

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

**ANÁLISE CINEMÁTICA DAS TRAJETÓRIAS
DOS JOGADORES DE FUTEBOL**

RAFAEL POMBO MENEZES

**CAMPINAS
2003**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO MOTORA
LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA BIOMECÂNICA**



ANÁLISE CINEMÁTICA DAS TRAJETÓRIAS DOS JOGADORES DE FUTEBOL

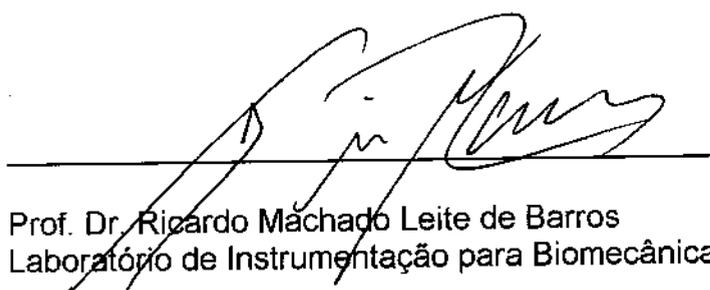
Monografia apresentada como exigência parcial
à obtenção de graduação junto à Faculdade de
Educação Física da Universidade Estadual de
Campinas na modalidade de Bacharelado em
Treinamento em Esportes.

**ALUNO:
RAFAEL POMBO MENEZES**

**ORIENTADOR:
RICARDO MACHADO LEITE DE BARROS**

Campinas
2003

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros
Laboratório de Instrumentação para Biomecânica – FEF – UNICAMP



Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins
Laboratório de Fisiologia do Exercício – FEF – UNICAMP

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais MARCO e FLORA e a meu irmão RODOLFO por terem sempre me apoiado em quase tudo que pensava. Por terem me dado um respaldo emocional para resolver problemas nas decisões cotidianas. A educação que me deram, que foi o ponto-chave para minhas escolhas e decisões, bem como o respeito para com os outros profissionais, sempre procurando criticar e elogiar nos momentos certos, como meus pais fizeram.

A quase toda a TURMA 00 (meus companheiros de classe) que conviveram comigo no dia-a-dia da Faculdade, onde através de seus questionamentos, brincadeiras e críticas, fizessem com que as idéias fossem surgindo. Em especial a alguns amigos e amigas: Clodoaldo, Tubaina, Bigorna, Alexandre, Malinha, João Paulo, Marcel, Cadu, Vareta, Nizay, Alan, Jundiaí, Chamberlaw, Ananda, Renata, Juzinha, Tati e Sílvia.

A todos da turma da CASA DOS MANOS (Lucas, Márcio, Mineiro, Diego, Tocotó, Renato, Rodrigo, Serjão, Klebão e agregados) que fizeram com que eu presenciasse e, principalmente, vivesse momentos inesquecíveis, superando alguns problemas cotidianos e de relacionamentos.

Ao grande mestre e querido Professor Ricardo por ter tido paciência, desde o início, para me ensinar, corrigir, criticar e incentivar quando precisei. Por me apresentar à uma área de conhecimento tão grande e tão prazerosa de ser trabalhada.

Aos Professores Barreto, Sérgio Cunha e Luciano por terem me incentivado a estar sempre em busca de novos conhecimentos, com críticas que me levaram a refletir um pouco mais sobre os enfoques da pesquisa.

Aos professores da Faculdade de Educação Física, que me forneceram embasamento para que buscasse a solução para todas as dúvidas, e senso crítico para encarar os desafios da profissão.

Aos amigos do LIB (Milton, Karine, Tiago, Pascual, Angélica, Amanda e todos os outros) por me fazerem retornar cada dia com mais convicção de que

esse é o lugar para se fazer novas amizades e aprofundar os conhecimentos na área que escolhi.

Às equipes de handebol e futsal com as quais trabalhei, onde me relacionei com muitas pessoas diferentes, fazendo novas amizades e abrindo um pouco mais o horizonte de entendimento das práticas esportivas competitivas.

Aos meus amigos, em especial, Du, André, Juliano, Thiago Malinha, Felipe, Michel e Herman com os quais passei momentos hilários durante o curso, em festas, corridas do pingüim, helicópteros e bate-papos na cantina.

À algumas amigas também (elas não poderiam faltar): Isabella (FEAGRI – 00), Carol (FAU – PUCCAMP), Roberta (Enfermagem – 00), Júlia (BIO), Cinthia, Milena, Roberta e Carol Baiana (FEF).

Aos tempos áureos da Atlética da FEF (AAAAGFB) que me fizeram conhecer um pouco mais sobre a representatividade dos alunos e capacidade de tomar decisões por uma faculdade. Aprendi muito quando passei por ela em 2001 com pessoas maravilhosas que faziam tudo pelos alunos com empenho máximo.

Às pessoas que tiveram a brilhante idéia de se juntar e montar o BRIX, palco de cenas inesquecíveis.

A todas as outras pessoas que passaram pela minha vida durante a Faculdade.

DEDICATÓRIA

Velhos e Novos Tempos

Bom o tempo em que vivia embaixo da saia da mamãe,
Onde quase tudo que precisava ela satisfazia quase prontamente.
Quando ia passear de bicicleta com meu pai de manhãzinha,
Quando o sol ainda estava por nascer

Bom o tempo em que podia pensar no 'grande monstro' do vestibular,
Primeiro grande desafio da minha vida, novo, quase um garoto,
Muitos não acreditavam, outros apenas limitavam-se a zombar,
Mas as pessoas que confiavam estavam bem mais perto do que pensava

Bom o tempo em que ia para a faculdade sem nenhuma preocupação,
Que encontrava os amigos e perguntava apenas como foi o final de semana,
Ou que festa teríamos para ir hoje ou todas as outras do mês,
Ou apenas discutíamos sobre as monótonas aulas ou coisa parecida

Bom o tempo em que entrávamos na sala de aula sem pensar
No que aquilo representaria para nós lá na frente, após formar-se,
E quando perguntavam 'o que você vai fazer depois de se formar?'
Vinha logo um 'Não sei, ainda falta muito tempo' em tom irônico

Mas esse 'tempo' agora chegou, não há mais ocasiões para se preocupar
Se deixei de aproveitar alguma coisa durante a faculdade,
Seja alguma festa, desavença com alguém ou um tópico mal argüido

Agora realmente começa o desafio da vida, batalhar, trabalhar
Todos em busca de um espaço num mundo cão, que devora a tudo
Onde amigos, como os que você poderia ter feito durante a Faculdade,
São cada vez mais raros e 'mascarados', colegas superficiais

Mas a vida ensina muito a cada dia, basta saber julgá-la e entendê-la
Para poder ter, cada vez mais, consciência de tudo que se faça,
De poder ter clareza de tudo que se pensa, e coragem para dessa forma agir
Mas nunca deixando para trás todos os erros e acertos, brigas e amizades,
Não podendo esquecer de nada que já ocorreu, pois essa é a experiência de vida
Que ensina em pequenos atos muito mais do que se pensa.

22/10/2003 – Aniversário do meu pai
Rafael Pombo Menezes

RESUMO

Esta pesquisa objetiva a realização de uma análise cinemática das trajetórias dos jogadores de futebol. Para isso foram utilizados o Sistema Dvideow, em desenvolvimento no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica, utilizado na descrição de movimentos humanos, e o software Matlab para o desenvolvimento de rotinas que proporcionem a construção dos gráficos para visualização e posterior análise dos dados.

A aquisição das imagens foi realizada durante partida válida pelo Campeonato Brasileiro de 2001, entre as equipes do Guarani F.C. e Santa Cruz F.C. Foram utilizadas quatro câmeras digitais, posicionadas no ponto mais alto da arquibancada, fixadas por tripés, dispostas da forma em que cada câmera enquadrasse seqüencialmente cada quarto do campo.

As imagens foram transferidas para o computador com a utilização das placas de captura, sendo armazenadas em formato AVI. Foram realizadas as etapas de processamento, segmentação e tratamento dos dados, de acordo com metodologia proposta por Figueroa et al. (2003). Desta forma foi possível a realização do rastreamento automático, que consiste em localizar cada jogador quadro a quadro na seqüência de imagens, com uma freqüência de 7,5 Hz, sendo as coordenadas armazenadas em uma matriz de dados.

A partir dessa matriz de dados foram analisadas variáveis como trajetórias, distâncias percorridas em função do tempo e velocidades desenvolvidas por todos os jogadores durante toda a partida. Também puderam ser analisadas, por exemplo, em qual zona do campo determinado jogador deslocou-se com maior freqüência, qual a distância total percorrida por ele durante toda a partida ou em um intervalo de tempo, assim como sua distribuição de velocidade associada à trajetória.

SUMMARY

This research aims to realize a kinematical analysis of the trajectories of soccer players. To do so, the Dvideow System, which is being developed in the Instrumentation for Biomechanics Laboratory, was used in the human movements prediction. The Matlab software was also used for the development of patterns that provide graphic constructions for visualization and later data analysis.

The images acquisition was realized during a 2001 Brazilian Championship match, between the Guarani F. C. and the Santa Cruz F. C. teams. Four digital cameras were used. They were placed in the highest part of the seats, fixed by a three-legged support, in a disposition in which each camera focused a quarter of the field, sequentially.

The images were transferred for the computer with the utilization of capture plates, and they were stored in AVI formats. The processing, segmentation and treatment of the data were realized according to the Figueroa et al (2003) proposal. So that, it became possible to realize the automatic tracking, which consists in localizing each player scene to scene in the image sequences, in a 7,5 Hz, storing the coordinates in a data matrix.

From this matrix, variants, as the trajectories, crossed distances according to the time and the velocity developed for all the players during the match, were analyzed. There was also the possibility to analyze, for example, in which field zone an specific player has dislocated himself with a bigger frequency; which is the total distance crossed by this player during the whole match or in a time interval, and also the velocity distribution associated to the trajectory.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA	1
CAPÍTULO II – OBJETIVO	10
CAPÍTULO III – METODOLOGIA	11
CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS E LOCAL DE FILMAGEM	11
MATERIAIS E MÉTODOS	11
<i>Aquisição das Imagens</i>	12
<i>Calibração das Câmeras e Reconstrução 2D das Imagens</i>	14
<i>Transferência das Imagens</i>	15
<i>Processamento</i>	16
Segmentação das Imagens	16
Rastreamento dos Jogadores	18
<i>Tratamento dos Dados</i>	19
CAPÍTULO IV – APRESENTAÇÃO DAS ROTINAS DE ANÁLISE	21
ARQUIVOS E ROTINAS	21
<i>Arquivos</i>	21
<i>Rotinas</i>	22
Funções Gerais e Parâmetros de Entrada	22
Função campo	23
Função traj	23
Funções para Determinação das Trajetórias dos Jogadores	24
Função trajxy	24
Função tp	25
Função pcomp	25
Funções para Cálculo de Distância Percorrida	28
Função dist	29
Função interv	30
Função distxtempo	30
Funções para o Cálculo da Velocidade Desenvolvida	30
Função velxtime	31
Função trajveloc	31
CAPÍTULO V – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	33
<i>Análise das trajetórias apresentadas</i>	33
Deslocamentos do mesmo jogador no 1º e 2º tempo	35
Deslocamentos de jogadores de mesma posição	37
Análise pelas componentes principais	39
<i>Cálculo das distâncias percorridas</i>	45
Cálculo da distância percorrida pelos jogadores de uma mesma equipe ou de equipes diferentes	46
Evolução da distância percorrida pelos jogadores ao longo da partida	47
<i>Cálculo das velocidades desenvolvidas</i>	48
Curvas de velocidade dos jogadores	49
Análise das velocidades dos jogadores associadas às trajetórias	50
CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

CAPÍTULO I – Introdução e Revisão de Literatura

Atualmente o futebol se tornou motivo de investigação de diversas áreas do conhecimento, fato este percebido em Congressos científicos recentes. Por se tratar de um esporte complexo, influenciado tanto por aspectos psicológicos quanto fisiológicos e biomecânicos, pesquisas são realizadas com o intuito de explicar ou quantificar o que ocorre durante as partidas.

Nos jogos coletivos, onde os jogadores podem movimentar-se por todas as regiões do campo de jogo, como é o caso do futebol, inúmeras ações são realizadas simultaneamente em diversos locais do campo por diferentes jogadores. O surgimento dos sistemas de notação objetivam fornecer informações sobre as ações (podendo estas serem pré-selecionadas) e deslocamentos de uma equipe ou de determinado jogador, podendo ser tanto quantitativamente quanto qualitativamente.

As análises de algumas variáveis apresentadas pelos jogadores durante as partidas se tornaram de fundamental importância para que treinadores e preparadores físicos promovam ajustes em suas equipes a fim de explorar ao máximo o potencial de seus atletas. Este fato motivou a realização desta pesquisa, que objetiva o desenvolvimento de ferramentas de análise de trajetórias (ocupação de espaços), distâncias percorridas e velocidades apresentadas por todos os jogadores durante uma partida.

Hughes (1993) constatou que a grande dificuldade a respeito da quantificação e qualificação das ações dos jogadores de futebol era analisar e gravar, de forma clara e objetiva, alguns eventos ocorridos durante uma partida, de acordo com uma análise individualizada dos jogadores.

