in overlapped regions; then two-dimensional calibration was done based on 23 control points on the court surface, with real distances previously measured. Game tracking was performed manually frame-by-frame with a mouse by an experienced examiner. The images analyzed were taken from the CCL and a sequence of corrected radial distortion images captured by the CWAL, both from the first eight minutes of the game, which corresponded to 14,400 frames.

After marking the frames, calibration points and player trajectories were reconstituted by means of the direct linear transformation (DLT) method, which provided player 2D coordinates with respect to court coordinates and compared tracking performed by CCL and CWAL. Data were filtered by a Butterworth 3rd order low-pass digital filter, with a 0.4 Hz cut-off frequency. Total distance covered, average velocity and acceleration were calculated in a MATLAB® environment (The MathWorks Inc., USA).

4.1.4 EXPERIMENTAL RESULTS

Assessment of uncertainties in measurements - calibration

In order to measure the uncertainties related to the measurement of calibration points, the 23 calibration points on the court surface were measured manually, 10 times each, by an experienced examiner, and reconstructed for the CWAL camera with corrected image sequences. The results were compared to actual expected values obtained by direct measurement, as proposed by Barros et al. (2011) that is, the mean Euclidean distances were calculated between actual values obtained by direct measurement and reconstructed values from the court surface points after

marking. We found a mean uncertainty of 0.19 m. Figure 3 shows the uncertainties related to the measurements of each point.

Figure 3. Illustration of the points used for calibration and assessment of uncertainties related to reconstruction of static points on the court surface. Mean values $\pm$ standard deviation.

Assessment of trajectories obtained by tracking during the game

As a means of assessing whether player trajectories tracked by CCL and CWAL sequences were similar, statistical analysis of cross-correlation with a zero lag was applied to assess the similarity between the coordinates (x and y) of the motion vector in every time series. For this procedure, a specific cross-correlation routine was used (function “xcorr.m”), which is available in the MATLAB® statistical package. In order to find the magnitude of the actual difference between measurements made, we also calculated the Euclidean distance between the 2D reconstructed coordinates for both types of tracking, in each frame analyzed.

The correlation analysis showed that tracking performed with image sequences from corrected CCL and CWAL presented basically very similar x and y

coordinates ($r = 0.99$ for both). This is evident in the graphic display of these coordinates over time for one of the players (Figure 4).

Figure 4. Motion of one player in x-coordinate (A) and y-coordinate (B) in 14,000 frames analyzed during the official match, by tracking with CWAL and CCL video sequences.

Table 1 includes error magnitude data associated with tracking of each player performed with CWAL corrected image sequences, compared to tracking performed with CCL by means of calculation of the Euclidean distance between coordinates of both types of tracking.

Table 1. Values for Euclidean distance (m) between 2D points reconstructed in each frame, of all player's tracking performed with CCL and CWAL. SD = standard deviation.

Player number	Mean	Median	Minimum	Maximum	SD
1 (LM)	0.11	0.07	0.00	0.48	0.09
2 (D)	0.11	0.08	0.00	0.62	0.10
3 (RM)	0.12	0.08	0.00	0.70	0.11
4 (PA)	0.10	0.07	0.00	0.52	0.09
5 (GK)	0.06	0.04	0.00	0.28	0.04
Mean	0.10	0.07	0.00	0.52	0.08
SD	0.02	0.01	0.00	0.14	0.02

LM = left midfielder. D = defender. RM = right midfielder. PA = pivot forwarder. GK = goalkeeper.

Results for distances covered by players during a futsal game

Table 2 presents the results for total distance covered in five minutes and compares tracking performed by CCL and CWAL image sequences.

Table 2. Distance covered (m) by five players during the first five minutes of the game, calculated with data obtained by tracking performed with image sequences taken from CCL and CWAL with corrected sequences. Diff = percentage difference. SD = standard deviation.

Player number	Distance covered (m)		
	CCL	CWAL	Diff (%)
1 (LM)	555.50	545.39	−1.82%
2 (D)	463.05	450.61	−2.69%
3 (RM)	584.06	565.50	−3.18%
4 (PA)	488.52	476.45	−2.47%
5 (GK)	156.58	156.89	+0.20%
Mean	449.54	438.97	2.11%
SD	170.92	164.65	

LM = left midfielder. D = defender. RM = right midfielder. PA = pivot forwarder. GK = goalkeeper.

Uncertainties associated with DVideo tracking, performed automatically

In order to assess the accuracy of measurements of automatic tracking by segmentation in DVideo™ software (Figuerola et al. 2006; Barros et al. 2011), we conducted an experiment in a controlled environment, in a setup similar to the recommendations of Pers, Bon et al. (2002) (experiment II). One of the players was selected and instructed to move across certain distances on the court, using a predefined route, for a total of 10 laps.

Figure 5. Illustration of the trajectory defined for the experiment on automatic tracking in a controlled environment and the position of cameras, similar to that adopted to record the game. $A = C = 9$ m. $B = D = 18$ m.

We obtained automatic tracking of 89.01% of the processed frames in this experiment. The total distance calculated experimentally was 535.60 m versus the actual circuit distance of 540 m, which represented a relative error of 0.81%.

Results of player mean velocity, acceleration and trajectories

Figure 6 represents the average velocity and Figure 7 the acceleration of one player analyzed obtained at each point in time during five minutes of the game. Figure 8 shows the trajectories of all players during eight minutes of tracking, comparing CWAL and CCL.

Figure 6. Graphical plot of one player's velocity in temporal series (5 minutes) and an enlarged excerpt (50 seconds), during the official match, by tracking with CWAL and CCL video sequences.

Figure 7. Graphical plot of one player's acceleration in temporal series (3 minutes) and an enlarged excerpt (40 seconds), during the official match, by tracking with CWAL and CCL video sequences.

Figure 8. Trajectories of futsal players for eight minutes during the first half-time (20 min). GK = goalkeeper. LM = left midfielder. D = defender. RM = right midfielder. PA = pivot forwarder. Defence on the right side.

Root mean square error

The values of variables of interest obtained by tracking performed with a GoPro® camera (CWAL) were statistically processed as a way to assess RMS error, following the recommendations of Pers, Bon et al. (2002), and considering Equation (6).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |M_{EXP} - M_{REF}|^2} \quad (6)$$

where: RMS = root mean square error; n = number of analyzed frames; i = current frame; M_{EXP} = experimental measurement value; M_{REF} = reference value, in frame i.

The selected variables were: two-dimensional position (P2D) reconstructed and velocity (VEL). Tables 3 and 4 contain the results of RMS error calculations for P2D and VEL respectively: in the calibration experiment, for tracking during the game (manual tracking) and in the automatic tracking experiment.

Table 3. RMS error values of the calibration experiment, of the eight-minute tracking of the game (14,400 frames · 5 players = 72,000 frames) and the automatic tracking experiment (4 minutes = 7,200 frames) for P2D, in m.

RMS error	Our proposal	Pers et al. (2002)	Vučković et al. (2010)
Calibration experiment	0.23	0.2	0.09 – 0.34
Tracking of game	1.29	0.27 – 0.64	0.11 – 0.42
Automatic tracking experiment	0.32	0.25 – 0.40	0.17 – 0.50

Our experiments were based on the work of Pers, Bon et al. (2002). Our calibration experiment was similar to one that involved the choice of static position of players on the court. Game tracking was similar to Experiment I, whereas automatic tracking that involved movements across court lines was similar to experiments II and III (see Pers, Bon et al. 2002).

Table 4. RMS error values of the calibration experiment, of the eight-minute tracking of the game (14,400 frames · 5 players = 72,000 frames) and the automatic tracking experiment (4 minutes = 7,200 frames) for VEL, in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

RMS error	Our proposal	Pers et al. (2002)	Vučković et al. (2010)
Tracking of game	0.87	0.04 – 2.10	0.50 – 0.58
Automatic tracking experiment	0.71	0.21 – 0.35	0.16 – 0.74

Table 5. Reference values of the tests performed.

Experiment	Reference values	
	P2D	VEL
Calibration experiment (n = 23 static points)	2D actual coordinates obtained by direct measurement (Figure 4)	--
Automatic tracking experiment (n = 1 player)	2D actual coordinates of court lines (Figure 3)	Values obtained by tracking performed with CCL
Game tracking (n = 5 players)	2D coordinates of game tracking with CCL	Values obtained by tracking performed with CCL

4.1.5 DISCUSSION

The objective of the present study was to assess the applicability and reliability of a single wide-angle lens camera for the kinematic analysis of tracking in futsal. The advantages of this model are that this camera has a field of view that is able to capture the whole scene, with no need of auxiliary cameras, which consequently reduces financial and material costs of footage analysis.

The GoPro® model HERO 3+ (GoPro 2014) is a small camera (59 x 21 x 41 mm) with high definition video recording. It can be activated by remote control, weighs 0.74 kg, and has Wi-Fi and a 170° field of view (GoPro 2014; Kim et al. 2014). Its use was only recently introduced in the assessment of sport performance from the biomechanics approach, especially in kinematic studies of human motion in sprint running (Gasser et al. 2013; Born et al. 2014), in an aquatic environment, in order to identify the kinematic pattern of the foot during a treadmill run, on the floor and in the water (Hoover 2014), or very close to the water, as in the investigation of sailor performance (Pluijms et al. 2014).

Clemente et al. (2014) used a single GoPro® for tracking soccer players, however, they only partially reported the tracking error values and the model of

distortion correction. We compared our experimental result errors with figures available in the literature. As for the calibration experiment and the reconstruction of static positions on the court with previously measured distances in relation to the starting point, our results were in line with the literature. Barros et al. (2011), using the DVideo™ system, found a mean uncertainty of 0.20 m in the definition of positions on the court; in our study, the mean uncertainty was similar, at 0.19 m.

