

CÁLCULO DA ACURÁCIA NA DETERMINAÇÃO DAS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS EM UM SISTEMA DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DE JOGADORES NO FUTSAL

L. H. P. Vieira*, F. Milioni**, R. A. Barbieri**, R. P. Menezes*, E. A. Pagnoca*, M. S. Misuta***, F. A. Moura****, S. A. Cunha***, P. R. P. Santiago*

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

**Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, Brasil

***Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil

****Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil

e-mail: luizpalucci@gmail.com

Resumo: A investigação das demandas físicas de jogos de futsal por meio do rastreamento (*tracking*) computacional tem sido interesse comum em estudos da modalidade. Um modelo consagrado de rastreamento automático baseado em videogrametria que envolve principalmente a morfologia matemática para determinação de variáveis de deslocamento em esportes coletivos, como a distância total percorrida, consiste da utilização do *software* DVideo. A acurácia na utilização do sistema DVideo foi determinada em estudos envolvendo cinemática de coordenação do movimento humano em tarefas funcionais ou em tarefas esportivas, como no desempenho do chute no futsal e futebol. No entanto para o rastreamento no futsal a acurácia ainda não foi amplamente definida com o uso do *software*. O objetivo do presente estudo foi de verificar a acurácia na determinação das distâncias percorridas por jogadores no futsal com o uso do rastreamento automático no sistema DVideo. Para tanto um jogador amador de futsal deslocou-se por um percurso com distância real conhecida (920m) em uma quadra de futsal. Todos os deslocamentos foram integralmente filmados por três câmeras e posteriormente foi executado o rastreamento automático (82,36% de automatização), gerando matrizes de dados contendo coordenadas bidimensionais dos deslocamentos realizados. Em seguida, no ambiente Matlab® foi calculada a distância percorrida experimentalmente. Os resultados obtidos demonstraram que o rastreamento executado apresenta acurácia de 2,37m, precisão de 1,50m e bias de 1,83m, valores semelhantes aos encontrados com o uso do sistema no futebol. Desta forma, é possível concluir que o sistema utilizado apresenta elevada confiabilidade na determinação de variáveis de deslocamento no futsal.

Palavras-chave: Futsal, Rastreamento automático, Acurácia, Biomecânica.

Abstract: Investigation of the physical demands in futsal by means of computational tracking has been a common interest in this sport. An established model for automatic tracking is seen with the software DVideo. This software is based on videogrammetry involving the

mathematical morphology for determination of displacements in team sport such as the total distance covered. Its accuracy was determined in previous studies involving kinematic coordination of human motion during functional or sports tasks such as futsal and soccer kick performance. However, the software's accuracy has not been defined during futsal tracking. The aim of this study was to verify the accuracy in the determination of the distances covered by futsal players using the automatic tracking system in DVideo. One amateur futsal player ran for a known distance (920m) in a futsal court. Displacement was recorded with three cameras. Automatic tracking was then performed (82.36% automation), generating data arrays of two-dimensional coordinates of the displacements. Following, the experimental distance covered was calculated in Matlab®. Results showed that the automatic tracking had an accuracy of 2.37m, precision of 1.50m and bias of 1.83m. These results are similar to the results observed with the same system analyzing athlete's displacement in soccer. Thus, we conclude that DVideo has high reliability in determining displacement in futsal.

Keywords: Futsal, Automatic Tracking, Accuracy, Biomechanics.

Introdução

O futsal, em recente estudo de revisão, foi relatado como um esporte que necessita de maiores investigações voltadas para o preenchimento das lacunas de conhecimento sobre esse esporte [1]. No entanto, quando se trata da investigação do desempenho físico e tático, através de variáveis de deslocamento de jogadores durante competição, como as distâncias totais percorridas e organização em quadra, há um número considerável de estudos [2, 3, 4], e existe uma ampla gama de metodologias empregadas na determinação das variáveis de deslocamentos dos jogadores [5].

O cálculo da acurácia em sistemas de análise cinemática – uma das quatro grandes áreas de investigações da Biomecânica – é empregado

extensamente como forma de proporcionar uma interpretação mais segura sobre os dados obtidos nas investigações [6]. Um método muito acurado apresenta um elevado grau de concordância entre o resultado obtido e o fenômeno investigado [7].