Os primeiros sistemas que surgiram para esse tipo de análise foram os chamados sistemas de notação manual, que consistiam em alguns observadores diante do jogo anotarem, numa folha de papel (podendo esta ser um desenho do campo, uma folha quadriculada ou simplesmente uma tabela de entrada de dados), todos os eventos que aconteciam e, dependendo da análise a ser feita, a posição do campo onde essas análises ocorriam. Com os avanços tecnológicos foram introduzidos o uso de computadores, câmeras de vídeo e aparelhos de GPS, tratados posteriormente.

Esses sistemas de notação manual passaram, após um tempo, a utilizar os recursos de vídeo. Essa utilização foi de suma importância, pois caso ocorresse dúvida ou se algum lance fosse perdido pelo anotador, este podia voltar a fita e observar o lance novamente, proporcionando uma quantidade maior de informações, assim como mais precisão nas notações.

Reilly e Thomas (1976) registraram e analisaram a intensidade e frequência de diversas atividades durante algumas partidas de futebol da primeira divisão inglesa. Eles combinaram o uso da notação manual com um gravador de áudio, o que lhes permitiu maiores detalhes acerca da movimentação dos jogadores de diferentes posições. Os dados inseridos no gravador de áudio serviram para facilitar a identificação dos jogadores e das ações por estes realizadas quando os

dados fossem analisados. Taylor e Hughes (1988) demonstraram que essa entrada de dados através do áudio, com a introdução de dados de voz, pode ser aplicada a qualquer computador.

Esse sistema também foi utilizado também por Withers et al. (1982) para analisar os padrões de movimento de jogadores de futebol profissionais da Austrália. Tanto este estudo quanto o de Reilly e Thomas (1976) apresentaram que, da distância total percorrida em uma partida, 2% era realizada com posse de bola (condução de bola).

Uma das vantagens do sistema de notação manual é o fato de ser realizado com baixo custo, pois pode ter como material básico apenas caneta e papel, além de não requerer o aprendizado de códigos e rotinas que são utilizadas quando tratamos esses dados no computador. Os sistemas mais complexos de notação manual extraem uma quantidade maior de dados de uma partida, porém necessitam de mais pessoas para anotarem e mais tempo para serem processados.

Houve então a introdução dos computadores como material de auxílio às metodologias que vinham surgindo e às pesquisas que foram desenvolvidas. Franks (1983) configurou um teclado num micro-computador, de forma a se parecer com o layout de um campo de futebol, além de mostrar um programa que registrava a frequência com que algumas ações eram produzidas.

Church e Hughes (1987) desenvolveram um sistema de notação computadorizado que permitia analisar apenas as ações realizadas pelos jogadores (tais como passes, chutes, cruzamentos e etc) durante as partidas de futebol, utilizando um teclado por eles desenvolvido, que possuía um pad sensível

ao toque, programado para ser reconhecido pelo computador. Utilizou-se menos tempo para aprender a operar o sistema além de proporcionar uma entrada de dados mais rápida e precisa. Esse mesmo teclado, juntamente com o sistema de hardware, foram utilizados por Hughes et al. (1988), porém estes desenvolveram outro software para analisar as finais da Copa do Mundo de 1986. Lewis e Hughes (1988) analisaram apenas jogadas de ataque, com a mesma metodologia, a fim de examinar a correlação entre os padrões de ataque de equipes bem-sucedidas e mal-sucedidas.

Partridge et al. (1990) conectou à televisão, ao computador e à impressora, um painel digitalizador que transferia seus comandos para o computador, realizando o "scout" de algumas partidas da Copa do Mundo de 1990.

Erdmann (1991) adaptou à tela da televisão uma folha quadriculada, que era utilizada para transcrever os pontos correspondentes ao jogador na tela para essa folha, sendo o jogo gravado e reproduzido quadro a quadro, produzindo desta forma um estudo cinemático do posicionamento desses jogadores.

Filmagens de jogadores profissionais, semiprofissionais e amadores da Liga Irlandesa foram realizadas por Donoghue et al. (2001), com a utilização de uma filmadora portátil. Após a realização das filmagens dois observadores independentes faziam anotações a respeito das ações dos jogadores. Esses observadores produziam dados que eram registrados em fitas, que posteriormente eram introduzidas no computador a fim de comparar, através de um programa desenvolvido para essa finalidade, os dados produzidos em busca de uma margem de erro entre esses observadores. Foi feita uma análise qualitativa dos deslocamentos dos jogadores durante uma partida, dividindo os deslocamentos

em caminhadas, corridas para trás, para frente e lateralmente, tanto em ritmo lento quanto acelerado e até períodos de repouso.

D'Ottavio e Tranquilli (1993) nos traz dados de alguns autores sobre a quantificação das distâncias percorridas. Para melhor visualização esses foram tabulados da seguinte forma:

Tabela 1 - Quantificação da distância por alguns autores

Autor	Distância média (m)
Reilly e Thomas	8680
Withers	11527 *
Saltin	10900
Anzil	**

* Analisou 20 jogadores australianos

** Diferenciou por posições: defensor central – 7759m; lateral – 8245m; meio-campo – 8905m; atacante – 8397m. Valores mínimos e máximos entre 7069m e 10921m.

Intille e Bobick (1995) realizaram um estudo de rastreamento de jogadores de futebol americano, com a utilização de câmeras, onde alguns problemas foram encontrados como, por exemplo, as imagens dos brasões das equipes no centro do campo atrapalhavam o rastreamento e identificação dos jogadores. Eles usaram um sistema em que os jogadores eram analisados individualmente, com regiões de contorno ao redor destes. Os algoritmos básicos por eles utilizados foram dispostos da seguinte forma: a) os jogadores e objetos do campo foram localizados inicialmente, b) as imagens fechadas das regiões ao redor dos jogadores foram computadas para o quadro atual, c) cada pixel dentro de cada região da imagem fechada foi designado para um dos objetos dentro dessa imagem, d) características específicas foram usadas para construir um modelo (ou padrão) para rastrear cada jogador e, e) os jogadores foram rastreados nos

quadros seguintes usando os modelos descritos anteriormente. No quadro seguinte essa operação se repete, a partir do item b.

Porém nesse trabalho os autores não quantificaram resultados de distâncias percorridas, apenas verificaram alguns erros de rastreamento, pois as câmeras não eram fixas, portanto sujeitas aos erros manuais do câmera-man, tais como a movimentação da câmera e a utilização do zoom, o que, segundo o autor, dificultava a determinação de um ponto de referência. O câmera-man se situou no ponto mais alto do estádio de forma a abranger o maior número possível de jogadores.

Taki et al (1996) propuseram um sistema que avaliasse os deslocamentos de uma equipe de futebol durante uma partida utilizando câmeras S-VHS fixadas ao longo da linha lateral. O eixo óptico da câmera foi posicionado perpendicularmente à linha lateral. Essa análise foi feita seguindo algumas etapas: a) as imagens atuais da movimentação do jogo foram captadas e digitalizadas por diversas câmeras; b) os objetos estáticos, tais como as linhas do campo, foram extraídos da imagem; c) os objetos em movimento, tais como jogadores, árbitros e a bola foram rastreados; d) as imagens das posições dos objetos em movimento de cada câmera foram "fundidos" (unidos); e) a movimentação da equipe como um todo foi avaliada de acordo com os deslocamentos dos jogadores e; f) os resultados foram visualizados na forma de animação.

Para o rastreamento uma parte do corpo de cada jogador foi localizada manualmente no primeiro quadro servindo de modelo inicial para o jogador. Os jogadores são rastreados quadro a quadro fazendo uma correlação com o modelo. Cada modelo é renovado a cada quadro. Enquanto o rastreamento é processado

para a movimentação de um jogador pode ocorrer alguma falha, tal como a oclusão desse jogador com outro jogador, exigindo uma correção manual.

Os autores analisaram a movimentação de determinada equipe e como os jogadores dessa equipe interagiam de forma a ocupar determinados espaços do campo. Foram feitas relações entre a movimentação dos atacantes e dos defensores de forma a obterem êxito na jogada. Porém os autores não quantificaram as distâncias percorridas pelos jogadores e nem a distribuição das trajetórias durante a partida, a análise de trajetórias ocorreu de forma a observar a movimentação ataque x defesa.

Needham e Boyle (2001) realizaram um estudo com o futsal que objetivou produzir uma rotina que automaticamente rastreasse os atletas, e que identificasse a posição real desses no campo de jogo para a realização de um procedimento de análise posicional, assim como reconhecer se esses estão correndo, chutando a bola ou envolvidos em qualquer outra ação. A câmera foi fixada no fundo da quadra, atrás e acima do gol.

Os autores sentiram a necessidade de utilizar o zoom das câmeras em alguns momentos quando, por exemplo, a diferença da luminosidade dificultava a determinação dos vetores de movimentação. Com isso o processo de segmentação correto tornou-se mais difícil. Eles notaram que os objetos deveriam apresentar bordas e texturas visíveis para uma segmentação precisa.

Hennig e Briehle (2000) desenvolveram um método de rastreamento dos jogadores através da utilização de aparelhos de GPS. Este aparelho que era utilizado apenas como instrumento de navegação por barcos, aviação e até mesmo por carros foi utilizado para registrar a distância e a velocidade dos

deslocamentos dos jogadores. O GPS foi preso no corpo dos jogadores profissionais e amadores, de diferentes posições, por intermédio de uma fita, que passava as informações para o computador.

Atualmente esse sistema de monitoramento de movimentos humanos através do GPS vem sendo utilizado por grandes equipes de futebol brasileiras durante as sessões diárias de treinamento, tanto para o cálculo da distância percorrida quanto da velocidade desenvolvida.

Choi et al. (1997) propôs uma metodologia semelhante à do Sistema Dvideow (utilizado neste estudo). Eles tinham como objetivos determinar uma metodologia de rastreamento eficiente e precisa, tanto dos jogadores quanto da bola. Foram utilizados processos de “extração” e reconhecimento do campo pelo computador, digitalizações e segmentação das imagens, assim como filtros de imagem. Alguns problemas nos são enunciados e descritos por esse estudo acerca do rastreamento, tais como: a sobreposição dos jogadores, o contato da bola com os jogadores e o tamanho reduzido da bola na imagem.

Segundo Shearer et al. (2001) os algoritmos de rastreamento devem transformar da melhor forma possível as imagens a serem analisadas, de forma que estas sejam claras e forneçam o máximo de dados necessários. Esses algoritmos sofrem com problemas tais como: a) variação na iluminação, b) mudança do tamanho do objeto devido ao movimento em relação ao plano da imagem, c) mudança do tamanho do objeto devido à sua própria rotação e, d) reflexão da superfície.

Pers et al. (2002) realizaram um estudo de rastreamento em atletas de handebol, em uma quadra de dimensões 40m x 20m utilizando duas câmeras

(PAL S-VHS, com frequência de gravação de 25Hz e 384x288 pixels – salvos em arquivos MPEG). Estas foram fixadas no teto do ginásio, sendo uma para cada metade da quadra, fornecendo imagens convexas, como mostradas na fig.1. As imagens convexas foram transformadas em imagens planas com a aplicação de operações matemáticas.

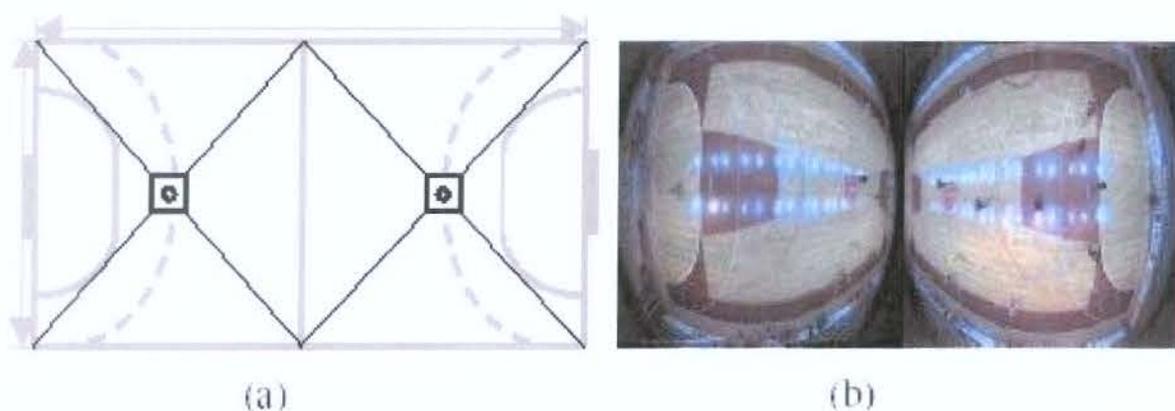


Fig. 1 - Em (a) temos a disposição das câmeras durante a filmagem, e em (b) a imagem fornecida por cada câmera

Figuerola et al. (2003) propuseram uma metodologia para análise automática dos movimentos humanos – Sistema Dvideow – que foi utilizado nesta pesquisa para a análise dos deslocamentos dos jogadores de futebol, descrito no Capítulo III.

CAPÍTULO II – Objetivo

Esta pesquisa tem como objetivo a realização de uma análise das variáveis cinemáticas das trajetórias dos jogadores de futebol durante uma partida. As variáveis analisadas são:

- trajetórias em função do tempo;
- distância percorrida em função do tempo;
- componentes principais das trajetórias;
- velocidade em função do tempo;
- velocidade associada às trajetórias.