Our results for the experiment with movements across court lines (in a controlled environment) were close to those found by Pers, Bon et al. (2002), which used two CWALs for tracking handball, and to the study by Vučkovič et al. (2010), which used a CWAL for tracking squash (Tables 4 and 5). However, P2D had a greater RMS error value in our study, regarding game tracking, when we specified that the reference values would be those found with CCL tracking. In that sense, we must highlight we determined this error using the difference between the values obtained from the CCL and CWAL tracking in actual game conditions, which was not the case for previous studies. We should also point out that the game situation increased visual difficulties in following each player, due to the complexity of some situations, such as mutual occlusion (Figuerola et al. 2006), which could limit results comparison in part of this tracking experiment. Pers, Bon et al. (2002) conducted their experiments in controlled conditions, with predefined trajectories and velocity (reference values).

When using a single camera promotes a more severe mutual occlusion effect. In the past, some studies (Barros et al. 2007; Barros et al. 2011) suggested that a solution to increase the percentage of automatic tracking and reduce the mutual occlusion effects on the frames analyzed by tracking in sports context would require placing cameras on both sides of the game (i.e. multi camera setup). However an increase in processing time is expected (Barros et al. 2007) due to increase in time to calibration, synchronization and segmentation phases in all sequences of images from all cameras. In addition, there are severe restrictions on where you can place your cameras in official sports events (Barros et al. 2011). In that sense, the single wide-angle lens camera setup it seems to be quite advantageous by eliminates the “synchronization” step, reduce the number of cameras (i.e. financial cost) and evaluators responsible for cameras, reduce the time in calibration and segmentation, and finally reduce the computational cost.

After analysis of displacement curves on the x and y axes (Figure 4), we found a high similarity between the reconstructed coordinates of tracking performed

with corrected distortion images from CCL and CWAL cameras (Table 1), which was confirmed by the applied analysis of temporal correlations and low RMS error values obtained.

Furthermore, in practical terms, distances covered during the first five minutes of the game calculated with tracking performed by CCL (449.54 ± 170.92 m) and CWAL (438.97 ± 164.65 m) presented a mean variation of 2.11% ($2.11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$). Pers et al. (2002) reported an error between 10 and 6 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ regarding total distances covered by players, and these values were greater than those found in our study. We have to consider that minor variations existed regarding different measurements of this phenomenon (i.e. frame markings), done by the same examiner at different times, to compare tracking performed with CCL and CWAL. In addition, the highest value for the Euclidean distance found for 2D tracking coordinates in CWAL and CCL without data filtering was 0.7 m, with a mean value of 0.09 m for all players (Table 1). These results allow us to say that the error was acceptable, and the method adopted for radial distortion correction had reasonable accuracy.

Other approaches to radial distortion correction with reasonable accuracy have involved placing a chess board close to the camera (Silvatti et al. 2013; Rossi et al. 2013). However, for tracking analysis, the use of chess boards is difficult, as cameras are usually fixed to posts or higher spots around the court so they can frame the largest area possible (as in Pers, Bon et al. 2002; Perše et al. 2009; Moura et al. 2012; Bueno et al. 2014).

Automatic tracking in DVideo™ with CWAL had a relative error percentage of 0.81% for determining the total distance covered, when comparing the actual value (distance known) to the experimental value obtained in a controlled environment. Bueno et al. (2014) reported a similar value (0.8%) when they determined distances covered in futsal with the use of DVideo™, which also indicates that the use of a GoPro® with corrected radial distortion is equivalent to the use of other cameras with conventional lenses.

4.1.6 CONCLUSION

The present study aimed to test a radial distortion correction algorithm applied to sequences of images obtained during an official professional futsal match,

using a single camera with wide-angle lens for computational tracking purposes. To the extent of our knowledge, this was the first study in the field of futsal that made use of a single camera of this type to investigate kinematics of players trajectories, describing the error assessment with the method adopted.

The results show that the use of image sequences with corrected radial distortion of a single wide-angle lens camera, such as the GoPro® HERO 3+, using Hough transform to detect highly distorted lines in the image, by means of an automatic detection algorithm of sub-pixel borders precision (Alemán-Flores et al. 2014), is a highly applicable and reliable way to conduct kinematics investigation of trajectories and distances covered by futsal players. In addition, the results also indicate that the use of this camera with radial distortion corrected is similar to a conventional multi-camera setup without severe lens distortion.

Future research should implement algorithms to optimize automatic tracking in competitive situations with image sequences taken from a single camera like GoPro®, which is a condition that has lower costs of image storage (i.e. a single camera), and the smallest number of human interventions (i.e. automatic tracking) and thus lower processing time.

Acknowledgments

This research has been supported by the FAPESP [2013/08302-6] and PIBIC/USP [14.1.101.90.2]. The authors would like to thank Filipe Gonçalves Mesquita for his technical support.

4.1.7 REFERENCES

Alemán-Flores M, Alvarez L, Gomez L, Santana-Cedrs D. 2013. Wide-Angle Lens Distortion Correction Using Division Models. In: Ruiz-Shulcloper J, di Baja GS (Eds.). Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications. Berlin: Springer; p. 415–422.

Alemán-Flores M, Alvarez L, Gomez L, Santana-Cedrs D. 2014. Line detection in images showing significant lens distortion and application to distortion correction. *Pattern Recognit Lett.* 36(0):261–271.

Alvarez L, Gomez L, Sendra JR. 2009. An algebraic approach to lens distortion by line rectification. *J Math Imaging Vis.* 35(1):36–50.

Barbero-Alvarez JC, Soto VM, Barbero-Alvarez V, Granda-Vera J. 2008. Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *J Sports Sci.* 26(1):63–73.

Barros RML, Misuta MS, Menezes RP, Figueroa PJ, Moura FA, Cunha SA, Anido R, Leite NJ. 2007. Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *J Sports Sci Med.* 6(2):233–242.

Barros RML, Menezes RP, Russomanno TG, Misuta MS, Brando BC, Figueroa PJ, Leite NJ, Goldenstein SK. 2011. Measuring handball players trajectories using an automatically trained boosting algorithm. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 14(1):53–63.

Born D-P, Holmberg H-C, Goernert F, Sperlich B. 2014. A novel compression garment with adhesive silicone stripes improves repeated sprint performance – a multi-experimental approach on the underlying mechanisms. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 6(1):1–9.

Bueno MJO, Caetano FG, Pereira TJ, De Souza NM, Moreira GD, Nakamura FY, Cunha SA, Moura FA. 2014. Analysis of the distance covered by Brazilian professional futsal players during official matches. *Sports Biomech.* 13(3):230–240.

Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, Reilly T. 2008. The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Med.* 38(10):839–862.

Clemente FM, Couceiro MS, Martins FM, Figueiredo AJ, Mendes RM. 2014. Anlise de jogo no Futebol: Mtricas de avaliao do comportamento coletivo [Match analysis on football: metrics to evaluate the collective behavior]. *Motri.* 10(1):14–26.

Duda RO, Hart PE. 1972. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Comm ACM*. 15(1):11-15.

FIFA. 2014. Futsal Laws of the Game 2012/2013. [Internet]. Zurich, Switzerland: Fédération Internationale de Football Association; [cited 2014 Nov 12]. Available from: <http://www.fifa.com/mm/document/affederation/generic/51/44/50/futsallawsofthegame.en.pdf>.

Figuerola PJ, Leite NJ, Barros RML. 2006. Background recovering in outdoor image sequences: An example of soccer players segmentation. *Image Vis Comput*. 24(4):363–374.

Gasser M, Habegger B, Goette J, Jacomet M. 2013. Feature extraction from biological motion with PARTwear: an application for sprint running. Paper presented at: 3rd International Conference on Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Movement; Amherst, USA.

GoPro. 2014. Hero3+ Black [Internet]. [cited 2014 Nov 12]. Available from: <http://gopro.com/cameras/hd-hero3-black-edition>.

Hoover J. 2014. Differences in strike index between land treadmill and aquatic treadmill running in experienced distance runners. Paper presented at: Graduate Research Symposium of the Utah State University – Paper 45. Logan, USA.

Hough PVC. 1959. Machine Analysis of Bubble Chamber Pictures. Paper presented at: International Conference on High Energy Accelerators and Instrumentation; CERN Switzerland/France.

Kim JH, Pyeon MW, Eo YD, Jang IW. 2014. An experiment of three-dimensional point clouds using GoPro. *International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering*. 8(1):82–85.

Martínez-Gallego R, Guzmán JF, James N, Pers J, Ramón-Llin J, Vuckovic G. 2013. Movement Characteristics of Elite Tennis Players on Hard Courts with Respect to the Direction of Ground Strokes. *J Sports Sci Med*. 12(2):275–281.

Morais E, Ferreira A, Cunha SA, Barros RML, Rocha A, Goldenstein S. 2014. A multiple camera methodology for automatic localization and tracking of futsal players. *Pattern Recognit Lett.* 39(0):21–30.

Moura FA, Santana JE, Marche AL, Aguiar TH, Rodrigues ACMA, Barros RML, Cunha SA. 2012. Quantitative Analysis of futsal players organization on the court. *Rev Port Cien Desp.* 11(2):105–108.

Pers J, Bon M, Kovacic S, Sibila M, Dezman B. 2002. Observation and analysis of large-scale human motion. *Hum Mov Sci.* 21(2):295–311.

Pers J, Kovacic S. 2002. Nonparametric, Model-Based Radial Lens Distortion Correction Using Tilted Camera Assumption. Paper presented at: Computer Vision Winter Workshop; Bad Aussee, Austria.

Pers J, Kristan M, Perse M, Kovacic S. 2002. Analysis of player motion in sports matches. Paper presented at: Dagstuhl Seminar Proceedings – Computer Science in Sport – Mission and Methods; Dagstuhl, Germany.

Perše M, Kristan M, Kovačič S, Vučkovič G, Perš J. 2009. A trajectory-based analysis of coordinated team activity in a basketball game. *Comput Vis Image Und.* 113(5):612–621.