O *software* DVideo [8, 9] representa um modelo consagrado de rastreamento automático de trajetórias de jogadores de esportes coletivos durante jogos ou sessões de treinamento. A avaliação da acurácia na utilização desse sistema para mensuração de deslocamentos (i. e. distâncias percorridas) no futebol revelou um percentual de automatização de 95% [10], com acurácia de 4,14m, representando uma incerteza próxima de 1% com relação à utilização do método [9] obtida através de um teste dinâmico envolvendo deslocamentos por distâncias conhecidas em um campo de futebol oficial.

Particularmente a acurácia no uso desse sistema é relatada desde estudos que se preocupam com a cinemática de coordenação de movimentos humanos em tarefas funcionais, como na marcha [11] e movimentos das costelas e vertebrae durante a respiração humana [12], até em movimentos esportivos, como na análise cinemática da mão na natação [13], e dos membros inferiores no futebol [14] e no futsal [15].

Um crescente número de estudos tem utilizado o DVideo para análise de rastreamento no futsal [como em: 2, 16]. Menezes [17] realizou um experimento na determinação da acurácia na medição de pontos estáticos em um ambiente de quadra no handebol. No entanto, a acurácia dinâmica na utilização deste sistema ainda não foi amplamente estabelecida para o futsal, um esporte ainda emergente no cenário da pesquisa científica. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi de verificar a acurácia na utilização do sistema DVideo para mensuração dos deslocamentos no futsal.

Materiais e métodos

Os procedimentos experimentais foram realizados de acordo com os termos do Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências da UNESP – Rio Claro (Protocolo nº 5069 de 18/07/2012) e em uma quadra oficial de futsal padrão FIFA (40m de comprimento X 20m de largura).

Aquisição das seqüências de imagens – Para a filmagem foram utilizadas três câmeras de vídeo digitais (SONY DCD-SR21; padrão NTSC) ajustadas a uma frequência de aquisição de 30 Hz (resolução de imagem de 720 x 480). A Figura 1 apresenta a disposição das câmeras no ambiente do protocolo experimental.

Experimento – Para determinação da acurácia na utilização do modelo de rastreamento automático no DVideo [9, 10] em uma quadra de futsal, um jogador amador (20 anos; 175 cm; 81,3Kg) percorreu por 10 vezes o percurso composto pelos trechos (A, B, C, D), nessa seqüência, como demonstra a Figura 1. Para tanto, o participante foi instruído a seguir os comandos dados pelo avaliador, em relação à intensidade de corrida em cada um dos trechos, conforme protocolo adaptado de Misuta [9] apenas em relação à medida de cada trecho.

Todos os deslocamentos durante as 10 voltas foram integralmente filmados, obtendo-se um total de 20595 quadros de imagem por câmera.

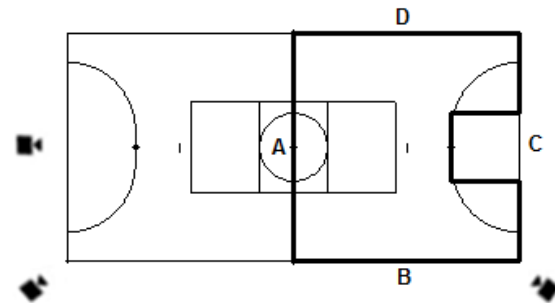


Figura 1: Ilustração do posicionamento das câmeras e do percurso definido (linhas em destaque) para o teste de acurácia dinâmico. A = B = D = 20m. C = 32m.

Tracking computacional – As seqüências de imagens foram transferidas para o computador e compactadas pelo codificador de vídeo “Indeo vídeo 5.10®”. A sincronização foi feita por identificação de um evento comum as câmeras, tido como o primeiro passo do participante no percurso. A calibração bidimensional teve como base 29 pontos da superfície da quadra de jogo com distâncias reais previamente mensuradas, definindo-se que o eixo x representaria o comprimento da quadra (longitude) e o eixo y representaria a sua largura (latitude) (Figura 2).