CAPÍTULO III – Metodologia

CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS E LOCAL DE FILMAGEM

A filmagem foi realizada do local mais alto da arquibancada do Estádio do Guarani F.C., na cidade de Campinas, na qual as câmeras foram fixadas em pontos pré-determinados de acordo com metodologia descrita no próximo item.

Foram analisados os jogadores da equipe de futebol profissional do Guarani F.C. e do Santa Cruz F.C., assim como o árbitro da partida.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Sistema Dvideow é utilizado na análise automática dos movimentos humanos e possui em sua estrutura uma gama de ferramentas que podem ser aplicadas às pesquisas que se relacionam com a estimativa de movimentos humanos (Barros et al. 1999), tais como movimentos respiratórios, análise de marcha e preensão manual, como vêm sendo desenvolvidos estudos no Laboratório.

Esse Sistema exige um aparato composto pelo Sistema Dvideow, em desenvolvimento no LIB – em Visual C++, e pelos seguintes equipamentos: micro-computadores, filmadoras e placas de captura (que fazem a transferência de

imagens da câmera para o computador), o que nos proporcionam os processos subsequentes de processamento e segmentação das imagens.

O Sistema Dvideow nos permite a realização de uma análise automática das imagens, podendo o operador intervir em situações em que o rastreamento automático não esteja sendo eficaz, como no caso do futebol onde há a oclusão de um ou mais jogadores. Nesta pesquisa este sistema foi utilizado como plataforma principal para a realização do rastreamento dos jogadores, que fornece os dados do posicionamento destes durante toda a partida.

Para que o tratamento e análise de dados possam ocorrer é necessária a realização de alguns processos como: calibração das câmeras, transferência, processamento e segmentação das imagens.

Aquisição das Imagens

Foi realizada uma coleta de dados no estádio do Guarani F.C. (Brinco de Ouro da Princesa) na cidade de Campinas (SP), na partida entre Guarani F.C. x Santa Cruz F.C., válida pelo Campeonato Brasileiro de Futebol de 2001.

Para isso foram utilizadas seis filmadoras digitais, da marca JVC, modelo GR-DVL 9500, fixadas por tripés no ponto mais alto da arquibancada. A disposição dessas câmeras foi feita da seguinte maneira: o campo foi dividido em quatro partes, onde cada câmera focalizava uma parte, e as duas câmeras que restaram ficaram responsáveis por focalizar cada grande área, visto que este é um local onde ocorre, com maior frequência, a oclusão dos jogadores (fig.2).



Fig. 2 - Interface do Sistema Dvideow

Das 6 câmeras posicionadas durante a aquisição dos dados, foram utilizadas apenas as imagens fornecidas por quatro delas (responsáveis por cada quarto do campo – câmeras 1, 2, 3 e 4), sendo excluídas as câmeras responsáveis pelas imagens das grandes áreas (câmeras 5 e 6), como demonstrado na fig. 3.



Fig. 3 - Câmeras utilizadas no rastreamento. Câmera 1 no canto superior esquerdo, câmera 2 no canto superior direito, câmera 3 no canto inferior esquerdo e câmera 4 no canto inferior direito.

Calibração das Câmeras e Reconstrução 2D das Imagens

O primeiro procedimento a ser adotado na utilização do sistema é a calibração das câmeras. Assim que as câmeras forem posicionadas, um conjunto de coordenadas espaciais conhecidas deve ser registrado por todas as câmeras da filmagem. Após a realização da calibração (descrita adiante neste item) a posição, foco ou orientação das câmeras não podem ser alterados (Barros et al. 1999).

Essa calibração das câmeras é feita com base na proposta de Abdel-Aziz Karara apud Misuta (2001), conhecida como DLT (Direct Linear Transformation),

onde as equações básicas para a reconstrução tridimensional de coordenadas, ou DLT, são:

$$\begin{aligned} (n_1^k - n_3^k x_i^k) X_i + (n_4^k - n_6^k x_i^k) Y_i + (n_7^k - n_9^k x_i^k) Z_i + n_{10}^k - x_i^k &= 0 \\ (n_2^k - n_3^k y_i^k) X_i + (n_5^k - n_6^k y_i^k) Y_i + (n_8^k - n_9^k y_i^k) Z_i + n_{11}^k - y_i^k &= 0 \end{aligned}$$

Esse sistema de equações é aplicado duas vezes, onde na primeira aplicação há a quantificação dos parâmetros de transformação, ou calibração; já na segunda aplicação ocorre a reconstrução propriamente dita. Para a calibração das câmeras os valores x_i e y_i são as coordenadas de tela do i -ésimo ponto de referência para cada k . Para os casos 3D as coordenadas espaciais do i -ésimo ponto de referência são dados por X_i , Y_i e Z_i ; e os 11 parâmetros de transformação para a k -ésima câmera, a serem determinados, são dados por n_h^k ($h=1,2,\dots,11$); já para os casos 2D a reconstrução é feita apenas para as coordenadas X e Y (Barros et al. 1999).

Transferência das Imagens

A transferência das imagens das câmeras para o computador foi realizada através das placas de transferência de imagens (ou placas de captura), padrão IEEE1394. Essas imagens são armazenadas no formato de vídeo AVI (Audio Video Interleaved), sob uma frequência de aquisição de 30Hz, ou 30 quadros por segundo.

Processamento

O processamento das imagens engloba as etapas de segmentação das imagens e rastreamento automático dos jogadores.

Os dados obtidos na digitalização das imagens foram processados nos computadores do LIB, dotados de processadores da marca Pentium (Pentium III, 700 MHz), apresentando um mínimo de 128mb de memória (valor tido como mínimo suficiente para que os procedimentos de captação e processamento das imagens fossem realizados).

Devido à grande quantidade de informações a ser capturada pelo computador, trata-se de um processo que consome tempo, além de exigir uma ótima qualidade da imagem, com riqueza de detalhes, haja visto que a frequência de captura foi de 30Hz (sendo o rastreamento realizado a 7,5Hz, descrito mais adiante), a fim de uma obtenção de dados mais completa a respeito do rastreamento dos jogadores.

Segmentação das Imagens

O processo denominado de segmentação, implementado no Sistema Dvideow, consiste em separar (ou segmentar), em uma região, uma determinada imagem de seu respectivo fundo, a fim de otimizar o processamento. A localização do objeto (neste caso o jogador) é realizada através de conceitos e operações matemáticas aplicadas ao processamento de imagens, segundo metodologia

proposta por Barros et al (1999). O processo de segmentação consiste de duas etapas: extração dos jogadores e formação dos clusters.

A extração dos jogadores é realizada em algumas etapas onde temos: a) separação da região do campo em relação ao restante da imagem (placas de propaganda, arquibancada, bandeirinha, gandulas, banco de reservas, etc.); b) obtenção do campo de futebol sem os jogadores (campo vazio), e; c) extração dos jogadores em relação ao fundo (campo) utilizando o campo vazio.

Nesse processo utiliza-se morfologia matemática para a formação e obtenção dos *blobs* (mostrados na fig. 4), definida por Barros et. al. (1999), que leva em consideração o relevo topográfico definido por cada jogador na imagem.



Fig. 4 – Apresentação dos *blobs* na imagem com seus respectivos contornos

Rastreamento dos Jogadores

Dentro dessa interface é realizado o rastreamento dos jogadores, que consiste na identificação e rotulação desses contornos dos jogadores, que servem para definir cada jogador presente na imagem, sua posição na tela, seu tamanho e cor. O rastreamento foi feito de forma automática durante o maior período de tempo, porém em algumas situações o rastreamento manual foi utilizado, como em situações de escanteio (onde ocorreu a sobreposição de alguns jogadores na imagem) ou quando o jogador (especialmente os laterais) atingiam velocidades de deslocamento altíssimas na transição entre a defesa e o ataque.

Todos os jogadores foram rastreados durante os 90 minutos da partida (referentes ao primeiro e segundo tempos), onde cada tempo foi rastreado separadamente. Cada etapa de jogo (45 minutos) foi dividida em tempos de 15 minutos (totalizando 3 períodos de 15 minutos) com uma frequência de 7,5 Hz (6750 quadros em 15 minutos), devido à memória exigida para carregar um tempo inteiro.

Na fig. 5 temos a representação de parte do rastreamento de alguns jogadores, onde cada ponto corresponde a um quadro da seqüência de imagens.



Fig. 5 – Rastreamento do jogador na interface do Sistema Dvideow

Os números indicados com o fundo em vermelho ou azul indicam a respectiva rotulação determinada pelo operador, onde cada uma dessas cores difere as duas equipes.

Tratamento dos Dados

Consiste na realização da filtragem dos dados brutos, objetivando a eliminação de ruídos da imagem durante a aquisição (suavização), bem como a construção de gráficos e rotinas para análise desenvolvidos em ambiente Matlab.

Para a suavização dos dados foi utilizado o filtro digital *Butterworth*, unidimensional (aplicado duas vezes – separadamente para as coordenadas x e

y), com parâmetro de filtragem de 0.1, que representa uma frequência de corte de 0.375 Hz, como proposto por Misuta et al. (2003).

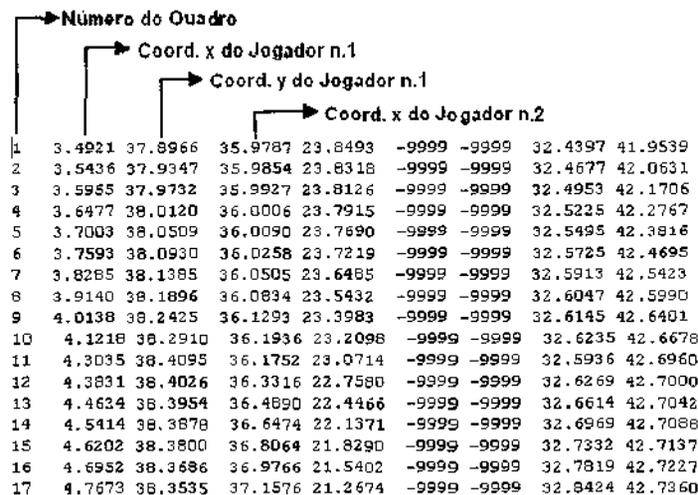
Os dados do posicionamento de todos os jogadores são armazenados em uma matriz utilizada nesta pesquisa para a determinação das trajetórias, distâncias percorridas e velocidades desenvolvidas por todos os jogadores. Foram desenvolvidas algumas rotinas em ambiente Matlab que permitiram visualizar esses dados graficamente (trajetórias) e numericamente (distâncias e velocidades), e que serão descritas no capítulo seguinte.

CAPÍTULO IV – Apresentação das Rotinas de Análise

ARQUIVOS E ROTINAS

Arquivos

As funções desenvolvidas têm como entrada de dados os arquivos em formato .2d. Esses arquivos .2d são compostos por linhas e colunas (matrizes), onde a primeira coluna corresponde ao número do quadro de gravação; a segunda e terceira colunas correspondem às coordenadas cartesianas x e y, respectivamente, do jogador de número 1; a quarta e quinta colunas correspondem às coordenadas cartesianas x e y do jogador número 2 e assim sucessivamente (fig. 6). A primeira linha dessa matriz corresponde ao ponto em que o jogador se encontrava no primeiro quadro da filmagem.



1	3.4921	37.8966	35.9787	23.8493	-9999	-9999	32.4397	41.9539
2	3.5436	37.9347	35.9854	23.8318	-9999	-9999	32.4677	42.0631
3	3.5955	37.9732	35.9927	23.8126	-9999	-9999	32.4953	42.1706
4	3.6477	38.0120	36.0006	23.7915	-9999	-9999	32.5225	42.2767
5	3.7003	38.0509	36.0090	23.7690	-9999	-9999	32.5495	42.3816
6	3.7593	38.0930	36.0258	23.7219	-9999	-9999	32.5725	42.4695
7	3.8285	38.1385	36.0505	23.6485	-9999	-9999	32.5913	42.5423
8	3.9140	38.1896	36.0834	23.5432	-9999	-9999	32.6047	42.5990
9	4.0138	38.2425	36.1293	23.3983	-9999	-9999	32.6145	42.6401
10	4.1218	38.2910	36.1936	23.2098	-9999	-9999	32.6235	42.6678
11	4.3035	38.4095	36.1752	23.0714	-9999	-9999	32.5936	42.6960
12	4.3831	38.4026	36.3316	22.7580	-9999	-9999	32.6269	42.7000
13	4.4634	38.3954	36.4890	22.4466	-9999	-9999	32.6614	42.7042
14	4.5414	38.3878	36.6474	22.1371	-9999	-9999	32.6969	42.7088
15	4.6202	38.3800	36.8064	21.8290	-9999	-9999	32.7332	42.7137
16	4.6952	38.3686	36.9766	21.5402	-9999	-9999	32.7819	42.7227
17	4.7673	38.3535	37.1576	21.2674	-9999	-9999	32.8424	42.7360

Fig. 6 - Estrutura do arquivo de formato .2d

Rotinas

Algumas rotinas foram desenvolvidas em ambiente Matlab a fim de facilitar esse tratamento de dados e embasar a análise dos dados, ou seja, auxiliar na interpretação do comportamento das variáveis cinemáticas de todos os jogadores durante a partida. Essas rotinas servirão de base para a análise das variáveis propostas e serão descritas brevemente.