Pluijms JP, Canal-Bruland R, Hoozemans MJ, Savelsbergh GJ. 2014. Visual search, movement behaviour and boat control during the windward mark rounding in sailing. *J Sports Sci.* 33(4):398–410.

Rossi MM, Silvatti AP, Dias FA, Barros RM. 2013. Improved accuracy in 3D analysis using DLT after lens distortion correction. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 18(9):993–1002.

Shapiro L, Stockman G. 2001. *Computer Vision*. New Jersey, USA: Prentice Hall.

Silvatti AP, Cerveri P, Telles T, Dias FA, Baroni G, Barros RM. 2013. Quantitative underwater 3D motion analysis using submerged video cameras: accuracy analysis and trajectory reconstruction. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 16(11):1240–1248.

Toki S, Sakurai S. 2005. Quantitative match analysis of soccer games with two dimensional DLT procedures. Paper presented at: 20th Congress of International Society of Biomechanics; Cleaveland, USA.

Vilar L, Araujo D, Davids K, Travassos B, Duarte R, Parreira J. 2014. Interpersonal coordination tendencies supporting the creation/prevention of goal scoring opportunities in futsal. *Eur J Sport Sci.* 14(1):28–35.

Vučković G, Pers J, James N, Hughes M. 2010. Measurement error associated with the SAGIT/Squash computer tracking software. *Eur J Sport Sci.* 10(2):129–140.

4.2 Preliminary results on organization on the court, physical and technical performance of Brazilian professional futsal players: comparison between friendly pre-season and official match

Authors:

Luiz Henrique Palucci Vieira¹, Sera N. Doğramaci², Ricardo Augusto Barbieri³, Fabio Milioni³, Felipe Arruda Moura⁴, Vitor Luiz de Andrade¹, Guilherme Manna Cesar⁵, Paulo Roberto Pereira Santiago¹

Affiliations:

1 - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brasil

2 - New South Wales Institute of Sports, Sydney, Austrália

3 - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Rio Claro, SP, Brasil

4 - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil

5 - University of Nebraska-Lincoln, Athletic Department, Lincoln, Nebraska, USA

4.2.1 ABSTRACT

The main aim of this study was to verify possible differences between a friendly pre-season match (FM) and an official in-season match (OM) regarding physical, technical, and organizational performances of a professional Brazilian futsal team. Ten professional futsal athletes participated in this study. The matches were monitored with video cameras (30 Hz) and athlete trajectories obtained with automatic tracking. The values obtained for distance covered per minute, percentage of distance covered at moderate intensity, team coverage area, spread, passes, possessions, ball touches and successful passes per minute were greater for the OM than FM, respectively. Percentage of distance covered standing and walking was greater for the FM than OM. We concluded that physical, technical, and tactical performances are different between an FM and an OM and in futsal these parameters mutually influenced each other. Future studies should verify whether pre-season tournaments reproduce similar demands to a regular season official match.

Keywords: Futsal, Activity profile, Technique, Automatic tracking.

4.2.2 RESUMO

O principal objetivo do presente estudo foi de verificar as possíveis diferenças entre um jogo amistoso pré-temporada (JA) e um jogo oficial de competição (JO) nas variáveis de desempenho físico, técnico e tático em quadra de uma equipe profissional de futsal do Brasil. Dez atletas profissionais de futsal participaram deste estudo. As partidas foram monitoradas por câmeras de vídeo (30 Hz) e as trajetórias dos jogadores foram obtidas por rastreamento automático. Os valores para a distância percorrida por minuto, percentual da distância percorrida em corrida de moderada intensidade, área de superfície, espalhamento, passes, posses, toques na bola e passes certos por minuto foram maiores em JO do que em JA, respectivamente. O percentual da distância percorrida andando e parado foi maior em JA do que em JO. Nós concluímos que o desempenho físico, técnico e tático são diferentes entre um JA e um JO e estes parâmetros são mutuamente influenciados no futsal. Futuras investigações deveriam verificar se torneios pré-temporada reproduzem as reais demandas de uma competição oficial durante a temporada regular.

Palavras Chave: Futsal, Perfil de atividades, Técnica, Rastreamento automático.

4.2.3 RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue verificar las posibles diferencias entre un partido amistoso de pretemporada (JA) y un juego oficial de competición (JO) en las variables de rendimiento físico, técnico y táctico en la cuadra de un equipo profesional de fútbol sala del Brasil. Diez atletas profesionales de fútbol sala participaron en el presente estudio. Los partidos fueron monitoreadas por cámaras de vídeo (30 Hz) y las trayectorias de los jugadores fueron obtenidos mediante seguimiento automático. Los valores de la distancia recorrida por minuto, porcentaje de distancia recorrida en carreras de moderada intensidad, área de superficie, difusión, pases, posesiones, toques en la pelota y pases ciertos por minuto fueron más altos en JO que en JA, respectivamente. El porcentaje de distancia recorrida a pie y parado fue mayor en JA que en JO. Llegamos a la conclusión de que el rendimiento físico, técnico y táctico son diferentes entre un JA y un JO, y estos parámetros son mutuamente influenciados en el fútbol sala. Otras investigaciones deben comprobar si los torneos de pretemporada reproducen las demandas reales de una competición oficial durante la temporada regular.

Palabras clave: fútbol sala, perfil de atividades, técnica, seguimiento automático.

4.2.4 INTRODUCTION

Analysis of match performance based on video recordings in futsal represents an extensive area of investigation (Moore, Bullough, Goldsmith, & Edmondson, 2014), with emphasis on variables related to physical and tactical performances (Barbero-Alvarez, Soto, Barbero-Alvarez, & Granda-Vera, 2008; Bueno et al., 2014; Caetano et al., 2015; Castagna, D'Ottavio, Granda Vera, & Barbero Alvarez, 2009; Corrêa, Alegre, Freudenheim, Dos Santos, & Tani, 2012; Dogramaci, Watsford, & Murphy, 2015; Lapresa, Alvarez, Arana, Garzón, & Caballero, 2013; Makaje, Ruangthai, Arkarapanthu, & Yoopat, 2012; Travassos, Araújo, Vilar, & McGarry, 2011; Vieira et al., 2015; Vilar et al., 2014) and a smaller number of publications related to technical performance (Dogramaci et al., 2015; Gómez, Moral, & Lago-Peñas, 2015; Sarmiento et al., 2016). Futsal vigorously taxes both the aerobic and anaerobic metabolism pathways (Castagna et al., 2009) as seen by athlete displacements above $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ in 22.5% of total distance covered during a game (Barbero-Alvarez et al., 2008). This represents an average effort of 86.4% of maximum heart rate (Rodrigues et al., 2011) along with 80–85% of exhaustion values based on blood-lactate concentration (Castagna et al., 2009). Furthermore, the literature suggests that futsal athletes should have well developed aerobic capacity with a maximal oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{MAX}}$) of approximately $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Baroni & Leal Junior, 2010; Castagna et al., 2009), which illustrates the high intensity nature of this team sport.

Although the literature now exhibits an increasing number of studies on athlete displacement patterns in futsal, studies involving in-game demands are still scarce when compared with soccer (Bueno et al., 2014). Greater physical demands during games has been previously reported when considering higher levels of competition, such as comparisons between professional and amateur athletes (Makaje et al., 2012) and athletes who play for national teams versus state team athletes (Dogramaci et al., 2011). Another factor contributing to differences in the physical demands during competitions is the nationality of the players, in other words, in futsal different leagues present specific physical requirements (Bueno et al., 2014).

Currently, the literature on tactical dynamics (or coordination dynamics) analyzes fragmented sequences in futsal games. For example, when the goalkeeper

of the attacking team is substituted with an extra outfield players (Travassos et al., 2011), when shots to goal occurs (Moura et al., 2011; Lapresa et al., 2013; Vilar, Araújo, Davids, Correia, & Esteves, 2013), when tackles are performed (Moura et al., 2011), passing (Corrêa, Vilar, Davids, & Renshaw, 2014) and plays ending in goals (Vilar et al., 2014). Thus, there is a lack of studies about the tactical features of futsal teams (i.e. organization on the court) (Moura et al., 2011) mainly during the whole match, considering each instant of time, using team coverage area and spread variables and this information could prove meaningful to those involved with futsal tactics.

Previous studies have reported a total distance covered between of 3,133 to 6,535 m covered during a futsal game (Barbero-Alvarez et al., 2008; Bueno et al., 2014; Castagna et al., 2009; Makaje et al., 2012; Moreno, 2001). When these results were normalized by the playing time, the values observed were 110.6 to 121 m.min⁻¹ (Barbero-Alvarez et al., 2008; Bueno et al., 2014; Castagna et al., 2009; Dogramaci et al., 2015). Nonetheless, it is not clear how to interpret these results since most studies used simulated matches (Castagna et al., 2009; Barbero Alvarez, 2009; Makaje et al., 2012; Milioni, 2014; Vieira, 2014), with few studies investigating official matches (OM) (Barbero-Alvarez et al., 2008; Bueno et al., 2014). The differences in the type of game situation (official versus simulated or friendly) likely contributed to the ample variance in the reported results.

This outcome has been previously reported during soccer matches. Although engaging in FM's during pre-season is a common strategy adopted by many sport teams as a preparatory period (i.e. pre-season period) (Folgado et al., 2014), a previous study in soccer suggest that soccer FM's underestimate physical (i.e. time-motion characteristics, specially distance covered at very high intensity [$> 19.8 \text{ km.h}^{-1}$]) and tactical behavior demands (i.e. intra-team movement synchronization), depending on the opponent's level (see for instance Folgado et al., 2014). However, Bradley and Noakes (2013) reported that the importance given to the matches did not influence displacement performance in an English FA Premier League soccer team during two consecutive seasons.

