

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

**Thomaz Persinotti Martini**

---

---

**ANÁLISE CINEMÁTICA  
TRIDIMENSIONAL DO LANÇAMENTO DE  
MARTELO: ESTUDO COMPARATIVO DE  
ATLETAS BRASILEIROS DE ALTO NÍVEL**

---

---

Campinas  
2007

**Thomaz Persinotti Martini**

---

---

**ANÁLISE CINEMÁTICA  
TRIDIMENSIONAL DO LANÇAMENTO DE  
MARTELO: ESTUDO COMPARATIVO DE  
ATLETAS BRASILEIROS DE ALTO NÍVEL**

---

---

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação apresentado à Faculdade de  
Educação Física da Universidade  
Estadual de Campinas para obtenção do  
título de Bacharel em Educação Física.

**Orientador: Prof. Dr. Ricardo Machado de Leite Barros**  
**Co-Orientador: Luciano Mercadante**

Campinas  
2007

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA  
PELA BIBLIOTECA FEF – UNICAMP**

M365a

Martini, Thomas Persinotti.

Análise cinemática tridimensional comparativa de lançadores brasileiros de martelo de alto nível / Thomas Persinotti Martini. – Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador(a): Ricardo Machado Leite de Barros.

Co-Orientador(a): Luciano Alegretti Mercadante.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.

1. Biomecânica. 2. Cinemática. 3. Lançamento de martelo. I. Barros, Ricardo Machado Leite de. II Mercadante, Luciano Alegretti. III. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. IV. Título.

asm/fef

**Thomaz Persinotti Martini**

**ANÁLISE CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL DO  
LANÇAMENTO DE MARTELO: ESTUDO  
COMPARATIVO DE ATLETAS BRASILEIROS DE  
ALTO NÍVEL**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho de Conclusão de Curso Graduação defendido por Thomaz Persinotti Martini e aprovado pela Comissão julgadora em: 29/10/2007.

Ricardo Machado de Leite Barros  
Orientador

Luciano Allegretti Mercadante

Vera Aparecida Madruga Forti

Campinas  
2007

# **Dedicatória**

Dedico este trabalho a minha mãe, que esteve presente em todos os momentos importantes da minha vida.

# **Agradecimentos**

Agradeço a minha família, especialmente minhas irmãs e minha sobrinha.

Agradeço aos professores Luciano Allegretti Mercadante e Ricardo Machado de Leite Barros pela paciência, orientação e dedicação à pesquisa.

Agradeço a todos os amigos que passaram horas comigo jogando conversa fora na cantina.

Agradeço a minha namorada por agüentar meu jeito geminiano de ser.

MARTINI, Thomaz P. **Análise cinemática tridimensional de lançamento de martelo: Estudo comparativo de atletas brasileiros de alto nível** . 2007. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

## **RESUMO**

---

---

A análise biomecânica nos esportes de alto nível, pode fornecer importantes informações sobre o comportamento e a performance dos atletas durante situações reais de competições. No lançamento do martelo a quantificação das principais variáveis preditoras do lançamento como: altura, ângulo e velocidade no instante da saída do implemento, torna possível uma análise sobre a técnica do atleta. Para isso, foram utilizadas três câmeras de vídeo digitais a uma frequência de 60Hz, conectadas a dois computadores para armazenamento on-line das seqüências de imagens. A medição das coordenadas de tela e a reconstrução 3D da trajetória da cabeça do martelo foram realizadas no Sistema Dvideo. Foram analisados 37 lançamentos dos atletas que participaram das competições oficiais da Federação Paulista de Atletismo (FPA), realizadas em 2006 no complexo de atletismo da Faculdade de Educação Física da Unicamp. Foram analisados cinco atletas, sendo dois do sexo masculino e três do sexo feminino, que obtiveram uma distância horizontal superior a quarenta metros. A média encontrada na distância horizontal do lançamento é de 56.07m para homens e 54.55 para as mulheres. A principal variável do lançamento, a velocidade de saída, teve uma média de 24.25m/s no masculino e 24.06 no feminino. Já a média em competições internacionais é de 29.60m/s e 28.88 respectivamente.

Palavras-Chaves: Biomecânica; Análise cinemática; Lançamento de martelo.