As funções serão divididas de acordo com o tipo de variável que for analisada.

Funções Gerais e Parâmetros de Entrada

Caracterizam-se por serem as rotinas utilizadas pela maioria das funções desenvolvidas. Englobam as funções *campo*, *traj* e *trajxy*.

Todas as funções apresentam parâmetros de entrada que são comuns, denominados da seguinte forma:

- *file*: matriz que armazena os dados do posicionamento dos jogadores;
- *pl*: número do jogador a ser analisado;
- *p*: parâmetro de filtragem (*Butterworth*), com valor de entrada de 0.1;
- *ti*: tempo inicial da análise;
- *tf*: tempo final da análise;
- *cor*: cor da plotagem da trajetória do jogador.

Função campo

Esta função é constituída pela plotagem (marcação num diagrama ou gráfico de coordenadas conhecidas) de diversos vetores, com a escala de acordo com o tamanho do campo, que constituem, em seu conjunto, no campo projetado em forma de um gráfico. Esta função serviu como um pano de fundo para a plotagem das trajetórias, onde através do comando *hold on* essa imagem do campo é fixada para que fossem “desenhadas” as trajetórias dos jogadores em cima dela (fig. 7).

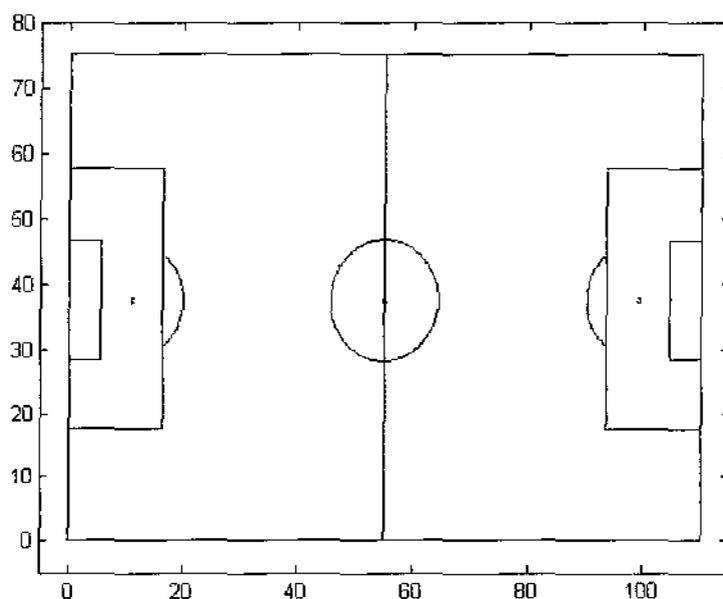


Fig. 7 - Campo onde são plotadas as trajetórias

Função traj

Apresenta-se no seguinte formato: $[traj] = traj (file,pl)$, onde ao entrar com essas duas informações (arquivo e número do jogador) temos como parâmetro de

retorno o gráfico com a trajetória bruta do jogador (sem filtragem de dados) do arquivo inteiro (fig. 8), ou seja, as coordenadas 2D da trajetória em função do tempo.

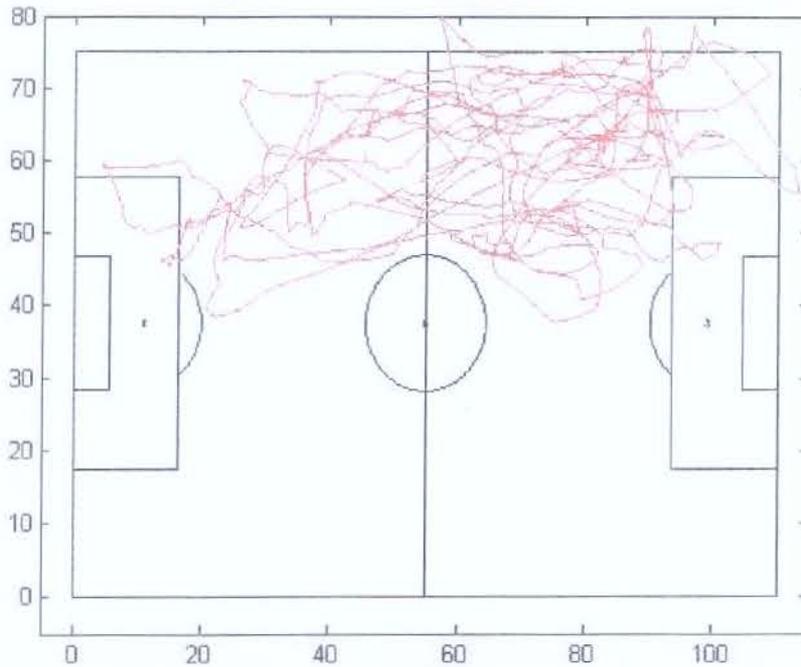


Fig. 8 - Trajetória do atleta sem utilização da filtragem

Funções para Determinação das Trajetórias dos Jogadores

Função trajxy

Possui o formato $[trajxy, cx, cy] = trajxy(file, pl, p, cor)$. Podemos perceber que agora existem três parâmetros de retorno: *trajxy*, *cx* e *cy*. *Trajxy* se refere à variação da posição do jogador nos eixos x e y, plotando-os em dois gráficos diferentes; *cx* e *cy* referem-se às coordenadas x e y do posicionamento do jogador nos eixos x e y, respectivamente, com um parâmetro de filtragem definido por *p*.

Função tp

Esta função foi criada com a finalidade de estipular um determinado intervalo de tempo de observação do comportamento topológico do jogador em questão. Apresenta-se no seguinte formato: $[tempo] = tp (file,pl,ti,tf)$. Temos agora como parâmetros de entrada a matriz de dados, o número do jogador e os tempos inicial e final da análise.

O parâmetro de retorno desta função será o tempo inicial e final de observação do jogador, bem como o valor desse intervalo de tempo, feita com simples comando de subtração do maior tempo pelo menor tempo. Por exemplo, se observamos o jogador número 2 do início da partida até os 5 minutos do primeiro tempo, o valor de retorno será: tempo inicial = 0 min., tempo final = 5 minutos, intervalo de tempo = 5 min.

Função pcomp

A análise das componentes principais dos deslocamentos dos jogadores de futebol é uma forma de representar, resumidamente, a distribuição das trajetórias apresentadas pelos jogadores em dois eixos ortogonais entre si, referenciados no próprio campo.

A primeira componente principal é representada por um eixo no espaço, gerando uma nova variável do conjunto de dados original; a segunda componente principal é representada por um outro eixo no espaço, ortogonal ao primeiro,

também gerando uma nova variável. Para encontrar a componente principal foi utilizada a função *princomp* do Matlab, que apresenta como parâmetro de entrada uma matriz de duas colunas que representam as coordenadas dos vetores no gráfico. Essa função nos retorna os valores dos dois vetores das componentes principais (autovetores – ortogonais entre si, que representam a primeira e segunda componentes principais com valores referenciados à origem do sistema cartesiano), e os autovalores (que demonstram a proporção entre o comprimento de cada eixo), como demonstrado na fig. 9.

```

PC =
    -0.9747    0.2237
     0.2237    0.9747
latent =
    519.9314
     79.1671

```

Coordenadas do vetor da primeira componente principal
Coordenadas do vetor da segunda componente principal
Proporção entre o tamanho do eixo da primeira e segunda componente principal

Fig. 9 - Valores de retorno da função *princomp* do Matlab

Com os autovalores e autovetores conhecidos, foi desenvolvida a função *pcomp*, que apresenta o seguinte formato: *pcomp (file,pl,p,cor)*, tendo como parâmetros de entrada a matriz de dados, o número do jogador, o parâmetro de filtragem e a cor de plotagem. Esta função foi desenvolvida com o objetivo de fornecer o gráfico da representação dessas componentes principais, onde são comparados os padrões de movimentação de um jogador entre o primeiro e segundo tempos da partida.

Conhecendo os vetores de deslocamento dos jogadores, identificou-se sua mediana que, ao ser somada aos valores das coordenadas da primeira e segunda

componentes principais, fez com que a mediana passasse a ser a origem desses vetores. Também foi encontrado o desvio-padrão dos dois eixos.

O tamanho do eixo foi calculado multiplicando-se o produto entre autovalor e desvio-padrão pela subtração entre o vetor da componente principal e a média, com o objetivo de estar mantendo a direção do tamanho do vetor resultante, onde temos:

$$PC1 = (\vec{u} - \vec{o}) * (DPx * avx);$$

$$PC2 = (\vec{v} - \vec{o}) * (DPy * avy)$$

- PC1 = tamanho do eixo da primeira componente principal;
- PC2 = tamanho do eixo da segunda componente principal;
- \vec{u} = autovetor em x;
- \vec{o} = origem (mediana);
- DPx = desvio-padrão em x;
- avx = autovalor para x;
- \vec{v} = autovetor em y;
- DPy = desvio-padrão em y;
- avy = autovalor para y.

Os autovalores para x e y são calculados como sendo o valor de cada autovalor dividido pela soma dos dois autovalores, ou seja:

$$avx = \frac{av1}{\sum av}; \quad avy = \frac{av2}{\sum av}, \text{ onde } av1 \text{ e } av2 \text{ são os autovalores para a}$$

primeira e segunda componentes principais, respectivamente, e $\sum av$ é a soma dos autovalores av1 e av2.

Funções para Cálculo de Distância Percorrida

São funções que objetivam o cálculo da distância percorrida pelos jogadores, tanto bruta quanto suavizada. Essa distância percorrida (d) é a somatória das distâncias entre todos os pontos da trajetória em um plano, calculada da seguinte forma:

$$d = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}, \text{ onde cada quadro apresenta o vetor}$$

correspondente ao posicionamento do jogador naquele instante. No quadro seguinte temos um outro vetor indicando o posicionamento do jogador naquele quadro e assim por diante. Para o cálculo da distância total temos a somatória dessas distâncias entre os vetores de quadros subseqüentes, de onde diminui-se uma (1) unidade, pois essa distância é calculada até o último ponto (por exemplo, no total de 6000 quadros – distribuídos em linhas na matriz –, temos a distância entre 5999 quadros).

Temos o valor $i=1$, que representa o primeiro quadro da filmagem e n como o número de quadros (representando o limite da soma, ou seja, do primeiro ao último quadro). Os valores x_i e y_i correspondem às coordenadas do quadro i e x_{i+1} e y_{i+1} correspondem às coordenadas do quadro subseqüente ao quadro i . É feito o cálculo da distância entre esses dois vetores, que é a distância percorrida entre os quadros i e $i+1$. A cada cálculo dessa distância temos sua somatória, onde no final do número de quadros teremos a distância total percorrida pelo jogador.

Na trajetória suavizada o cálculo ocorre da mesma forma descrita acima, porém são feitos baseados no processo de suavização, onde foi utilizado o filtro digital *Butterworth* (descrito anteriormente).

Função *dist*

A função apresenta o seguinte formato: $[d, dsuav, cx, cy] = dist(file, pl, p, cor)$.

Onde os parâmetros de retorno são d (retorna o valor da distância da trajetória bruta), $dsuav$ (retorna o valor da distância suavizada pelo filtro de valor p), cx e cy (retornam as coordenadas x e y da trajetória suavizada do jogador em questão).

Seu exemplo está ilustrado na fig. 10.

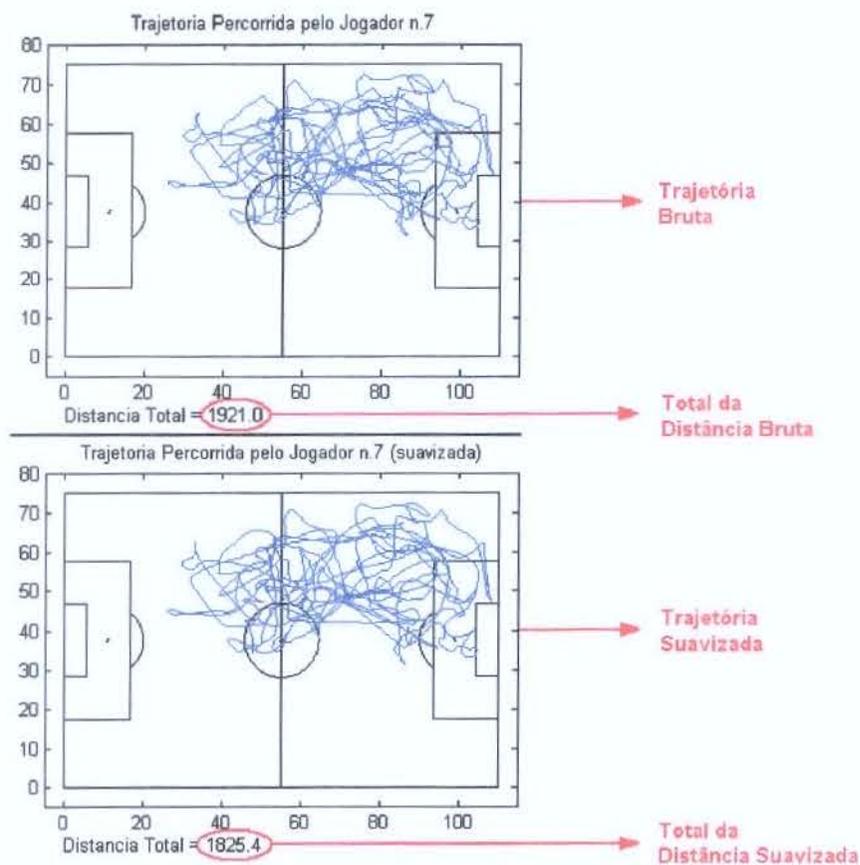


Fig. 10 - Totalização das trajetórias bruta e suavizada

Função *interv*

Apresenta uma função semelhante à função *tp*, porém permite comparar as trajetórias bruta e suavizada e respectivos cálculos de distâncias percorridas. Apresenta-se no seguinte formato: $[int, cx, cy] = interv (file, pl, p, ti, tf, cor)$, na qual os parâmetros de entrada são a matriz de dados, o número do jogador, o parâmetro de filtragem, os tempos inicial e final da análise e a cor de plotagem.