There is a scarcity of studies examining the potential similarities between FM and OM's in futsal. Bueno et al. (2014) recently highlighted that kinematic studies about the patterns of displacement of Brazilian futsal athletes have not been sufficiently explored. Moreover, although knowledge exists regarding physiological aspects,

psychological demands and game tactics of futsal based on video recordings, there are few studies that explore such topics and the results are difficult to compare (e.g. studies analyzing OM or analyzing FM) due to different methodologies employed for the movement analysis (Moore et al., 2014). In addition, Beato, Coratella, and Schena (2014) in a recent brief review, also highlighted that future studies should examine physical demands during futsal matches in detail, as well as seasonal variations. In the same study, the need for further information from evaluations of friendly versus competitive matches was reported (Beato et al., 2014). This issue is important due to the fact that investigations into athlete performance during games is considered an important tool for designing and refining training methods (Barros et al., 2007; Carling, Bloomfield, Nelsen, & Reilly, 2008; Dogramaci, Watsford, & Murphy, 2011; Makaje et al., 2012) added to which, it is necessary to establish if the results obtained in FM represent actual performance during competition, for both, scientific and coaching communities.

To our knowledge, no previous published work has investigated the performance of Brazilian professional futsal teams regarding physical demands, technical performance and organization on the court simultaneously, in both types of games (i.e. FM and OM), while analyzing the first half, second half and whole match. This study was performed to identify whether previously established high demands of futsal game (Bueno et al., 2014; Castagna et al., 2009; Rodrigues et al., 2011) cause, or not, impairment from the first to the second half in both types of games, considering the global performance. Additionally, characterization of game performance during the first half, second half and whole match allows for a more accurate comparison of the potential differences or similarities between an FM and OM.

Therefore, the aim of the current study was (i) to compare a friendly pre-season match and an official in-season match regarding physical, technical, and organizational performances of a professional futsal team, and (ii) to identify possible differences in global performance (i.e., physical, technical and organizational performances) between the first and second half, in each match.

4.2.5 METHODS

Participants and experimental design

A total of 10 Brazilian fulltime well-trained professional futsal athletes with no self-reported history of chronic musculoskeletal injuries and with more than five years of competitive experience, participated in this study (age = 23.2 ± 2.25 years, weight = 73.60 ± 8.28 kg, height = 173.1 ± 6.17 cm, $VO_{2\text{MAX}}$: 50.15 ± 2.46 ml.kg⁻¹.min⁻¹, body fat percentage = $18.37 \pm 2.64\%$). All athletes were from the city of Bauru, São Paulo, Brazil, belonging to the local team, which competes in the elite state (reached the quarter-finals of the São Paulo State League 2013) and is affiliated to the Brazilian Futsal Confederation (www.cbfs.com.br).

Two matches were fully monitored for this study; the first match occurred at the end of the pre-season (i.e., FM), in February 2013, against an elite national team (first place in the Brazilian First Division League in 2013). The second match occurred in November 2013 at the middle-end of the regular season (i.e., OM), in the final round of matches before the São Paulo State League playoffs against another elite national team (reached the quarter-finals of the São Paulo State League 2013). The monitored team had to win the game to qualify for playoffs. Both matches were home games, played on and official court (40 x 20 m; FIFA standard). The duration of the matches (i.e. the total time played) was similar (approximately 60 minutes), and the time playing on the court did not differ (see Table 1). The difference in daily average temperature between match days was 2°C (climate record of Institute of Meteorological Research – IPMet – Bauru – SP - Brazil). The time frame between the FM and OM was approximately 8 months and these matches were purposely chosen to fully characterize a distinct situation (i.e., a friendly game at the beginning of the season and an important match in the middle-end of the season). During this period, athletes were engaged in 6-8 practice sessions per week and played a total of 27 matches. All coaching staff (coach, assistant coach, trainer, and medical staff) remained unaltered throughout the study.

All procedures were approved by the University's Institutional Review Board for Human Subjects (Human Research Ethics Committee) and were conducted according to the Declaration of Helsinki.

Image sequences acquisition

Both games were fully monitored with three digital video cameras (SONY™ DCR-SR21) operating at an acquisition frequency of 30 Hz (720 x 480 pixel and 24-bit of color resolution). The cameras were placed in high places of the gymnasium where the games occurred (Figure 1). Following the acquisition, the sequences of images were transferred to a personal computer (8-core Intel Xeon® CPUX5650) for the computational tracking.

Figure 1. Position of cameras at the highest points in relation to the game court surface for the recording of the events in both games.

Automatic tracking and data treatment

The software DVideo™ (Barros et al., 2011; Barros et al., 2007; Bueno et al., 2014; Figueroa, Leite, & Barros, 2006a; Vieira et al., 2015) was used for the automatic tracking analysis. Images were synchronized based on common events that occurred in overlapped areas of camera view, such as an instance where an athlete takes the first ball kick in the match or when the ball hits the floor (Bueno et al., 2014;

Moura et al., 2013). The segmentation process was then executed based on a specific algorithm (Barros et al., 2011) that consists of morphological filtering (Figuerola, Leite, & Barros, 2006a) to separate the elements of interest (i.e. each athlete) from the other elements in the image (Figure 2).

Two-dimensional (2D) calibration was performed based on 21 points on the game court surface with actual known distances previously measured with a tape measure with respect to the origin of the court coordinate system defined. Frame marking was performed in a specific DVideo interface by only one experienced examiner, considering the player's position as a projection on the game plan (Misuta, 2004) and situations that were not automatically solved (e.g. mutual occlusions) manually corrected frame-by-frame (Barros et al., 2007). This procedure permitted an automatic tracking rate of approximately 50% of the processed frames in the present study. Following frame marking, data matrices with all the two-dimensional position information of each athlete with respect to time (i.e. $x(t)$, $y(t)$) were obtained via reconstruction using the DLT (Direct Linear Transformation) method (Abdel-Aziz & Karara, 1971), since the basic equations of the method were adequate for 2D reconstruction (Misuta, 2004).

Figure 2. Example of one frame during the image segmentation process based on morphological filtering in DVideoTM environment. A = actual frame. B = binary image.

During the data treatment phase, these matrices were exported to the Matlab environment (MathWorks Inc., USA). The 2D data were smoothed using a ButterWorth third-order low pass digital filter with a selected cut-off frequency of 0.4 Hz (Bueno et al., 2014; Vieira et al., 2015). In order to determine the experimental error using the automatic tracking model and filter parameters for data treatment, an

experimental protocol was executed where one of the participants was instructed to run for a known distance on the game court (Misuta, 2004; Moura et al., 2013).

In the present study, the average experimental error for the determination of distances covered was 0.93%. These values are similar to those previously reported (0.8%) for the determination of distances covered with the automatic tracking method via the software DVideo™, in a futsal context (Bueno et al. 2014).

Physical performance

The variables selected for this study were: total distance covered (m), time on the court (min), maximum velocity (km.h⁻¹) and distance covered per minute (m.min⁻¹). The percentage of distance covered in different efforts was also calculated. Five velocity bands were pre-determined based on the studies of Castagna et al. (2009) and Bueno et al. (2014): $0.0 \leq \mathbf{V1} \leq 6.0$ km.h⁻¹ (standing and walking); $6.1 < \mathbf{V2} \leq 12.0$ km.h⁻¹ (low-intensity running); $12.1 < \mathbf{V3} \leq 15.4$ km.h⁻¹ (medium-intensity running); $15.5 < \mathbf{V4} \leq 18.3$ km.h⁻¹ (high-intensity running) and; $\mathbf{V5} > 18.4$ km.h⁻¹ (sprinting). Thus, frequency of sprints, defined as frequency of V5 runs, was measured and divided by the time on the court (NS/t) (Caetano et al., 2015) in arbitrary units (a.u.).

Quantification of team organization on the court

Two variables were used for the quantification of organization on the court: team coverage area and spread (Moura, Martins, Anido, Barros, & Cunha, 2012; Moura et al., 2013). Team coverage area was calculated by considering a convex polygon with a collection of finite S points in one plane, with each point representing the 2D position of an athlete of the same team at each instant of time (Figure 3). The smaller convex polygon containing S is calculated and its vertices are a subgroup of S (Preparata & Shamos, 1985) by means of the Quickhull technique (Barber, Dobkin, & Huhdanpaa, 1996), available in the Matlab® software. This calculation was performed for each instant of time (i.e. each frame of image analyzed), considering the 2D positional matrices of four outfield athletes present on the court. For the calculation of the total team coverage area, we divided the convex polygon obtained into triangles,

and the total area represents the sum of areas of the triangles contained within the convex polygon.

Figure 3. Example of one frame with its corresponding convex polygon created with the quartet of athletes present on the court.

Figure 4. Example of one frame with the 2D positions of the quartet of athletes on the court and the Euclidian distance of each athlete with respect to the all team his mate.

Spread was measured by calculating the Euclidian distance (d) between each athlete and all the other players on their team (Figure 4). We then obtained the symmetrical matrix $D(t)$ of 4th order (i.e., four players on the court) at each instant in time. The lower triangular matrix (labelled L) from D was considered for the subsequent calculation, as D is a symmetrical matrix, and therefore d_{ij} equals d_{ji} , in other words, the element d_{P1P2} is equal to d_{P2P1} , and represents the Euclidian distance between player 1 and player 2, with the principal diagonal exhibiting values of 0 (zero) in all cases (Moura et al., 2012; Moura et al., 2013). The Frobenius norm (Golub & Van Loan, 2012) was calculated at each instant of time in order to represent the spread (Equation 1):

$$\|L(t)\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |l_{ij}|^2} \quad (1)$$

Greater values of the Frobenius norm represent a greater spread of the athletes on the court, whereas lower scores suggest that the athletes are closer to each other (Moura et al., 2012).

