



MARIA FERNANDA LATTES FERREIRA

**USO DO ACELERÔMETRO PARA AQUISIÇÃO DE
VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS DO CICLISMO DE PISTA**

CAMPINAS

2014

,



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

MARIA FERNANDA LATTES FERREIRA

**USO DO ACELERÔMETRO PARA AQUISIÇÃO DE
VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS DO CICLISMO DE PISTA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Educação Física, na área de Biodinâmica do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA MARIA FERNANDA LATTES FERREIRA E ORIENTADA PELO PROF. DR. LUIZ EDUARDO BARRETO MARTINS

A handwritten signature in black ink, reading "L. E. Barreto Martins".

Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins

CAMPINAS 2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Educação Física
Dulce Inês Leocádio dos Santos Augusto - CRB 8/4991

F413u Lattes Ferreira, Maria Fernanda, 1980-
Uso do acelerômetro para aquisição de variáveis biomecânicas do ciclismo de pista / Maria Fernanda Lattes Ferreira. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Luiz Eduardo Barreto Martins.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física.

1. Ciclismo. 2. Acelerômetros. 3. Biomecânica. I. Martins, Luiz Eduardo Barreto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação Física. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Using accelerometer to acquisition in a biomechanical variables track cycling.

Palavras-chave em inglês:

Cycling

Accelerometers

Biomechanics

Área de concentração: Biodinâmica do Movimento e Esporte

Titulação: Mestra em Educação Física

Banca examinadora:

Luiz Eduardo Barreto Martins [Orientador]

Milton Shoiti Misuta

Sérgio Augusto Cunha

Data de defesa: 19-12-2014

Programa de Pós-Graduação: Educação Física

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins
Orientador



Prof. Dr. Sergio Augusto Cunha
Membro Titular



Prof. Dr. Milton Shoiti Misuta
Membro Titular

FERREIRA, Maria Fernanda Lattes. **Uso do acelerômetro para aquisição de variáveis biomecânicas do ciclismo de pista**. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica do movimento e Esporte) Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo é identificar as variáveis biomecânicas na largada do ciclismo de velocidade obtidas pelo o acelerômetro contido num sistema inercial de navegação denominado SM-MAE construído no Laboratório de Sensores Microeletrônicos da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp, para isso foi necessário dividir esse trabalho em duas partes. A primeira parte teve como objetivos desenvolver metodologia adequar o uso do acelerômetro SM-MAE para aquisição de variáveis biomecânicas, comparar seus dados com dados provindos da cinemetria e de um acelerômetro comercial e, descreve as etapas de tratamento do sinal de aceleração. Para isso participaram de dois ciclistas amadores, os quais executaram dois tiros de 50m em uma raia plana demarcada, em piso de asfalto, usando uma bicicleta própria da modalidade, com o sistema nela instalado. Concomitante ao sistema foram usadas duas câmeras digitais filmaram a *fullHd* com frequência de aquisição de 60Hz para realização da cinemetria e um o acelerômetro comercial (Xsens). Através do rastreamento manual e a reconstrução unidimensional dos dados, obteve-se a posição da bicicleta e em seguida adquiriu-se à distância percorrida e suas derivadas. O processamento do sinal, rastreamento e rotinas para identificação das acelerações e suas integrais foram feitas no *software* Matlab. Para comparar o acelerômetro SM-MAE com outros sistemas, foi realizado comparações gráficas. Observou-se que os resultados obtidos se assemelhavam aos da cinemetria e aos do acelerômetro comercial. Portanto, a metodologia aplicada nesta pesquisa possibilitou a realização da segunda etapa deste trabalho, que teve como objetivo identificar as variáveis biomecânicas fornecidas pelo SM-MAE relacionando-as com o desempenho do ciclista num teste de 30 metros em velódromo e caracterizar dos padrões das acelerações de largada dos atletas envolvidos nesse estudo. Para isso contou com cinco ciclistas de alto rendimento que realizaram 3 *sprints* de 30m cada um e o acelerômetro (SM-MAE) foi fixado no quadro da bicicleta no velódromo. Como resultado na comparação entre as variáveis de aceleração não foi identificado diferenças significativas para todas elas entre os voluntários e nem entre as repetições. A velocidade máxima de cada ciclo e a velocidade máxima total de cada *sprint*, obteve-se diferença significativa entre os atletas, destacando A1 e A3. Na variável tempo final (TT), foi possível identificar alta correlação positiva com tempo de soma dos dois ciclos de pedal (T2), com a velocidade máxima (Vmax), TC1(tempo do primeiro ciclo de pedalada), aceleração negativa máxima (ANmax), média do vale da aceleração negativa (MvaleAN) e teve relação TC1 com T2 e T2 com MvaleAN. E também relação entre Vmáx com ANmax e MvaleAN. Conclui-se que o SM-MAE é capaz de detectar sutilezas técnicas na largada do ciclismo de pista auxiliando o diagnóstico da capacidade atlética como do programa de treinamento.

Palavras-Chaves: Acelerômetro; Ciclismo de Pista; Biomecânica.

FERREIRA, Maria Fernanda Lattes. **Using accelerometer to acquisition in biomechanical variables track cycling**. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica do movimento e Esporte) Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

ABSTRACT

The present work is aimed at identifying the biomechanical variables at the start of cycling speed obtained by the accelerometer contained in an inertial navigation system called SM-MAE built in Sensors Laboratory of Microelectronics School of Electrical and Computer Engineering at Unicamp, for it was necessary to divide the work into two parts. The first part aimed at developing a methodology to tailor the use of the accelerometer SM-MAE for the acquisition of biomechanical variables, compare their data with data coming from the kinematics and a commercial accelerometer and outlines the steps of processing the acceleration signal. For that participated in two amateur cyclists, who carried two shots from 50m on a flat streak demarcated in asphalt floor, using their own bike mode, with the system installed in it. Concomitant to the system were used two digital cameras filmed the FullHD with acquisition frequency of 60Hz to perform the kinematics and the commercial accelerometer (Xsens). Through the manual tracking and one-dimensional reconstruction of the data, we obtained the position of the bike and then got to the distance traveled and your derivadas. O signal processing, tracking and identification routines for the accelerations and their integrals were made software Matlab. To compare the accelerometer SM-MAE with other systems, graphical comparisons were performed. It was observed that the results obtained were similar to those of the kinematics and of the commercial accelerometer. Therefore, the methodology applied in this research enabled the realization of the second stage of this study, which aimed to identify the biomechanical variables supplied by SM-MAE relating them to the performance of the rider in a 30 meter velodrome test and characterize the patterns of accelerations the start of this study involved fins. For that featured five high performance cyclists who performed three sprints of 30m each and the accelerometer (SM-MAE) was fixed to the bicycle frame at the velodrome. As a result of comparing the variables of acceleration were not identified significant differences between all these subjects nor between repetitions. The maximum speed of each cycle and the total maximum speed of each sprint, we obtained a significant difference between athletes, highlighting A3.Na A1 and end time variable (TT), it was possible to identify high positive correlation with time sum of two cycles pedal (T2), with the maximum velocity (Vmax), TC1 (time of the first cycle of pedaling), maximum negative acceleration (ANmax), average worth of negative acceleration (MvaleAN) and had TC1 compared with T2 and T2 MvaleAN. And also with ANmax relationship between Vmax and MvaleAN. We conclude that the SM-MSA is able to detect technical subtleties at the start of the track cycling aiding the diagnosis of athletic ability as the training program.

Keywords: Accelerometer; Track Cycling; Biomechanics.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1 – APLICAÇÃO DO ACELERÔMETRO SM-MAE NO CICLISMO: ADEQUAÇÃO METODOLÓGICA E TRATAMENTO DO SINAL	7
1.1 – Resumo	7
1.2 – Introdução.....	7
1.3 – Materiais e Método.....	8
1.3.1 – Protocolo de coleta e amostra.....	8
1.3.2 – Instrumentos para coleta.....	9
1.3.3 – Procedimento da coleta	11
1.3.4 – Processamento dos sinais	12
1.3.4.1 – Tratamento do sinal de aceleração do SM-MAE	13
1.5 – Discussão.....	19
CAPÍTULO 2 – USO DO SM-ME PARA AQUISIÇÃO DE VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS DO CICLISMO DE PISTA: IDENTIFICAÇÃO E TRATAMENTO DOS CICLOS E PADRÃO DE MOVIMENTO A PARTIR DA CURVA DE ACELERAÇÃO.	21
2.2 – Introdução	22
2.3 – Materiais e Método.....	24
2.4 – Resultados.....	30
2.4.1 – Identificação das variáveis	30
2.4.2 – Comparação da amostra	39
2.4.3 – Correlação das variáveis.....	45
2.5 – Discussão	46
2.6 – Conclusão	51
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS.....	56

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

p.

Figura 1	Posicionamento do epedal no ponto morto superior.	21
Figura 2	Representação das diferentes forças transmitidas pelo atleta em função do ângulo do ciclo do pedal.	23

CAPÍTULO 1

Figura 1	a) Esquema ilustrativo do posicionamento das câmeras nas coletas.	p. 31
Figura 2	Rampas que delimitam o trajeto de teste a) rampa de largada; b) rampa de chegada.	31
Figura 3	a) Placa móvel do SM-MAE o qual é encapsulado para o uso; b) Interface gráfica com a placa base.	32
Figura 4	Posicionamento dos acelerômetros na bicicleta (1° SM-MAE, 2°comercial).	32
Figura 5	a) Posicionamento do acelerômetro SM-MAE na bicicleta; b)Visualização esquemática dos eixos x , y , z do acelerômetro.	34
Figura 6	Representação da mudança de coordenada, onde os eixos x , y e z fazem parte do sistema <i>Móvel de Coordenada</i> e os eixos x^n , y^n , z^n do sistema <i>NED</i> .	35
Figura 7	Gráfico da representação ampliada (recorte de 100 pontos) das acelerações referentes aos três eixos (x , y , z).	37

Figura 8	Representação gráfica das acelerações adquiridas nis tres eixos pelo SM-MAE utilizando as lombadas no início e fim da raia.	38
Figura 9	Representação gráfica das acelerações coletadas no eixo x pelos tres sistemas. Cinemetria filtrada com <i>Butterworth:ordem6</i> e frequencia de corte 20Hz.	39
Figura 10	Gráfico da representação das distâncias percorrida pela bicicleta advinda dos três sistemas.	40

CAPÍTULO 2

		p.
Figura 1	Posicionamento da fotocélula usada para delimitar o percurso.	46
Figura 2	Foto do circuito da fotocélula usado para sincronizar com acelerômetro.	47
Figura 3	Foto da fixação do acelerômetro na bicicleta.	48
Figura 4	Gráfico da Aceleração na direção antero-posterior em um <i>sprint</i> de 30m realizado em velódromo, em um bicicleta com relação de marcha fixa.	49
Figura 5	Gráfico das variáveis relacionadas aos ciclos do pedal através da curva de aceleração (m/s) no eixo x.	50
Figura 6	Variáveis selecionadas a partir da velocidade(m/s) de deslocamento da bicicleta no eixo x..	50
Figura 7	Representação gráfica dos picos, frequências e padrão de movimento	52
Figura 8	Gráfico da aceleração no eixo de deslocamento do 3 testes realizados por A1.	53
Figura 9	Gráfico da aceleração no eixo de deslocamento dos 3 testes realizados por A2.	54
Figura 10	Gráfico da aceleração no eixo de deslocamento dos 3 testes realizados por A3.	54

Figura 11	Gráfico da aceleração no eixo de deslocamento dos 3 testes realizados por A4.	55
Figura 12	Gráfico da aceleração no eixo de deslocamento dos 3 testes realizados por A5.	55
Figura 13	Gráfico da aceleração média (m/s^2) em x dos 3 <i>sprints</i> de cada atleta.	56
Figura 14	Gráfico da velocidade (m/s) de deslocamento no eixo x do ciclista A1.	57
Figura 15	Gráfico da velocidade (m/s) de deslocamento no eixo x do ciclista A2.	57
Figura 16	Gráfico da velocidade (m/s) de deslocamento no eixo x do ciclista A3.	58
Figura 17	Gráfico da velocidade (m/s) de deslocamento no eixo x do ciclista A4.	58
Figura 18	Gráfico da velocidade (m/s) de deslocamento no eixo x do ciclista A5	59
Figura 19	Gráfico da velocidade média (m/s) em x dos 3 <i>sprints</i> de cada atleta.	59
Figura 20	Representação dos quatro ciclos de pedalada no <i>sprint</i> .	67
Figura 21	Perfil de potência (W) gerada durante 1000m contra relógio, enfatizando a fase de largada.	72

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 1	Descrição das siglas e variáveis obtidas pelo SM-MAE para analisar o Sprint de 30m.	p. 51
Tabela 2	Valores de aceleração em cada ciclo e comparação dos ciclistas.	61
Tabela 3	Caracterização e comparação dos ciclistas quanto aceleração negativas em cada ciclo.	63
Tabela 4	Valores e comparação dos ciclistas quanto ao tempo de cada ciclo.	65
Tabela 5	Caracterização e comparação dos ciclistas quanto à velocidade em cada ciclo.	66
Tabela 6	Dados de relação entre os valores médios das variáveis cinemáticas estudadas.	68

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

POpeak	Pico de força
A/D	Analógico Digital
F	Força
M	Massa
G	Aceleração da gravidade
GPS	Sistema de posicionamento global
LSM	Laboratório de Sensores Microeletrônicos
FEEC	Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas
MEMN'S	Micro-eletro-mecânicos
NED	North-East-Down
$\vec{F}_c$	Força de Coriolis
$\vec{\omega}$	Vetor velocidade angular de rotação da Terra
$\vec{v}_r$	Velocidade linear
R	Comprimento do raio de localização do objeto a um referencial girante
f^E	Força específica
$\vec{F}_{ctr}$	Força Centrípeta
a^n	Aceleração no sistema de coordenada NED
a^b	Aceleração verdadeira
f_d^n	Aceleração dinâmica
$\vec{a}$	Aceleração
$\vec{v}$	Velocidade
$\vec{s}$	Espaço
$d\vec{P}$	Variação da Posição
dt	Variação do tempo
$d\vec{V}$	Variação da Velocidade
A1	Atleta 1

A2	Atleta 2
A3	Atleta 3
A4	Atleta 4
A5	Atleta 5
Amax	Máxima aceleração
Vmax	Máxima velocidade
TC1	Tempo do primeiro ciclo de pedalada
TC2	Tempo do segundo ciclo de pedalada
TC3	Tempo do terceiro ciclo de pedalada
TC4	Tempo do quarto ciclo de pedalada
T2	Tempo dos dois primeiros ciclos de pedalada
TT	Tempo total
AC1	Aceleração máxima no primeiro ciclo
AC2	Aceleração máxima no segundo ciclo
AC3	Aceleração máxima no terceiro ciclo
AC4	Aceleração máxima no quarto ciclo
MPicoA	Media dos picos de aceleração
ANC1	Aceleração Negativa máxima no primeiro ciclo
ANC2	Aceleração Negativa máxima no segundo ciclo
ANC3	Aceleração Negativa máxima no terceiro ciclo
ANC4	Aceleração Negativa máxima no quarto ciclo
MvaleAN	Media dos vales de desaceleração
ANmax	Máxima desaceleração
VC1	Velocidade em x no primeiro ciclo
VC2	Velocidade em x no segundo ciclo
VC3	Velocidade em x no terceiro ciclo
VC4	Velocidade em x no quarto ciclo

INTRODUÇÃO GERAL

O ciclismo de pista é um esporte olímpico altamente especializado, praticado em ambiente de arquitetura oval e inclinada que utiliza uma bicicleta diferenciada tanto na sua geometria (ângulos de ataque mais pronunciados) quanto na sua mecânica (ausência de freios, coroa única e pinhão fixo à roda).

Esse esporte é subdividido em: *sprint* (provas < 1000m) e *endurance* (provas >1000m), as quais podem durar de 10 segundos a 1 hora (CRAIG; NORTON, 2001). Dentre essas provas, por exemplo, a *Time Trial*, os ciclistas realizam a largada parada que se assemelha à largada das provas rápidas no atletismo.

A aceleração inicial na largada pode ser considerada mais eficiente quando o atleta parte com o pedal de impulsão próximo ao ponto morto superior do mesmo, aproximadamente a 45°, (primeiro quadrante da pedalada, figura 1). (MARTIN; DAVIDSON; PARDYJAK, 2007)

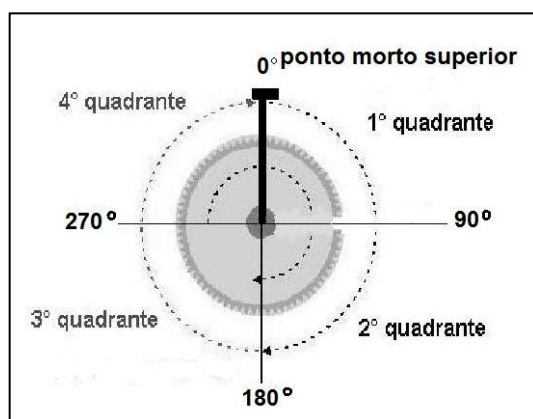


Figura 1: Posicionamento do pedal no ponto morto superior.

Além do mais, provas rápidas no ciclismo exigem que os atletas pedalem certa distância no menor tempo possível e para isso depende da capacidade de aceleração. No entanto, a frequência do ciclo de pedalada observada isoladamente não é vantajoso para o incremento da velocidade, pois esta deve ser associada com a distância percorrida por cada ciclo, as quais devem se apresentar de forma equilibrada.

O deslocamento com velocidade é um dos indicadores que podem diferenciar o desempenho de atletas e é fundamental nos instantes decisivos das provas, como a largada e

a chegada. Considerando a largada um momento crucial para um bom resultado competitivo nas provas rápidas, tanto do ciclismo como do atletismo. Apesar disso, existem exceções como o velocista Usain Bolt que não apresenta uma largada tão rápida, mas consegue acelerar até próximo dos 60m o que garante seu recorde mundial (KRZYSZTOF; MERO, 2013).

A capacidade de desenvolver velocidade é uma qualidade dos músculos e da coordenação neuromuscular que permite a execução de uma sucessão de gestos motores de intensidade máxima e duração rápida ou muito rápida (TUBINO; MOREIRA, 2003).

Conforme estudos eletromiográficos (CHAPMAN et al., 2008; DOREL; COUTURIER HUG, 2008; FERNÁNDEZ-PEÑA; LUCERTINI; DITROILO, 2009), os principais músculos recrutados na fase do primeiro quadrante são aqueles que compõem o quadríceps (reto femoral, vasto medial, vasto lateral e vasto intermédio), o bíceps femoral e o glúteo máximo.

Assim, a progressão da velocidade depende do desenvolvimento de aceleração linear inicial, a qual é o componente mais importante do treinamento de velocidade específica e, é limitada pelo tipo de fibra muscular, força muscular, fornecimento de energia muscular, capacidade coordenativa neuromuscular, elasticidade, aquecimento e fadiga muscular (WEINECK, 2000), assim, a força muscular é determinante para acelerar o corpo.