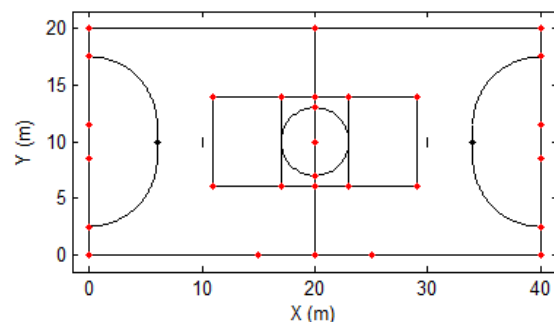


Figura 2: Ilustração dos pontos da superfície da quadra de jogo com distâncias reais previamente mensuradas utilizados para calibração e teste de acurácia estático

O passo seguinte é o procedimento de filtragem morfológica, realizado por meio de um algoritmo específico desenvolvido para o rastreamento de jogadores em esportes coletivos, baseado em morfologia matemática para separação dos elementos de interesse (jogadores) dos demais elementos restantes (como o fundo de quadra) possibilitando em grande parte a execução do rastreamento automático [17, 18, 19].

A medição dos quadros foi feita por um único experiente avaliador, e as situações que não fossem resolvidas automaticamente sendo corrigidas manualmente, com 82,36% de automatização. As matrizes de dados contendo a posição bidimensional dos jogadores a cada instante de tempo foram obtidas pela

reconstrução dos pontos através do 2D-DLT (*Direct Linear Transformation*) [20], que se encontra implementado no *software* DVideo [8]. Em ambiente Matlab® (The MathWorks Inc, Natick, MA, USA) os dados foram filtrados e suavizados (filtro digital *Butterworth* de 3ª ordem, frequência de corte de 0,4 Hz) [2]. Por meio de uma rotina específica procedeu-se com o cálculo da distância total percorrida.

Teste de acurácia dinâmica – O percurso total percorrido foi fracionado em 10 voltas, e calculou-se a distância experimental a cada volta, sendo determinada a precisão (Equação 1), o bias (ou erro sistemático, Equação 2) e a acurácia (Equação 3) das medidas feitas.

Teste de acurácia estática – Os 29 pontos estáticos utilizados para a calibração foram medidos em cada câmera por um único avaliador, desde que estivessem dentro da região de enquadramento. O processo de marcação dos pontos foi executado dez vezes em cada câmera, em três dias diferentes, sendo que ao final de cada processo de marcação o DVideo era encerrado e então o procedimento era iniciado novamente, resultado em 90 repetições desse processo (10 marcações x 3 dias x 3 câmeras). Novamente, foram comparadas as coordenadas reconstruídas devolvidas pelo DVideo em relação a cada coordenada real de cada ponto e calculadas as mesmas variáveis de erro como na determinação da acurácia dinâmica.

Cálculo da acurácia – o cálculo da acurácia na determinação dos deslocamentos no futsal e para pontos estáticos foi feito através das recomendações do estudo de Misuta [9], conforme as equações que seguem:

$$b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\mu - m_i| \quad (1)$$

$$p = \sqrt{\left(\frac{1}{N-1}\right) \sum_{i=1}^N (m_i - \bar{m})^2} \quad (2)$$

$$a = \sqrt{b^2 + p^2} \quad (3)$$

em que: b = bias. p = precisão. a = acurácia. m_i (i=1,...,N) = valor observado da medida obtida experimentalmente. \bar{m} = valor médio das N medidas. μ = valor real. N = número de repetições do experimento.

Resultados

A Tabela 1 contém os valores das variáveis de erro obtido no teste de acurácia dinâmica e os valores médios no teste de acurácia estática, para todos os pontos, que estão representados individualmente na Tabela 2. A distância total percorrida no percurso medida experimentalmente corresponde a 911,41m.

Tabela 1: Valores calculados da Acurácia, Precisão e Bias dos testes realizados.

Teste	Acurácia (m)	Precisão (m)	Bias (m)
Estático	0,21	0,15	0,14
Dinâmico	2,37	1,50	1,83

Tabela 2: Coordenadas X (CX) e Y (CY) reais, valores médios observados após as marcações (VMx e VMy), precisão (pr), bias (bi) e acurácia (ac) do teste estático.