Technical performance

Technical performance was obtained in the DVideo environment (see for instance Moura et al., 2013) through the video recordings via scout (i.e., notational analysis), by the same rater. A total of 2,938 technical actions were recorded in both games. The total number (frequency) of passes, individual possessions, ball touches, duels, kicks and corrected passes, kicks on target (i.e., successful kicks) and duels won were recorded for each athlete (Carling & Dupont, 2011) for the first and second halves of the match, and the whole match. Only one researcher performed the analysis in order to maximize reliability and decrease potential inter-rater variability of the assessed variables (Dogramaci et al., 2015). To verify the reliability of the measurements, we selected a window of 17 minutes in one of the matches and the scout assessment was re-performed after 6 weeks, based on previous studies in futsal literature (Ré, Cattuzzo, Santos, & Monteiro, 2014). The intraclass correlation coefficient (ICC) was 1 for total kicks and kicks on target, 0.997 for total passes, 0.999

for number of ball possessions and ball touches, 0.996 for number of successful passes, 0.912 for duels won and 0.8 for total duels ($p < 0.01$). A previous futsal study reported ICC values between 0.72–0.93 when analyzing passes, dribbles and successful kicks, along with disarms and interceptions (Ré et al., 2014).

Statistical analysis

Technical performance and organization on the court are displayed as mean $\pm$ standard deviation, while physical performance variables are presented as medians (interquartile interval) (Bueno et al., 2014). Data normality was initially verified with the Shapiro-Wilk test suggesting the use of non-parametric tests. The Mann-Whitney U test was used to compare the FM and OM and also the scores obtained from the first and the second halves of each of the matches. The 95% confidence intervals (95% CI) of all differences found and effect size (ES) calculations were used to determine the magnitude of the differences (Cohen, 2013; Dogramaci et al., 2015). Statistical significance level (α) was set at 95% ($p < 0.05$) and all analyzes were performed using the software Statistical Package for Social Sciences (SPSS, version 17).

4.2.6 RESULTS

Table 1 presents the results (median $\pm$ interquartile interval) of displacement variables during the first and second halves and the whole match for both the FM and OM. When compared with the FM, distance covered per minute was significantly higher in the OM during the first half ($p < 0.01$ [95% CI: 0.36 – 22.93]) and whole match ($p = 0.03$ [95% CI: 2.22 – 17.99]).

Table 2 exhibits the results (median $\pm$ interquartile interval) of the percentage of distance covered in different intensity bands for both matches. It was verified that, compared with the OM, the percentage of distance covered in standing and walking in the first half ($p = 0.02$ [95% CI: -9.72 – -0.19]) and whole match ($p = 0.03$ [95% CI: -7.36 – -1.72]) was significantly greater during the FM. On the other hand, the percentage of distance covered in medium-intensity running in the first half ($p = 0.01$ [95% CI: -0.73 – 9.63]), second half ($p < 0.01$ [95% CI: 1.56 – 4.58]), and

whole match ($p < 0.01$ [95% CI: 0.95 – 5.36]) was greater for the OM when compared with the FM.

Table 1. Values of physical performance during the official match (OM) and pre-season friendly match (FM). Results are presented in medians (interquartile interval).

Variables	Level	First half	Second Half	Whole game
TD (m)	FM	1318.57 (781.96)	1661.61 (873.14)	2654.48 (1854.13)
	OM	1733.94 (1115.84)	1917.64 (769.43)	3191.13 (1455.50)
t (min)	FM	13.65 (8.26)	17.58 (11.46)	29.82 (21.50)
	OM	14.40 (12.59)	20.05 (12.32)	29.66 (20.56)
NS/t ratio (a.u.)	FM	0.64 (0.18)	0.75 (0.26)	0.73 (0.27)
	OM	0.75 (1.14)	0.83 (1.10)	0.92 (0.64)
V _{MAX} (km/h)	FM	26.04 (4.39)	24.46 (4.91)	27.67 (5.50)
	OM	28.16 (3.36)	25.07 (3.90)	28.16 (3.36)
D _{MIN} (m/min)	FM	95.35 (6.42)	91.18 (12.87)	94.79 (10.14)
	OM	105.91 (19.61) ^{# a}	104.18 (20.62)	103.53 (19.68) ^{# a}

TD: total distance covered; t: time on the court; NS: number of sprints; V_{MAX}: maximum velocity attained in the match; D_{MIN}: distance covered per minute; a.u.: arbitrary units.

[#] significant different values between official and friendly matches. ^a large effect size when compared with FM.

Table 2. Percentage of distance covered (%) within each of the pre-determined velocity bands for official match (OM) and pre-season friendly match (FM). Results are presented in medians (interquartile interval).

Velocity bands	Level	First Half	Second Half	Whole game
V1 (%)	FM	34.96 (5.14)	36.25 (37.62)	35.67 (6.10)
	OM	27.78 (10.15) ^{# a}	29.30 (9.20)	30.38 (8.24) ^{# a}
V2 (%)	FM	40.24 (5.36)	37.62 (5.74)	39.49 (3.07)
	OM	40.65 (6.65)	40.52 (2.41)	41.27 (3.36)
V3 (%)	FM	12.03 (1.33)	13.19 (1.88)	12.99 (1.50)
	OM	16.80 (3.68) ^{# a}	17.09 (1.88) [#]	16.41 (2.21) ^{# a}
V4 (%)	FM	5.45 (1.62)	7.03 (3.51)	6.13 (1.48)
	OM	7.56 (3.26)	8.43 (1.51)	7.51 (1.72)
V5 (%)	FM	5.96 (3.00)	5.21 (3.48)	6.15 (3.55)
	OM	5.56 (4.07)	5.31 (6.84)	5.27 (5.46)

0.0 ≤ V1 ≤ 6.0 km/h (standing and walking); 6.1 < V2 ≤ 12.0 km/h (low-intensity running); 12.1 < V3 ≤ 15.4 km/h (medium-intensity running); 15.5 < V4 ≤ 18.3 km/h (high-intensity running); V5 > 18.4 km/h (sprinting). # significant different values between official and friendly matches. ^a large effect size when compared with FM.

Compared with the FM, the OM exhibited greater team coverage area considering the first half ($p < 0.01$ [95% CI: -5.55 – 48.33]) and whole match ($p < 0.01$ [95% CI: 9.54 – 45.79]), and greater spread considering the first half ($p < 0.01$ [95% CI: 0.46 – 9.67]) and whole match ($p = 0.03$ [95% CI: 2.26 – 9.86]) (Table 3).

Table 3. Values of organization on the court variables during the official match (OM) and pre-season friendly match (FM). Results are presented in mean $\pm$ standard deviation.

	Team coverage area (m ²)		Spread (m)	
	FM	OM	FM	OM
First Half	53.17 $\pm$ 13.05	80.45 $\pm$ 16.14 ^{#a}	21.91 $\pm$ 2.8	28.01 $\pm$ 2.54 ^{#a}
Second Half	59.8 $\pm$ 17.68	73.19 $\pm$ 35.3	23.9 $\pm$ 3.42	26.68 $\pm$ 7.55
Whole game	58.51 $\pm$ 26.45	75.53 $\pm$ 30.33 ^{#b}	24.27 $\pm$ 5.33	27.11 $\pm$ 6.35 ^{#b}

significant different values between official and friendly matches. ^a large effect size when compared with FM. ^b medium effect size when compared with FM.

Tables 4 and 5 display the results of technical performance. Compared with the OM first half, significant decreases in the total number of passes ($p < 0.01$ [95% CI: 0.36 – 1.24]), possessions ($p < 0.01$ [95% CI: 0.24 – 1.25]), and ball touches ($p = 0.04$ [95% CI: 0.19 – 3.81]) per minute were observed in the second half. It was also observed that, when compared with the FM, the OM displayed greater scores in the first half in total number of passes ($p < 0.01$ [95% CI: 0.41 – 1.70]), possessions ($p < 0.01$ [95% CI: 0.37 – 1.55]), and ball touches ($p < 0.01$ [95% CI: 1.27 – 4.38]) per minute. Similar results were observed when comparing the scores obtained for the whole match, where the OM exhibited a significantly greater number of passes ($p < 0.01$ [95% CI: 0.19 – 1.04]), possessions ($p = 0.01$ [95% CI: 0.09 – 0.83]) and ball touches ($p = 0.01$ [95% CI: 0.62 – 2.66]) per minute than the FM. On the other hand, the only FM variable with a score higher than the OM was the number of duels per minute in the first half of the match ($p = 0.02$ [95% CI: -0.25 – 0.07]).

Table 4. Frequency of the execution of scout variables of technical skills during the official match (OM) and pre-season friendly match (FM), normalized by time on the court. Results are presented in mean $\pm$ standard deviation.

Skill	Level	First Half	Second Half	Whole game
Passes per minute	FM	0.9 $\pm$ 0.29	0.95 $\pm$ 0.39	0.9 $\pm$ 0.29
	OM	1.9 $\pm$ 0.38* ^{# a b}	1.1 $\pm$ 0.35	1.45 $\pm$ 0.3 ^{# b}
Possessions per minute	FM	0.97 $\pm$ 0.25	1.06 $\pm$ 0.26	1 $\pm$ 0.15
	OM	1.9 $\pm$ 0.33* ^{# a b}	1.16 $\pm$ 0.46	1.48 $\pm$ 0.32 ^{# b}
Ball touches per minute	FM	2.29 $\pm$ 0.9	2.38 $\pm$ 0.84	2.31 $\pm$ 0.63
	OM	5 $\pm$ 1.43* ^{# a b}	3.01 $\pm$ 1.28	3.85 $\pm$ 0.94 ^{# b}
Duels per minute	FM	0.45 $\pm$ 0.17 ^{# c}	0.28 $\pm$ 0.14	0.34 $\pm$ 0.14
	OM	0.24 $\pm$ 0.12	0.35 $\pm$ 0.21	0.29 $\pm$ 0.11
Kicks per minute	FM	0.07 $\pm$ 0.06	0.07 $\pm$ 0.07	0.08 $\pm$ 0.06
	OM	0.1 $\pm$ 0.09	0.12 $\pm$ 0.10	0.11 $\pm$ 0.06

* significant different values between first and second halves. [#] significant different values between official and friendly matches. ^a large effect size when compared with second half. ^b large effect size when compared with FM. ^c large effect size when compared with OM.