Uma vez que a aceleração é dependente da capacidade força-velocidade, alguns trabalhos descreveram a direção das forças e dos torques envolvidos no ciclo do pedal como determinantes da efetividade da energia mecânica produzida pelo atleta (SANDERSON; HENNIG; BLACK, 2000; BINI et al., 2005 ; FERNÁNDEZ-PEÑA; LUCERTINI; DITROILO, 2009).

Rossato (2008) caracterizou os padrões de aplicação de forças sobre o pedal e identificou a Força Efetiva (perpendicular ao pedal) e a Força Resultante (força transmitida ao movimento). Essas forças aplicadas sobre o pedal foram medidas pelo cicloergômetro, potenciômetro e pedais piezoelétricos que possibilitam distinguir os torques e as potências mecânicas envolvidos nas fases do ciclo da pedalada (figura 2) nas diferentes cadências e técnicas empregadas pelos ciclistas.

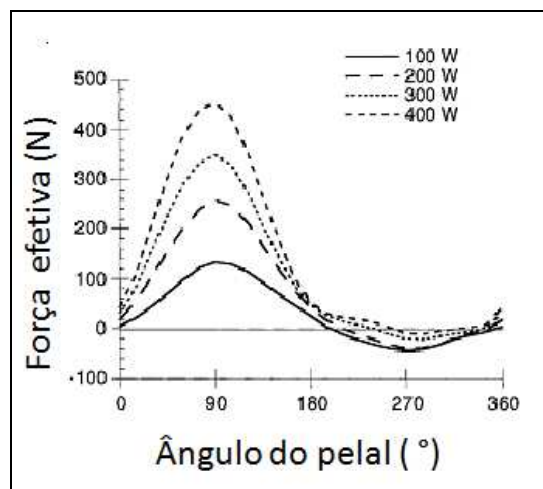


Figura 2: Representação das diferentes forças efetivas transmitidas pelo atleta em função do ângulo do ciclo do pedal. (SANDERSON; HENNING; BLACK, 2000, p. 17).

O estudo da aplicação das forças sobre o pedal é fundamental para analisar a aceleração e estruturar estratégias de largada. Conforme Koning, Bobbert e Foster (1999), a habilidade de produzir pico de força na largada (POpeak) é uma excelente estratégia de corrida visto que o tempo da primeira volta interferirá no tempo final da prova. Assim, é importante mensurar o POpeak, a velocidade do ciclista e as forças no pedal para aperfeiçoar o desempenho do atleta (BERTUCCI; TAIAR; GRAPPE, 2005), pois este depende essencialmente da relação força-velocidade do ciclista.

Nas modalidades desportivas cíclicas, a especialização é um princípio importante para a melhora de toda e qualquer ação e, os exercícios específicos são amplamente difundidos através dos *sprints* em que se planejam distâncias curtas com velocidades competitivas ou superiores (ZAKHAROV, 2003).

Desta forma a preparação esportiva do ciclista caracteriza-se por um processo multifacetado de utilização racional de todos os fatores que permitam influir de maneira dirigida o crescimento esportivo e assegurar o grau necessário de sua disposição para alcançar elevadas marcas competitivas (GRANELL; CERVERA, 2003).

A maioria dos testes fisiológicos e biomecânicos envolvendo atletas acontece dentro de laboratórios, ambiente que limita o rendimento do atleta (JAMES; NEIL; RICE, 2004). No entanto, a análise biomecânica no campo esportivo proporciona informações importantes sobre estratégias motoras atléticas que possibilitam ascender para o

desempenho de excelência. Destarte, a determinação da aceleração é fundamental para os estudos do movimento humano no meio atlético, onde milésimos de segundos são cruciais para a classificação de um campeão.

Atualmente, com o desenvolvimento da eletrônica e dos sensores microelétricos e microeletromecânicos associados à tecnologia *wireless*, tornou-se possível a construção de sensores pequenos, baratos e de baixo consumo energético para aplicação no esporte. Este sensor é um conversor de energia cuja saída é um sinal elétrico que, geralmente, faz parte de um sistema mais abrangente de aquisição de dados que incorpora outros dispositivos (SOUSA; CARVALHO, 2011).

Os sensores inerciais são sistemas de monitoração de movimento medem a aceleração linear e a velocidade angular, em três dimensões e as taxas de rotação em torno de três eixos compostos por acelerômetros e giroscópios (NEBOT; DURRANT-WHYTE, 1999). Esta monitorização consiste em instalá-los em objetos, corpos, segmentos e até articulações alvos de análise, permitindo a orientação espacial do objeto em estudo.

O acelerômetro consiste de um sensor composto de uma massa de prova suspensa por molas de flexão que se encontra dentro do acelerômetro, a qual relaciona a força com a gravidade ($F=m \cdot g$) e com o deslocamento ($F=k \cdot x$) e desta maneira se conhece o valor da aceleração. A aceleração é determinada, indiretamente, pela medição do deslocamento dessa massa de prova que ocorre de acordo com a aceleração recebida (ROA, 2009).

Diante desse cenário, os sistemas inerciais, acelerômetros, são dispositivos que recentemente utilizados em vários esportes como ferramenta para análise do rendimento e descrição do gesto atlético específico.

Tan, Wilson e Lowe et al (2008) usou um sistema inercial de navegação de baixo custo MTx Xsens, composto por acelerômetro e giroscópio triaxiais e um magnetômetro, em conjunto com um GPS para analisar o ciclismo e a corrida em ambiente externo. No ciclismo instalou o sistema inercial e o GPS em um suporte na traseira da bicicleta e verificou as flutuações na velocidade horizontal decorrentes da característica cíclica do gesto esportivo. Na corrida, o voluntário vestia um capacete de ciclismo com o GPS e o sistema inercial nele instalados, para analisar as fases de aceleração e desaceleração e velocidade horizontal.

Ohgi (2002) desenvolveu um protótipo eletrônico usando acelerômetro e giroscópio para analisar as fases da braçada na natação. Este foi colocado no punho do atleta para medir velocidades e acelerações angulares do impacto de cada braçada com a água. Depois, relacionou os dados obtidos com as características do movimento e observou alterações de resultados quando o nadador encontrava-se fadigado, comprovando essa relação com dados de exame de lactato sanguíneo.

James (2004) estudou a modalidade remo com um acelerômetro instalado na pá do remo e um GPS no casco do barco e obteve as acelerações durante a prática do esporte e descreveu as fases da modalidade. Com a análise das acelerações em cada fase foi possível fazer comparações entre equipes e avaliar a estratégia dos atletas.

Borges et al. (2011) também avaliou as fases do remo pela acelerometria, porém seu sistema de aquisição era composto por três acelerômetros, um triaxial instalado no barco e dois monoaxiais colocados um no carrinho e outro no tronco do remador, uma caixa de aquisição foi fixada no interior do barco para gravar informações dos sinais para posterior análise. Assim, verificou que o sistema é funcional e adequado para coletar informações objetivas para avaliação e acompanhamento regular dos remadores.

Baca e Kornfeind (2006) trabalhou em um sistema de aquisição de dados com o acelerômetro colocado na parte inferior central da mesa do tênis de mesa e verificou os impactos causados pela bola durante uma partida e associou esses resultados com o rendimento do atleta.

Herren et al. (1999) verificaram a acurácia do acelerômetro em estimar a velocidade de corrida em superfície plana e inclinada. Foram utilizados três acelerômetros fixados na região lombar do praticante, os quais mediam a aceleração frontal, vertical e lateral do indivíduo. Um quarto acelerômetro colocado sobre o tendão de Aquiles media a aceleração frontal do calcâneo. A maioria dos parâmetros analisados apresentou forte correlação com a velocidade, mas não com a inclinação do solo.

O sistema de sensores ópticos como as fotocélulas também se destacam por ser utilizado no ambiente de treino. Seu funcionamento consiste em um sensor fotoelétrico que transforma a energia luminosa em energia elétrica e o objeto é detectado ao passar entre o

emissor de luz (feixe de laser – infravermelho) e o espelho prismático, os quais devem ser alinhados e posicionados pelo ambiente desejado para análise.

Perante as colocações supracitadas, acelerômetros e fotocélulas são dispositivos que podem ser empregados como ferramenta que fornecem informações detalhadas sobre as atividades realizadas pelos desportistas ao longo do período de preparação e competição de vários esportes, possibilitando o desenvolvimento de uma metodologia para obter variáveis biomecânicas no ciclismo de pista e, assim, caracterizar a largada deste esporte que se destaca pela condição física do atleta, sua técnica e tática esportiva.

Assim, o objetivo geral desse estudo é identificar as variáveis biomecânicas na largada do ciclismo de velocidade obtidas pelo o acelerômetro SM-MAE. Para isso, esse estudo foi realizado em três partes; desenvolvimento de uma metodologia de coleta e tratamento dos dados, comparação dos resultados adquiridos pelo acelerômetro SM-MAE com outros sistemas já descritos na literatura e sua consequente validação e, finalmente, a aplicação como ferramenta de análise esportiva.

Desta forma, este trabalho se divide em 2 capítulos. O primeiro capítulo “APLICAÇÃO DO ACELERÔMETRO SM-MAE NO CICLISMO: ADEQUAÇÃO METODOLÓGICA E TRATAMENTO DO SINAL.” Propôs adequar o uso do acelerômetro SM-MAE para aquisição de variáveis biomecânicas, comparar seus dados com dados provindos da cinemetria e de um acelerômetro comercial e, descreve as etapas de tratamento do sinal de aceleração.

O segundo capítulo, “USO DO SM-MAE PARA AQUISIÇÃO DE VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS DO CICLISMO DE PISTA: IDENTIFICAÇÃO E TRATAMENTO DOS CICLOS E PADRÃO DE MOVIMENTO A PARTIR DA CURVA DE ACELERAÇÃO.”. Neste identificou-se as variáveis biomecânicas fornecidas pelo SM-MAE relacionando-as com o desempenho do ciclista num teste de 30 metros em velódromo. Sugeriu a caracterização da largada dos atletas envolvidos nesse estudo. Por fim, apresentamos, em “Considerações Gerais”, a conclusão geral deste trabalho.

CAPÍTULO 1 – APLICAÇÃO DO ACELERÔMETRO SM-MAE NO CICLISMO: ADEQUAÇÃO METODOLÓGICA E TRATAMENTO DO SINAL.

1.1 – Resumo

Análises biomecânicas realizadas em ambiente não laboratorial tem maior possibilidade de caracterizar modalidades esportivas, assim, testou-se o acelerômetro SM-MAE (FEEC/Unicamp) no ciclismo. O Objetivo deste estudo foi identificar a aceleração fornecida pelo SM-MAE e comparar os resultados de aceleração, velocidade e distância deste com a cinemetria e um acelerômetro comercial (MTx Xsens). Foram realizadas duas coletas com uma ex-atleta de ciclismo *outdoor* numa raia de 50m na Unicamp, após consentimento do Comitê de Ética. Inicialmente utilizou-se o acelerômetro SM-MAE e depois acrescentou-se a cinemetria e o Xsens, sendo os dois acelerômetros fixados na bicicleta. A partir da análise das acelerações provenientes do SM-MAE necessitou-se processar os sinais para que estes fossem reconhecidos no sistema NED de navegação, possibilitando identificar a aceleração no eixo de deslocamento frontal da bicicleta e de posse dessa informação foi possível comparar os sinais do SM-MAE com os da cinemetria e do Xsens. Os resultados apresentaram comportamentos similares para os três fenômenos estudados e como conclusão, constatou-se que o SM-MAE é um instrumento com aplicação adequada para analisar o ciclismo de pista.

1.2 – Introdução

A análise biomecânica no campo esportivo proporciona informações importantes sobre estratégias motoras atléticas que possibilitam ascender para o desempenho de excelência (JAMES; NEIL; RICE, 2004). Destarte, variáveis cinemáticas como a determinação da aceleração é fundamental para os estudos do movimento humano no meio

atlético, por ser provavelmente o componente mais importante do treinamento de velocidade específica de esportes.

A aceleração linear inicial é dada quando o atleta parte de uma posição estacionária e começa a correr de forma explosiva em linha reta. Este movimento é observado em quase todos os desportos e repetido várias vezes durante a maioria das competições desportivas.

A possibilidade de obter valores de aceleração no ambiente de treino e competição e de uma maneira que altere o mínimo o gesto específico do atleta, acarretaram em estudos voltados ao uso dos sensores inerciais por fornecer resultados fidedignos e possibilitar a coleta de dados fora do laboratório. Estes pequenos sensores de aceleração, capazes de realizar medidas de vários movimentos humanos, apresentam-se na literatura desde os estudos de Morris publicados em 1973 (TAKEDA et al., 2009).

Atualmente, com o desenvolvimento da eletrônica e dos sensores microelétricos e microeletromecânicos associados à tecnologia *wireless*, tornou-se possível a construção de sensores menores e com comunicação por rádio frequência para a análise esportiva no próprio ambiente de atuação do atleta.

Diante desse cenário foi possível verificar o uso do acelerômetro SM-MAE (construído na FEEC/Unicamp) para adquirir variáveis cinemáticas a fim de caracterizar o ciclismo de pista. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi tratar o sinal do acelerômetro para aplicação no ciclismo, validar a distância percorrida e comparar o fenômeno com acelerômetro comercial (MTx Xsens).

1.3 – Materiais e Método

1.3.1 – Protocolo de coleta e amostra

Os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição onde o estudo foi desenvolvido. (FCM n.801/2011), o qual teve a participação de uma ex-atleta de ciclismo com 8 anos de experiência competitiva. A participante foi informada dos procedimentos, riscos e benefícios antes de assinar o termo de consentimento. Em seguida recebeu as instruções necessárias para o teste, com a bicicleta

instrumentalizada com acelerômetro, após a adaptação ao ambiente de coleta, esta realizou 3 séries de 3 repetições de 50m com intervalo de 1 minuto de recuperação, visando desempenhar o seu máximo. Para o tratamento dos dados foram escolhidas as três melhores execuções.

As coletas foram realizadas em duas fases para adequação metodológica do SM-MAE no ciclismo e validação da distância percorrida: na primeira fase testou-se a mudança de base e buscou reconhecer a sinal, na segunda fase acrescentou-se a cinemetria, um acelerômetro comercial, lombadas de madeira no *sprint* de 50 metros realizados nas dependências da Unicamp.

1.3.2 – Instrumentos para coleta

Para atender os objetivos do estudo, primeiramente realizou-se uma coleta (primeira fase) com o acelerômetro SM-MAE construído no Laboratório de Sensores Microeletrônicos da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp (FEEC), com dimensões de 37x49x20 mm e massa de 40g.

Este é composto por um acelerômetro (MMA7260 Freescale™ Semiconductor, Austin, TX, EUA) e um giroscópio (Vibrating Mass Gyroscope, IDG-300 e IDG 1004, Bulk Sillicom, InvenSense) triaxial controlados por um microcontrolador (HCS08QE64, Freescale™ Semiconductor, Austin, TX, EUA) que possuem padrões de comunicação sem fio (*wireless*) para a rede de sensores (*Xbee™ e Xbee-Pro™*, Digi, EUA) e uma placa móvel (USB, RogerCom, Brasil) alimentada por uma bateria recarregável de lítio 3V (*Lithium Prismatic*, VARTA Microbarttery Inc., EUA) com taxa de amostragem de 25Hz. A placa de recepção dos dados é ligada à porta USB do computador móvel para aquisição (figura 3). A descrição detalhada deste sistema encontra-se em Roa (2009).



Figura 3: a) Placa móvel do SM-MAE, o qual é encapsulado para o uso; b) Interface gráfica com a placa base (extraída de ROA, 2009).

O acelerômetro comercial (MTx Xsens) com dimensões 38x53x21cm foi usado na segunda coleta com objetivo de comparar seus dados com os do acelerômetro SM-MAE. Esse sistema também é composto por giroscópio e acelerômetro tridimensionais com o diferencial de possuir magnetômetros tridimensionais e taxa de amostragem de 120Hz. Este captava as informações transmitidas via fio para uma placa colocada na região lombar do ciclista, a qual transmitia os sinais via *wireless* a um receptor conectado à porta USB de um computador portátil.

A filmagem foi realizada por duas câmeras digitais Cássio (EX-F1 K860PCM 1DMX Exilim) filmando a *fullHd* com frequência de aquisição de 60Hz. Estas foram posicionadas, aproximadamente, à 27 m de distância da raia e cada uma enquadrrou metade desta (25m), conforme figura 1.

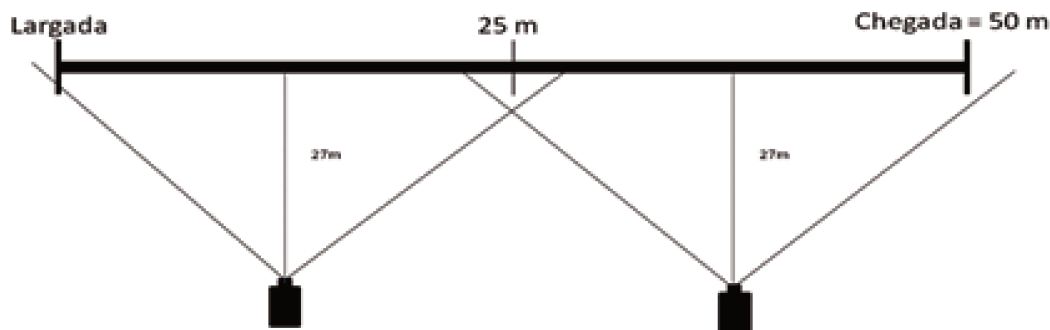


Figura 1: Esquema ilustrativo do posicionamento das câmeras nas coletas.

Para salientar a zona alvo de teste nos sinais recebidos dos acelerômetros (fase do *Sprint*) houve a necessidade de implementar a largada e a chegada com lombadas

produzidas com madeira para garantir o reconhecimento do início e fim do trajeto (figura 2).

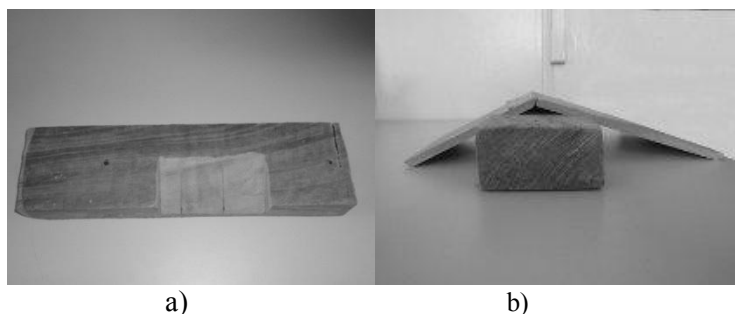


Figura 2: Rampas que delimitaram o trajeto de teste: a) rampa de largada, b) rampa de chegada.