Martini, Thomaz P. **3D kinematics analysis of the hammer-throw: Comparative study of high level Brazilians athletes.** 2007. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

## **ABSTRACT**

---

---

The biomechanical analysis in high-level sports can provide important information about the behavior and performance of athletes during real competition situations. In the hammer-throwing the quantification of the main predictive variables of the throw as: height, angle and speed at the moment of implement release, makes possible an analysis of the athlete's technique. For that, were used three digital video cameras with a 60Hz frequency, connected in two computers for on-line storage of sequences of images. The measurement of the coordinates of the screen and 3D reconstruction of the trajectory of the head of the hammer was held in the System Dvideo. 37 entries were reviewed of athletes who participated in official competitions of the "*Federação Paulista de Atletismo*" (FPA), held in 2006 in the complex of athletics at the UNICAMP Physical Education College. Five athletes were analyzed, two male and three female, who obtained a horizontal distance exceeding 40 meters. The average found in horizontal distance of the launch is 56.07 to 54.55 for men and women. The main variable of throwing, the release speed, had an average of 24.25m/s for the men and 24.06 for the women. However, the average in international competitions is 29.60m/s and 28.88 respectively, for men and women.

Keywords: Biomechanics; Kinematics analysis; Hammer throwing.

## **LISTA DE FIGURAS**

---

---

<b>Figura 1</b> -	Marcadores da calibração.....	16
<b>Figura 2</b> -	Primeira competição.....	17
<b>Figura 3</b> -	Terceira competição.....	17
<b>Figura 4</b> -	Rastreamento do martelo.....	18
<b>Figura 5</b> -	Boxplot do ângulo de saída do martelo dos atletas masculinos.....	25
<b>Figura 6</b> -	Boxplot da altura de saída do martelo dos atletas masculinos.....	25
<b>Figura 7</b> -	Boxplot da velocidade de saída do martelo dos atletas masculinos.....	26
<b>Figura 8</b> -	Boxplot da distância alcançada pelo martelo dos atletas masculinos.....	26
<b>Figura 9</b> -	Curvas de velocidade do melhor lançamento de cada atleta, categoria masculina.....	27
<b>Figura 10</b> -	Boxplot do ângulo de saída do martelo das atletas femininas.....	29
<b>Figura 11</b> -	Boxplot da altura de saída do martelo das atletas femininas.....	29
<b>Figura 12</b> -	Boxplot da velocidade de saída do martelo das atletas femininas.....	30
<b>Figura 13</b> -	Boxplot da distância alcançada pelo martelo das atletas femininas.....	30
<b>Figura 14</b> -	Curvas de velocidade do melhor lançamento de cada atleta, categoria feminina.....	31

## **LISTA DE TABELAS**

---

---

<b>Tabela 1</b> - Variáveis preditoras, média e desvio padrão do melhor lançador masculino.....	21
<b>Tabela 2</b> - Variáveis preditoras, média e desvio padrão do segundo melhor lançador masculino.....	21
<b>Tabela 3</b> - Variáveis preditoras, média e desvio padrão da melhor lançadora.....	22
<b>Tabela 4</b> - Variáveis preditoras, média e desvio padrão da segunda melhor lançadora.....	22
<b>Tabela 5</b> - Variáveis preditoras, média e desvio padrão da terceira melhor lançadora.....	23
<b>Tabela 6</b> - Variáveis preditoras dos melhores lançamentos (masculino).....	27
<b>Tabela 7</b> - Média e desvio padrão dos lançadores brasileiros e dos finalistas de Sevilha 1999.....	28
<b>Tabela 8</b> - Variáveis preditoras dos melhores lançamentos (feminino).....	31
<b>Tabela 9</b> - Média e desvio padrão das lançadoras brasileiras e das finalistas de Sevilha 1999.....	32

# **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

---

---

<b>LIB</b>	<b>Laboratório de Instrumentação para a Biomecânica</b>
<b>FPA</b>	<b>Federação Paulista de Atletismo</b>
<b>CENESP</b>	<b>Centro de Excelência Esportiva</b>
<b>FEF</b>	<b>Faculdade de Educação Física</b>
<b>UNICAMP</b>	<b>Universidade Estadual de Campinas</b>
<b>m</b>	<b>metros</b>
<b>m/s</b>	<b>Metros por segundo</b>
<b>°</b>	<b>Ângulo</b>
<b>Kg</b>	<b>Quilograma</b>
<b>ppm</b>	<b>Parte por milhão</b>