Table 5. Frequency of successful execution of the scout variables of technical skills during the official match (OM) and pre-season friendly match (FM), normalized by time on the court. Results are presented in mean $\pm$ standard deviation.

Skill	Level	First Half	Second Half	Whole game
Corrected	FM	0.74 $\pm$ 0.33	0.85 $\pm$ 0.33	0.79 $\pm$ 0.24
passes per minute	OM	1.75 $\pm$ 0.43* ^{# a b}	0.95 $\pm$ 0.39	1.31 $\pm$ 0.31 ^{# b}
Duels won per minute	FM	0.29 $\pm$ 0.17* ^a	0.14 $\pm$ 0.12	0.19 $\pm$ 0.12
	OM	0.12 $\pm$ 0.11 ^{# b}	0.25 $\pm$ 0.12	0.19 $\pm$ 0.09
Successfull	FM	0.04 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.04	0.04 $\pm$ 0.04
kicks per minute	OM	0.03 $\pm$ 0.04	0.08 $\pm$ 0.10	0.05 $\pm$ 0.03

* significant different values between first and second halves.[#] significant different values between official and friendly matches.^a large effect size when compared with second half. ^b large effect size when compared with friendly match.

During the OM, the frequency of successful passes decreased significantly ($p = 0.01$ [95% CI: 0.28 – 1.32]) when comparing the first and second halves of the match. Compared with the FM, a significantly greater number of successful passes per minute was observed in the OM in the first half ($p < 0.01$ [95% CI: 0.39 – 1.73]) and whole match ($p < 0.01$ [95% CI: 0.18 – 1]). However, the number of duels won per minute was greater during the FM first half than the OM first half ($p = 0.04$ [95% CI: -0.25 – 0.12]). Also, this variable (number of duels won per minute) was the only performance variable that significantly decreased from the first to the second half during FM ($p = 0.045$ [95% CI: -0.08 – 0.3]).

4.2.7 DISCUSSION

The aim of the current study was to compare a friendly pre-season match and an official in-season match regarding physical, technical, and organizational performances of a professional futsal team, and to identify possible differences in global performance (i.e. physical, technical and organizational performances) between the first and second half, in each match. Significant differences were detected between friendly pre-season (FM) and official (OM) matches, with large effect sizes found, regarding intensity of displacement on the court (distance covered per minute, percentage of distance covered in standing and walking, percentage of distance covered in moderate intensity running), organization on the court (team coverage area and spread), and technical performance (passes per minute, possession per minute, ball touches per minute, successful passes per minute). In addition, differences between halves during the OM were found only for the technical performance (i.e. total passes, possessions and ball touches, duels won and correct passes).

Mohr et al. (2003) highlighted that total distance covered and distance covered in moderate velocity are greater towards the end of the soccer season. In addition, a previous study with professional futsal athletes indicated increased physical performance in field tests including aerobic capacity (Yo-Yo IR1) and repeated sprint ability (6 bouts x 40 m), when a comparison was made between in-season and middle-end of the regular session after 17 matches (two friendly and 15 official matches) (Oliveira, Leicht, Bishop, Barbero-Alvarez, & Nakamura, 2013). Accordingly, profiles of athlete displacement during OM at the middle-end of the regular season was greater than that observed in the FM in the present study (distance covered per minute and percentage of distance covered in V3). This may partially explain the differences found in physical performance between the two matches, however should be viewed with caution, due to no significant relationship between match running performance and physiological variables (i.e., derived from aerobic fitness test) in professional well-trained futsal players (Castagna et al., 2009, Milioni, 2014).

The literature suggests that athletes undergo greater psycho-physiologic stress during an official match (Haneishi et al., 2007; Moreira, McGuigan, Arruda, Freitas, & Aoki, 2012). Organization on the court, technical and physical performances were also significantly different between the FM and OM. A key factor driving the

differences between matches, concerning the analyzed team was the requirement to win to advance to playoffs. Thus, tactical functions seemed to be reduced during the FM, with the athletes exhibiting closer distances between them and displaying lesser team coverage area. Simultaneously, distance covered per minute, percentage of the distance covered in medium-intensity running, ball involvement and success in passing were also decreased. These findings suggest interference between team tactical, technical and physical performances in a futsal context. Serrano, Shahidian, Sampaio, & Leite (2013) have already indicated that technical qualities, tactical knowledge and physical capacities are related and conditioned by each other in a futsal context. Literature has previously reported the likely dependence of team tactics on technical task execution (Bradley et al., 2011; Rampinini, Impellizzeri, Castagna, Coutts, & Wisloff, 2009; Williams & Reilly, 2000), physical performance directly interfering in team tactical performance (Moura et al., 2013), and physical performance associated with skill-related performance (Carling & Dupont, 2011) in soccer teams. However, future studies involving correlation analyzes are needed to understand more accurately the relationship between these variables in a futsal context.

After a long period of training and competitions, the team exhibited enhanced tactical and technical performances, along with enhanced physical performance. Among these variables, technical performance displayed a greater increase, observed through ball touches (40%), passes per minute (37.97%), successful passes per minute (39.69%) and correct kicks per minute (20%), while physical performance displayed a maximum improvement of 20.84% (increased time in V3), with team coverage area and spread displaying an increase of 22.53% and 9.74%, respectively. The pronounced technical performance enhancement observed was likely due to the common practice of coaches allocating a great portion of practice time to individual skill training, such as passing, kicking and dribbling (Ford, Yates, & Williams, 2010; Ré et al., 2014).

When considering OM, technical performance decreased from the first to the second half of the match. Specifically, a decreased number of total passes per minute, possession per minute, and ball touches per minute, along with successful passes per minute. These findings are in agreement with Rampinini et al. (2008), who reported decreased numbers of successful short passes, ball involvement and total successful passes during the second half of Italian Serie A league soccer matches. Despite our study not investigating futsal match-related fatigue, it is possible to assume

that a decrease in skill performance may be related to the establishment of the fatigue process (both, metabolic and neuromuscular) that is well documented in the literature (Castagna et al., 2009; Milioni, 2014; Pupo, Detanico, & Santos, 2014). However, excepting ball touches, Dogramaci et al. (2015) reported no significant changes in technical performance match-by-match during a sequence of six consecutive futsal matches. These authors concluded that incremental fatigue did not affect ball skill in futsal; however, the results were not reported between the first and second halves of the matches. The authors also alluded to the necessity of new studies verifying the acute effects on technical performance (Dogramaci et al., 2015) which were addressed by the results presented in the current study, by comparing the first and second halves,

It is known that knee joint torque production decreases after a futsal simulation (Pupo, Detanico, & Santos, 2014), suggesting that fatigue could be a factor affecting performance during a futsal match. Furthermore, Milioni et al. (2013) reported decreased lower extremity force production along with impairment in electromyography activity of the vastus lateralis muscle after a futsal simulation. Considering that the ability to maintain vigorous muscle contractions during a futsal match is likely associated with performance of technical actions during the game (Gorostiaga et al., 2009), the previously reported reduction in rate of force production during futsal practice would be related to a reduction in technical performance.

On the other hand, a well documented decrease in physical performance was not observed during the OM. Relative distance covered did not change between halves, which is not in agreement with the results observed by Bueno et al. (2014) (97.9 and 90.3 m.min⁻¹) or Barbero-Alvarez et al. (2008) (118.4 and 110.5 m.min⁻¹) in first and second halves, respectively. Castagna et al. (2009) also reported that distance covered per minute decreases during the third and fourth quarters of a 4 x 10 minute futsal simulation. Our results related to the maintenance of the percentage of distance covered within the pre-determined velocity bands are also in contrast with previous studies. Distance covered within the “high” velocity band is known to decrease together with an increase in distance covered in the “low” velocity band (Barbero-Alvarez et al., 2008; Bueno et al., 2014). Nonetheless, our results concerning the kinematic variables of displacement during OM, considering the whole game, are very similar to the findings of Bueno et al. (2014), such as total distance covered (total: 3133.2 m; first half: 1710.6 m; second half: 1635.9 m), and distribution of the percentage of distance covered within the pre-determined velocity bands (V1: 28 and 30.8%; V2: 39 and

38.7%; V3: 16.4 and 15.4%; V4: 8 and 7.5%; V5: 7.6 and 7.2%), for the first and second halves, respectively, who analyzed five official futsal matches of professional Brazilian teams (see Tables 1 and 2).

However, we would like to emphasize that the victory obtained in the OM led to the team's classification to the tournament playoffs (i.e., lead to the quarter-final round). Clemente et al. (2013) showed that in high level soccer competitions, displacement indices (such as total distance covered) are greater in teams that advanced to the playoffs compared with teams that did not advance. Interestingly, another study revealed that over a game, the stability of player and team behavior tends to occur, comparing the first and second halves (Duarte et al., 2013). Future studies should explore these data during official futsal competitions. When considering FM, we believe that the reduced game demands (i.e., low intensity) could have influenced the unchanged results between the first and second halves.

Organization on the court, measured by team coverage area and spread, was different between matches but no significant differences were observed between halves. It has been previously reported that the median frequency of the spectral analysis of team coverage area and spread of First Division Brazilian soccer teams are known to decrease (Moura et al., 2013). However, futsal displays smaller game team coverage area than soccer (Gorostiaga et al., 2009), with unlimited substitutions (Barbero-Alvarez et al., 2008; Bueno et al., 2014; Castagna et al., 2009; Dogramaci et al., 2015) and several events that can stop the game clock (Barbero-Alvarez et al., 2008; Bueno et al., 2014; Gorostiaga et al., 2009). Thus, these factors may have contributed to the stability of tactical (i.e., distribution of the athletes on the court) and physical performances observed between halves, mainly the rotation of players observed in the OM (i.e., total of 25 substitutions, 18 during second half), which it is a factor suggested to prevent performance drop (Bueno et al., 2014; Dogramaci et al., 2015).