Função *distxtempo*

Esta função foi desenvolvida para a plotagem de um gráfico que demonstra o aumento da distância percorrida ao longo do tempo da partida. Apresenta o seguinte formato: $[dxt, vet] = distxtempo (file, pl, p, cor)$, na qual os parâmetros de entrada são a matriz de dados, o número do jogador, o parâmetro de filtragem e a cor de plotagem. Os valores de retorno são o gráfico da progressão da distância percorrida e o vetor dessa distância, na qual no eixo x temos a representação do tempo e no eixo y da distância acumulada.

Funções para o Cálculo da Velocidade Desenvolvida

Outra variável analisada nesta pesquisa é a velocidade, definida como sendo a taxa de variação do deslocamento de uma partícula em relação ao tempo, ou seja, é o tempo gasto por determinado jogador para percorrer uma determinada distância.

O cálculo da velocidade foi realizado da seguinte forma:

$$\vec{v} = \frac{\vec{r}_{i+1} - \vec{r}_i}{t_{i+1} - t_i}, \text{ onde } \vec{r} \text{ representa o vetor posição (x,y) e a velocidade}$$

apresenta-se como a taxa de variação da distância percorrida ($\vec{r}_{i+1} - \vec{r}_i$) em função do tempo ($t_{i+1} - t_i$), ou a primeira derivada da relação espaço x tempo.

A análise da variável velocidade também é muito importante para podermos estudar determinado lance ou realizar a comparação entre os picos de velocidade atingidos por determinado jogador no início e final da partida, por exemplo.

Função velxtime

Esta função é apresentada no seguinte formato: *[velsuav] = velxtime (file,pl,ti,tf,p)*, apresentando como parâmetro de entrada a matriz de dados do posicionamento dos jogadores, o número do jogador, os tempos inicial e final e o parâmetro de filtragem a ser utilizado, retornando o gráfico da curva da velocidade em função do tempo.

Função trajveloc

Função criada com o objetivo de demonstrar o cálculo da variação de velocidade associada à trajetória, apresentando a trajetória percorrida pelos jogadores diferenciada, em cada trecho, por cores que representam determinadas faixas de velocidade. É apresentada no seguinte formato: *[velsuav] = trajveloc*

(file,pl,p,ti,tf), como parâmetro de entrada temos a matriz dados, o número do jogador a ser avaliado, o parâmetro de filtragem, os tempos inicial e final de análise.

CAPÍTULO V – Apresentação dos Resultados

A análise dos dados visa fornecer recursos, através de tabelas de dados e gráficos, tanto para treinadores quanto preparadores físicos. Serão demonstrados os contextos de aplicação de cada tipo de análise para que se possa relacionar com a aplicação prática, analisando os efeitos do treinamento (físico ou tático). Os dados que aqui serão analisados provêm da coleta de dados realizada e serão demonstrados com o auxílio das funções desenvolvidas na etapa de tratamento de dados em ambiente Matlab, e têm por objetivo a otimização desse processo de análise.

Misuta et al (2003) realizaram um teste para verificar a validação do método empregado nesta pesquisa para a determinação das distâncias percorridas pelos jogadores, obtendo resultados que mostraram a viabilidade de aplicação do método proposto, tendo como valores de acurácia ± 23 cm na determinação da posição e 1,4% na determinação da distância percorrida.

Serão demonstrados e analisados nesta etapa três tipos de variáveis: as trajetórias, as distâncias percorridas e as velocidades desenvolvidas por cada jogador durante toda a partida ou em intervalos de tempo pré-determinados.

Análise das trajetórias apresentadas

A descrição das trajetórias tem por objetivos apresentar ao treinador da equipe analisada o perfil dos deslocamentos dos jogadores da sua equipe, durante

toda partida ou em intervalos de tempo selecionados, podendo proporcionar, desta forma, uma análise do comportamento tático que toda a equipe ou determinados jogadores vêm apresentando ao longo das partidas, assim como o perfil tático da equipe adversária.

Este tipo de análise vem por demonstrar a trajetória apresentada por determinado jogador durante dado período de tempo da partida. Foi utilizada a função tp , descrita no capítulo anterior.

Nesse tipo de representação podemos analisar a ocupação dos espaços pelo mesmo jogador durante intervalos diferentes da partida, bem como a ocupação dos espaços por jogadores de equipes diferentes e que atuam na mesma posição, como exemplo os laterais direitos de ambas as equipes.

Na fig. 11 temos a demonstração da trajetória apresentada por dois jogadores da mesma equipe e que desempenham funções semelhantes dentro do esquema tático.

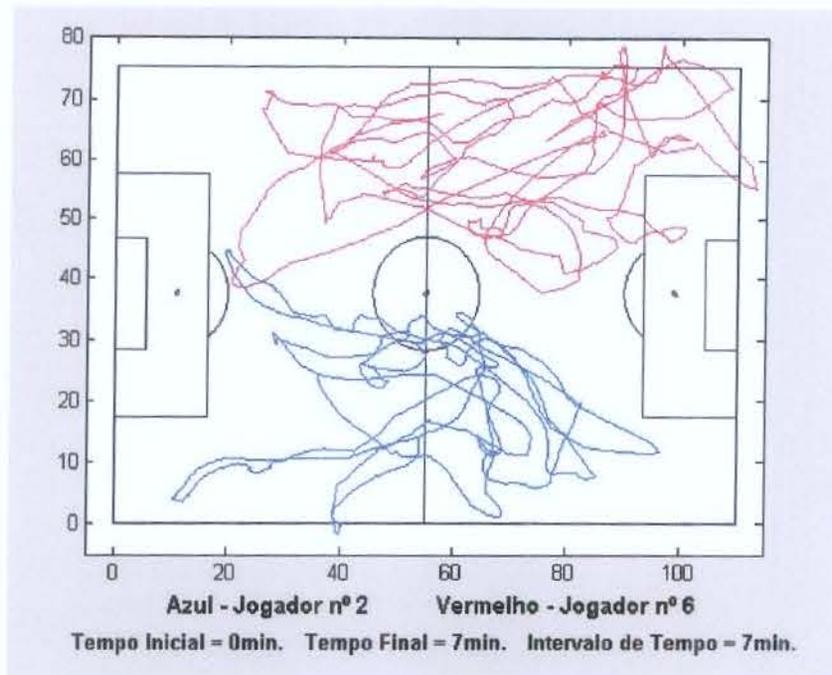


Fig. 11 - Plotagem da trajetória de um lateral direito (em azul) e de um lateral esquerdo (em vermelho) durante 7 minutos de partida.

A partir das variações desse gráfico apresentado podemos realizar análises variadas da ocupação de espaços ou zonas do campo por todos os jogadores da partida, tais como:

Deslocamentos do mesmo jogador no 1º e 2º tempo

Um mesmo jogador pode desenvolver funções distintas dentro do mesmo esquema tático nos dois períodos da partida, ocupando de formas diferentes a mesma zona do campo, ou até mesmo ocupando zonas diferentes do campo.

Este tipo de análise de deslocamentos pode ser muito útil para treinadores e preparadores físicos para relacionar o rendimento da sua equipe no primeiro e segundo tempos, a fim de verificar, por exemplo, se determinado jogador atuou

mais ofensivamente ou defensivamente em um período da partida em relação ao outro período.

Na fig.12a temos a trajetória de um jogador durante os 15 minutos iniciais da partida e na fig.12b temos a trajetória desse mesmo jogador nos 15 minutos finais do primeiro tempo. Nota-se na fig.12b que o jogador posicionou-se mais para o centro do campo e de forma bem distribuída entre ataque e defesa (a equipe atacava em direção ao lado direito do gráfico) em relação à fig.16a, onde o mesmo jogador deslocou-se com maior intensidade pela lateral do campo, porém apresentando um comportamento mais ofensivo.

Podemos concluir que no exemplo da fig. 12a a equipe do jogador em questão apresentava um comportamento mais ofensivo, devido à maior permanência desse jogador no ataque (trata-se de um lateral esquerdo). Já na fig. 12b podemos concluir que a equipe oscilava entre ataque e defesa, porém o jogo concentrou-se do lado direito do campo, haja visto que este jogador adotou um posicionamento mais central, provavelmente para cobrir um zagueiro que foi auxiliar nos lances do lado direito.

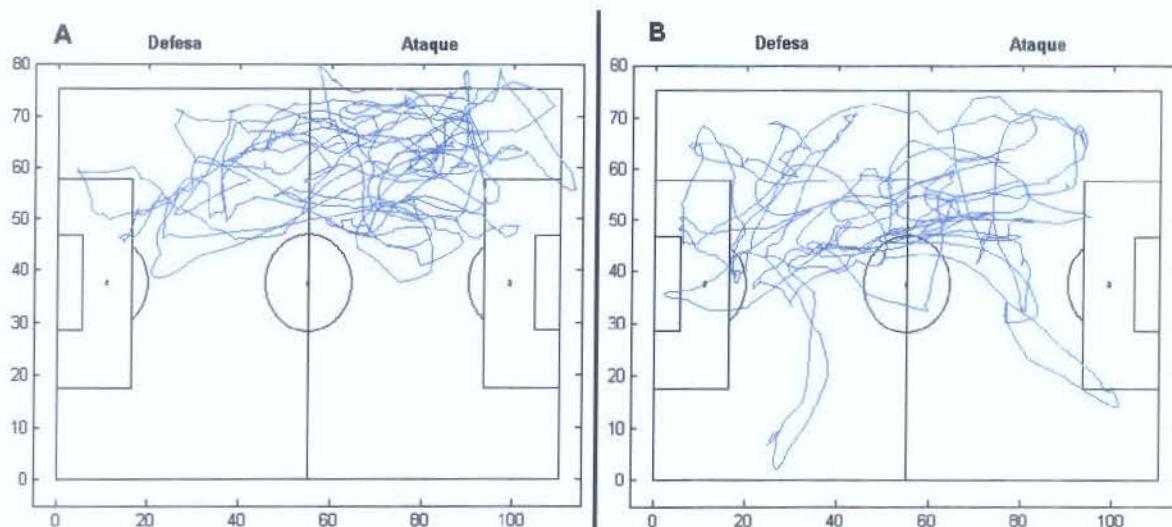


Fig. 12a - Trajetória do jogador nos primeiros 15 minutos do 2º tempo

Fig. 12b – Trajetória do jogador nos 15 minutos finais do 2º tempo

Deslocamentos de jogadores de mesma posição

Em uma equipe de futebol os jogadores de posições semelhantes, como laterais e meio-campistas direito e esquerdo, não desempenham necessariamente o mesmo padrão de movimentação dentro de determinado esquema tático. No caso dos laterais, uns podem apoiar de forma mais intensa as jogadas de ataque de sua equipe enquanto outros desempenham a função de cobrir a posição de algum companheiro que apresenta característica mais ofensiva.

Essa informação pode apontar ao treinador, após adotada a estratégia para enfrentar determinado adversário, qual o jogador mais adequado para desempenhar determinada função dentro do sistema tático adotado ou de acordo com as características da equipe adversária. Como exemplo podemos citar a opção entre dois laterais: um que joga mais avançado, enquanto o outro que joga

na cobertura; ou entre dois atacantes: sendo que um deles tem a característica de atacar pelo meio e outro tem como característica atacar pelas pontas.

Na fig.13a temos a representação do gráfico das trajetórias de dois jogadores da mesma equipe que, sabendo que esta atacava no sentido da direita para a esquerda, nos permite afirmar que esta estava sofrendo uma pressão, devido ao posicionamento defensivo dos seus laterais.

Na fig.13b temos um gráfico que nos permite realizar uma comparação entre dois atletas da mesma posição, porém de equipes diferentes, neste caso estão representados dois laterais esquerdos. Sabendo que a equipe representada pelo jogador plotado em vermelho atacava da esquerda para a direita no gráfico, podemos apontar que a equipe representada pelo jogador em azul adotou, neste momento da partida, uma postura defensiva, na tentativa de recuperação da posse de bola, enquanto a equipe adversária a atacava em busca do gol.