1.3.3 – Procedimento da coleta

Os acelerômetros foram fixados com tiras plásticas no tubo central do quadro da bicicleta logo à frente do canote do selim (figura 4) e tendo seus eixos ortogonais entre si formam um *Sistema Móvel de Coordenada*, sendo necessário estabelecer a atitude inicial do sistema, (disposição inicial dos eixos). O sistema NED é o mais conveniente para a análise da aceleração, porque o eixo *Z* (Azimuth) representa a gravidade da Terra o eixo *X* o norte verdadeiro e o eixo *Y* o leste. Esse sistema foi escolhido porque, segundo Titterton e Weston (2004), viabiliza a reprodutibilidade do estudo por ser um sistema de navegação mundial possibilitou estabelecer as referências entre os 3 objetos: Terra, bicicleta e pesquisador. No experimento foi usada uma bicicleta de pista devidamente ajustada às características da voluntária, com uma relação de marcha fixa 48X16 (tamanho da coroa x tamanho do pinhão).



Figura 4: Posicionamento dos acelerômetros na bicicleta (1° - SM-MAE, 2° - comercial).

Os *sprints* ocorreram em uma raia traçada em direção ao norte verdadeiro (geográfico) obtida por um por e um GPS (Garmim Foretrex 201) e a distância de 50m foi medida por uma trena a laser (Leica, Disto D5) esse cuidado é sugerido na literatura com a finalidade de evitar a influência da força de *Corolis* (TITTERTON; WESTON, [1997] 2004). A aceleração de *Corolis* atua sobre corpos em movimento em relação ao sistema fixo à Terra sendo sempre perpendicular ao movimento, de modo a alterar a trajetória desses corpos. Como a velocidade angular da Terra é muito baixa (360° por dia, ou aproximadamente $7,2 \times 10^{-5}$ radianos por segundo), a força de *Corolis* não é muito significativa em distâncias pequenas, porém essa força foi considerada, para que o processamento do sinal possa ser empregado em eventos mais longos (> que 10 segundos). Equação 1 de *Corolis*:

$$\vec{F}_C = 2m (\vec{\omega} \times \vec{v}_r) \quad (1)$$

Onde $\vec{\omega}$ é o vetor velocidade angular de rotação da Terra, $\vec{v}_r$ é a velocidade linear observada a partir do instante de rotação e m é a massa de partículas (James, 2004).

1.3.4 – Processamento dos sinais

As acelerações adquiridas pelo SM-MAE foram identificadas com as do sistema NED de navegação por rotinas a partir de rotação de *Ângulos de Euler* no *software* Matlab[®] definindo o vetor de norma mais próxima do vetor $(0 \ 0 \ g)$. Os sinais elétricos dos

acelerômetros SM-MAE e MTx Xsens foram amplificados e enviados por uma *interface* ao computador e armazenado nos programas LabVIEW® e COM-object API (*Windows*), respectivamente.

O acelerômetro comercial por conter giroscópios e magnetômetros os quais calculam a orientação através de algoritmo de fusão de sensores que funciona como filtro de Kalman no seu interior (*Xsens Kalman Filter- XKF-3*), o qual corrige a orientação e os valores das acelerações a partir da gravidade e do campo magnético da Terra. E para o processamento de seu sinal fez a subtração das médias dos valores estáticos dos valores referentes ao teste de 50m.

Os vídeos foram transferidos para o computador e salvos em formato AVI (Audio Video Interleaved), a sincronização das imagens se fez a partir de um evento comum identificado em cada uma das câmeras e para sincronização destas com o SM-MAE utilizou-se de picos no sinal presentes no início e no final do trajeto (gerados como resposta às lombadas), as quais foi possibilitaram calcular as integrais para determinar a distância e conferir com a dimensão da pista traçada para o teste.

A calibração foi feita a partir de pontos previamente conhecidos na raia traçada, cones posicionados na linha de largada, nos 25m e na linha de chegada, com correspondência ao plano da imagem.

Devido cada sistema adquirir os dados em frequências diferentes foi necessário interpolar os dados do SM-MAE e da cinemetria para 120 Hz. Os algoritmos usados no tratamento dos sinais adquiridos com os três sistemas foram desenvolvidos no *software* Matlab® e o filtro utilizado foi *Butterworth* (ordem 6 e frequência de corte 20Hz).

1.3.4.1 – Tratamento do sinal de aceleração do SM-MAE

Apesar do SM-MAE ser um sistema inercial, o presente estudo está focado no uso da acelerometria como instrumentação para aquisição de variáveis cinemáticas relacionadas ao ciclismo.

A partir do acelerômetro fixado à bicicleta faz-se o reconhecimento do Sistema Móvel de Coordenada, conforme mostra a figura 5, sendo necessário a transformação das coordenadas (SANTANA et al., 2004) utilizou-se do sistema NED, onde o eixo Z se encontrava alinhado com a gravidade, o eixo X ao norte verdadeiro e o eixo Y ao leste geográfico com valores aproximados de $[0 \ 0 \ g]^t$.

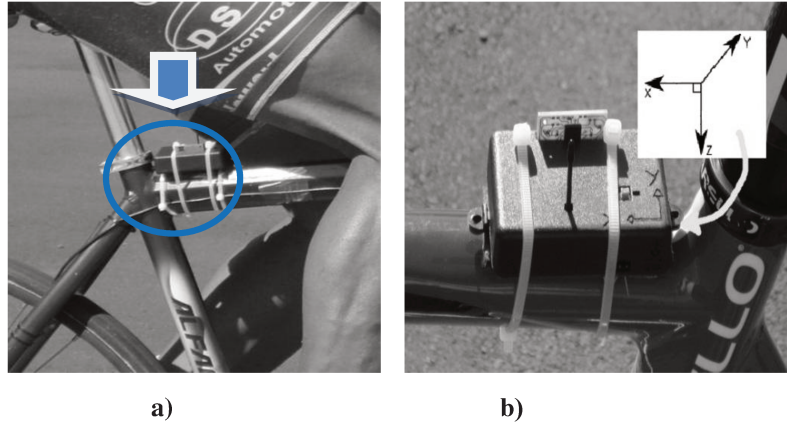


Figura 5: a) Posicionamento do acelerômetro SM-MAE na bicicleta, b) Visualização esquemática dos eixos x, y, z do acelerômetro.

Com esses referenciais identificou- as acelerações no deslocamento da bicicleta e pela sua segunda integral identificar a distância conhecida da raia,o que permitiu analisar a aceleração a partir desta nova base (figura 6).

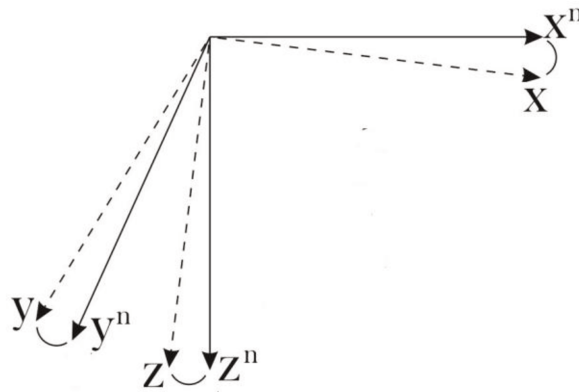


Figura 6: Representação da mudança de coordenada, onde os eixos x, y e z fazem parte do Sistema Móvel de Coordenada e os eixos x'' , y'' , z'' do sistema NED.

Esta transformação do sistema de coordenadas tridimensional fez-se por matriz de rotação usando ângulos de Euler, a qual é dada pelo produto de matrizes de rotações independentes (1.1, 1.2, 1.3) para cada um dos eixos (x , y , z) que pode ser expressa pela matriz de rotação resultante (2).

$$\text{Rotação do ângulo } \psi \text{ referente ao eixo Z, } C_1 = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

$$\text{Rotação do ângulo } \theta \text{ referente ao eixo Y, } C_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

$$\text{Rotação do ângulo } \phi \text{ referente ao eixo X, } C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

$$C_b^n = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & -\cos \phi \sin \psi + \sin \phi \sin \theta \cos \psi & \sin \phi \sin \psi + \cos \phi \sin \theta \cos \psi \\ \cos \theta \sin \psi & \cos \phi \cos \theta + \sin \phi \sin \theta \sin \psi & -\sin \phi \cos \psi + \cos \phi \sin \theta \sin \psi \\ -\sin \theta & \sin \phi \cos \theta & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

Estimado a atitude inicial do sistema, pela matriz 3x3 C_b^n multiplicada pela aceleração dada pelo sistema (a^b), encontramos as acelerações no novo sistema de coordenada (a^n), como segue equação 3.

$$a^n = C_b^n a^b \quad (3)$$

Antes de realizarmos as integrais para determinar a velocidade e a distância percorrida, foi calibrado cada vetor de aceleração, a partir da média das acelerações de a^n no intervalo de tempo em que a bicicleta permaneceu estática e subtraiu-se das acelerações ocorridas durante o movimento (4).

$$\bar{a} = f_d^n - \frac{\sum(f_e^n)}{n} \quad (4)$$

Com os resultados dos primeiros cálculos foi adicionado ao sistema SM-MAE um filtro passa-baixa para limitar a banda de alta frequência antes da conversão analógico-digital (ADC) e após tal procedimento realizou-se uma nova coleta seguindo o mesmo protocolo citando anteriormente.

No processamento dos dados, ainda permanecia a dúvida de como distinguir o início e fim do percurso (figura 7) a fim de coincidir a distância total traçada no teste -a segunda integral da curva de aceleração em x.

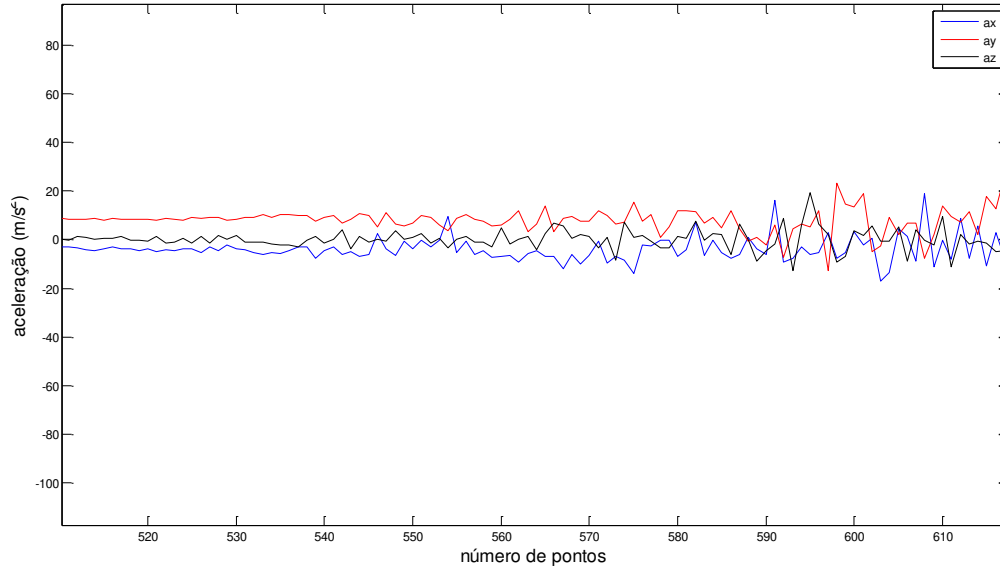


Figura 7: Representação ampliada (recorte de 100 pontos) das acelerações referentes aos três eixos (x, y, z).

Diante deste fato foram projetados os obstáculos físicos (lombadas) em madeira, dispostos um na largada e outro na chegada, para que fosse produzido um sinal discrepante que possibilitasse delimitar, com certeza, a raia usada na coleta, portanto, uma nova coleta foi realizada.

A datar das técnicas usadas houve o reconhecimento do sinal das acelerações do sistema inercial SM-MAE que ocasionou a identificação do comportamento dos sinais e os valores das acelerações nos três eixos (x, y e z), apresentados na figura 8. A aceleração no

eixo x (linha azul) refere-se ao deslocamento frontal da bicicleta, no eixo y (linha vermelha) às oscilações laterais e no eixo z (linha preta) à movimentação vertical que sofre interferência pelo tipo de solo.

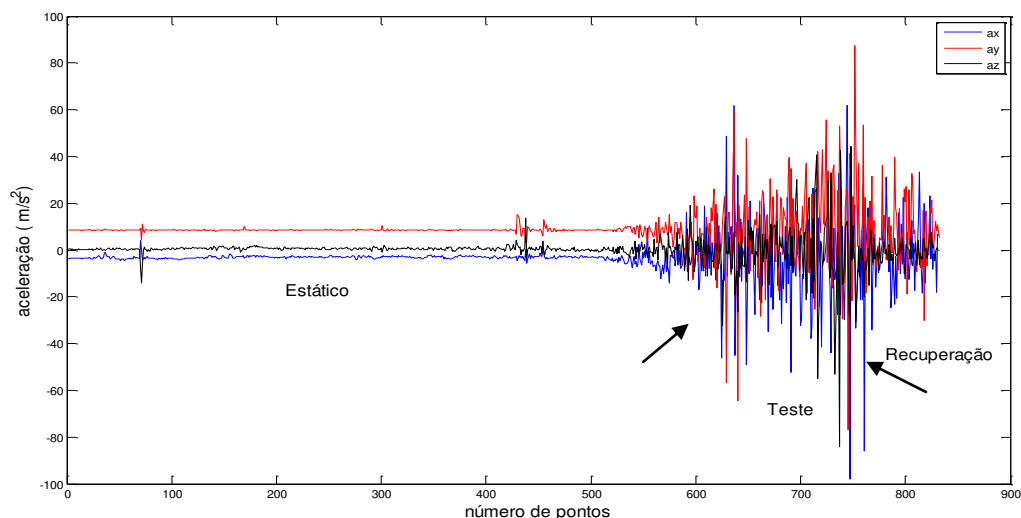


Figura 8: Representação gráfica das acelerações adquiridas nos três eixos pelo SM-MAE utilizando as lombadas no início e fim da raia.

Na figura 8 estão definidas as três fases do evento: preparação para a largada (período estático), trecho de aceleração da bicicleta (período de teste) e de desaceleração (recuperação). No trecho de teste, com duração aproximada de 10 segundos, visualizou-se o início da aceleração referente à largada no primeiro pico, na sequência percebeu-se que a mesma permaneceu constante e novamente aumentou pela proximidade da chegada (ilustrado por setas).

O segundo objetivo foi comparar o fenômeno com um acelerômetro comercial (MTx Xsens) nesta coleta utilizou de duas filmadoras e as lombadas .

A comparação entre o acelerômetro SM-MAE com o MTx Xsens e a cinemetria ocorreu pela distância do teste ser controlada e para as análises das acelerações optou-se, apenas, pelos dados referentes ao eixo x referente ao deslocamento antero-posterior.

Para atender os objetivos propostos neste estudo alusivo ao aparelhamento da coleta de dados foi preciso dispor de duas filmadoras, duas lombadas para demarcar o trajeto do teste e dois acelerômetros com a intenção de garantir os resultados obtidos. Diante das

diferenças entre os instrumentos de análise, a comparação da aceleração da bicicleta ocorreu pela caracterização e descrição das curvas da aceleração no eixo x em função do tempo decorrente do evento estabelecido (figura 9). Destaca-se que para esta análise foi desconsiderado o período estático e de desaceleração.

1.4 – Resultados

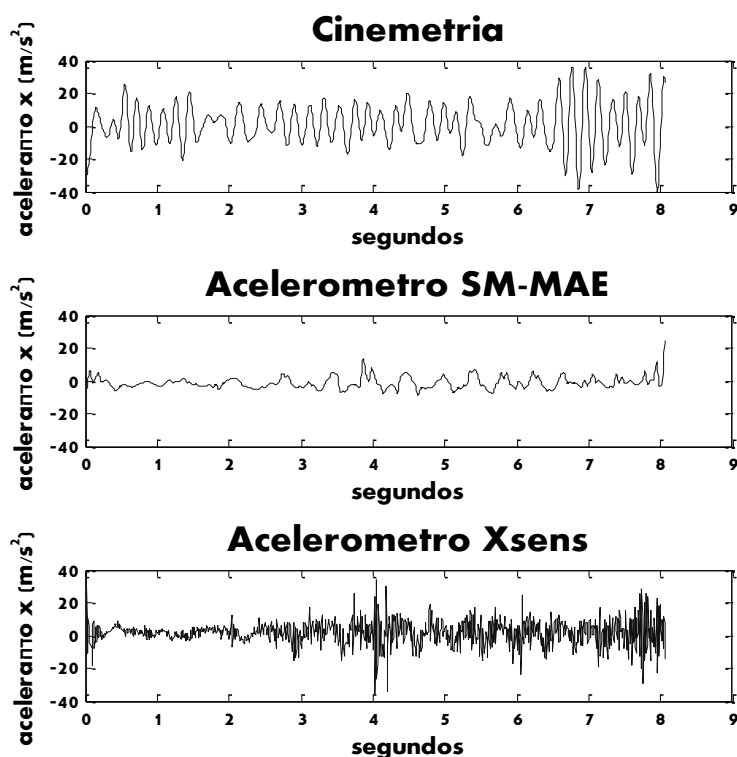


Figura 9: Representação gráfica das acelerações coletadas no eixo x pelos três sistemas.

Na figura 9 constatou-se que as acelerações apresentaram semelhanças no comportamento das curvas (m/s^2 x segundos) e constatou-se que a média da aceleração obtida pelos três sistemas ficou próxima de $1,50m/s^2$.

O início do percurso para os três sistemas apresentaram um pico produzido, provavelmente, pela necessidade da ciclista vencer a inércia, outro destaque ocorreu do meio para o fim do evento com maiores aceleração, eventualmente motivada pela proximidade da linha de chegada.

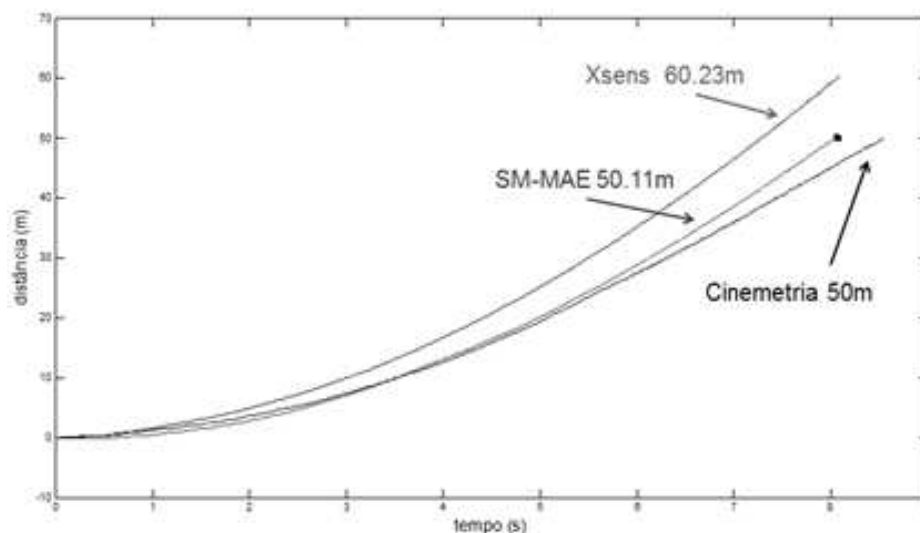


Figura 10: Representação das distâncias percorridas pela bicicleta advindas dos três sistemas.