Pontos de calibração	CX (m)	CY (m)	VMx (m)	VMy (m)	pr (m)	bi (m)	ac (m)
1	0	0	0,19	0,07	0,13	0,21	0,24
2	15,0	0	15,09	0,05	0,04	0,02	0,05
3	20,0	0	20,01	0,13	0,16	0,17	0,23
4	25,0	0	25,08	0,12	0,07	0,04	0,08
5	40,0	0	40,07	0,07	0,21	0,65	0,68
6	11,0	5,50	10,95	5,50	0,12	0,12	0,17
7	17,0	5,50	17,01	5,44	0,15	0,14	0,21
8	20,0	5,50	19,99	5,44	0,26	0,20	0,33
9	23,0	5,50	23,06	5,45	0,16	0,12	0,20
10	29,0	5,50	29,02	5,48	0,15	0,11	0,19
11	0	8,50	0,38	8,45	0,10	0,27	0,28
12	0	11,5	0,18	11,60	0,11	0,15	0,19
13	20,0	10,0	19,99	9,93	0,15	0,13	0,20
14	40,0	8,50	40,27	8,42	0,21	0,09	0,23
15	40,0	11,5	40,18	11,51	0,19	0,07	0,21
16	29,0	14,5	29,03	14,49	0,08	0,07	0,11
17	23,0	14,5	23,11	14,56	0,20	0,17	0,26
18	20,0	14,5	20,00	14,57	0,13	0,13	0,18
19	17,0	14,5	16,96	14,57	0,11	0,12	0,16
20	11,0	14,5	10,86	14,56	0,13	0,17	0,21
21	0,00	20,0	0,28	19,89	0,10	0,21	0,23
22	20,0	20,0	20,09	19,92	0,12	0,15	0,19
23	40,0	20,0	39,44	19,79	0,24	0,19	0,31
24	20,0	7,00	19,91	6,98	0,12	0,12	0,17
25	20,0	13,0	19,98	12,99	0,11	0,09	0,14
26	0	2,50	0,10	2,44	0,08	0,08	0,12
27	0	17,5	0,19	17,51	0,10	0,13	0,17
28	40,0	2,50	39,93	2,51	0,23	0,06	0,23
29	40,0	17,5	39,82	17,69	0,29	0,11	0,31

Discussão

Os principais achados deste estudo são que o sistema empregado de rastreamento automático apresenta confiabilidade na determinação das distâncias percorridas no futsal. Ilustrando, quando se leva em conta as dimensões da quadra de jogo (40 x 20m), com sua diagonal medindo aproximadamente 44,72m, o erro calculado a partir do valor de acurácia estática (0,21m) representa um erro absoluto de 0,47% em relação à distância máxima da quadra. Levando-se em conta o valor da distância total calculada experimentalmente (911,41m) e o tamanho real do percurso (920m), verificamos um erro absoluto de 0,93%.

No presente estudo verificamos índices de acurácia, precisão e bias no teste dinâmico (Tabela 1) ligeiramente inferiores, mas que concordam com os achados de Misuta [9], com o rastreamento automático no DVideo aplicado ao futebol, em um campo de 110 x 75m de dimensões, encontrou valores de 4,14m, 1,15m e 3,98m para as mesmas variáveis respectivamente. Em estudo sobre o handebol Menezes [17] encontrou valores de acurácia, precisão e bias para o teste estático de 0,18m, 0,08m e 0,16m, respectivamente, valores semelhantes aos encontrados para o futsal (Tabela 1).

No tratamento dos dados, os parâmetros do filtro *Butterworth* (i.e. a ordem e a frequência de corte) foram ajustados com o auxílio do teste de acurácia dinâmica, comparando-se os valores obtidos experimentalmente com os valores reais, algo que vem sendo amplamente

citado [9, 17], e que não deve se restringir somente em estudos com o futsal.

Alguns pontos de calibração apresentaram um alto valor de erro associado às medições (como o ponto 5) (Tabela 2). Ressalta-se nesse sentido que a metodologia adotada pode não ser adequada para a análise de problemas como comparar a posição relativa entre jogadores quando a distância entre eles estiver dentro da margem de erro estático (21 cm) [9].