# SUMÁRIO

---

---

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>14</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
3.1 Coleta de dados.....	15
3.2 Sistema de calibração.....	15
3.3 Sincronização.....	16
3.4 Medição.....	16
3.5 Avaliação da metodologia e rastreamento automático.....	17
3.6 Determinação das variáveis preditoras.....	18
3.7 Dados utilizados.....	19
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
4.1 Análise intra-atletas.....	20
4.1.1 Atletas do sexo masculino.....	21
4.1.2 Atletas do sexo feminino.....	22
4.2 Análise entre atletas.....	24
4.2.1 Atletas do sexo masculino.....	25
4.2.2 Atletas do sexo feminino.....	29
<b>5 DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
5.1 Análise intra-atleta.....	33
5.1.1 Atletas do sexo masculino.....	33
5.1.2 Atletas do sexo feminino.....	33
5.2 Análise entre atletas .....	34
5.2.1 Atletas do sexo masculino.....	34
5.2.2 Atletas do sexo feminino.....	34
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>37</b>
<b>8 ANEXOS .....</b>	<b>38</b>

# 1 Introdução

A análise biomecânica nos esportes de alto nível, individuais e coletivos, pode fornecer importantes informações sobre o comportamento e o desempenho dos atletas durante situações reais de competições. De acordo com Zatsiorsky (2000), a pesquisa biomecânica aplicada ao lançamento de martelo teve início na década de 1950 na antiga União Soviética, empreendida pelos antigos lançadores de elite. As regras em relação ao comprimento e massa do martelo foram estabelecidas em 1887 nos EUA, sendo determinada à massa de 15 libras (6,8kg) para homens e a extensão de 4 pés (1,215m), porém, em 1891 foi alterada a massa para 16 libras (7,26kg) com o mesmo comprimento, medida atual. O martelo, na categoria feminina, pesa quatro quilos e mede 1,195m.

Para Zatsiorsky (2000) o lançamento de martelo é um esporte caracterizado por uma combinação de inúmeras habilidades e capacidades, portanto, existe a necessidade do desenvolvimento de metodologias que permitam análises mais detalhadas do movimento. Com a quantificação das variáveis preditoras do lançamento de martelo, altura, ângulo e velocidade de saída, torna-se possível uma análise sobre a técnica do atleta. A técnica de lançamento é similar entre todos os lançadores, mas as variações estão presentes devido à antropometria, ao treino e as influências ao erro de cada atleta Konz (2006).

A principal fase da técnica do lançamento de martelo são os giros. Fase em que o atleta gira junto com o martelo em torno de seu eixo longitudinal. Normalmente os atletas executam de três a quatro giros, para obter maior velocidade do implemento a fim de alcançar maior distância horizontal.

Para aumentar a distância horizontal, a técnica utilizada deve proporcionar que o martelo alcance maior velocidade de saída possível, e o ângulo de liberação deve estar entre 43° e 44° segundo Dapena (1984). Esta técnica é realizada comumente em três ou quatro giros dependendo do lançador. Os giros apresentam duas fases distintas. A fase de duplo apoio, fase em que lançador acelera o martelo e ambos os pés permanecem em contato com o solo, e a fase de apoio simples, fase na qual o lançador apenas controla o martelo, girando em torno de seu eixo longitudinal e mantendo apenas um pé em contato com o solo. Assim a relação entre tempo de duplo apoio e simples apoio deve aumentar a cada giro.

Dapena em 1984 foi o pioneiro a realizar análises cinemáticas tridimensionais na modalidade. Analisou vinte e nove lançamentos de atletas internacionais de alto nível, sendo vinte e três lançamentos masculinos e seis femininos em uma sessão de treino e quatro competições, obtendo as três principais variáveis preditoras: Altura, ângulo e velocidade do martelo no instante de saída do martelo das mãos do atleta. Determinou as curvas de velocidade em função do tempo e analisou o deslocamento do centro de massa, tanto do lançador quanto do sistema lançador-martelo. Para isso utilizou duas câmeras a 50Hz. Utilizando marcadores em vinte e um pontos anatômicos, determinou quatorze segmentos encontrando o centro de massa do atleta. Para o centro de massa do martelo utilizou o centro da cabeça do implemento.

Já Gutierrez et al. (2002) também obteve as curvas de velocidade em função do tempo e as variáveis preditoras do lançamento dos atletas que participaram do campeonato mundial de lançamento de martelo realizado em Sevilha em 1999. O autor utilizou duas câmeras a 100Hz e as análises apresentadas mostraram um padrão nas curvas de velocidade em função do tempo e uma grande variabilidade quanto a relação de apoio simples e duplo de cada lançador.

Miana et al (2005) desenvolveram um método para análise cinemática 3D de lançamentos de martelo, registrando as imagens com quatro câmeras de vídeo e utilizando o sistema Dvideow, que permite análise à 60Hz, foi feito o rastreamento do martelo de forma semi-automática. A calibração aconteceu por pontos previamente medidos na gaiola de proteção. A reconstrução 3D também foi feita pelo método DLT. Foram calculadas as curvas de velocidade em função do tempo de cada lançamento. As curvas foram sincronizadas pelo instante de saída do martelo.