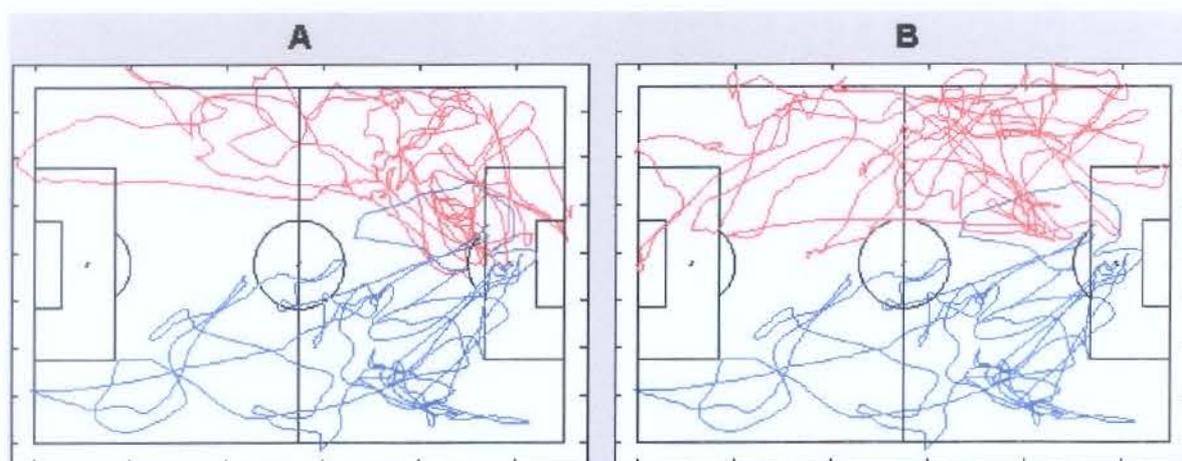


Fig. 17 – Em A temos a comparação entre dois jogadores da mesma equipe durante os 10 minutos iniciais da partida, e em B temos a comparação entre dois jogadores de equipes diferentes durante o mesmo intervalo de tempo

A comparação entre jogadores de equipes diferentes pode determinar a estratégia adotada para determinada partida, como por exemplo, se o lateral

direito da equipe A apresenta um posicionamento avançado, ou seja, apóia com freqüência o ataque, e o atacante da equipe B joga com maior facilidade do lado esquerdo do seu ataque (justamente o espaço que o lateral direito da equipe A deveria ocupar), talvez a melhor opção fosse adotar uma postura mais defensiva por parte desse lateral para aquela partida.

Análise pelas componentes principais

Neste tipo de análise, como explicado no Capítulo IV, temos a representação resumida dos deslocamentos dos jogadores de futebol por determinado período de tempo.

Na fig. 14 são apresentadas as componentes principais de todos os jogadores da equipe do Guarani F.C.. Podemos notar que a concentração de jogadores na zona central do campo é muito grande, tanto transversalmente quanto longitudinalmente.

Na equipe do Guarani F.C. (fig. 14) tivemos a substituição do jogador número 3 pelo número 14 no intervalo da partida, o que resultou em uma alteração estrutural na defesa desta equipe, pois durante o primeiro tempo o jogador de número 3 atuou pela esquerda da defesa, enquanto que o jogador número 4 atuou pela direita. No segundo tempo houve a inversão das posições, onde o número 14 passou a atuar pela direita (com uma postura mais defensiva do que o jogador número 3 no primeiro tempo) e o número 4 pela esquerda (apoiando menos o ataque do que no primeiro tempo).

Os dois laterais, identificados pelos números 2 (lateral direito) e 6 (lateral esquerdo) mantiveram basicamente o mesmo comportamento tático no primeiro e segundo tempos da partida, apenas modificando ligeiramente o posicionamento, no caso do lateral direito, que apoiou mais o ataque durante o segundo tempo.

Os volantes, aqui denominados pelos números 5 e 7 apresentaram algumas alterações entre os dois períodos da partida: o jogador número 5 manteve o mesmo padrão de deslocamento no primeiro e segundo tempos e o número 7 atuou, durante o segundo tempo (quando foi substituído) numa posição mais ofensiva, porém mantendo o padrão de movimento.

Entre os meio-campistas (números 8 e 10) pudemos perceber que estes inverteram o lado de atuação e também um pouco dos respectivos padrões de movimentação. O jogador de número 8 atuou mais lateralmente durante o primeiro tempo e durante o segundo tempo atuou mais ofensivamente. Já o jogador de número 10 atuou durante o primeiro tempo pela direita apoiando o ataque em direção ao centro e durante o segundo tempo atuou pelo lado esquerdo do campo se deslocando, basicamente, em linha reta em direção ao gol.

Os atacantes, aqui denominados pelos números 9 e 11, mantiveram o comportamento semelhante nos dois períodos da partida, onde o jogador número 9 manteve o mesmo padrão de movimentação e o jogador número 11, substituído no segundo tempo pelo jogador número 13, apresentou uma ligeira alteração na orientação dos eixos das componentes principais, pois durante o primeiro tempo este atacou tendendo ao lado direito e durante o segundo tempo tendendo para a esquerda.

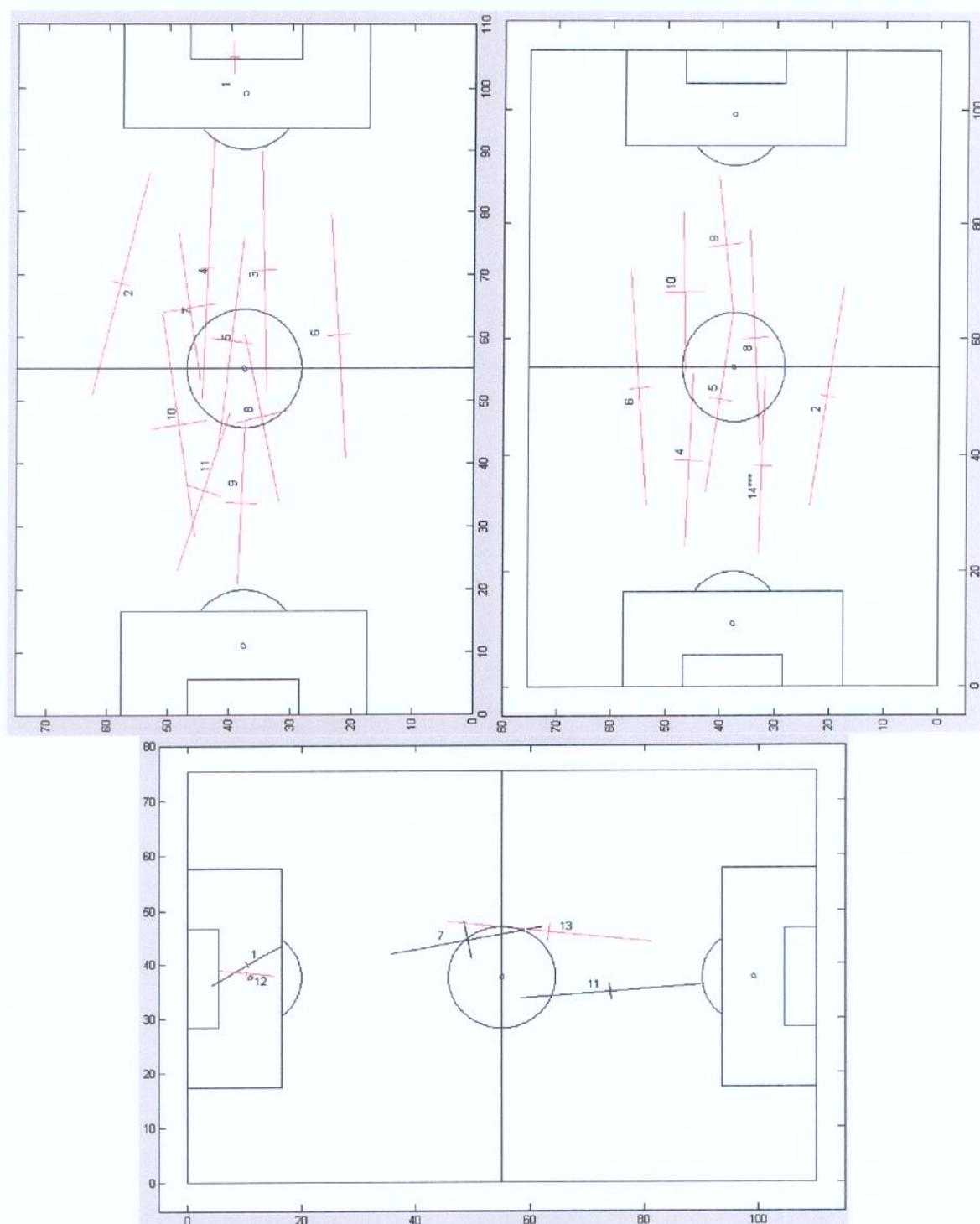


Fig. 14- Representação das componentes principais de todos os jogadores que atuaram no primeiro tempo (gráfico superior esquerdo), segundo tempo (gráfico superior direito) e que foram substituídos no segundo tempo da equipe do Guarani F.C.

Na fig. 15 são apresentadas as componentes principais da equipe do Santa Cruz F.C.. Foi observada uma concentração maior de jogadores pela faixa central do campo, da mesma forma observada na equipe do Guarani F.C..

Os zagueiros, aqui denominados pelos números 3, 4 e 5, apresentam no primeiro e segundo tempos da partida basicamente o mesmo padrão de movimentação, com exceção do jogador número 4 que durante o primeiro tempo apoiou mais o ataque de sua equipe em relação ao segundo tempo, quando apresentou um ligeiro aumento na movimentação lateral (ligeiro aumento no tamanho do eixo da segunda componente principal).

Os laterais direito e esquerdo, representados respectivamente pelos números 2 e 6, apresentaram o mesmo padrão de movimentação durante os dois períodos da partida. O lateral direito apresentou como característica principal o apoio ao ataque partindo do centro em direção à extrema direita. Já o lateral esquerdo apresentou como característica o apoio ao ataque em direção ao centro.

Os volantes (jogadores rotulados pelos números 7 e 8) apresentaram um padrão de movimentação semelhante durante os dois períodos da partida. O jogador número 7, substituído no segundo tempo, apoiou o ataque tendendo ligeiramente para o centro do campo; enquanto o jogador número 8 concentrou seus deslocamentos na zona central do campo tanto durante o primeiro quanto segundo tempos da partida. Cabe ainda a observação de que o jogador número 7 desempenhou uma função tática semelhante à de um meio-campista.

O jogador número 10, que efetivamente executou a função de meio-campista, apresentou alterações entre o padrão de movimentação durante o primeiro e segundo tempos. Durante o primeiro tempo este se deslocou mais

lateralmente do que no segundo tempo, quando apoiou mais intensamente o ataque.

Já os atacantes, identificados pelos números 9 e 11, apresentaram algumas alterações durante os dois períodos da partida. Como podemos observar o jogador de número 11 apresentou um comportamento mais ofensivo durante o primeiro tempo e, no segundo tempo quando foi substituído, apresentou deslocamentos menos ofensivos. O jogador de número 9 durante o primeiro tempo apresentou como principal padrão na movimentação a busca do ataque pelo lado esquerdo, enquanto que no segundo tempo, quando foi substituído, apresentou como principal característica o deslocamento rumo ao lado direito.

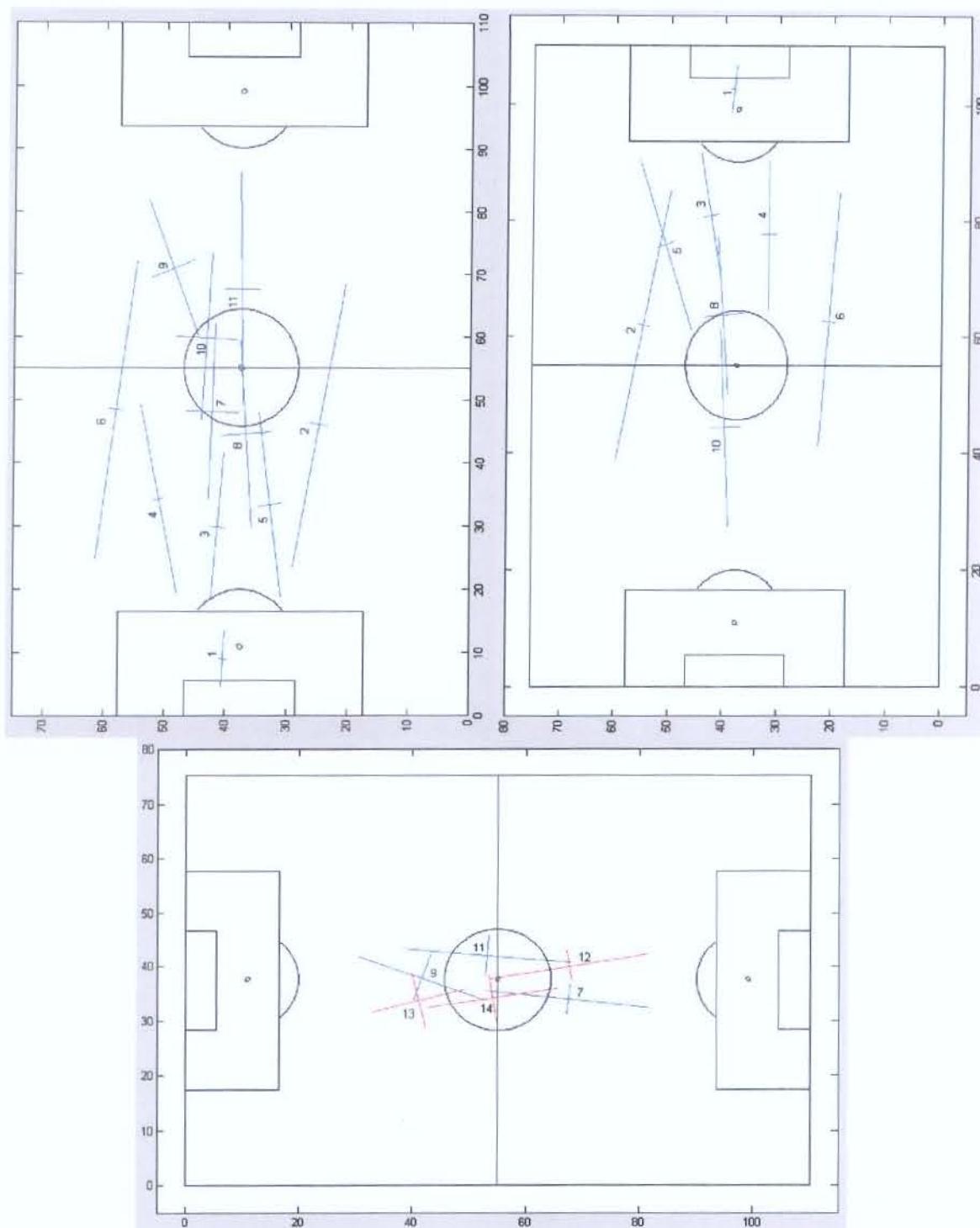


Fig. 15- Representação das componentes principais de todos os jogadores que atuaram no primeiro tempo (gráfico superior) e segundo tempo (gráfico inferior) pela equipe do Santa Cruz F.C.