Conclusão

Através dos procedimentos metodológicos adotados neste estudo concluímos que o sistema utilizado apresenta elevada confiabilidade na determinação de variáveis de deslocamento no futsal.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo nº 2013/08302-6) pelo suporte financeiro.

Referências

- [1] Moore R, Bullough S, Goldsmith S, Edmondson L. A systematic review of futsal literature. *American Journal of Sports Science and Medicine*. 2014; 2(3):108-116.
- [2] Moura FA, Santana JE, Marche AL, Aguiar TH, Rodrigues ACMA, Barros RML, Cunha SA. Quantitative analysis of futsal players' organization on the court. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*. 2011; 11(Suppl. 2):105-108.
- [3] Barbero-Alvarez JC, Soto VM, Barbero-Alvarez V, Granda-Vera J. Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *Journal of Sports Sciences*. 2008; 26(1): 63-73.
- [4] Makaje N, Raungthai R, Arkarapanthu A, Yoopat P. Physiological demands and activity profiles during futsal match play according to competitive level. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2012; 52(4):366-374.
- [5] Rodrigues VM. Intensidade de jogos oficiais de futsal [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2008.
- [6] Santiago PRP, Moura FA, Lima Júnior RS, Barbieri FA, Cunha SA. Cálculo de acurácia em sistemas de cinemática para análise do movimento humano. In: Motriz: Revista de Educação Física (Online). 2007; 13(2):S212-S213.
- [7] Vuolo JH. Fundamentos da Teoria de Erros. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda; 1996.
- [8] Barros RML, Brenzikofer R, Leite NJ, Figueroa PJ. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*. 1999; 15(1-2):79-86.
- [9] Misuta MS. Rastreamento automático de trajetórias de jogadores de futebol por videogrametria: validação do método e análise dos resultados [dissertação]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2004.
- [10] Barros RML, Misuta MS, Menezes RP, Figueroa PJ, Moura FA, Cunha SA, Anido R, Leite NJ. Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2007; 6(2):233-242.
- [11] Araújo AGN, Andrade LM, Barros RML. Sistema para análise cinemática da marcha humana baseado em videogrametria. *Fisioterapia e Pesquisa*. 2005; 2(1):3-10.
- [12] Sarro KJ, Silvatti AP, Aliverti A, Barros RM. Proposition and evaluation of a novel method based on videogrammetry to measure three-dimensional rib motion during breathing. *Journal of Applied Biomechanics*. 2009; 25(3):247-252.
- [13] Silvatti AP, Cerveri P, Telles T, Dias FAS, Baroni G, Barros RML. Quantitative underwater 3D motion analysis using submerged video cameras: accuracy analysis and trajectory reconstruction. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. 2012; 16(11):1240-1248.
- [14] Santiago PRP, Moura FA, Barbieri FA, Lima Júnior RS, Cunha SA. Relação do padrão cinemático de movimento com desempenho do chute em cobranças de falta no futebol. *Revista Brasileira de Biomecânica*. 2007; 8(15):54-60.
- [15] Barbieri FA, Gobbi LTB, Santiago PRP, Cunha SA. Performance comparisons of the kicking of stationary and rolling balls in a futsal context. *Sports Biomechanics*. 2010; 9(1):1-15.
- [16] Milioni F. Associações entre, índices fisiológicos e fadiga neuromuscular com padrões de deslocamento e desempenho do chute de finalização no futsal [dissertação]. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; 2014.
- [17] Menezes RP. Análise cinemática das trajetórias de jogadores de handebol obtidas por rastreamento automático [dissertação]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2007.
- [18] Figueroa PJ, Leite NJ, Barros RML. Background recovering in outdoor image sequences: an example of soccer players segmentation. *Image and Vision Computing*. 2006; 24(4):363-374.
- [19] Barros RML, Menezes RP, Russomano TG, Misuta MS, Brandão BC, Figueroa PJ, Leite NJ, Goldenstein SK. Measuring handball players trajectories using an automatically trained boosting algorithm. 2010. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. 2010; 14(1):53-63.
- [20] Abdel-Aziz YI, Karara HM. Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates. In: Proceedings of the ASP/VI Symposium on Close-Range Photogrammetry; 1971; Urbana, Illinois. 1971. p. 1-18.