Mercadante et al. (2005), realizou uma pesquisa comparando a variabilidade da velocidade da cabeça do martelo entre dois atletas brasileiros de alto nível. Já em 2007, Mercadante et al, relacionou as variáveis preditoras e as curvas de velocidade em função do tempo de um atleta em treinamento e competição, ambos os trabalhos utilizaram a metodologia aplicada nessa pesquisa.

Os dados foram coletados em três competições oficiais organizadas pela Federação Paulista de Atletismo (FPA), realizadas no complexo de atletismo da Faculdade de Educação Física da UNICAMP. Em cada competição os atletas tinham direito a três lançamentos na fase classificatória e mais três lançamentos na fase final. A fase final era definida por ordem crescente, de acordo com o desempenho dos atletas na fase classificatória.

Foram analisados trinta e sete lançamentos, sendo dezoito dos atletas masculinos, que lançaram mais de cinquenta metros, e dezenove das atletas femininas, que lançaram mais de quarenta metros. Foram descartados os lançamentos não validados pela arbitragem e os que tiveram problemas na coleta de dados.

Para a quantificação precisa dessas variáveis foi utilizada a metodologia proposta por Miana et al (2005), porém foram utilizadas três câmeras conectadas a dois computadores para aquisição e armazenamento imediato das seqüências de imagens. Os resultados foram analisados por comparação intra e inter atletas, sendo representados por tabelas e gráficos.

## **2 Objetivo**

O objetivo desta pesquisa foi analisar e comparar as variáveis cinemáticas preditoras do lançamento de martelo, altura, ângulo e velocidade de saída, de lançadores brasileiros de alto nível. Foi realizada uma comparação intra e inter-atletas.

Também foi analisada a curva de velocidade da cabeça do martelo em função do tempo, nas categorias masculina e feminina, durante competições oficiais.

## **3 Metodologia**

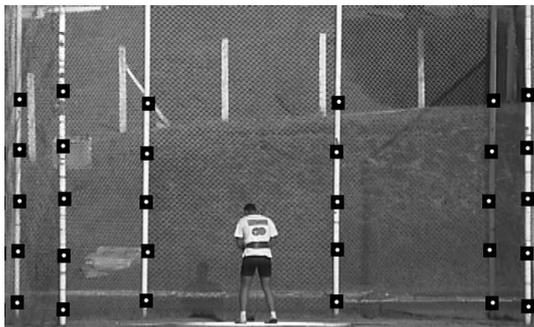
### **3.1 Coleta de dados**

As três coletas de dados foram realizadas em três festivais de lançamento de martelo realizado pela Federação Paulista de Atletismo (FPA) na FEF/UNICAMP. A familiarização com o sistema de análise cinemática tridimensional foi feita a partir dos dados coletados em situações de treinamento obtidos anteriormente.

Dois computadores conectados a três câmeras digitais JVC (modelo GR-DVL) foram utilizados para registrar e armazenar as seqüências de imagens de cada lançamento no formato AVI, utilizando uma interface específica do sistema Dvideo para capturas on-line. Todas as câmeras foram posicionadas de frente para a área de lançamento a uma distância de aproximadamente 75m, e separadas entre si por aproximadamente 20m, de forma não interferir na realização do evento.

### **3.2 Sistema de Calibração**

A calibração das câmeras foi feita no sistema Dvideo baseada no método DLT (Direct Linear Transformation). O sistema de calibração utilizou 30 pontos definidos pelo centro da superfície plana de parafusos de 6mm de diâmetro, fixados aos postes da gaiola de proteção do lançamento, e que tiveram suas coordenadas 3D medidas em relação a um sistema global por um levantamento topográfico a partir de um sistema de georeferenciamento, com precisão de 5" para medidas angulares e 5mm + 3ppm para as medidas de distância. A precisão linear alcançada no levantamento foi de 1:319301 e o erro altimétrico de 6mm. Para a visualização dos pontos na imagem foram utilizadas esferas de 40mm de diâmetro, rosqueadas aos parafusos de forma que o centro da superfície plana coincidissem com o centro da esfera.



**Figura 1** - Marcadores da calibração

### 3.3 Sincronização

Para sincronização das câmeras foi utilizado um sinal de áudio emitido a cada segundo, e registrado juntamente com a seqüência de imagens conforme proposto por Barros et al (2006). Para cada sinal em cada câmera, o sistema fornece a diferença em milissegundos entre o início da formação da imagem e o instante em que recebe o sinal de áudio. Assim, pode-se determinar a diferença intra-frame, em tempo, entre as câmeras, ajustando os valores medidos das coordenadas de tela em função do tempo a partir de uma câmera de referência.