Cálculo das distâncias percorridas

A quantificação das distâncias percorridas tem uma importância fundamental na periodização do treinamento dos atletas. Levando em consideração que cada função tática apresenta peculiaridades, temos uma diferenciação na ocupação dos espaços e distâncias percorridas por esses jogadores.

O conhecimento das distâncias percorridas em média por cada jogador durante uma partida representa uma variável que pode ser treinada especificamente em cada posição no esquema tático, tornando cada vez mais objetivo o treinamento dos atletas.

Com a utilização do Sistema Dvideow e as funções desenvolvidas em ambiente Matlab foi possível quantificar as distâncias percorridas por todos os jogadores durante a partida que, associadas aos dados das velocidades desenvolvidas (tratadas adiante), constituem o fundamental para uma preparação física se aproximando ao máximo do comportamento dessas variáveis durante a partida.

As distâncias percorridas pelos jogadores foram calculadas com a utilização da função *interv*, que retorna a trajetória e distância apresentadas pelo jogador, tanto brutas quanto suavizadas e o intervalo de tempo da análise.

Na tabela 2 temos a apresentação dos dados das distâncias percorridas por todos os jogadores durante o primeiro e segundo tempos, bem como a distância total percorrida.

Tabela 2 - Quantificação das distâncias percorridas pelos jogadores durante a partida analisada

Guarani F.C.					Santa Cruz F.C.				
Nº	Posição*	1º Tempo (m)	2º Tempo (m)	Total (m)	Nº	Posição*	1º Tempo (m)	2º Tempo (m)	Total (m)
1	Gol.	1452,8	532,8	1985,6	1	Gol.	1555,8	1291,6	2847,4
2	Lat.D	5381,9	5422,4	10804,3	2	Zag.	4952,7	4570,1	9522,8
3	Zag.	4972,5	-	4972,5	3	Zag.	4444,5	4092,7	8537,2
4	Zag.	4844,1	4405,3	9249,4	4	Zag.	5205,7	4677,0	9882,7
5	Vol.	5946,5	5445,6	11392,1	5	Vol.	6326,5	5675,1	12001,6
6	Lat.E	5799,6	5825,6	11625,2	6	Lat.E	6594,7	5812,7	12407,4
7	Vol.	5755,9	1910,3	7666,2	7	Lat.D	6118,9	3669,1	9788,0
8	M.C.	5479,9	6416,6	11896,5	8	Vol.	6509,6	4366,2	10875,8
9	Atac.	4774,2	4789,9	9564,1	9	Atac.	5153,7	5947,1	11100,8
10	M.C.	6833,1	4789,6	11622,7	10	M.C.	5618,7	5104,6	10723,3
11	Atac.	5037,6	2409,0	7446,6	11	Atac.	5825,1	3213,6	9038,7
12	Gol.	-	1316,2	1316,2	12	Zag.	-	2095,4	2095,4
13	Atac.	-	3069,4	3069,4	13	Atac.	-	1991,4	1991,4
14	Zag.	-	4896,9	4896,9	14	M.C.	-	1028,0	1028,0

* É apresentada de forma abreviada onde: Gol. – goleiro; Lat.D – lateral direito; Lat.E – lateral esquerdo; Zag. – zagueiro; Vol. – volante; M.C. – meio-campo; Atac. – atacante

Cálculo da distância percorrida pelos jogadores de uma mesma equipe ou de equipes diferentes

Podemos comparar a distância percorrida por jogadores da mesma equipe, ou seja, determinar qual jogador percorre maior distância durante as partidas, ou mesmo comparando jogadores de mesma posição, porém em lados opostos no campo, como um meio-campista direito e um esquerdo, ou entre dois laterais, um direito e um esquerdo.

Essa comparação também pode ser realizada entre jogadores de equipes adversárias, onde jogadores que atuam no mesmo setor do campo são comparados, como por exemplo, dois laterais direitos, sendo um da equipe A e outro da equipe B.

Também pode ser realizada uma análise do posicionamento de cada jogador no campo, comparando seus deslocamentos e distâncias percorridas com seus respectivos marcadores.

Evolução da distância percorrida pelos jogadores ao longo da partida

Pode ser utilizado para informar aos treinadores e/ou preparadores físicos em que momento da partida determinado jogador de sua equipe apresentou maior evolução na distância percorrida e em que momento, por exemplo, esse jogador apresentou uma queda no seu rendimento. Também pode ser utilizada para comparar as distâncias percorridas pelos jogadores de diferentes posições (fig.16).

Podemos notar a partir desses gráficos os períodos da partida onde o atleta apresentou maior ou menor esforço, de acordo com a inclinação da curva encontrada no gráfico entre a relação distância percorrida x tempo. Na fig.17a temos um período de menor esforço, onde o jogador pode não ter participado da jogada (indicado pela baixa inclinação da curva em relação ao eixo x) e na fig.17b temos um período de maior intensidade de esforço, onde o jogador pode ter participado de forma intensa da jogada (indicado pela grande inclinação da curva em relação ao eixo x).

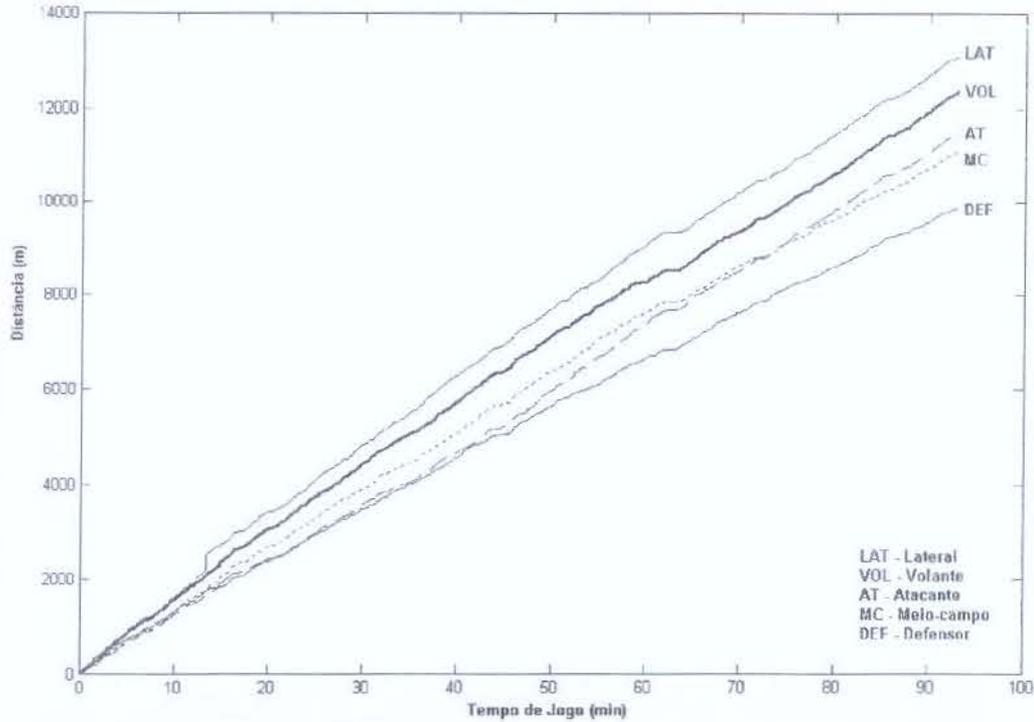


Fig. 16 - Evolução das distâncias percorridas durante toda a partida por jogadores de diferentes posições. Temos no eixo x o tempo de jogo, em minutos, e no eixo y a distância percorrida, em metros.

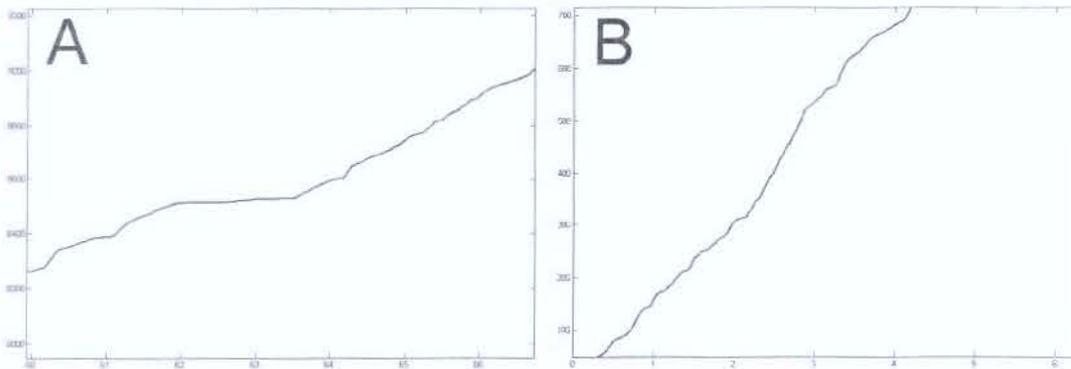


Fig. 17 - Período de menor intensidade de esforço (A) e período de maior intensidade de esforço (B)

Cálculo das velocidades desenvolvidas

Outra variável de extrema importância nesta análise é a velocidade desenvolvida por cada jogador durante a partida. Com os dados dessa variável

podemos apontar, através da interpretação dos gráficos fornecidos pelas funções desenvolvidas, os picos de velocidade atingidos durante a partida, ou até mesmo presumir, através da comparação entre as velocidades desenvolvidas nas fases inicial e final do campeonato, se o jogador apresenta uma resposta fisiológica positiva em relação ao treinamento a que está sendo submetido, ou apontar se o treinamento para esta variável não está surtindo efeito.

Um outro tipo de comparação que pode ser feita é entre dois jogadores da mesma equipe que atuam na mesma posição ou em lados opostos do campo, entre o início e o final de cada período de uma partida de modo a analisar o quanto o rendimento desses atletas fica comprometido.

Serão demonstrados dois tipos de análise de variação de velocidades desenvolvidos até o momento: as curvas de velocidade em função do tempo e a associação das velocidades atingidas às trajetórias.

Curvas de velocidade dos jogadores

A curva da velocidade desenvolvida pelos jogadores em função do tempo é a primeira forma de apresentação dessa variável. Essa curva nos permite observar períodos onde o jogador desenvolve picos de velocidades, ou períodos onde esse jogador se mantém em velocidades altas (contra-ataques e retornos rápidos à defesa, por exemplo), baixas ou até mesmo em "repouso" (fato observado com mais frequência entre os goleiros ou entre os zagueiros, quando não apóiam a subida de sua equipe ao ataque).

O gráfico da velocidade foi obtido com a utilização da função *velxtime*, que apresenta como valor de retorno a curva das velocidades desenvolvidas em um intervalo de tempo pré-determinado. Esse tipo de representação é demonstrado na fig.18, onde no eixo x temos a variação do tempo (dado em minutos) e no eixo y temos a variação das velocidades (apresentada em metros por segundo).

Podemos notar na fig.18a que o atleta selecionado obteve picos de velocidade acima dos 6 m/s, fato não observado na fig.18b, onde o atleta provavelmente apresentou sinais de fadiga devido ao intervalo de tempo selecionado representar os momentos finais da partida, ao contrário da fig.18a, onde foram selecionados os cinco minutos iniciais da partida.