Future studies should systematically verify whether different numbers of athletes on the court, game score or coaching verbal instructions affect tactical, technical, and physical performances of a team during official and friendly pre-season matches. Also, future studies could focus on correlating variables obtained during pre-season with success during official competitions. In the present study, results of physical, technical, and tactical performances during a futsal friendly pre-season match were reported; variables that have not been previously presented. Moreover, if future

studies report lower performance in FM than OM, as seen in our study, futsal coaches should opt to engage in pre-season tournaments as a way to approximate the pre-season preparatory training to similar competition match demands and the indices obtained in the pre-season cannot be used for the prescription of training sessions. However, the efficacy of such a proposed strategy (i.e. pre-season tournaments) requires further investigation in futsal.

We chose to use a videogrammetry method based on the DVideo automatic tracking system, due to (i) its previous use to obtain the trajectories of professional futsal players (Caetano et al., 2015; Bueno et al., 2014; Milioni, 2014; Moura et al., 2011; Vieira et al., 2015); (ii) low average error (i.e., uncertainties) related to determination of distances covered in a futsal context (0.8 – 0.93%) verified in our study and others (Bueno et al. 2014, Vieira et al., 2015) or even in soccer (0.3 – 1.4%) (Barros et al., 2007; Misuta, 2009; Moura et al., 2012; Moura et al., 2013) and (iii) GPS (Global Positioning System) and LPM (Local Position Measurement), alternative approaches which are capable of quickly obtaining and processing the data of players, i.e., physical performance (Buchheit, Allen, Poon, Modonutti, Gregson, & Di Salvo, 2014; Carling et al., 2008) to obtain almost the same information, however, has some limitations in capturing displacements in indoor soccer (i.e. futsal) during competition, due to the rules restrictions related to attachment of devices to the body of players and physical characteristics in the environment (e.g. roofs), which promotes interference in signal transmission (Caetano et al., 2015).

However, a limitation related to the methodology employed is the lower rate of automatic tracking in futsal scenarios (~50 – 56% of all processed frames) found in both the present and another study (Moura et al., 2011), than in soccer (86.1 – 95%) (Barros et al., 2007; Figueroa, Leite, & Barros, 2006b; Misuta, 2009; Moura et al., 2012; Moura et al., 2013) which leads to an increase in processing time due to the substantial amount of manual work performed by the examiner. Similar colors patterns of uniforms, luminosity variations in the environment, higher numbers of mutual occlusions situations and shadows of the players formed on the court surface, are some factors associated with a reduced automatic tracking percentage (for more details, see Misuta, 2009). Many situations of mutual occlusions were verified in both games analyzed (OM and FM).

4.2.8 CONCLUSION

Based on our results we concluded that the official competition match exhibited characteristics of higher intensity, technical involvement during the game, and tactic exertion when compared with the friendly pre-season match. Thus, the indices obtained in the pre-season cannot be used for the prescription of training sessions. The player's rotation (i.e. large number of substitutions) promotes stability in physical and tactical performances during professional futsal matches near the end of the regular season and playoffs; however, technical performance was likely affected by the high demands of the game. Therefore, the importance given to a match seems to directly influence team performance in a futsal context. Also, physical, technical, and tactical performances are likely to be mutually influenced in this sport. In addition, the use of friendly or simulated matches should be viewed with caution in future research, due to likely underestimate of global performance in this type of events. Furthermore, the conditions related to achieving high automatic tracking percentages need to be evaluated before opting for computational tracing analysis to obtain performance indicators, mainly during FM, since a long time spent analyzing the data, can result in the preseason having already finished.

4.2.9 REFERENCES

- Abdel-Aziz, K., & Karara, H. M. (1971). *Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates*. Paper presented at the ASP/UI Symposium on Close-Range Photogrammetry (Vols. 1-18). Falls Church, VA: Urbana, Illinois, USA.
- Barber, C. B., Dobkin, D. P., & Huhdanpaa, H. (1996). The quickhull algorithm for convex hulls. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 22(4), 469-483. doi: 10.1145/235815.235821
- Barbero-Alvarez, J. C., Soto, V. M., Barbero-Alvarez, V., & Granda-Vera, J. (2008). Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 26(1), 63-73. doi: 10.1080/02640410701287289
- Baroni, B. M., & Leal Junior, E. C. (2010). Aerobic capacity of male professional futsal players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 50(4), 395-399.

- Barros, R. M. L., Menezes, R. P., Russomanno, T. G., Misuta, M. S., Brandao, B. C., Figueroa, P. J., . . . Goldenstein, S. K. (2011). Measuring handball players trajectories using an automatically trained boosting algorithm. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 14(1), 53-63. doi: 10.1080/10255842.2010.494602
- Barros, R. M. L., Misuta, M. S., Menezes, R. P., Figueroa, P. J., Moura, F. A., Cunha, S. A., . . . Leite, N. J. (2007). Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(2), 233-242.
- Beato, M., Coratella, G., & Schena, F. (2014). Brief review of the state of art in futsal. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. Advance online publication.
- Bradley, P. S., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Dodds, A., Di Mascio, M., Krstrup, P. (2011). The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 29(8), 821-830. doi: 10.1080/02640414.2011.561868
- Bradley, P. S., & Noakes, T. D. (2013). Match running performance fluctuations in elite soccer: indicative of fatigue, pacing or situational influences? *Journal of Sports Sciences*, 31(15), 1627-1638. doi: 10.1080/02640414.2013.796062
- Buchheit, M., Allen, A., Poon, T. K., Modonutti, M., Gregson, W., Di Salvo, V. (2014). Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1844-1857. doi: 10.1080/02640414.2014.942687
- Bueno, M. J., Caetano, F. G., Pereira, T. J., De Souza, N. M., Moreira, G. D., Nakamura, F. Y., . . . Moura, F. A. (2014). Analysis of the distance covered by Brazilian professional futsal players during official matches. *Sports Biomechanics*, 13(3), 230-240. doi: 10.1080/14763141.2014.958872
- Caetano, F. G., Bueno, M. J., Marche, A. L., Nakamura, F. Y., Cunha, S. A., Moura, F. A. Characterisation of the sprints and repeated-sprint sequences performed by professional futsal players during official matches according to playing position (2015). *Journal of Applied Biomechanics*, 31(6), 423-429. doi: <http://dx.doi.org/10.1123/jab.2014-0159>

Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Medicine*, 38(10), 839-862.

Carling, C., & Dupont, G. (2011). Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play? *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 63-71. doi: 10.1080/02640414.2010.521945

Castagna, C., D'Ottavio, S., Granda Vera, J., & Barbero Alvarez, J. C. (2009). Match demands of professional Futsal: a case study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(4), 490-494. doi: 10.1016/j.jsams.2008.02.001

Clemente, F. M., Couceiro, M. S., Martins, F. M., Ivanova, M. O., & Mendes, R. (2013). Activity profiles of soccer players during the 2010 world cup. *Journal of Human Kinetics*, 38, 201-211. doi: 10.2478/hukin-2013-0060

Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*: Academic press.

Corrêa, U. C., Alegre, F., Freudenheim, A. M., Dos Santos, S., & Tani, G. (2012). The game of futsal as an adaptive process. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 16(2), 185-203.

Corrêa, U. C., Vilar, L., Davids, K., & Renshaw, I. (2014). Informational constraints on the emergence of passing direction in the team sport of futsal. *European Journal of Sport Science*, 14(2), 169-176. doi: 10.1080/17461391.2012.730063

Dogramac, S. N., Watsford, M. L., & Murphy, A. J. (2011). The reliability and validity of subjective notational analysis in comparison to global positioning system tracking to assess athlete movement patterns. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 852-859. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c69edd

Dogramaci, S., Watsford, M., & Murphy, A. (2015). Changes in futsal activity profiles in a multi-day tournament. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(7-8), 722-729.

- Dogramaci, S. N., Watsford, M. L., & Murphy, A. J. (2011). Time-motion analysis of international and national level futsal. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 646-651. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c6a02e
- Duarte, R., Araújo, D., Correia, V., Davids, K., Marques, P., Richardson, M. J. (2013). Competing together: Assessing the dynamics of team-team and player-team synchrony in professional association football, *Human Movement Science*, 32(4): 555-566. doi: 10.1016/j.humov.2013.01.011
- Figuerola, P. J., Leite, N. J., & Barros, R. M. L. (2006a). Background recovering in outdoor image sequences: An example of soccer players segmentation. *Image and Vision Computing*, 24(4), 363-374. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.imavis.2005.12.012>
- Figuerola, P. J., Leite, N. J., & Barros, R. M. L. (2006b). Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis. *Computer Vision and Image Understanding*, 101(2), 122-135. doi: 10.1016/j.cviu.2005.07.006
- Folgado, H., Duarte, R., Fernandes, O., & Sampaio, J. (2014). Competing with Lower Level Opponents Decreases Intra-Team Movement Synchronization and Time-Motion Demands during Pre-Season Soccer Matches. *PLoS ONE*, 9(5), e97145. doi: 10.1371/journal.pone.0097145
- Ford, P. R., Yates, I., & Williams, A. M. (2010). An analysis of practice activities and instructional behaviours used by youth soccer coaches during practice: exploring the link between science and application. *Journal of Sports Sciences*, 28(5), 483-495. doi: 10.1080/02640410903582750
- Golub, G. H., & Van Loan, C. F. (2012). *Matrix computations* (Vol. 3). Baltimore: JHU Press.
- Gómez, M. -Á., Moral, J., & Lago-Peñas, C. (2015). Multivariate analysis of ball possessions effectiveness in elite futsal. *Journal of Sports Sciences*, 33(20), 2173-2181. doi:10.1080/02640414.2015.1075168
- Gorostiaga, E. M., Llodio, I., Ibanez, J., Granados, C., Navarro, I., Ruesta, M., . . . Izquierdo, M. (2009). Differences in physical fitness among indoor and outdoor elite

male soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 106(4), 483-491. doi: 10.1007/s00421-009-1040-7

Haneishi, K., Fry, A. C., Moore, C. A., Schilling, B. K., Li, Y., & Fry, M. D. (2007). Cortisol and stress responses during a game and practice in female collegiate soccer players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 583-588. doi: 10.1519/r-20496.1

Lapresa, D., Alvarez, L., Arana, J., Garzón, B., & Caballero, V. (2013). Observational analysis of the offensive sequences that ended in a shot by the winning team of the 2010 UEFA Futsal Championship. *Journal of Sports Sciences*, 31(15), 1731-1739. doi: 10.1080/02640414.2013.803584

Makaje, N., Ruangthai, R., Arkarapanthu, A., & Yoopat, P. (2012). Physiological demands and activity profiles during futsal match play according to competitive level. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 52(4), 366-374.