### 3.4 Medição

A medição das coordenadas de tela e a reconstrução 3D da trajetória da cabeça do martelo foram realizadas no Sistema Dvideo. Cada coordenada,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , da trajetória foi suavizada utilizando um filtro tipo Spline cúbico com parâmetro de suavização de 0.1, os dados foram interpolados na ordem de 10 vezes. Foram testados diferentes valores do parâmetro de suavização e a escolha foi baseada na qualidade e no padrão das curvas de velocidade durante os giros realizados.

### 3.5 Avaliação da metodologia e rastreamento automático

Para avaliação da metodologia utilizada, foi registrada a movimentação de uma barra rígida com dois marcadores esféricos de isopor nas extremidades e comprimento de 116.46cm, entre os centros das esferas, durante 800 frames. O erro percentual médio foi de 1.36% do comprimento medido.

O aumento do rastreamento automático diminuiu o tempo de obtenção dos resultados. Como o sistema utiliza ferramentas de operações de morfologia matemática aplicada ao processamento digital de imagem, é necessário que o ambiente seja controlado para que fatores externos, tais como, a iluminação solar e pontos parecidos com a cabeça do martelo no fundo da imagem não atrapalhem o rastreamento.

O controle do fundo da imagem melhorou a automatização do rastreamento, visto que, na primeira coleta, o rastreamento automático foi de aproximadamente 60% do movimento da cabeça do martelo. Já na terceira coleta essa porcentagem subiu para 91.5%. A grande dificuldade para o rastreamento 100% automático é o momento em que o martelo é encoberto pelo corpo do atleta durante os giros. Nesse instante foi utilizado o rastreamento manual, interpolando os pontos.



Figura 2 - Primeira competição



Figura 3 - Terceira Competição

### 3.6 Determinação das variáveis predictoras

Devido à baixa frequência das câmeras, impossibilitando uma análise visual do instante de saída do martelo, esse instante foi definido no ponto da velocidade máxima atingida pela cabeça do martelo, pois a partir deste ponto o martelo está em queda livre tendo apenas a resistência do ar e a força da gravidade agindo sobre o mesmo, diminuindo sua velocidade.

Nesse instante foram calculadas as variáveis predictoras da distância horizontal do lançamento. A velocidade de saída ( $v_0$ ) corresponde à norma do vetor velocidade, a altura de saída ( $h_0$ ) é dada pela coordenada  $z$  do vetor posição da cabeça do martelo, que indica sua altura em relação ao solo e o ângulo de saída ( $\alpha$ ) é calculado entre o vetor correspondente à velocidade da cabeça do martelo, no instante de saída, e a horizontal. As variáveis foram calculadas pelo vetor  $\vec{S}$  (vetor de saída), pela função  $|\vec{v}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ , já o ângulo foi obtido pela função:  $A \cdot B = |A||B| \cos \theta$ .



Figura 4 - Rastreamento do Martelo

### **3.7 Dados utilizados**

Foram filmados 276 lançamentos durante as três coletas de dados realizadas na FEF, porém 92 lançamentos não foram validados pela arbitragem, portanto, foram descartados. Dos 184 lançamentos validados, 53 foram medidos e reconstruídos tridimensionalmente. Os melhores lançamentos dos atletas que participaram dos festivais e os resultados estão disponíveis no site <http://www.unicamp.br/cenesp>.

Nessa pesquisa foi comparado o melhor lançamento obtido em todos os festivais, de dois atletas masculinos e de três atletas femininas, que não tiveram problemas nas coletas de dados. O atleta masculino que realizou o melhor lançamento não foi analisado por problemas na coleta de dados. Também foi realizada uma comparação intra-atleta desses lançadores, sendo analisados os lançamentos com distâncias horizontais superior a quarenta metros.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Análise intra-atleta**

Para a análise intra-atleta, foram utilizados todos os lançamentos que não tiveram problemas na coleta de dados, sendo obtidas e comparadas as variáveis preditoras, obtendo-se a média dessas variáveis e o desvio padrão das mesmas.

As tabelas 1 e 2 e as 3, 4 e 5 apresentam as variáveis preditoras de todos os lançamentos dos atletas. Além de apresentar a média e o desvio padrão de cada campeonato e de todos os campeonatos juntos. Importante ressaltar, que nem todos os atletas participaram de todas as competições.