Na figura 10, também, observou-se semelhança na distância percorrida pela bicicleta com um valor mais pronunciado para o Xsens enquanto que o SM-MAE apresentou um valor mais próximo do correspondente ao trecho delimitado ao teste como visto pela cinemetria.

1.5 – Discussão

Posteriormente as coletas executadas e analisadas, constatou-se que o acelerômetro SM-MAE possibilitou a aquisição de variáveis cinemáticas para caracterizar o ciclismo de pista. O resultado da comparação das curvas ($m/s^2 \times segundos$) no teste dinâmico de 50 m foram resultados semelhantes na descrição gráfica da aceleração para os diferentes sistemas, condição esperada para o evento analisado.

A variável distância adquirida com o SM-MAE conferiu com os 50m da raia estabelecida para a coleta, corroborando com a cinemetria. No entanto, isto não foi verificado pelo acelerômetro comercial, provavelmente por conta de uma maior sensibilidade, captação de mais ruído, o que dificultou em definir a finalização do percurso.

O sistema NED, sugerido por Titterton e Weston (2004) e Santana et al. (2004), foi considerado para estabelecer a metodologia de coleta e as rotinas para o processamento dos sinais das acelerações provenientes do SM-MAE. Estes processamentos viabilizaram determinar os ângulos de rotação em situação estática, e assim, realizar a mudança de coordenadas para reconhecer a bicicleta e identificar a aceleração da mesma.

Mesmo que a implementação das lombadas no início e fim da raia de 50 m tenha alterado os sinais nesses instantes e possibilitado a identificação das acelerações exercidas pela bicicleta no percurso especificado, modificou a característica da largada e da chegada.

Percebeu-se, com os resultados comparativos entre os três métodos de análise, que o sistema inercial SM-MAE descreveu o evento testado e se qualifica para obter variáveis cinemáticas no ciclismo *outdoor*. Ademais, é leve, pequeno, sem fio com possibilidade de ser fixado em qualquer equipamento esportivo como em diversas partes do corpo humano e, ser utilizado em ambiente de treinamento e/ou competitivo.

1.6 – Conclusão

Em conformidade com os resultados discutidos nesta pesquisa conclui-se que o SM-MAE pode ser usado para analisar o ciclismo a fim de caracterizar tanto o esporte quanto os ciclistas individualmente.

Entretanto, para suprir esta finalidade foi necessária outra estrutura de coleta que auxilie na identificação de cada fase do evento sem que coloque a segurança dos atletas em risco e que não fique limitada à bicicleta estacionária. Ao refletir sobre estas colocações surgiu a proposta de substituir as filmadoras e as lombadas pelo sistema de fotocélulas.

Em razão das fotocélulas serem utilizadas em ambiente não laboratorial que irrompeu a ideia de usá-las em sincronismo com o SM-MAE, posicionando uma na largada e outra na chegada. Nesse contexto, deixa-se a sugestão para testar tal procedimento.

CAPÍTULO 2 – USO DO SM-ME PARA AQUISIÇÃO DE VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS DO CICLISMO DE PISTA: IDENTIFICAÇÃO E TRATAMENTO DOS CICLOS E PADRÃO DE MOVIMENTO A PARTIR DA CURVA DE ACELERAÇÃO.

2.1 – Resumo

No ciclismo de velocidade variáveis como velocidade, aceleração e cadência servem para acompanhar o treinamento técnico e tático do ciclista e, utilizar um instrumento que seja de fácil aplicação para que forneça-as de modo rápido e seguro é relevante para avaliar e preparar o atleta. Foi com os avanços tecnológicos que surgiram os microacelerômetros, instrumentos pequenos e leves, capazes de monitorar os ciclistas no velódromo fornecendo informações detalhadas da sua prática. Portanto, identificar variáveis biomecânicas usando um acelerômetro (SM-MAE) triaxial no ciclismo de velocidade foi objetivo deste que contou com cinco ciclistas de alto rendimento. A coleta ocorreu no velódromo, os atletas realizaram 3 *sprints* de 30m cada um e o acelerômetro (SM-MAE) foi fixado no quadro da bicicleta. Com base nas curvas das acelerações extraiu-se as variáveis cinemáticas: aceleração, velocidade e tempo no trajeto total e em cada ciclo de pedalada referente ao eixo relacionado ao deslocamento da bicicleta. . O processamento do sinal e as rotinas para identificação das curvas de aceleração e suas integrais como o tratamento estatístico ($p \leq 0,05$) foram realizados no *software* Matlab®. Na comparação entre as variáveis de aceleração não foi identificado diferenças significativas para todas elas entre os voluntários e nem entre as repetições. A velocidade máxima de cada ciclo e a velocidade máxima total de cada *sprint*, obteve-se diferença significativa entre os atletas, apontando A1 e A3. Na variável tempo final (TT), foi possível identificar alta correlação positiva com tempo de soma dos dois ciclos de pedal (T2), com a velocidade máxima (Vmax), TC1(tempo do primeiro ciclo de pedalada), aceleração negativa máxima (ANmax), média do vale da aceleração negativa (MvaleAN) e teve relação TC1 com T2 e T2 com MvaleAN. E

também relação entre $V_{m\acute{a}x}$ com AN_{max} e M_{valeAN} . Conclui-se que o SM-MAE é capaz de fornecer variáveis biomecânicas no ciclismo de pista auxiliando o diagnóstico da capacidade atlética como do programa de treinamento.

2. 2 – Introdução

O ciclismo de velocidade tem como objetivo superar as resistências ao movimento (resistência da aerodinâmica e de rolamento) pela energia aplicada aos pedais (NABINEGER, 2006). Na maioria dos eventos dessa modalidade o desempenho do *Sprint* é um dos principais fatores determinantes para a uma boa competição. Este fator resume-se na habilidade de produzir altas velocidades para cobrir determinadas distâncias no menor tempo possível (FERMINO, 2008).

Dependendo da distância envolvida no Sprint, este pode ser dividido em três fases: aceleração inicial, velocidade máxima, manutenção da velocidade e queda da velocidade. Na fase inicial, grande parte da energia desprendida pelo ciclista é para se acelerar, exigindo 73% do trabalho sobre os primeiros 12 segundos nos quais o ciclista de elite alcança aproximadamente 17m/s (MARTIN; DAVIDSON; PARDYJAK, 2007), enquanto que a energia produzida posteriormente tem o objetivo de superar o arrasto aerodinâmico e a resistência de rolamento da bicicleta (MARTIN; DAVIDSON; PARDYJAK, 2007).

Entretanto, segundo Schmacher e Mueller (2002) para obter boas marcas competitivas é interessante que o desempenho seja o mais homogêneo possível a respeito das acelerações e velocidades, pois se a aceleração for intermitente exige esforços adicionais do ciclista para a execução do *sprint*.

Assegurando o princípio da especificidade no ciclismo, técnicos e treinadores empregam o *Sprint* tanto nos programas de treinamento como na forma de obter parâmetros quantitativos para avaliação de desempenho da modalidade. Para obter parâmetros quantitativos é necessário a medição, descrição, monitoramento, análise, diagnóstico e interpretação dos dados (NABINEGER, 2006).

A medição envolve um conjunto de operações para determinar o valor da grandeza, na descrição há o relato dos dados relacionados ao movimento, o monitoramento o método utilizado para aquisição das variáveis de interesse, a análise é o processamento dos dados brutos para obter as variáveis em estudo, o diagnóstico e a interpretação são abordagens que motivam uma conclusão em relação ao movimento (NABINEGER, 2006).

Para todo esse processo a escolha do método avaliativo deve considerar a objetividade, acessibilidade, facilidade de obtenção de dados, custo operacional e pessoas treinadas no procedimento.

O ciclismo é um esporte que possui grande número de variáveis, a medição e o registro destas permite uma análise mais aprofundada do movimento (GARDNER, 2004), porém poucos trabalhos foram realizados em ambiente não laboratorial e as publicações, a respeito das acelerações em Sprint e no ciclismo de velocidade, não enfatizaram a obtenção dessa variável de forma direta mas por modelagens matemáticas (MARTIN; DAVIDSON; PARDYJAK, 2007).

Bertucci, Taiar e Grappe (2005) comparou variáveis biomecânicas obtidas em *sprints* realizados no *Ergo-trainer* (a bicicleta do atleta é fixada a um rolo de treinamento portátil) com os realizados em uma raia traçada num ginásio, ambos executados na posição em pé e sentado no selim, verificou resultados significativamente diferentes, apontando a importância do monitoramento em condições reais do esporte.

Diante do cenário relatado há necessidade de uma pesquisa mais próxima das características de treino e competição da modalidade objetivada, atualmente, os avanços tecnológicos favoreceram a construção de sensores com características físicas (pequeno e leves) e funcionais (sem fio) que propicia o monitoramento de atletas no seu ambiente com o mínimo de interferência no gesto atlético.

Visando tais características e a aplicabilidade no esporte que o Laboratório de Sensores Microeletrônicos da Faculdade de Engenharia Elétrica de Computação da Unicamp, desenvolveu um sistema inercial denominado SM-MAE e, em parceria com o Laboratório de Instrumentação em Fisiologia da Faculdade de Educação Física da Unicamp este instrumento de medida foi utilizado no ciclismo de pista com objetivo de identificar variáveis biomecânicas relevante ao desempenho esportivo em provas de velódromo.

Desta forma, identificar e utilizar as variáveis provenientes de um instrumento como este é relevante para a avaliação e a preparação de atletas de várias modalidades. Considerando a importância da fase inicial da saída, aceleração, no ciclismo de pista para um bom resultado competitivo, é conveniente avaliar estratégias através das variáveis extraídas dessa fase pelo acelerômetro.

Por isso este estudo teve como objetivo analisar a componente horizontal da aceleração durante os ciclos de pedalada, propor formas de análises e específicos foram caracterizar a amostra, identificar padrões de aceleração e velocidade na largada, compará-las entre e inter atletas e correlacionar as variáveis.

2.3 – Materiais e Método

Os procedimentos experimentais do estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição onde este foi desenvolvido e contou com a participação de 5 ciclistas de alto rendimento do sexo masculino, com idade média de 30 anos em média com o mínimo de 10 anos de experiência competitiva, que aceitaram cooperar assinando o termo de consentimento.

Os atletas executaram a largada parada para os 3 *sprints* de 30m, visando o desempenho máximo e tiveram de dois a três minutos de recuperação entre eles. A coleta ocorreu no velódromo de Careiras/SP com uma bicicleta instrumentalizada com SM-MAE e foi devidamente ajustada às características do voluntário, mas manteve a mesma relação de marcha (48X16) para todos. Duas fotocélulas (CEFISE®, São Paulo, Brasil) foram incorporadas ao sistema para a demarcação do início e final do *sprint* (figura 1).



Figura 1: Posicionamento da fotocélula usada para delimitar o percurso.

O sincronismo entre os sinais da fotocélula e do acelerômetro foi desenvolvido no Laboratório de Sensores Microeletrônicos (LSM) da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da Unicamp a partir de um circuito (figura 2) que fizesse comunicação apenas entre duas fotocélulas comerciais (CEFISE®, São Paulo, Brasil) e incorporado no programa de coleta do acelerômetro, assim a coleta de ambos os sinais são adquiridas concomitantemente.

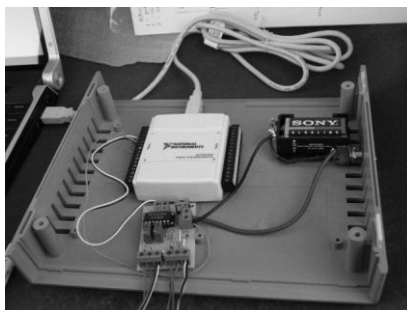


Figura 2: Circuito da fotocélula usado para sincronizar com o acelerômetro.

O funcionamento da fotocélula consiste em um sensor fotoelétrico que transforma a energia luminosa em energia elétrica (Sensor G18-3B2NC de saída NPN - NA+NF). O objeto é detectado ao passar entre o emissor de luz (feixe de laser infravermelho) e o espelho prismático. O espelho prismático possui pequenos prismas com superfícies angulares a 45°, fazendo com que os feixes de luz emitidos e refletidos sejam paralelos, retornando deste modo, o máximo de luz ao refletor, situação que não ocorre quando a luz é refletida sobre um objeto. Portanto, para que esta barreira funcione adequadamente, é

necessário que o transmissor e receptor estejam perfeitamente alinhados em uma distância sensorial máxima de 2 metros.

Neste sistema retro reflexivo o transmissor e o receptor da fotocélula são montados na mesma unidade e o acionamento ocorre quando o objeto a ser detectado entra na região de sensibilidade e reflete o feixe de luz emitido pelo transmissor. Sabendo que o feixe de luz alcança o receptor somente após ser refletido pelo espelho prismático, o momento da largada será registrado quando o feixe for interrompido pela passagem da parte superior do garfo da bicicleta.

Desta forma, observou-se que seu funcionamento se baseia na luminosidade modulada emitida através de uma lente situada na superfície frontal diretamente sobre um refletor ou sobre a bicicleta. A luz refletida é recebida por outra lente, receptora, e processada eletronicamente, causando uma alteração na condição de saída do sensor. Com o termino de passagem da bicicleta da área de monitoramento o sensor volta a sua condição normal.

O SM-MAE foi fixado no tubo central do quadro à frente do canote do selim (Figura 3) de forma que os eixos x, y e z referiam-se às acelerações antero-posterior, latero-lateral e longitudinal, respectivamente.

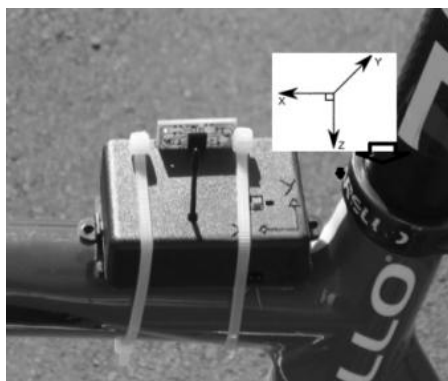


Figura 3: Fixação do acelerômetro na bicicleta.

O sistema inercial SM-MAE possui padrão de comunicação sem fio (wireless) para a rede de sensores, baseado em sensores micro-eleto-mecânicos (MEM'S) de aceleração e rotação, com finalidade de medir a aceleração linear e a velocidade angular. Este sistema é composto por um acelerômetro (MMA7260 Freescale, Austin, TX, EUA) e um giroscópio

(Vibrating Mass Gyroscope, IDG-300 e IDG 1004, Bulk Sillicom, InvenSense, CA, EUA) tridimensionais.

Os sensores são controlados por um microcontrolador (HCS08QE64) alimentado por uma bateria recarregável de 3,7V (Lithium Prismatic). O conjunto apresenta dimensões de 37x49x20mm e massa de 40g.

Esse sistema (SM-MAE) fornece informações quantitativas imediatas durante a prática esportiva via rádio frequência (Xbee/Xbee Pro, Digi Xbee) com uma taxa de amostragem de 25Hz, cujo receptor (placa base) adaptado a partir da placa USB-RogerCom é ligado a uma porta USB de um microcomputador.

Os dados provenientes do SM-MAE e fotocélulas são visualizados e armazenados por meio de um programa de interface construído em plataforma LabView® (National Instruments), os sinais da fotocélula foram acolhidos pelo cabo conectado ao circuito integrado ao programa no microcomputador.

Adquiriu-se as acelerações nos três eixos e a partir das curvas de aceleração no eixo x distinguiram-se as fases dos testes apresentadas na figura 4. A linha de base refere-se ao tempo de espera do sinal de largada, e o *delay* trata-se da movimentação do ciclista em reação ao comando de partida e assim, variáveis biomecânicas que fazem referência ao rendimento do ciclista foram observadas no intervalo de tempo em que decorreu o deslocamento de 30 m (delimitada com os asteriscos na figura 4).

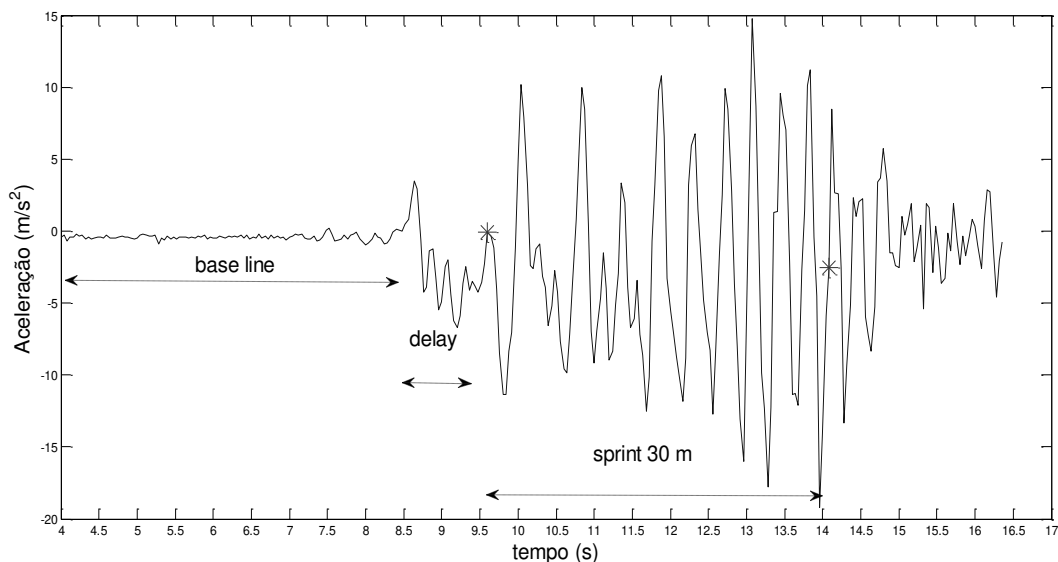


Figura 4: Aceleração na direção antero-posterior em um *sprint* de 30 m realizado em velódromo.

A partir da delimitação dos 30m foram feitas as análises para o eixo x, eixo que correspondeu ao movimento antero-posterior do ciclista.

Dessa maneira, as variáveis de aceleração e velocidade foram extraídas a partir do gráfico aceleração x tempo (figura 5) e de velocidade x tempo (figura 6) no *sprint* de 30m.