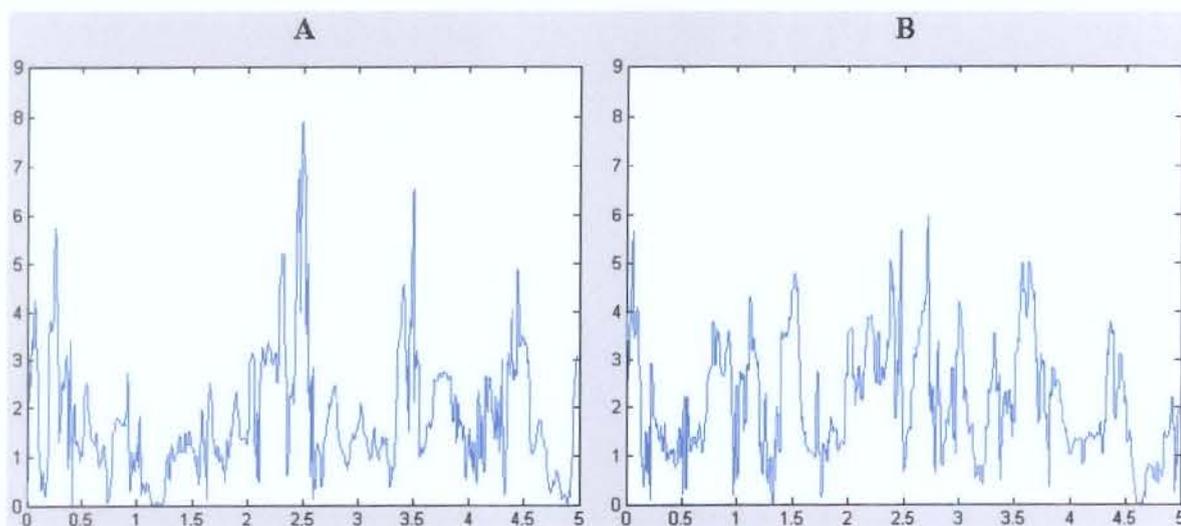


Fig. 18 - Curvas de velocidade de um mesmo jogador. Em A temos sua curva nos 5 minutos iniciais da partida e em B nos 5 minutos finais

Análise das velocidades dos jogadores associadas às trajetórias

A segunda forma de análise das velocidades é uma combinação de duas variáveis já analisadas: a trajetória e a velocidade. Esta forma de análise foi

desenvolvida para permitir a visualização das velocidades apresentadas pelos jogadores na região em que estes se deslocaram, ou seja, permite a visualização de um gráfico de trajetória, diferenciada por cores, onde cada cor indica uma faixa de velocidade. Para a realização deste tipo de análise foi utilizada a função *trajveloc*.

Nas figuras 19 e 20 temos dois trechos curtos dos deslocamentos de dois jogadores de posições distintas, de mesma equipe e durante o mesmo intervalo de tempo, onde as variações de velocidade ficam evidenciadas. Essas faixas de velocidade foram divididas a cada 2 m/s com as seguintes correspondências: rosa – de 0 a 2 m/s (associada ao movimento de andar), vermelho – de 2,1 a 4 m/s (associada ao movimento de trotar), azul – de 4,1 a 6 m/s (associada ao movimento de correr), e preto – acima de 6,1 m/s (associada ao movimento de *sprint*).



Fig. 19 - Trajetória de um jogador que atuou na lateral direita durante 10 minutos

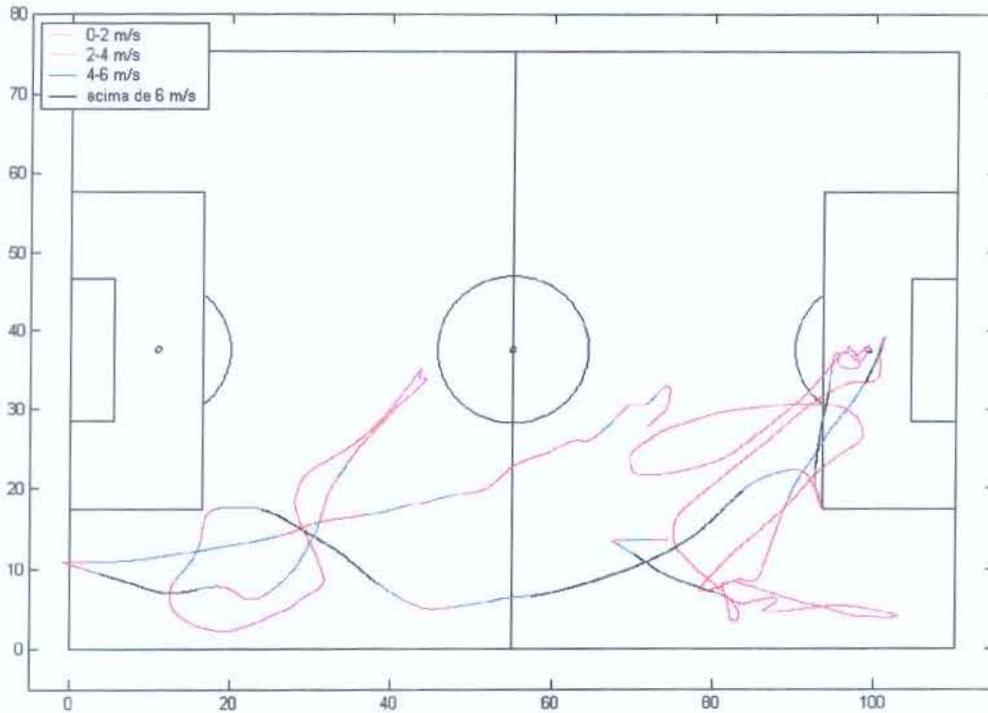


Fig. 20 - Trajetória de um jogador que atuou pela lateral esquerda durante 10 minutos

Esse tipo de visualização nos permite analisar uma situação específica na partida, como um gol, um lance de contra-ataque ou uma jogada que resultou em pênalti, por exemplo.

CAPÍTULO VI – Conclusão

A análise cinemática das trajetórias dos jogadores de futebol se apresenta como uma ferramenta de fundamental importância de como estar mensurando as variáveis cinemáticas, de forma precisa, avaliadas anteriormente apenas de forma manual ou de transferência de imagens do vídeo para uma folha de papel avançando atualmente com a utilização de novas metodologias.

A utilização de recursos computacionais e, neste estudo, o Sistema Dvideow como plataforma principal de acesso para que esses dados possam ser exibidos com maior precisão do que sistemas de notação manual, onde podemos citar como exemplo o cálculo das distâncias percorridas pelo nosso Sistema em relação a esse sistema de notação manual, onde um observador se colocava na arquibancada “posicionando” os jogadores em uma folha de papel quadriculado com o desenho de um campo de futebol (campograma). Além dessa situação temos ainda o fato de essa análise, no Sistema Dvideow, ser realizada em todos os jogadores, enquanto que no sistema manual perdia-se alguns pontos e não era realizada uma análise de todos os atletas.

Dessa forma podemos notar que essa forma de análise, que passa por todos os processos, desde a coleta dos dados até a quantificação dos esforços, pode fornecer ferramentas, tanto no que diz respeito à tabela de dados ou elementos gráficos do comportamento de todos os jogadores, para treinadores e preparadores físicos de forma a auxiliá-los na estruturação de suas equipes,

sendo os dados produzidos de forma precisa e visando os objetivos desses profissionais.

Os resultados encontrados por intermédio das funções desenvolvidas proporcionaram a visualização de alguns dados relevantes para treinadores e preparadores físicos. Tais dados têm como principal objetivo fornecer um embasamento para esses profissionais de como estruturar melhor, e de forma mais específica, sua periodização de treinamento, trabalhando desta forma com as variáveis (trajetória, distância e velocidade) efetivamente desenvolvidas por esses jogadores durante a partida.

Os dados considerados relevantes neste trabalho são:

- a distribuição das trajetórias dos jogadores durante toda a partida. Essa distribuição pode ser feita simplesmente comparando o padrão de movimentação entre o primeiro e segundo tempos da partida, ou entre intervalos de tempo conhecidos, como os 15 minutos iniciais e 15 minutos finais de jogo. A análise pelas componentes principais nos mostra bem a diferença entre os padrões;
- o cálculo das distâncias percorridas por esses jogadores durante todo o jogo, ou segmentando e comparando primeiro e segundo tempos, ou jogadores da mesma equipe ou equipes adversárias;
- as curvas das velocidades desenvolvidas pelos jogadores em função do tempo. Extraíndo duas curvas de intervalos de tempo conhecidos, sendo uma do início da partida e outra do final, podemos mensurar se esse jogador apresenta uma queda muito grande no rendimento;

- as faixas de velocidade associadas à trajetória. Gráfico que nos permite apontar em que local pode ter ocorrido uma falha de um marcador no momento de um gol, por exemplo, devido ao tempo que demorou para atingir a velocidade máxima em relação ao atacante.

Todas essas ferramentas, ao serem avaliadas por profissionais que atuam na área, poderão contribuir para que sua equipe alcance o máximo de rendimento possível, uma vez que informações diretamente relacionadas a seus atletas estão sendo apresentadas, não apenas de forma individual como também coletivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, R.M.L., CUNHA, S.A., MISUTA, M.S., FIGUEROA, P.J., LEITE, N.J., PAULA, V., ANIDO, R. *Sistema de Medição Automática de Posicionamento de Jogadores em Partida de Futebol*. VII Congresso Brasileiro de Biomecânica, p.131-134, 1999.
- BARROS, R.M.L., BREZIKOFER, R., BAUMANN, W., FIGUEROA, P.J. *Concepção e Implementação de um Sistema para Análise Cinemática Tridimensional de Movimentos Humanos*. Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica, p.222-227, 1999.
- CHOI, S., SEO, Y., KIM, H., HONG, K. *Where are The Ball and the Players? Soccer Game Analysis with Color-based Tracking and Image Mosaick*. International Conference of Image Analysis and Processing, p.196-203, 1997.
- D'OTTAVIO, S., TRANQUILLI, C. *El Rendimiento del Jugador de Fútbol*. Rivista di Cultura Sportiva, 24, 1993;
- DUFOUR, W. *Computer-Assisted Scouting in Soccer*. In Science and Football II, published by E & FN SPON, Great Britain, p.160-173.
- ERDMANN, W.S. *Quantification of Games – Preliminary Kinematic Investigations in Soccer*. In Science and Football II, published by E & FN SPON, Great Britain, p.174 – 179, 1991.
- FIGUEROA, P. J., LEITE, N. J., BARROS, R. M. L. *A Flexible Software for Tracking of Markers Used in Human Motion Analysis*. Computer Methods and Programs in Biomedicine, v.72, p.155-165, 2003.

- HENNIG, E.M., BRIEHLE, R. *Game Analysis by GPS Satellite Tracking of Soccer Players*. In XI Congress of the Canadian Society of Biomechanics, p.44, 2000. Canadá.
- HUGHES, M. *Notation Analysis in Football II*. In Science and Football, published by E & FN SPON, Great Britain, p.151-159, 1993;
- HUGHES, M., FRANKS, I. *Notation Analysis of Sport*. E & FN SPON, Great Britain, 1997.
- INTILLE, S.S., BOBICK, A.F. *Closed-World Tracking*. Proceedings of the Fifth International Conference on Computer Vision, p. 672-678, 1995.
- MISUTA, M.S. *Análise Automática de Deslocamentos de Jogadores de Futebol*. 2001. Monografia, 44f. Faculdade de Educação Física, UNICAMP. Campinas, SP.
- MISUTA, M.S., FIGUEROA, P.J., DECHECHI, C.J., MENEZES, R.P., BARROS, R.M.L. *Validação do Método de Análise Automática de Deslocamentos de Jogadores de Futebol por Videogrametria*. X Congresso Brasileiro de Biomecânica, pp.411-414, 2003.
- NEEDHAM, C.J., BOYLE, R.D. *Tracking Multiple Sports Players Through Occlusion, Congestion and Scale*. In British Machine Vision Conference, p.93-102, 2001.
- O'DONOGHUE, P.G., BOYD, M., LAWLOR, J., BLEAKLEY, E.W. *Time-Motion Analysis of Elite, Semi-Professional and Amateur Soccer Competition*. In Journal of Human Movement Studies, p.2-12, 2001.

- PARTDRIDGE, D., MOSHER, R.E., FRANKS, I.M. *A Computer Assisted Analysis of Technical Performance – A Comparison of the 1990 World Cup and Intercollegiate Soccer*. In *Science and Football II*, published by E & FN SPON, Great Britain, p.221-231, 1990.
- PERS, J., BON, M., KOVACIC, S., SIBILA, M., DEZMAN, B. *Observation and Analysis of Large-scale Human Motion*. In *Human Movement Science*, 21, p.295-311, 2002.
- REILLY, T. *Energetics of High-Intensity Exercise (Soccer) with Particular Reference to Fatigue*. In *Journal of Sports Sciences*, 15, p.257-263, 1997.
- SCHEARER, K., WONG, K.D., VENKATESH, S. *Combining Multiple Tracking Algorithms for Improved general Performance*. In *Journal of The Pattern Recognition Society*, 34, p.1257-1269, 2001.
- STEWART, J. *Cálculo, Volume 1*. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 4ª edição, 2002.
- TAKI, T., HASEGAWA, J., FUKUMURA, T. *Development of Motion Analysis System for Quantitative Evaluation of Teamwork in Soccer Games*. In *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, 3, p.815-818, 1996.