Os campeonatos ocorreram na Faculdade de Educação Física da UNICAMP nos dias, 05/03/2006 (1ª), 27/05/2006 (2ª) e 12/08/2006 (3ª).

Os atletas da categoria masculina foram identificados por M1 e M2. Sendo M1 o melhor lançador e M2 o segundo melhor. Na categoria feminina as atletas foram identificadas por F1, F2 e F3 seguindo a mesma lógica da categoria masculina.

### 4.1.1 Atletas do sexo masculino

**Tabela 1** – Variáveis preditoras, média e desvio padrão do melhor lançador masculino.

Competição	Ângulo (°)	Altura (m)	Velocidade (m/s)	Distância (m)
1 <sup>a</sup>	38.59	1.64	25.39	52.14
	37.70	1.62	25.06	52.50
	37.72	1.66	25.04	54.23
<b>média</b>	<b>38.00</b>	<b>1.64</b>	<b>25.16</b>	<b>52.95</b>
<b>dp</b>	<b>0.50</b>	<b>0.02</b>	<b>0.19</b>	<b>1.11</b>
2 <sup>a</sup>	38.44	1.31	24.75	54.36
	36.08	1.24	24.89	56.83
	36.96	1.37	25.10	56.96
<b>média</b>	<b>37.16</b>	<b>1.30</b>	<b>24.91</b>	<b>56.05</b>
<b>dp</b>	<b>1.19</b>	<b>0.06</b>	<b>0.17</b>	<b>1.46</b>
3 <sup>a</sup>	38.29	0.83	24.56	53.80
	37.19	1.07	23.97	53.84
	36.36	1.53	23.91	54.62
	36.19	1.12	24.49	54.82
	37.30	1.12	24.50	55.69
	37.94	1.24	24.66	57.13
<b>média</b>	<b>37.21</b>	<b>1.15</b>	<b>24.34</b>	<b>54.98</b>
<b>dp</b>	<b>0.83</b>	<b>0.22</b>	<b>0.32</b>	<b>1.26</b>
<b>média geral</b>	<b>37.40</b>	<b>1.31</b>	<b>24.70</b>	<b>54.74</b>
<b>dp</b>	<b>0.87</b>	<b>0.25</b>	<b>0.44</b>	<b>1.65</b>

**Tabela 2** – Variáveis preditoras, média e desvio padrão do segundo melhor lançador masculino.

Competição	Ângulo (°)	Altura (m)	Velocidade (m/s)	Distância (m)
2 <sup>a</sup>	37.45	1.44	23.05	51.21
3 <sup>a</sup>	38.72	0.98	23.60	52.37
	35.47	1.18	24.20	53.52
	35.78	1.22	24.65	53.59
	36.56	1.06	24.22	54.50
	38.82	1.34	23.84	55.01
<b>média</b>	<b>37.07</b>	<b>1.15</b>	<b>24.10</b>	<b>53.79</b>
<b>dp</b>	<b>1.60</b>	<b>0.14</b>	<b>0.40</b>	<b>1.0</b>
<b>média geral</b>	<b>37.13</b>	<b>1.20</b>	<b>23.93</b>	<b>53.36</b>
<b>Dp</b>	<b>1.44</b>	<b>0.17</b>	<b>0.55</b>	<b>1.39</b>

### 4.1.2 Atletas do sexo feminino

**Tabela 3** – Variáveis preditoras, média e desvio padrão da melhor lançadora.

Competição	Ângulo (°)	Altura (m)	Velocidade (m/s)	Distância (m)
1 <sup>a</sup>	38.13	1.85	24.75	55.56
	41.19	1.79	23.95	54.77
	39.68	1.74	24.70	55.55
3 <sup>a</sup>	42.81	1.49	24.32	55.89
	40.02	1.78	24.63	56.10
	42.21	1.73	24.31	57.38
	41.45	1.69	24.78	58.14
<b>média</b>	<b>41.22</b>	<b>1.70</b>	<b>24.44</b>	<b>56.30</b>
<b>dp</b>	<b>1.21</b>	<b>0.11</b>	<b>0.31</b>	<b>1.23</b>
<b>média geral</b>	<b>40.78</b>	<b>1.72</b>	<b>24.49</b>	<b>56.19</b>
<b>dp</b>	<b>1.61</b>	<b>0.11</b>	<b>0.30</b>	<b>1.16</b>