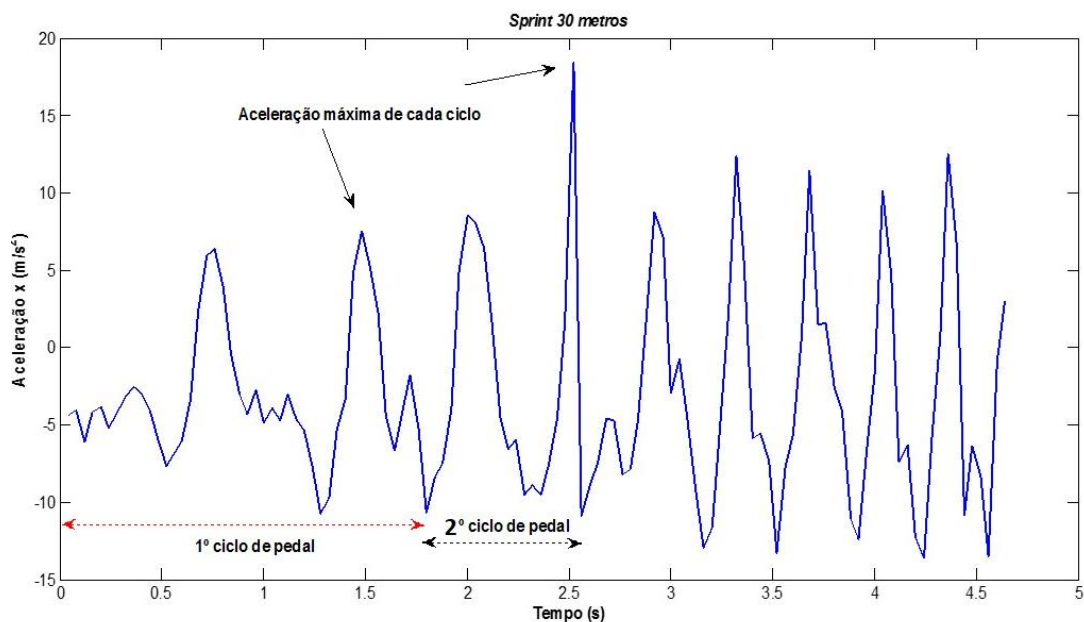


Figura 5: Variáveis relacionadas aos ciclos do pedal através da curva de aceleração(m/s) no eixo x.

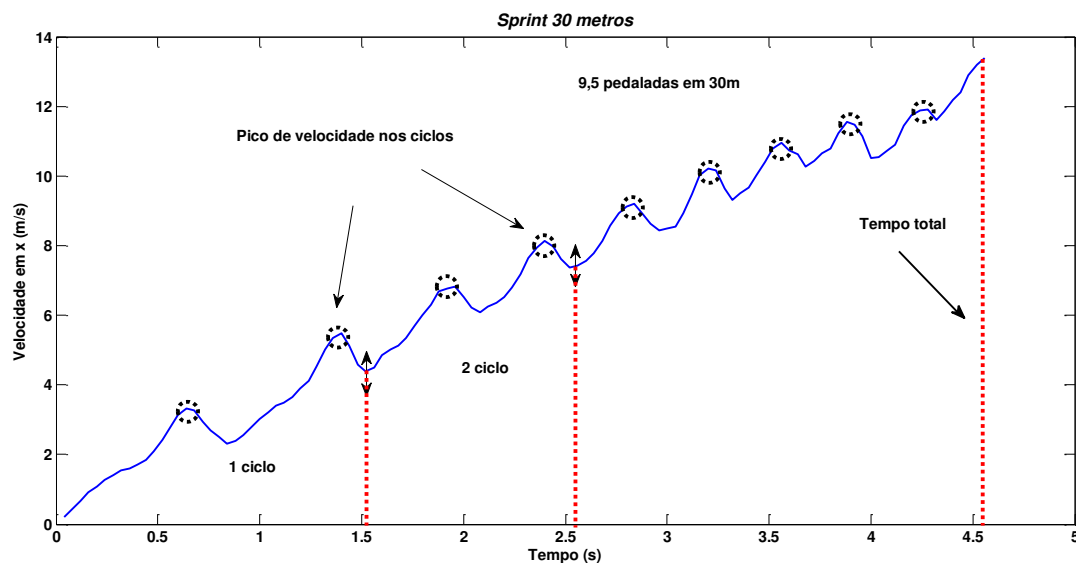


Figure 6: Variáveis selecionadas a partir da velocidade (m/s) de deslocamento da bicicleta no eixo x.

Verificando os picos referentes a cada volta do pedal contou-se 9,5 pedaladas que com o cálculo da distância (6,4m) percorrida pela bicicleta a cada ciclo (composta por dois picos), este último valor multiplicado por 4.75 ciclos temos a distância total do teste de 30m coletado (1).

$$\frac{2\pi * \text{nº de dentes do prato}}{\text{nº de dentes do pinhão}} = \frac{0,68 * 3,14 * 48}{16} = 6,4\text{m} \quad (1) \quad (\text{BAKER, 2002}).$$

A seguir apresenta-se, na tabela 1, as variáveis referentes ao eixo x para o estudo.

Tabela 1: Descrição das siglas das variáveis obtidas pelo SM-MAE para analisar o Sprint de 30m.

VARIÁVEIS	SIGLA
Máxima aceleração	Amax
Máxima velocidade	Vmax
Tempo do primeiro ciclo de pedalada	TC1
Tempo do segundo ciclo de pedaladas	TC2
Tempo do terceiro ciclo de pedalada	TC3
Tempo do quarto ciclo de pedalada	TC4
Tempo dos dois primeiros ciclos de pedalada	T2
Tempo total	TT
Aceleração máxima no primeiro ciclo	AC1
Aceleração máxima no segundo ciclo	AC2
Aceleração máxima no terceiro ciclo	AC3
Aceleração máxima no quarto ciclo	AC4
Media dos picos de aceleração	MPicoA
Aceleração Negativa máxima no primeiro ciclo	ANC1
Aceleração Negativa máxima no segundo ciclo	ANC2
Aceleração Negativa máxima no terceiro ciclo	ANC3
Aceleração Negativa máxima no quarto ciclo	ANC4
Media dos vales de aceleração negativa	MvaleAN
Máxima aceleração negativa	ANmax
Velocidade em x no primeiro ciclo	VC1
Velocidade em x no segundo ciclo	VC2

Velocidade em x no terceiro ciclo
Velocidade em x no quarto ciclo

VC3
VC4

O tratamento estatístico (Média, Desvio Padrão, ANOVA *twoway*, teste post hoc de Tukey e correlação de Spearman), o processamento do sinal e as rotinas para identificação das curvas de aceleração e suas integrais foram realizados no *software* Matlab®. O tratamento dos dados foi baseado nas curvas de aceleração e velocidade do eixo x e o nível de significância adotado foi $p \leq 0,05$.

2.4 – Resultados

2.4.1 – Identificação das variáveis

No ciclismo de velocidade as exigências ocorrem num intervalo de 12 a 70 segundos, mensurar as variáveis de potência, cadência, aceleração e velocidade na fase inicial da prova fornecem informações sobre a estratégia de largada nesta modalidade. Assim, o controle destas permite diagnosticar as capacidades físicas, técnica e tática do atleta, favorecendo a determinação de parâmetros de saída para otimizar o rendimento da prova do ciclismo de velocidade.

A estratégia de largada foi observada do instante em que a bicicleta se encontrava parada até vencer a inércia, representada pela diferenciação do padrão de pico da curva de aceleração, dos detalhes das amplitudes (altura da onda) e frequências (base da onda) desses picos que variaram de indivíduo para indivíduo. Esses padrões foram explorados a fim de apontar características individuais (figura 7).

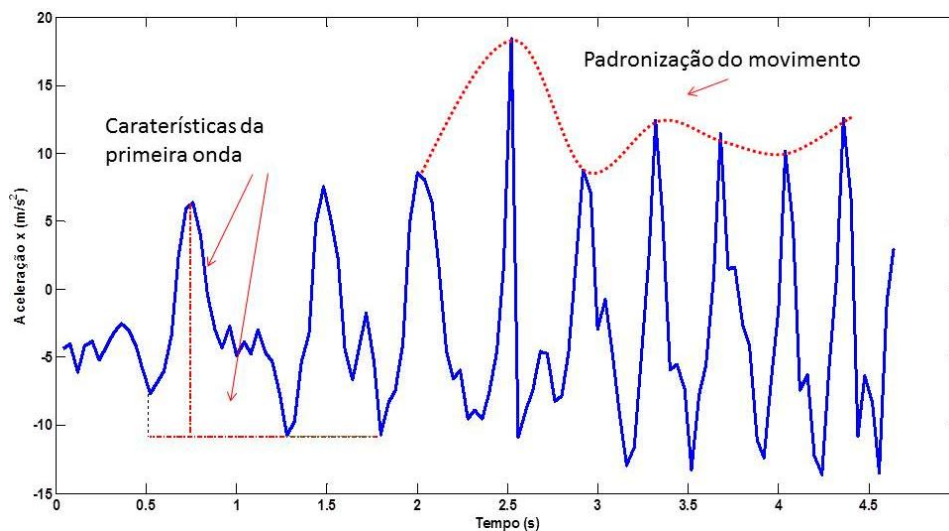


Figura 7: Representação gráfica dos picos, frequências e padrão de movimento.

Na fase seguinte à inércia, os picos mais homogêneos na amplitude, apontam para um padrão de ciclo da pedalada, este gesto é composto pela rotação bilateral do pedal referente a dois picos referentes a cada fase descendente de cada pé, (ângulos 0° a 180°, instantes de maior torque, com maior desenvolvimento da potência e ativação muscular, enquanto que a fase ascendente do pedal (180 ° a 360 °) é verificada na sequência das curvas dos gráficos. A notável diferença entre as alturas dos picos possibilita identificar o membro inferior mais forte.

Para melhor observar as características individuais dos ciclistas a seguir as figuras (8, 9, 10,11 e 12), que constam com a aceleração na execução dos 3 testes válidos realizados por cada atleta. Para todas as figuras a 1ª, 2ª e 3ª repetições foram representadas pelas cores azul, vermelha e preta respectivamente.

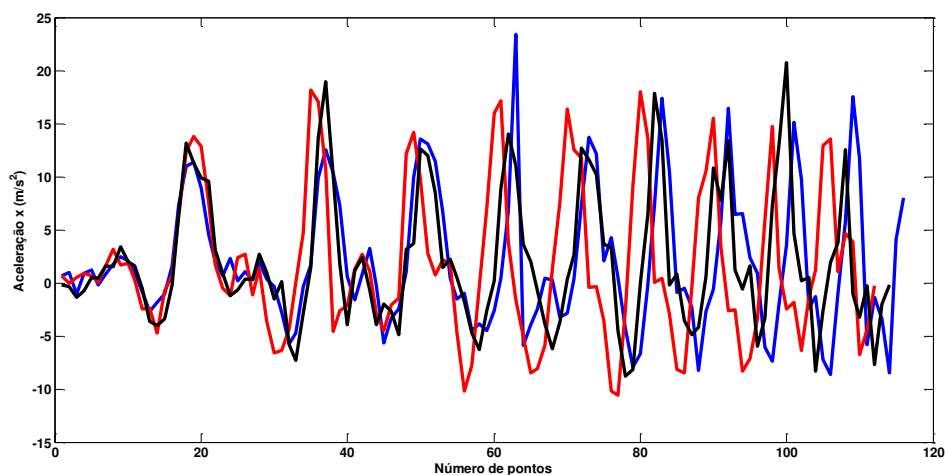


Figura 8: Aceleração no eixo de deslocamento dos 3 testes realizados por A1.

A figura 8 apresenta as três repetições executadas pelo ciclista A1, na qual percebeu-se um padrão na largada, e a partir do segundo ciclo ocorreram as diferenças entre as execuções. A segunda repetição (vermelho) foi a mais acelerada, além disso, a primeira repetição (azul) houve um pico de aceleração discrepante (4º ciclo) dentro da repetição e perante as demais curvas.

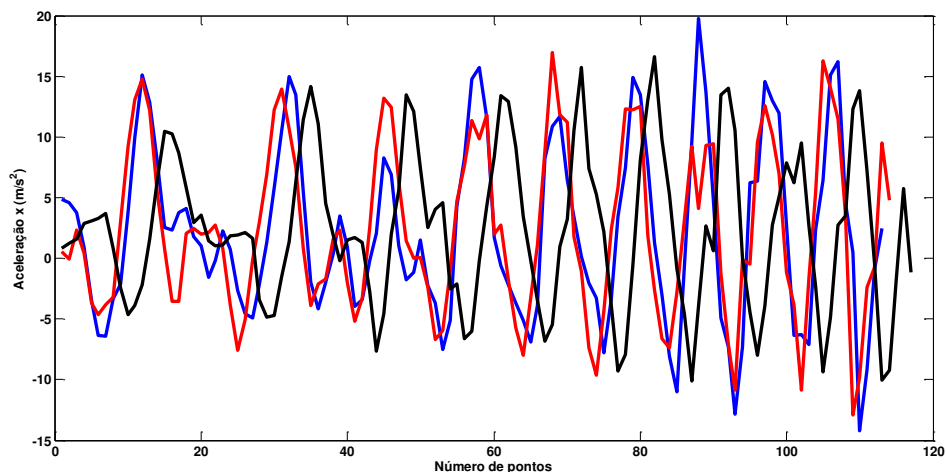


Figura 9: Aceleração no eixo de deslocamento dos 3 testes realizados por A2.

Apesar do atleta A2 (figura 9) ter apresentado uma aceleração inicial alta e manter essa característica até o fim do teste, não apresentou um padrão de largada. A aceleração

de largada ocorreu em menos tempo no primeiro ciclo de pedalada (1,39s) para duas repetições (vermelha e azul), embora os picos de aceleração nas três repetições, a partir do segundo, se mantiveram com valores próximos.

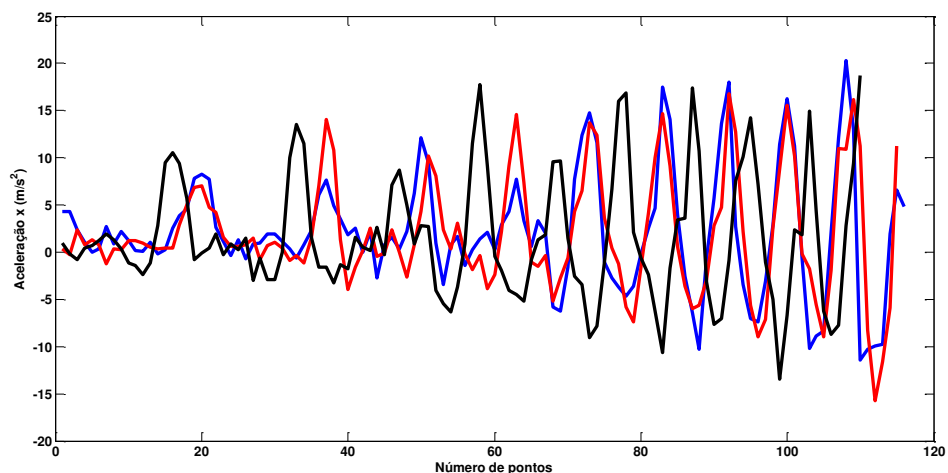


Figura 10: Aceleração no eixo de deslocamento dos 3 testes realizados por A3.

Esse atleta (figura 10) apresentou uma largada menos acelerada e a partir da terceira pedalada os picos de aceleração se mostraram mais acentuados, sendo que na terceira repetição (preto) ocorreu uma antecipação do seu primeiro pico de aceleração acarretando num melhor resultado.

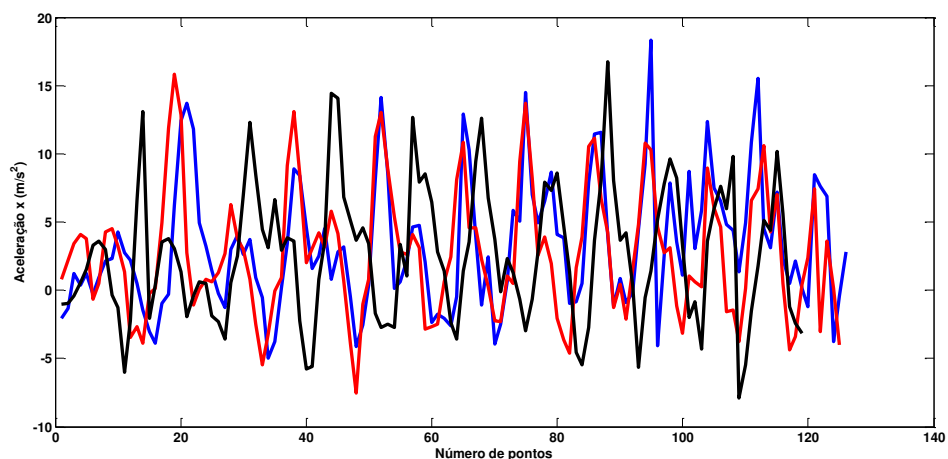


Figura 11: Aceleração no eixo de deslocamento dos 3 testes realizados por A4.

Na figura 11 que as repetições deste atleta foram as que mais se diferiram entre elas sem um padrão para os picos de aceleração. A terceira repetição (preto) apresentou uma precipitação da largada que resultou no melhor tempo de teste. No entanto, ocorreu uma desaceleração antecipadamente em todas as repetições, prejudicando os tempos finais.

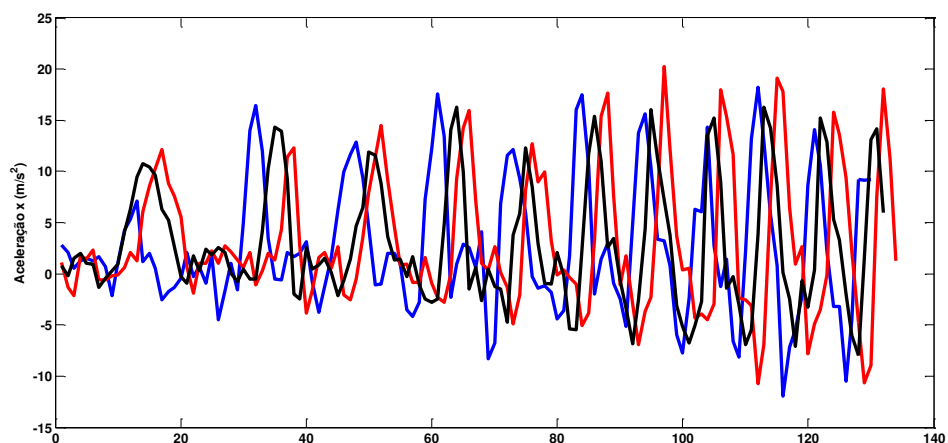


Figura 12: Aceleração no eixo de deslocamento dos 3 testes realizados por A5.