Milioni, F., Santiago, P. R. P., Vieira, L. H. P., Barbieri, R. A., Gomes, F. P., Santos, J. W., . . . Papoti, M. (2013). *Effects of a simulated game on strength, electromyography and performance of the kick in futsal players*. Paper presented at the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science, Barcelona – Spain.

Milioni, F. (2014). *Associações entre, índices fisiológicos e fadiga neuromuscular com padrões de deslocamento e desempenho do chute de finalização no futsal*. Unpublished Master degree thesis, Instituto de Biociências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, Brasil.

Misuta, M. S. (2004). *Automatic tracking of soccer players trajectories using videogrametry: Method validation and results analysis*. Unpublished Master degree thesis, Faculdade de Educação Física – UNICAMP, Campinas, Brasil.

Misuta, M. S. (2009). *Analysis of the automatic tracking of players in collective sports*. Unpublished Ph.D thesis, Faculdade de Educação Física – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

- Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528. doi:10.1080/0264041031000071182
- Moore, R., Bullough, S., Goldsmith, S., & Edmondson, L. (2014). A Systematic Review of Futsal Literature. *American Journal of Sports Science and Medicine*, 2(3), 108-116.
- Moreira, A., McGuigan, M. R., Arruda, A. F., Freitas, C. G., & Aoki, M. S. (2012). Monitoring internal load parameters during simulated and official basketball matches. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 861-866. doi: 10.1519/JSC.0b013e31822645e9
- Moreno, J. H. (2001). Analisis de lós parametros espacio y tiempo em el futbol sala. La distancia recorrida, el ritmo y direccion del desplazamiento del jugador durante um encuentro de competicion: Los casos de J. Gay (defensa), C. Marrero (cierre), J. Beto (pivote), J. Limones (ala) y J. Claveria (portero). *Apunts de Educació Física y Deportes*, 65, 32-44.
- Moura, F. A., Santana, J. E., Marche, A. L., Aguiar, T. H., Rodrigues, A. C. M. A., Barros, R. M. L., & Cunha, S. A. (2011). Quantitative analysis of futsal players' organization on the court. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 11(Suppl. 2), 105-108.
- Moura, F. A., Martins, L. E., Anido Rde, O., Barros, R. M., & Cunha, S. A. (2012). Quantitative analysis of Brazilian football players' organisation on the pitch. *Sports Biomechanics*, 11(1), 85-96. doi: 10.1080/14763141.2011.637123
- Moura, F. A., Martins, L. E., Anido, R. O., Ruffino, P. R., Barros, R. M., & Cunha, S. A. (2013). A spectral analysis of team dynamics and tactics in Brazilian football. *Journal of Sports Sciences*, 31(14), 1568-1577. doi: 10.1080/02640414.2013.789920
- Oliveira, R. S., Leicht, A. S., Bishop, D., Barbero-Alvarez, J. C., & Nakamura, F. Y. (2013). Seasonal changes in physical performance and heart rate variability in high level futsal players. *International Journal of Sports Medicine*, 34(5), 424-430. doi: 10.1055/s-0032-1323720

Preparata, F. P., & Shamos, M. I. (1985). *Computational geometry: an introduction*. New York: Springer-Verlag.

Pupo, J. D., Detanico, D., & Santos, S. G. (2014). The fatigue effect of a simulated futsal match protocol on isokinetic knee torque production. *Sports Biomechanics*, 13(4), 332-340. doi: 10.1080/14763141.2014.981202

Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Azzalin, A., Ferrari Bravo, D., & Wisloff, U. (2008). Effect of match-related fatigue on short-passing ability in young soccer players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(5), 934-942. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181666eb8

Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Coutts, A. J., & Wisloff, U. (2009). Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 227-233. doi: 10.1016/j.jsams.2007.10.002

Ré, A. H. N., Cattuzzo, M. T., Santos, F. M. C., & Monteiro, C. B. M. (2014). Anthropometric characteristics, field test scored and match-related technical performance in youth indoor soccer players with different playing status. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(2), 482-492.

Rodrigues, V. M., Ramos, G. P., Mendes, T. T., Cabido, C. E., Melo, E. S., Condessa, L. A., . . . Garcia, E. S. (2011). Intensity of official Futsal matches. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2482-2487. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181fb4574

Sarmiento, H., Bradley, P., Anguera, M. T., Polido, T., Resende, R., & Campaniço, J. (2016). Quantifying the offensive sequences that result in goals in elite futsal matches. *Journal of Sports Sciences*, 34(7), 621-629. doi:10.1080/02640414.2015.1066024

Serrano, J., Shahidian, S., Sampaio, J., Leite, N. (2013). The importance of sports performance factors and training contents from the perspective of futsal coaches. *Journal of Human Kinetics*, 38, 151-160. doi:10.2478/hukin-2013-0055

Travassos, B., Araújo, D., & McGarry, T. (2011). Interpersonal coordination and ball dynamics in futsal (indoor football). *Human Movement Science*, 30(6), 1245-1259. doi:10.1016/j.humon.2011.04.003

Vieira, L. H. P. (2014). *Alterações no desempenho de chutes de finalização associados a padrões de deslocamentos durante partidas de futsal*. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, Brasil.

Vieira, L. H. P., Pagnoca, E. A., Milioni, F., Barbieri, R. A., Menezes, R. P., Alvarez, L., . . . , & Santiago, P. R. P. (2015). Tracking futsal players with a wide-angle lens camera: accuracy analysis of the radial distortion correction based on an improved Hough transform algorithm. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*. Advance online publication. doi: dx.doi.org/10.1080/21681163.2015.1072055

Vilar, L., Araújo, D., Davids, K., & Esteves, P. T. (2013). Spatial-temporal constraints on decision-making during shooting performance in the team sport of futsal. *Journal of Sports Sciences*, 31(8), 840-846. doi: 10.1080/02640414.2012.753155

Vilar, L., Araujo, D., Davids, K., Travassos, B., Duarte, R., & Parreira, J. (2014). Interpersonal coordination tendencies supporting the creation/prevention of goal scoring opportunities in futsal. *European Journal of Sport Science*, 14(1), 28-35. doi: 10.1080/17461391.2012.725103

Williams, A. M., & Reilly, T. (2000). Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 657-667. doi: 10.1080/02640410050120041

5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho versa sobre um método para investigação científica que faz parte da minha vida acadêmica, a “Utilização da videogrametria para a análise cinemática do futebol e futsal”. A videogrametria é oportuna para este propósito, pois é flexível e de alta validade ecológica, uma vez que interfere o mínimo possível no fenômeno investigado.

No Capítulo 1, foram apresentados os principais componentes que compõem uma câmera de vídeo, seus ajustes e os procedimentos para obtenção de variáveis cinemáticas por meio de vídeos. No Capítulo 2, foram apresentados quatro estudos dos quais a videogrametria foi utilizada para estudar o chute no futebol e no futsal. No Capítulo 3, foram apresentados dois estudos dos quais a videogrametria foi utilizada como método para verificar o deslocamento de jogadores de futsal em quadra.

Para realização de todos os trabalhos foi muito importante entender sobre o funcionamento do seu principal instrumento utilizado para a aquisição das variáveis cinemáticas, a câmera de vídeo. Esse conhecimento é extremamente importante para um pesquisador dessa área, pois somente assim é possível sair de uma posição de mero usuário do equipamento (técnico) para uma condição que permita solucionar os problemas e criar conhecimento (cientista).

Tal afirmação pode ser evidenciada nos seis trabalhos apresentados nesta tese. Neles, independente do material disponível (quatro tipos de câmeras utilizadas nos estudos) ou das condições apresentadas (campos de futebol ou quadras de futsal), os problemas de pesquisa foram plenamente resolvidos. Tal feito só foi possível, pois houve um profundo conhecimento de todas as etapas envolvidas e domínio dos recursos disponíveis. Um exemplo disso, é o primeiro artigo do Capítulo

3, que avaliou a aplicabilidade e confiabilidade de uma única câmera equipada com lente Grande Angular (GoPro® - câmera não convencional para análises cinemáticas) para o rastreamento e análise cinemática de jogadores de futsal.

Este trabalho foi muito importante, pois nele foi estabelecida uma parceria com pesquisadores da *Image Technology Center*, da Universidad de Las Palmas de Gran Canaria - Spain. Desta parceria, foi desenvolvido um *software* específico (*video_correction_linux.sh*) em sistema operacional do tipo Unix (sistema operativo de *software* open source inspirado pelo Unix da Bell Labs que, coincidentemente, é o mesmo laboratório onde foi inventado o CCD) que realiza de forma automática a correção da distorção de imagens captadas em câmeras com lente Grande Angular.

É notório que a videogrametria é importante para o estudo do futebol/futsal. Ela tem sido cada vez mais utilizada para o desenvolvimento destes esportes. Devido sua importância, muitas equipes têm procurado nosso laboratório para a realização de pesquisas que visam solucionar ou minimizar gargalos existentes no processo de treinamento/ensino/aprendizado. Assim, outros trabalhos que se estendem para outros esportes como, natação, handebol, basquetebol, polo aquático e triatlo, já vêm sendo realizados por nosso Laboratório (Laboratório de Biomecânica e Controle Motor - LaBioCoM). Isto só ressalta a enorme possibilidade da utilização da videogrametria como um método para a investigação do esporte.