**Tabela 4** - Variáveis preditoras, média e desvio padrão da segunda melhor lançadora.

Competição	Ângulo (°)	Altura (m)	Velocidade (m/s)	Distância (m)
1 <sup>a</sup>	39.06	1.41	24.10	54.78
	39.43	1.07	24.38	55.21
<b>média</b>	<b>39.24</b>	<b>1.24</b>	<b>24.24</b>	<b>54.99</b>
<b>dp</b>	<b>0.26</b>	<b>0.24</b>	<b>0.19</b>	<b>0.30</b>
	39.53	0.97	23.63	51.28
3 <sup>a</sup>	38.24	0.71	23.71	51.97
	41.81	1.10	23.58	52.56
	39.23	0.87	23.95	52.70
<b>média</b>	<b>39.70</b>	<b>0.91</b>	<b>23.71</b>	<b>52.12</b>
<b>dp</b>	<b>1.50</b>	<b>0.16</b>	<b>0.16</b>	<b>0.64</b>
<b>média geral</b>	<b>39.55</b>	<b>1.02</b>	<b>23.89</b>	<b>53.08</b>
<b>dp</b>	<b>1.19</b>	<b>0.23</b>	<b>0.31</b>	<b>1.56</b>

**Tabela 5** - Variáveis preditoras, média e desvio padrão da terceira melhor lançadora.

<b>Competição</b>	<b>Ângulo (°)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Distância (m)</b>
2 <sup>a</sup>	41.06	1.14	23.04	50.31
	38.82	1.33	22.38	46.55
	36.16	1.14	22.95	46.73
3 <sup>a</sup>	35.22	0.80	23.56	46.86
	39.16	1.24	22.84	48.39
	35.37	1.11	23.66	49.76
<b>média</b>	<b>36.94</b>	<b>1.12</b>	<b>23.07</b>	<b>47.65</b>
<b>dp</b>	<b>1.90</b>	<b>0.20</b>	<b>0.53</b>	<b>1.38</b>
<b>média geral</b>	<b>37.63</b>	<b>1.13</b>	<b>23.07</b>	<b>48.10</b>
<b>dp</b>	<b>2.39</b>	<b>0.17</b>	<b>0.47</b>	<b>1.64</b>

## 4.2 Análise entre atletas

Para podermos afirmar que houve variação significativa entre os dados, foi realizada uma comparação estatística das variáveis de saída de todos os lançamentos. Essa análise foi feita por gráficos, tipo boxplot, para  $p < 0.05$ . Esses gráficos mostram os valores da mediana, os intervalos interquartis e os intervalos de confiança de cada uma das variáveis.

Os boxplots das variáveis de saída do martelo, ângulo, altura e velocidade, são apresentados nas figuras 5, 6, 7, para os homens e 10, 11 e 12, para as mulheres. A distância alcançada é representada nas figuras 8 e 13 respectivamente.

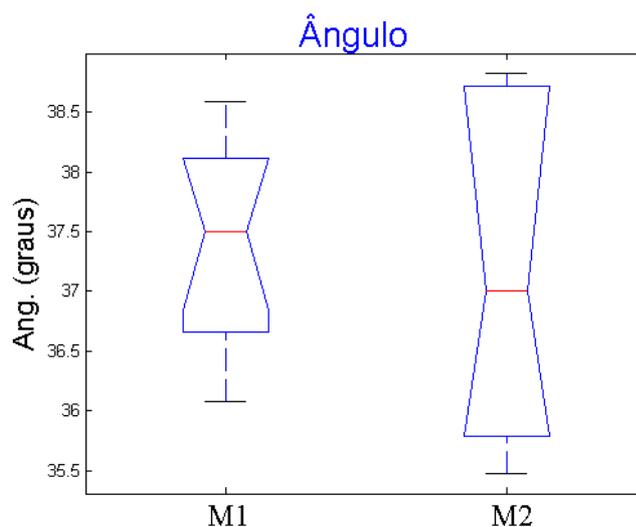
Também foram obtidas as curvas de velocidade em função do tempo de todos os lançamentos, mas apenas o melhor lançamento está sendo comparado, visto que, Dapena (1984) observa que para o aprimoramento da técnica e busca de melhores resultados, os atletas devem tentar aprimorar sua técnica por tentativa e erro, ou por cópia dos indivíduos mais prósperos.

Na figura 9 são apresentadas as curvas de velocidade, em função do tempo, do melhor lançamento de cada atleta do sexo masculino. A mesma comparação é realizada na categoria feminina, como mostra a figura 14. As curvas foram sincronizadas pelo pico de velocidade, representada por um \* (instante de saída do martelo).