Nessa figura (12) o atleta A5 teve um padrão de largada, e na sua primeira repetição (azul) as acelerações foram antecipadas, isto gerou um tempo final melhor. Embora este ciclista tenha apresentado uma característica regular nas repetições dos 30 m, ele realizou largadas com baixas acelerações.

O comportamento da aceleração média de todos os ciclistas, apresenta-se a figura 13 que possibilitou distinguir as características individuais.

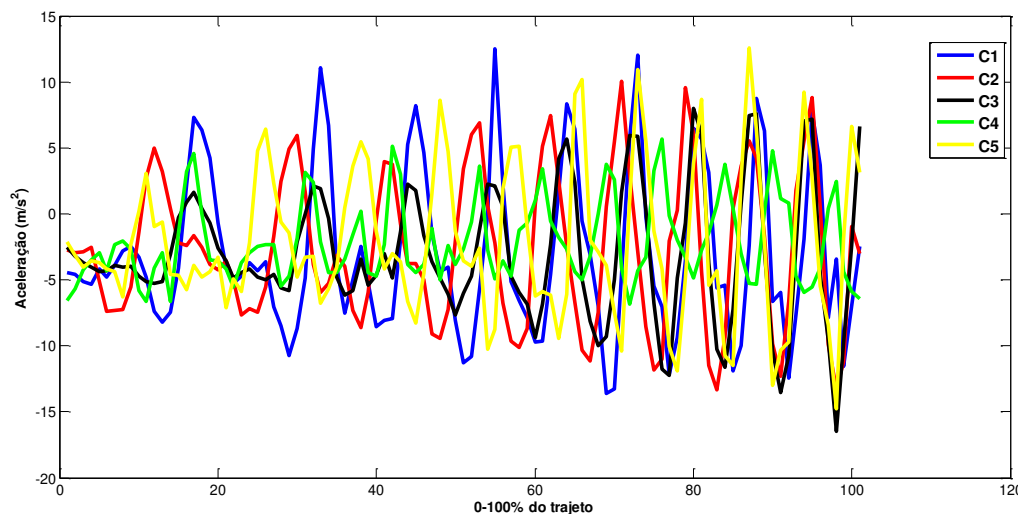


Figura 13: Aceleração média (m/s^2) em x dos 3 *sprints* de cada atleta.

Os atletas 1 e 3 (azul e preto) tiveram o primeiro pico de aceleração mais tardio comparados com os ciclistas 2, 4 e 5. Porém no decorrer do teste o A1 alcançou maiores valores de aceleração mantendo essa amplitude em quase todo percurso, enquanto que os ciclistas 2, 3 e 5 tiveram uma aceleração crescente até mais da metade do percurso e desaceleraram mais que os outros no final.

As diferenças individuais dos atletas observadas nas curvas de aceleração também foram constatadas para a variável de velocidade, tais características são visualizadas nas figuras 14, 15, 16, 17, 18 e 19. Da mesma forma que nas curvas de aceleração, nestas as cores azul, vermelho e preto, representaram a 1ª, 2ª e 3ª repetição, respectivamente.

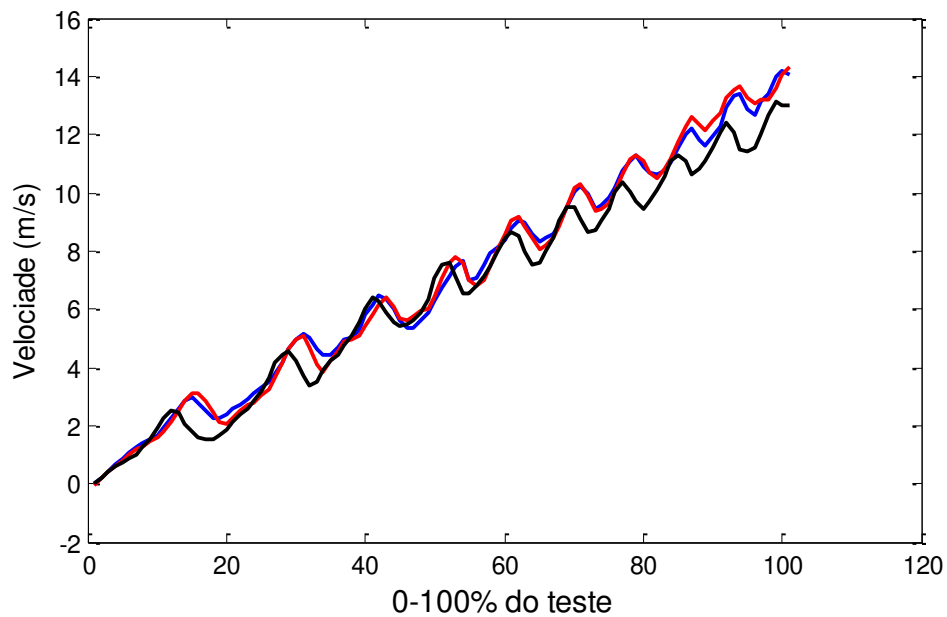


Figura 14: Velocidade (m/s) de deslocamento no x do ciclista A1.

Na figura 14 as repetições tiveram um padrão nas curvas com inclinação crescente, sem a identificação do platô de velocidade devida a curta distância estabelecida para o teste.

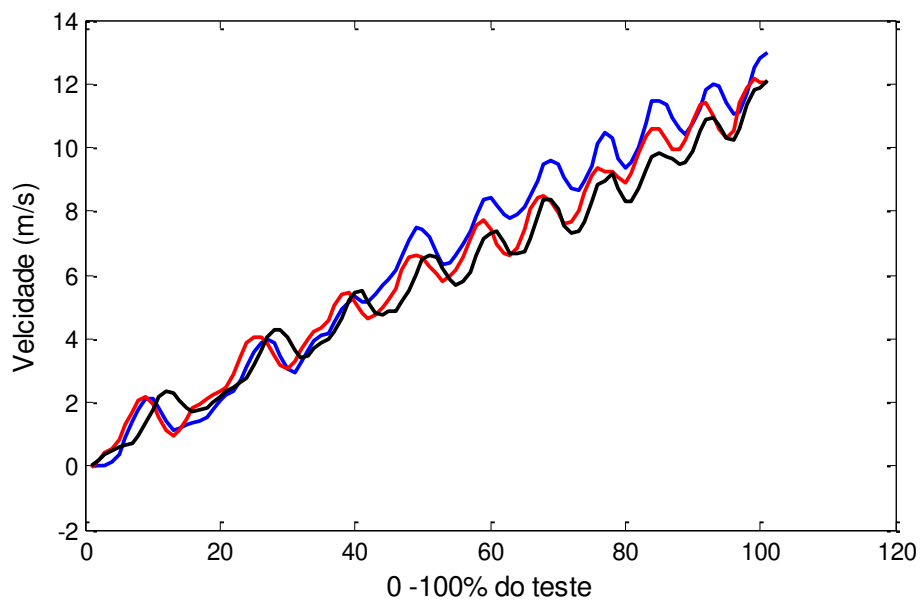


Figura 15: Velocidade (m/s) de deslocamento no x do ciclista A2.

O atleta representado na figura 15 apresentou velocidade crescente, com frequências maiores nas três primeiras pedaladas o que demonstrou maior tempo despreendido para superar a inércia.

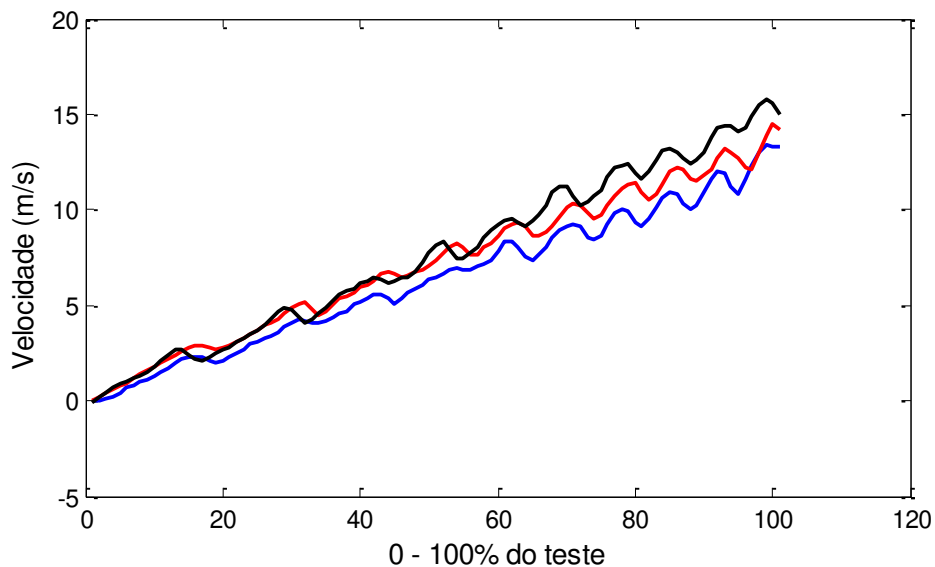


Figura 16: Velocidade (m/s) de deslocamento no x do ciclista A3.

Na figura 16, é observada uma baixa velocidade na largada, porém o ciclista atingiu altas velocidades no final do teste.

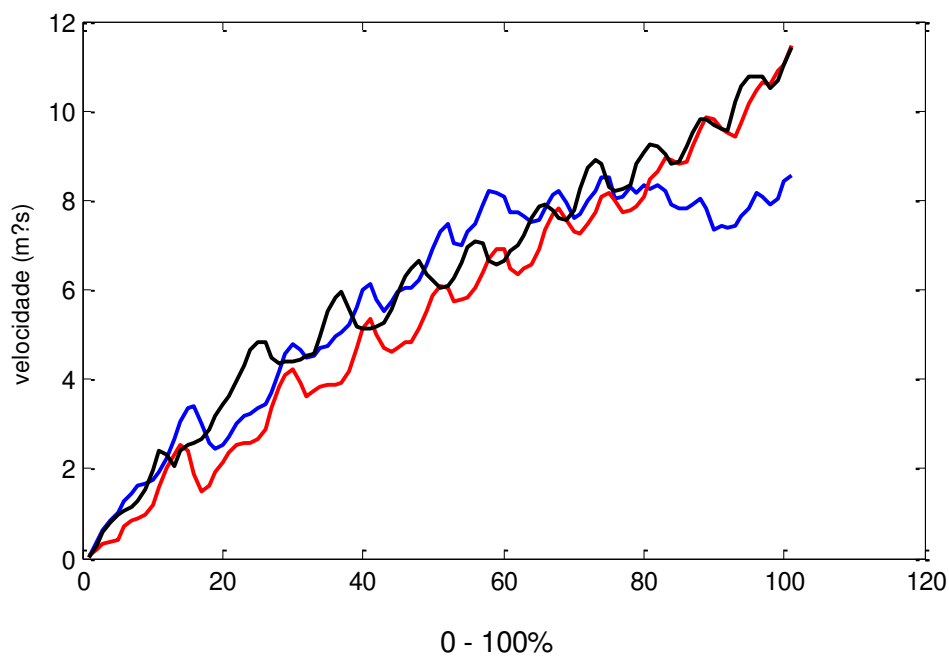


Figura 17: Velocidade (m/s) de deslocamento no x do ciclista A4.

Observou-se que A4 teve facilidade para adquirir velocidade, conforme observado na figura 17 para as 2 primeiras pedaladas, porém ele não alcançou altos valores ao final do teste e apresentou dificuldade em manter a característica crescente da curva, representada na repetições(azul) na qual a velocidade diminuiu consideravelmente.

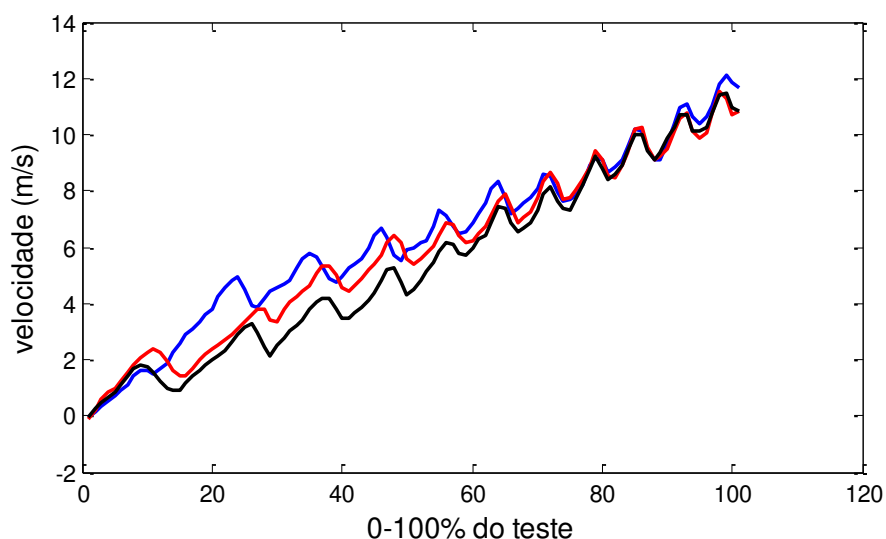


Figura 18: Velocidade (m/s) de deslocamento no x do ciclista A5.

O ciclista A5 teve baixa velocidade na primeira pedalada o que caracteriza uma largada deficiente. No final do teste, a partir da sexta pedalada, ocorreu uma concordância da velocidade para as três repetições.

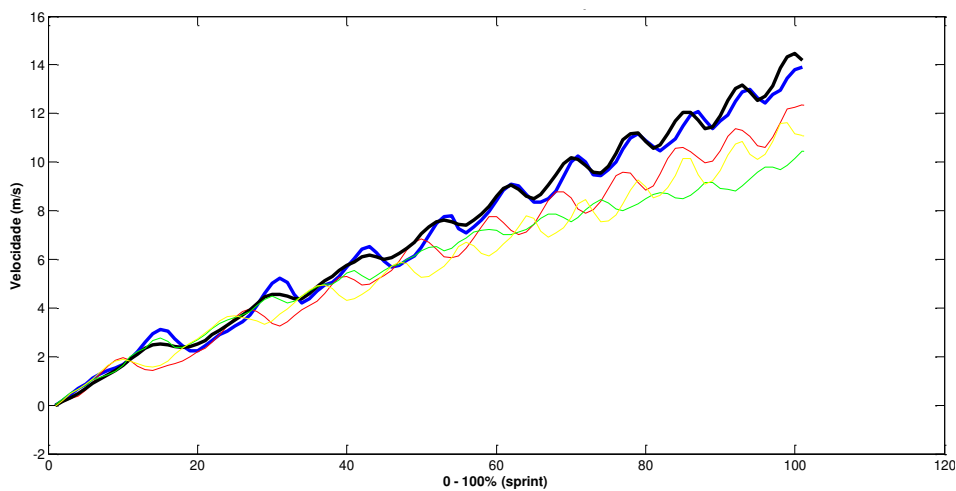


Figura 19: Velocidade média de deslocamento no eixo x dos três sprints de cada ciclista.

No gráfico da velocidade média (figura 19), notou-se que os ciclistas 1, 3 e 4 foram mais velozes nos primeiros instantes da prova, porém as velocidades do 1 e 3 (azul e preto) atingiram maiores valores, enquanto que o atleta 4 (verde) desacelerou mais precocemente, observado pelo declínio da curva.

2.4.2 – Comparação da amostra

Ao comparar as variáveis de aceleração não foram identificadas diferenças significativas entre os sujeitos, nem mesmo entre as repetições do mesmo atleta. No entanto na variável aceleração máxima (A_{max}) os atletas A3 e A4 tiveram maior variabilidade e o atleta 5 foi o mais regular nas repetições.

Como observado no teste estatístico, os atletas alcançaram acelerações similares para percorrer os 30m solicitados, mesmo observando valores médios distintos para todas variáveis de aceleração.

Tabela 2: Valores de Aceleração de cada ciclo e comparação dos ciclistas.

Atletas	Variáveis Nº repetição	AC1 ^a (m/s ²)	AC2 (m/s ²)	AC3 (m/s ²)	AC4 (m/s ²)	Amax ^b (m/s ²)	MpicoA ^c (m/s ²)
A1	1	12,51	23,37	17,38	15,11	23,37	15,66
	2	18,19	17,12	17,99	14,74	18,19	15,72
	3	18,97	14,04	17,82	20,72	20,72	15,11
	Média	16,56	18,18	17,73	16,86	20,76	15,50
	DP	3,53	4,75	0,31	3,35	2,59	0,34
A2	1	14,91	16,08	15,22	19,84	19,84	18,08
	2	14,76	13,23	16,95	12,50	16,95	13,46
	3	14,15	13,45	16,62	14,02	16,62	13,46
	Média	14,61	14,25	16,26	15,45	17,80	15,00
	DP	0,40	1,59	0,92	3,87	1,77	2,67
A3	1	8,25	12,13	17,52	18,40	20,31	13,61
	2	14,08	14,60	14,65	16,78	16,78	13,63
	3	13,50	17,75	16,90	17,40	17,75	13,74
	Média	11,94	14,83	16,36	17,53	18,28	13,66
	DP	3,21	2,82	1,51	0,82	1,82	0,07
A4	1	13,71	14,10	14,12	18,33	18,33	13,56
	2	15,86	13,40	13,72	10,78	15,86	12,01
	3	13,07	14,44	12,67	16,75	16,75	12,21
	Média	14,21	13,98	13,50	15,29	16,98	12,59
	DP	1,46	0,53	0,75	3,98	1,25	0,84
A5	1	16,45	17,57	17,51	15,55	18,23	14,58
	2	12,28	15,97	17,66	20,22	20,22	15,84
	3	14,30	16,28	15,40	16,07	16,32	14,27
	Média	14,34	16,61	16,86	17,28	18,26	14,90
	DP	2,09	0,85	1,26	2,56	1,95	0,83
Geral	Média	14,33	15,57	16,14	16,48	18,42	14,33
	DP	2,55	2,75	1,71	2,82	2,09	1,56

^a Aceleração máxima no 1º ciclo de pedalada, os números 2, 3 e 4 se referem ao 2º, 3º e 4º ciclo de pedalada. ^b Aceleração máxima em 30m. ^c Média dos picos de aceleração. *p≤0,05.

A seguir a tabela 3 apresenta dados referentes aos valores de aceleração negativa de cada ciclo das três repetições realizadas nos *sprints* pelos atletas. Foi feita análise comparativa entre os atletas e intrarepetições. Nesta constatou-se diferenças apenas entre os

ciclistas nas variáveis ANmax e MvaleAN. Verificou-se que os atletas 2 e 3 desaceleraram mais comparados aos demais e o atleta 4 foi o que menos desacelerou.

Observou-se na tabela 2, que o A1 teve alto valor de aceleração ($20,76\text{m/s}^2$) e na tabela 3 que A3 apresentou a maior aceleração negativa ($-13,53\text{ m/s}^2$), destaca-se que ambos atingiram esses valores máximos no último trecho (ciclo incompleto) do percurso, assim, A1 terminou acelerando enquanto que A3 terminou desacelerando.

Tabela 3: Caracterização e comparação dos ciclistas quanto à aceleração negativa em cada ciclo.

Atletas	Variáveis Nº repetição	ANC1 ^a (m/s ²)	ANC2 (m/s ²)	ANC3 (m/s ²)	ANC4 (m/s ²)	ANmax ^{*b} (m/s ²)	MvaleAN ^{*c} (m/s ²)
A1	1	-5,70	-5,64	-5,89	-8,24	-8,60	-6,30
	2	-6,63	-4,54	-10,17	-10,59	-10,59	-7,23
	3	-7,32	-6,26	-8,80	-8,31	-8,80	-6,49
	Média	-6,55	-5,48	-8,29	-9,05	-9,33	-6,67
	DP	0,81	0,87	2,19	1,34	1,10	0,49
A2	1	-6,76	-7,73	-11,42	-11,31	-11,83	-7,47
	2	-4,62	-7,60	-6,70	-9,65	-10,83	-7,51
	3	-4,84	-7,64	-9,27	-10,19	-10,19	-7,46
	Média	-5,41	-7,66	-9,13	-10,38	-10,95	-7,48
	DP	1,18	0,07	2,36	0,85	0,83	0,03
A3	1	-0,63	-3,42	-6,23	-10,27	-11,39	-5,69
	2	-1,21	-3,94	-3,83	-7,37	-15,73	-5,58
	3	-3,00	-3,21	-6,36	-10,67	-13,47	-6,61
	Média	-1,61	-3,52	-5,47	-9,44	-13,53	-5,96
	DP	1,24	0,38	1,42	1,80	2,17	0,57
A4	1	-3,85	-4,89	-2,58	-3,96	-4,89	-2,98
	2	-3,86	-7,53	-2,84	-3,14	-7,53	-3,22
	3	-6,02	-5,78	-3,59	-5,62	-7,88	-4,72
	Média	-4,58	-6,07	-3,00	-4,24	-6,77	-3,64
	DP	1,25	1,34	0,52	1,26	1,63	0,94
A5	1	-2,56	-4,51	-4,14	-8,32	-8,32	-5,47
	2	-2,14	3,81	-2,82	-5,03	-10,72	-4,16
	3	-1,31	-2,43	-4,76	-6,85	-7,11	-4,30
	Média	-2,00	-1,04	-3,91	-6,73	-8,72	-4,64
	DP	0,64	4,33	0,99	1,65	1,84	0,72
Geral	Média	-4,03	-4,75	-5,96	-7,97	-9,86	-5,68
	DP	2,18	2,94	2,84	2,59	2,71	1,53

^a Aceleração negativa máxima no 1º ciclo de pedalada, os números 2, 3 e 4 se referem ao 2º, 3º e 4º ciclo de pedalada.

^b Aceleração negativa máxima em 30m. ^c Média dos vales de aceleração negativa. * $p \leq 0,05$.

Nesse contexto, apresenta-se a tabela 4 que contém informações sobre os valores de tempo de cada ciclo das três repetições realizadas em 30m pelos ciclistas. Nesta identificou-se que A3 e A1 desprenderam menos tempo (4,55 e 4,56s, respectivamente) no percurso de teste e A4 se opôs a estes (4.89s).

Nesta tabela notou-se ainda que A4, embora tenha apresentado saída mais rápida, observado pela variável de tempo gasto na soma dos dois primeiros ciclos (T2) (2.43s), não conseguiu manter-se progressivo até o final do teste, desprendendo mais tempo para realizá-lo. No entanto, não foram constatadas diferenças significativas para estas variáveis (T2 e TT), tanto entre quanto intra-sujeitos.

Considerando que o atleta com melhor desempenho foi o que realizou os 3 tiros em menor tempo, os ciclistas 1, 2 e 3 foram aqueles que se saíram melhor, respectivamente.

Tabela 4: Valores e comparação dos ciclistas quanto ao tempo de cada ciclo.

Atletas	Variáveis Nº repetição	TC1(s) ^a	TC2(s)	TC3(s)	TC4(s)	TT(s) ^{*b}
A1	1	1,80	0,76	0,96	0,72	4,65
	2	1,80	0,84	0,80	0,64	4,48
	3	1,88	0,84	0,76	0,68	4,56
	Média	1,83	0,81	0,84	0,68	4,56
	DP	0,05	0,05	0,11	0,04	0,09
A2	1	1,64	0,92	0,80	0,72	4,52
	2	1,76	0,92	0,80	0,72	4,76
	3	1,44	1,16	0,80	0,72	4,68
	Média	1,61	1,00	0,80	0,72	4,65
	DP	0,16	0,14	0,00	0,00	0,12
A3	1	1,76	1,00	0,76	0,60	4,64
	2	1,60	1,12	0,76	0,72	4,60
	3	1,52	1,04	0,76	0,64	4,40
	Média	1,63	1,05	0,76	0,65	4,55
	DP	0,12	0,06	0,00	0,06	0,13
A4	1	1,92	0,88	1,04	0,96	5,04
	2	1,92	0,92	0,80	0,72	5,00
	3	1,60	0,96	0,80	0,76	4,76
	Média	1,81	0,92	0,88	0,81	4,93
	DP	0,18	0,04	0,14	0,13	0,15
A5	1	1,68	1,08	0,80	0,72	4,84
	2	1,60	1,32	0,80	0,76	4,96
	3	1,56	1,32	0,80	0,72	4,88
	Média	1,61	1,24	0,80	0,73	4,89
	DP	0,06	0,14	0,00	0,02	0,06
Geral	Média	1,70	1,01	0,82	0,72	4,72
	DP	0,15	0,17	0,08	0,08	0,20

^a Tempo do 1º ciclo de pedalada, os números 2, 3 e 4 se referem ao 2º, 3º e 4º ciclo de pedalada.

^b Tempo total. *p≤0,05.

Na tabela 5 encontram-se valores de velocidade máxima de cada ciclo e a velocidade máxima total de cada *sprint*, sendo que nesta última variável obteve-se

diferença significativa entre os atletas, apontando A1 e A3 como os mais velozes perante os A4 e A5.

Tabela 5: Caracterização e comparação dos ciclistas quanto às velocidades em cada ciclo.

Atletas	Variáveis Nº repetição	VC1(m/s) ^a	VC2(m/s)	VC3(m/s)	VC4(m/s)	Vmax(m/s)* ^b
A1	1	5,17	7,59	10,32	12,20	14,07
	2	4,59	7,56	9,49	11,26	12,99
	3	5,11	7,81	10,32	12,58	14,32
	Média	4,96	7,65	10,04	12,01	13,79
	DP	0,32	0,14	0,48	0,68	0,71
A2	1	4,04	7,48	9,58	11,43	12,95
	2	4,29	6,62	8,39	9,79	12,09
	3	4,07	6,63	8,43	10,56	12,09
	Média	4,13	6,91	8,80	10,59	12,38
	DP	0,14	0,49	0,68	0,82	0,50
A3	1	4,37	6,91	9,28	10,94	13,34
	2	4,09	8,31	11,23	13,19	15,01
	3	5,13	8,25	10,31	12,25	14,24
	Média	4,53	7,82	10,27	12,13	14,20
	DP	0,54	0,79	0,98	1,13	0,84
A4	1	4,77	7,47	8,22	8,02	8,54
	2	4,82	6,66	7,89	9,25	11,42
	3	4,23	6,09	7,81	9,01	11,04
	Média	4,61	6,74	7,97	8,76	10,33
	DP	0,33	0,69	0,22	0,65	1,56
A5	1	5,76	7,30	8,59	10,64	11,64
	2	3,27	5,73	7,42	9,26	10,94
	3	3,79	6,45	7,91	9,43	10,82
	Média	4,27	6,49	7,97	9,78	11,13
	DP	1,31	0,79	0,59	0,75	0,44
GERAL	Média	4,50	7,12	9,01	10,65	12,37
	DP	0,64	0,76	1,15	1,51	1,72

^a Velocidade máxima no 1º ciclo de pedalada, os números 2, 3 e 4 se referem ao 2º, 3º e 4º ciclo de pedalada. ^b Velocidade máxima em 30m. *p≤0,05.

Para exemplificar como um atleta executa cada ciclo isoladamente, tem-se a figura 20. Nesta, observou-se nos dois primeiros ciclos que os membros inferiores não apresentaram a mesma característica na aceleração, pois as cristas das 2 ondas presentes são bem distintas, enquanto que nos dois últimos notou-se uma maior semelhança na aceleração dos membros.

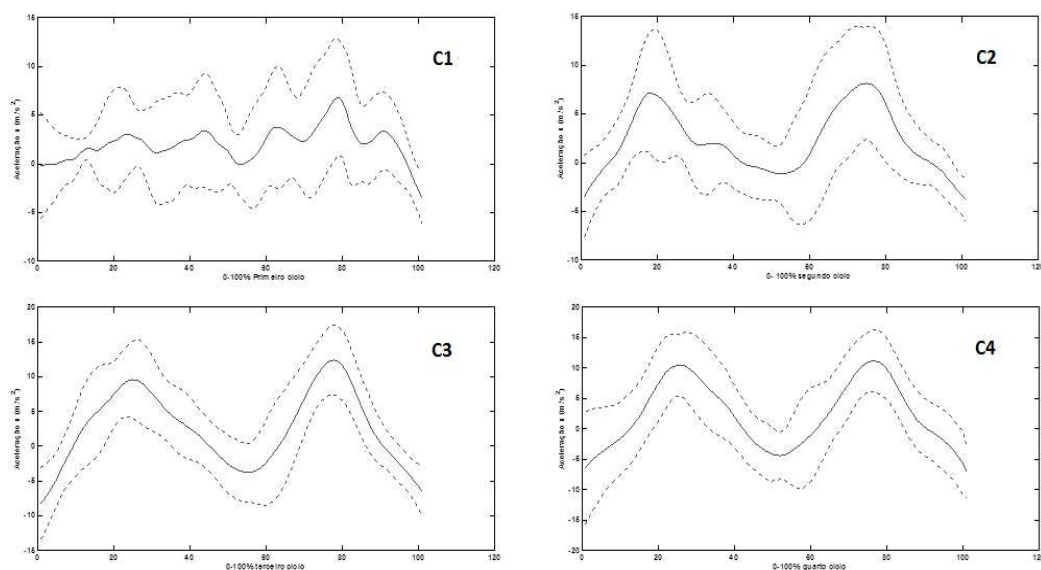


Figura 20: Representação dos quatro ciclos de pedalada no *sprint*. (Os gráficos superiores são de aceleração: A) primeiro ciclo, B) segundo ciclo, C) terceiro ciclo, D) quarto ciclo.

2.4.3 – Correlação das variáveis

O resultado final da prova de velocidade é determinado por vários indicadores temporais, por isso verificou-se o coeficiente de correlação do teste de Spearman entre as variáveis estudadas, conforme tabela 6, para identificar relação destas com rendimento do ciclista.

Considerando o tempo final (TT) do teste de 30 metros como o determinante de rendimento, foi possível identificar que esta variável tem alta correlação positiva com tempo de soma dos dois ciclos de pedal (T2), com a velocidade máxima (Vmax), tempo do primeiro ciclo de pedalada (TC1), aceleração negativa máxima (ANmax), média do vale da

aceleração negativa (MvaleAN). Assim como, teve relação TC1 com T2 e T2 com MvaleAN. Percebeu-se também relação entre Vmáx com ANmax e MvaleAN.

Tabela 6: Dados de relação entre os valores médios das variáveis cinemáticas estudadas.

Variáveis	R	P
T2 ^a x TT ^b	0,65	**
TC1 ^h x T2	0,60	*
TC1 x TT	0,90	*
Vmax ^c x TT	0,87	**
TT x ANmax ^f	0,68	**
TT x MvaleAN ^g	0,81	**
T2 x MvaleAN	0,68	**
Vmax X ANmax	0,63	*
Vmax x MvaleAN	0,67	**

^aTempo em 2 ciclos de pedalada, ^bTempo total em 30m, ^cVelocidade máxima atingida em 30m, ^dAceleração máxima atingida em 30m, ^eMédia dos picos de aceleração nos 30m, ^fAceleração negativa máxima atingida em 30m, ^gMédia dos vales de aceleração negativa nos 30 m, ^hTempo no primeiro ciclo de pedalada. *p≤0,05. **p≤0,01.

2.5 – Discussão

A biomecânica busca fornecer informações para atletas e técnicos sobre a habilidade esportiva que assistiria na obtenção do bom desempenho, de acordo com Bergamini (2011), a análise quantitativa baseada em medidas de variáveis cinemáticas determinaria o mesmo. Para tanto, o objetivo verificar os padrões de aceleração e velocidade no ciclismo velocidade na sua fase inicial com saída parada, e por consequência caracterizar a amostra deste estudo. Para tal foi utilizado um acelerômetro não comercial que se mostrou eficaz no seu emprego, pois possibilitou a realização de coletas em ambiente de competição e não interferiu no gesto específico dos atletas.

Observou-se que o formato da curva de aceleração proveniente do acelerômetro SM-MAE foi similar a apresentada no estudo Hansen et al. (2002), que através do teste de velocidade em 8s obteve, pela derivada, a curva de aceleração/tempo.

Nosso estudo focou a análise da aceleração em 30m que compreendeu quatros ciclos e meio de pedalada de um teste de velocidade. Obtido os sinais de aceleração houve

a possibilidade de observar a desaceleração e, pela integral, a velocidade do deslocamento da bicicleta.

Constatou-se que A1 e A2 apresentaram padrões similares nas oscilações das ondas das curvas, com menor diferença entre os membros inferiores (direito e esquerdo), com destaque ao A1 (figura 8) a qual teve uma sobreposição das curvas principalmente as referentes ao primeiro ciclo de pedalada.

A4 apresentou maior variabilidade entre as 3 repetições, apesar ter uma aceleração de largada parecida com A1, mas não a mantém durante o percurso além de desacelerar antecipadamente, com o pior resultado da amostra (figura 11).

Observou no A5 (figura 12) características semelhantes ao A4, com acelerações diferentes entre cada pedalada.

As melhores acelerações médias no primeiro ciclo de pedalada (A1 e A2 – figura 13) levaram a melhores resultados finais (A1, A3 e A2, respectivamente – tabela 4), ressaltando a importância da escolha individual da marcha para o aprimoramento da saída. Esse aspecto os autores Maulder (2005) de Koning, Bobbert e Foster (1999) que defendem a qualidade da largada como um preditor de melhor desempenho nas provas de velocidade.

Por outro lado, picos de acelerações que destoam dos demais dentro da execução acarretaram em piores finalizações. Segundo Schmacher e Mueller (2002) que para obter boas marcas competitivas é interessante que o desempenho seja o mais homogêneo possível a respeito das acelerações e velocidades.

Esse é um aspecto a ser considerado, como um controle para que ao se estabelecer o pico de aceleração, este possa ser mantido até o fim do percurso. Pois, foi observado esse fenômeno (pico de aceleração acentuado no meio do trajeto) nos ciclistas 1 e 4, contudo A4 foi o qual chamou maior atenção, porque após atingir uma aceleração alta apresenta os valores decorrentes baixos o que levou a terminar o teste com tempo elevado.

Na avaliação das figuras de velocidade todos os atletas apresentaram um padrão crescente desta capacidade biomotora, sem alcançar uma velocidade constante ou mesmo sua queda devido à dimensão reduzida do trajeto. No entanto, houveram diferenças para romper a inércia, onde A4 foi o mais irregular e A3 o mais lento.

Identificou-se, novamente, a possibilidade da relação de marcha ser inadequada para A3 na execução da velocidade, pelos picos baixos desta variável na fase inicial. Mesmo demonstrado sua dificuldade na largada ele conseguiu atingir o maior pico de velocidade (15,01 m/s) do grupo.

O padrão de curva crescente até o final do percurso de todos os atletas (figura 19) é confirmado no estudo de Koning, Bobbert e Foster (1999) e James (2004), onde foi demonstrado o mesmo padrão de inclinação nas curvas de velocidade nos 30 metros iniciais de uma prova contra relógio (1000m).

Conforme citado anteriormente, os ciclistas A1 e A3 foram os que obtiveram melhor rendimento no teste em relação à amostra (4,56s e 4,55s, respectivamente – tabela 4), porém A1 se mostrou mais acelerado que A3 ($20,76\text{m/s}^2$ e $18,28\text{m/s}^2$ – tabela 2), e finaliza o trajeto desacelerando ($-13,53\text{m/s}^2$ – tabela 3). Isto aponta para três aspectos a considerar pelo treinador: melhorar a largada, a finalização do teste e a consistência nas repetições.

Na sequência foi feita análise comparativa para as variáveis analisadas e verificou-se que A1 se diferenciou significativamente dos demais na aceleração negativa máxima (ANmax – tabela 3), a qual foi atingida no ciclo de pedalada incompleto (quinto ciclo). Na média dos vales de aceleração negativa (MvaleAN – tabela 3) os atletas A4 e A5 foram os que apresentaram o menor valor (-3.64m/s^2 e -4.64m/s^2), sendo estes significativamente diferentes dos demais. Esses valores são proporcionais aos valores de aceleração o que repercutem no resultado final.

Porém as variáveis relacionadas com a desaceleração devem ser analisadas em conjunto com outras variáveis antes de classificar um ciclista em relação ao seu grupo, pois como descrito na tabela 3, A3 teve altos valores de aceleração negativa, como consequência de altos valores de aceleração, o que acarretou em bom rendimento no teste. No entanto, as acelerações negativas podem ser um mecanismo de controle do treinamento individual, e ser alvo de aprimoramento na fase de recuperação do ciclo de pedal (terceiro e quarto quadrante, 180° - 360°).

No meio esportivo existe a tendência dos ciclistas escolherem marchas menores a fim de otimizar a potência durante a aceleração (flecha – figura 21), no entanto, isto

exige do atleta cadências mais altas, enquanto que a utilização de transmissões mais pesadas, apesar de proporcionarem maior distância percorrida por pedalada, exige maior aplicação de força (JOSÉ SANTOS; PUGA, 1990; MARTIN; DAVIDSON; PARDYJAK, 2007).

Assim, a aceleração de largada pode ser otimizada intensificando a força ou a frequência de pedalada que depende das capacidades biomotoras de força e velocidade individual, portanto, ressalta-se que uma largada de sucesso se vale da aceleração.

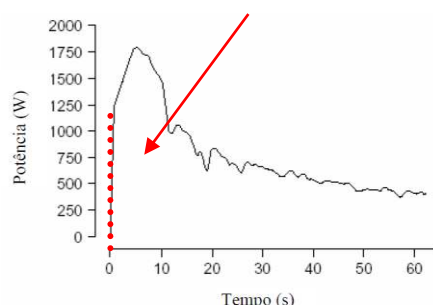


Figura 21: Perfil de potência (W) gerada durante 1000m contra relógio, enfatizando a fase de largada.
Fonte: modificada de Graig e Norton, 2001

Na observação da tabela 5 percebeu-se que A4 atingiu uma velocidade máxima maior perante os demais, no entanto, esse fator não garantiu ao atleta o melhor resultado no teste. Entretanto, A1 que teve menor pico de velocidade a manteve e, assim, otimizou seu tempo de finalização do teste (4,56s). Outro atleta que se sobressaiu no tempo total (TT) foi o A3 (4,55s), mas, ao verificar o desvio padrão notou-se maior regularidade nas execuções de A1.

Com estes resultados percebeu-se que os ciclistas 1, 2 e 3 apresentaram desempenho atlético superior aos demais com valores de velocidade máxima: 13,79m/s, 12,38m/s, 14,20m/s, respectivamente. Tal fato é confirmado pela classificação no ranking do ciclismo de pista dado pela Confederação Brasileira de Ciclismo, para o período que ocorreu a coleta.

A diferença significativa encontrada na variável velocidade máxima (VM – tabela 5) apontou A1 e A3 como os mais velozes perante os A4 e A5, este último, apesar de mais acelerado, não atingiu uma velocidade final relevante, trazendo, novamente, a dúvida sobre a distância do teste.

Para melhor descrição de cada ciclo do pedal construiu-se a figura 20, nesta verificou-se diferença na utilização dos membros inferiores nos dois primeiros ciclos que exemplifica um atleta, mas tal característica foi identificada para todos eles. Conforme o atleta ganha velocidade essa diferença, que sugere a predominância de um dos membros, desaparece a partir do terceiro ciclo. De forma análoga, Maulder (2005), afirma que a integração dos movimentos de ambas pernas auxilia a aceleração na fase inicial da largada.

Esta constatação poderia ser foco de trabalho técnico para uma maior contribuição dos membros no gesto específico, aprimorando a aplicação de forças em ambos os pedais, diminuindo as diferenças nos valores de aceleração presentes entre os dois picos de aceleração no mesmo ciclo.

Tais diferenças, na curva de aceleração, repercutiram nas velocidades (figura 20) de cada ciclo, sendo os últimos dois ciclos os mais rápidos, enfatizando a necessidade da preocupação com a utilização da perna que inicia a largada parada, pois a melhora da velocidade nos dois primeiros ciclos acarretaria num melhor rendimento final. Conforme Maulder (2005), fazendo uma comparação com o ciclismo, à largada tem sido atribuída à habilidade do atleta em exercer grandes forças resultantes devido a forte relação entre a velocidade do giro do pé de vela e a produção de força vertical ao pedal.

Embora a figura 20 apresentou o comportamento de um atleta, na observação do primeiro ciclo de cada voluntário verificou-se que a largada com maiores valores de aceleração gerou melhores resultados finais, o que corrobora com os autores Koning, Bobbert e Foster (1999), Schmacher e Mueller (2002), Maulder (2005) e Bergamini (2011).

Constatou-se na tabela 6 alta correlação da máxima aceleração negativa (ANmax) e média dos vales das aceleração negativa (MvaleAN) com tempo total (TT). Isto é, altos valores de desaceleração causam tempos mais longos. Além disso, MvaleAN teve correlação com o tempo de 2 ciclos de pedalada (T2) e velocidade máxima (Vmax). Esse resultado foi esperado, pois valores negativos de aceleração correspondem a frenagem, o que é contraproducente para o bom rendimento do ciclista.

Considerando o tempo final (TT) do teste de 30 metros como o determinante de rendimento, foi possível identificar que esta variável tem alta correlação positiva com tempo de dois ciclos do pedal (T2), resultado que corresponde aos dados da tabela 1, onde

observou-se que os menores TC2 geraram menor TT. Estes achados concordam com autores Maulder (2005) e Koning, Bobbert e Foster (1999) pois, afirmam que a largada rápida tende a menor tempo de percurso, no entanto, o último autor encontrou uma alta correlação com o tempo da primeira volta de uma prova de 1000m com o tempo total da prova, assim como esse estudo encontrou a mesma relação do tempo dos dois primeiros ciclos com o tempo total do teste.

Como consequência teve-se o mesmo tipo de relação entre tempo total (TT) e velocidade máxima (Vmax), assim, uma velocidade máxima que não comprometa a manutenção desta variável gera melhores resultados. Esta afirmação está baseada nos resultados analisados dos 5 ciclistas, sendo preciso estudar uma amostra maior e usar percurso mais longo, porém, com tempo de teste não superior a 10 -15 segundos, pois segundo Platonov (1997) para avaliar a qualidade de velocidade é ideal que o teste seja curto para não ter seu resultado influenciado pela fadiga.

Era esperado encontrar relação da aceleração com o tempo e com a velocidade, resultado não encontrado, provavelmente, pela limitação do número de amostra e curta distância do percurso de teste.

Em resumo, estes resultados de correlação reafirmam a importância da boa largada para o rendimento das provas rápidas do ciclismo de pista. Neste estudo a capacidade de aceleração demonstrou-se fator de maior relevância para bom desempenho da modalidade, mesmo não havendo correlação significativa entre aceleração máxima e tempo total.

2.6 – Conclusão

De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa pode-se afirmar que a utilização do acelerômetro SM-MAE não interveio no gesto técnico do ciclista e comprovou que seu uso em ambiente real de treino, como o velódromo, foi capaz de fornecer variáveis biomecânicas para o ciclismo de velocidade, proporcionando informações que auxiliam a preparação individual do atleta para a melhora do seu rendimento.

A análise das variáveis selecionadas no estudo viabilizou identificar padrões de largada individuais pela aceleração e velocidade em 30m. Embora, não identificado diferenças significativas entre as execuções de cada ciclista nas variáveis analisadas, resultado esperado para atletas de elite, foi possível graficamente observar diferenças na estratégia da realização do teste.

Com a possibilidade de discriminar cada fase do teste, é interessante analisar as variáveis de cada período a fim de para caracterizar o indivíduo de forma minuciosa e usar desses dados como parâmetros para verificar aspectos técnicos, táticos e físicos do atleta, visando o aprimoramento do desempenho.

Os gráficos individuais das três execuções de cada atleta proporcionaram a caracterização dos mesmos em relação a sua estratégia de largada e comportamento durante o teste, apontando as qualidades e carências de cada um.

Considerando que a bicicleta de pista possui uma relação de marcha fixa para a execução da prova, a sua escolha deve ser feita de acordo com as capacidades físicas do atleta e, pelas análises das variáveis aferidas pelo SM-MAE também se pode auxiliar na determinação da melhor relação para cada atleta.

Conclui-se que o SM-MAE pode ser utilizado na rotina de treinamento com condições de fornecer variáveis biomecânicas no ciclismo de pista que auxilie o técnico no diagnóstico da estratégia individual, visando o aprimoramento atlético.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fazer uma análise geral dos resultados obtidos na pesquisa como um todo, pode-se dizer que SM-MAE é uma ferramenta para aquisição de variáveis biomecânicas viável para a análise do ciclismo de velocidade praticado no velódromo, fornecendo dados da aceleração durante o deslocamento da bicicleta.

No processo para identificar a aceleração teve que ser considerado um conjunto de algoritmos para mudanças de bases e determinação dos sistemas de coordenadas envolvidos no sistema inercial de navegação e da bicicleta analisada. Esses procedimentos resultaram na curva de aceleração/tempo, porém, devido a sensibilidade do equipamento, em questão, foi necessário verificar se o comportamento do sinal correspondia com o evento e com outros sistemas já descritos na literatura.

Feitas essas comparações caracterizou-se a curva de aceleração/tempo, que acrescido com procedimentos matemáticos chegou-se nas variáveis de velocidade e deslocamento, onde todas apresentaram semelhança gráfica com cinemática e com o acelerômetro comercial.

Esses resultados nos apontaram para a oportunidade de usar o sinal de aceleração para extrair variáveis biomecânicas inerentes ao rendimento do ciclista no seu ambiente de treino e competição. No entanto, para a metodologia utilizada na primeira fase de coleta foi necessário a adaptação de lombadas na largada e na finalização do teste, o que colocava o atleta em risco além de descaracterizar o esporte. Porém, foi a partir do surgimento desse problema que pensou-se na aplicação das fotocélulas (saída e chegada) em sincronismo com SM-MAE.

Adotado essa nova metodologia para aquisição dos dados é que, finalmente, foi possível a identificação das variáveis biomecânicas e, também, verificar suas relações com desempenho da prova determinada para esta pesquisa. De posse dos resultados pode-se caracterizar a largada e o restante do percurso realizado por cada um dos voluntários.

A identificação das variáveis correlacionadas com o rendimento é de suma importância para conhecimento das condições técnicas, táticas e físicas a fim de direcionar melhor o treinamento individual, aprimorando suas marcas competitivas, visto que, no esporte de alto rendimento a classificação do primeiro colocado ocorre em diferenças de centésimos de segundo em relação ao segundo colocado e este aos demais.

Portanto, a possibilidade de realizar a análise biomecânica da modalidade, em estudo, o mais próximo possível da realidade de treino e competição foi o que motivou a escolha do acelerômetro SM-MAE como ferramenta para aquisição de variáveis do ciclismo de velocidade.

Até porque, o SM-MAE apresenta características físicas (pequeno e leve) que facilita sua instalação na bicicleta e, ademais, possui padrão de comunicação sem fio (*wireless*), proporcionando aos voluntários a execução do gesto específico inerente ao ciclismo sem qualquer interferência. Este em sincronismo com a fotocélula foi adequado para o evento escolhido, permitindo o monitoramento do experimento em ambiente não laboratorial.

O estudo caracterizou os padrões de aceleração da largada e os ciclos iniciais de pedaladas do ciclismo de velocidade pela acelerometria. Com as variáveis analisadas foi possível identificar aspectos técnicos e táticos desta modalidade, embora seja interessante aumentar a amostra para conferir melhor tais estratégias.

Perante o teste de comparação esperava-se não encontrar diferenças significativas entre as execuções individuais, visto a amostra do estudo ser composta por atletas de elite. No entanto, foram encontradas diferenças entre eles para três das variáveis (TT, AMpico, MaxV). Tal resultado confere que a maneira que o ciclista utiliza da aceleração e velocidade refletirá no desempenho final. Apesar das diferenças encontradas entre os atletas, a característica das curvas de aceleração e velocidade de cada ciclo apresentaram comportamento semelhantes.

Como resultado das relações entre as variáveis desse estudo, foi possível confirmar que TT, preditor da qualidade de execução, foi influenciado pela ANmax, MvaleAN, Vmax e T2. Estas duas últimas, foram as que apresentaram diferenças significativas entre os

ciclistas e de certa forma classificaram os atletas em respeito ao melhor ou pior desempenho.

Apesar dos resultados apresentados sobre a aceleração serem favoráveis e com condições de aplicação na prática esportiva, vale lembrar que o SM-MAE é um sistema inercial de navegação, sendo composto também pelo giroscópio (medida de velocidade angular), o qual não foi processado nesta pesquisa, surgindo uma lacuna para se estudar o quanto este poderia influenciar no resultado de aceleração apresentado neste trabalho.

Contudo, conclui-se que o SM-MAE pode ser utilizado na rotina de treinamento com condições de fornecer variáveis biomecânicas no ciclismo de pista que auxilia o técnico no diagnóstico da estratégia da largada podendo usar essas informações visando o aprimoramento atlético.

REFERÊNCIAS

- BACA, A.; KORNFEIND, P. Rapid feedback systems for elite sports training. **IEEE CS, IEEE ComSoc**, vol. 5, n. 4, p. 70-76, 2006.
- BERGAMINI, Elena. **Biomechanics of sprint running: a methodological contribution**. 2011, 130 f. Tese (Doutorado em Bioenergia). Università degli Studi di Bologna, Bologna, Italy, 2011.
- BERTUCCI, W., TAIAR, R. e GRAPPE, F. Differences between sprint tests under laboratory and actual cycling conditions. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 45, n. 3, Sep. , p. 277-283, 2005.
- BINI, R., et al. Aplicação de força no pedal em prova de ciclismo 40 km contra-relógio simulada: estudo preliminar. **Rev. bras. Educ. Fís. Esp.**, v. 19, n. 2, p. 105-113, 2005.
- BORGES, A. C. et al. Sistema de acelerometria para avaliação objetiva da prática do remo. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Ribeirão Preto, 2011.
- CHAPMAN, A. R. et al. Patterns of leg muscle recruitment vary between novice and highly trained cyclists. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 18, n. 3, Jun., p. 359-371, 2008.
- ČOH, M. et al. **Kinematic, Dynamic And Electromyographic Characteristics Of A Sprint Start**. XXV International Symposium on Biomechanics in Sports (ISBS); August 23 – 27; Ouro Preto, 2007.
- CRAIG, N. P., NORTON, K. I. Characteristics of track cycling. **Sports Med**, v. 31, n. 7, p. 457-468, 2001.
- DOREL, S., COUTURIER, A., HUG, F. Intra-session repeatability of lower limb muscles activation pattern during pedaling. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 18, n. 5, p. 857-865, out., 2008.
- FERMINO, F. R. **Ciclismo de velocidade**: Uma proposta de controle de preparação física especial. 2008. 168 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física). Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008
- FERNÁNDEZ-PEÑA, E., LUCERTINI, F., DITROILIO, M. A maximal isokinetic pedalling exercise for EMG normalization in cycling. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 19, n. 3, Jun., p. 162-170, 2009.
- GARDNER, A. S. et al. Accuracy of SRM and Power Trap Power monitoring systems fo bicycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, p. 1252 - 1258, 2004

GRANELL, J.C.; CERVERA, V.C. **Teoria e planejamento do treinamento desportivo**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

HANSEN, E. A. et al., Crank inertial load affects freely chosen pedal rate during cycling. **Journal of Biomechanics**, vol. 35, n. 2, p. 277-285, 2002.

HERREN, R. et al. The prediction of speed and incline in outdoor running in humans using accelerometry. **Med Sci Sports Exerc**, v. 31, n. 7, Jul, p. 1053-1059, 1999.

JAMES, D. A., NEIL, N. D., RICE, T. An accelerometer based sensor platform for insitu elite athlete performance analysis. **IEEE Sensor Conf**, vol. 3, p. 1373-1376, 2004.

JAMES, P. **A Coriolis Tutorial**. Woods Hole Oceanographic Institution. Woods Hole, Massachusetts, 2004.

JANZ, K. Validation of the CSA accelerometer for assessing children's physical activity. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 26, n. 3, p. 369-374, 1994.

JOSÉ SANTOS; PUGA, N. Caracterização do esforço do ciclista. **Revista Treino Desportivo**, Lisboa, v. 18, p. 29 – 35, dez. 1990.

KONING, J. D., BOBBERT, M. F., FOSTER, C. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 2, n. 3, p. 266-277, 1999.

KRZYSZTOF, M.; MERO, A. A Kinematics Analysis Of Three Best 100 M Performances Ever. **J Human Kinematics**. n. 36, p. 149-160, mar. 2013.

MARTIN, J. C., DAVIDSON, C. J. e PARDYJAK, E. Understanding Sprint-Cycling Performance: The Integration of Muscle Power, Resistance, and Modeling. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 2, p. 5-21, 2007.

MAULDER, P. S. **The physical power pre-requisites and acute effects of resisted sled loading on sprint running kinematics of the early acceleration phase from starting blocks**. 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Saúde), Auckland University of Technology, New Zealand, 2005.

MOTA, J. et al. Padrões de atividade física em idosos avaliados por acelerometria. **Revista Paulista Educação Física**. São Paulo, vol. 16, n. 2, p. 211-219, jul./dez., 2002.

NABINGER, E. **Análise dinamométrica tridimensional da pedalada de ciclistas**. 2006. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Escola de engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

NEBOT, E., DURRANT-WHYTE, H. Initial calibration and alignment of Low cost Inertial Navigation Units for land vehicle applications. **Journal of Robotics Systems**, v. 16, n. 2, p. 81-92, 1999.

NICHOLS, J. et al. Validity, reliability, and calibration of the Tritac accelerometer as a measure of physical activity. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, p. 908-912, 1999.

OHGI, Y. Microcomputer-based acceleration sensor device for sports biomechanics. Stroke evolution by using swimmers' wrist acceleration. **IEEE**, p. 699-704, 2002.

PAROLIS, S. C. D.; OLIVEIRA, P. R. D. Atletismo: Velocidade Máxima De Deslocamento Na Corrida De 100 Metros Rasos: Um Estudo De Caso. **CONEXÕES** - Revista da Faculdade de Educação Física da Unicamp. Campinas, v. 6, Ed. especial, p. 47-58, jul. 2008.

ROA, Y. H. H. **Desenvolvimento de um sistema microcontrolado para monitoramento de atividades esportivas baseado em sensores microeletricomecânicos de aceleração e giro**. 2009. 145 p. Dissertação (Mestrado em Eletrônica, Microeletrônica e Optoeletrônica). Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

ROSSATO, M. et al. Cadence and workload effects on pedaling technique of well-trained cyclists. **Int J Sports Med**, v. 29, n. 9, Sep, p. 746-752, 2008.

SOUSA, A. S. e; CARVALHO, P. S. Utilização de Sensores no Ensino das Ciências, 2011. Disponível em: <http://www.gazetadefisica.spf.pt/magazine/article/824/pdf>. Acesso em: 11 ago. 2011.

SANDERSON, D. J., HENNING, E. M., BLACK, A. H. The influence of cadence and power output on force application and in-shoe pressure distribution during cycling by competitive and recreational cyclists. **J Sports Sci**, v. 18, n. 3, Mar, p. 173-181, 2000.

SANTANA, D. D. S. et al. Estimção de trajetórias utilizando sistema de navegação inercial strapdown. XV Congresso Brasileiro de Automática, 2004, Gramado. **Anais do CBA 2004**, 2004.

SCHUMACHER, Y. O., MUELLER, P. The 4000-m team pursuit cycling world record: theoretical and practical aspects. **Med Sci Sports Exerc**, v. 34, n. 6, Jun., p. 1029-1036, 2002.

TAKEDA, R. et al. Gait analysis using gravitational acceleration measured by wearable sensors. **J Biomech**, v. 42, n. 3, Feb. 9, p. 223-233, 2009.

TAN, H., WILSON, A. M., LOWE, J. Measurement of stride parameters using a wearable GPS and inertial measurement unit. **J Biomech**, v. 41, n. 7, p. 1398-1406, 2008.

TITTERTON, D. H., WESTON, J. L. (1997) **Strapdown Inertial Navigation Technology**. Lexington, 558 p., 2004.

TUBINO, M. J. G, MOREIRA, S. B. **Metodologia Científica do Treinamento Desportivo**. Rio de Janeiro: Shape, 2003.

WEINECK, J. **Biologia do Esporte**. Barueri: Manole, 2000.

ZAKHAROV, A. A. **Ciência do Treinamento Desportivo**. Rio de Janeiro: Palestra Sport, 2003.