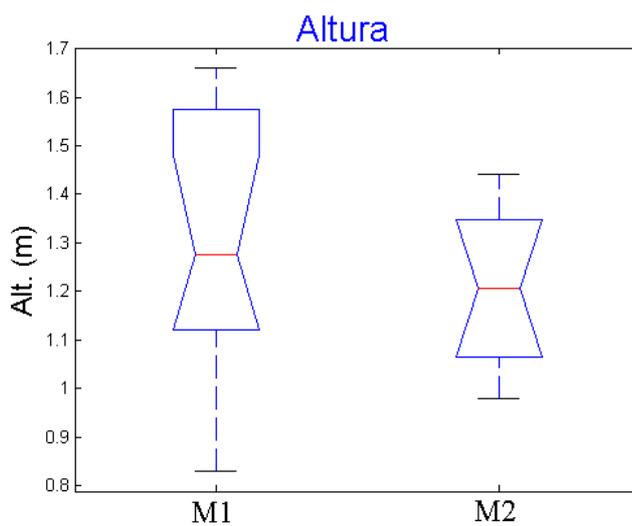
As tabelas 7 e 9 apresentam as médias e desvio padrão das variáveis preditoras dos atletas brasileiros, em competições e dos finalistas do campeonato mundial de Sevilha de 1999, dados da IAAF. Já as tabelas 8 e 10 apresentam as variáveis preditoras do melhor lançamento de cada atleta, das categorias masculina e feminina respectivamente.

### 4.2.1 Atletas do sexo masculino

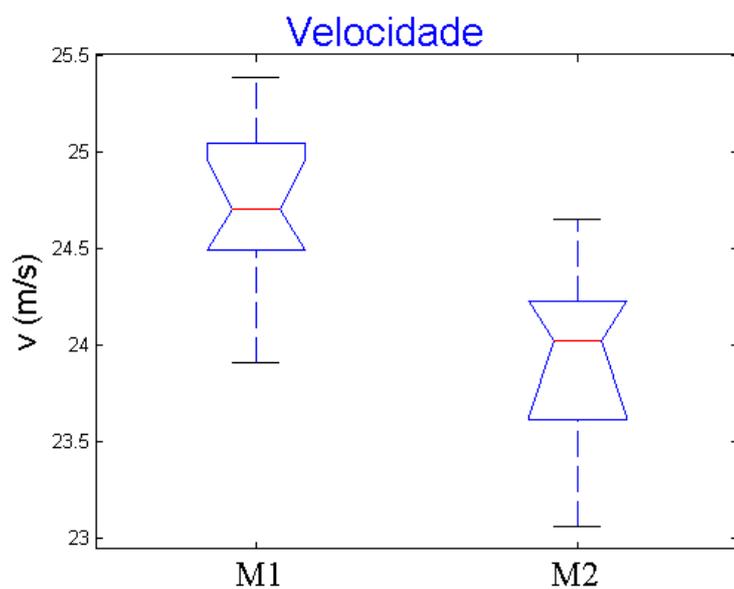
Boxplots das variáveis analisadas do lançamento, ângulo, altura, velocidade de saída e a distância horizontal dos dois atletas. Foram utilizados 12 lançamentos do atleta M1 e seis lançamentos do atleta M2.



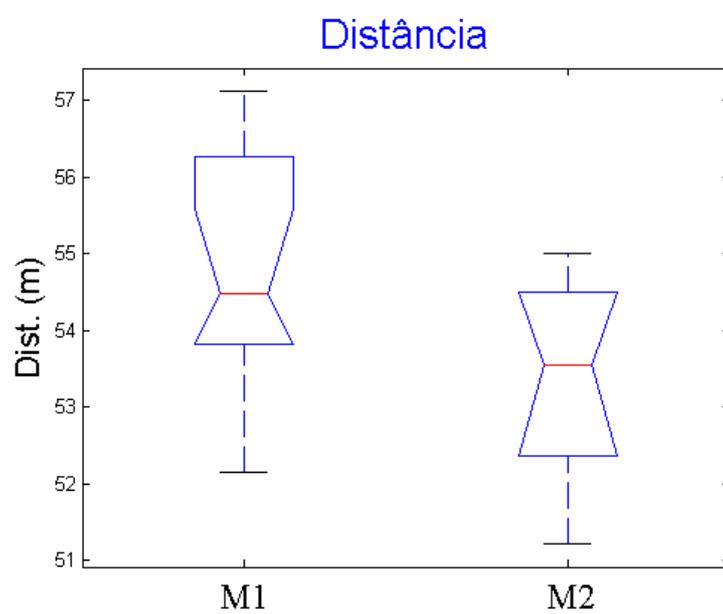
**Figura 5** – Boxplot do ângulo de saída do martelo dos atletas masculinos



**Figura 6** – Boxplot da altura de saída do martelo dos atletas masculinos

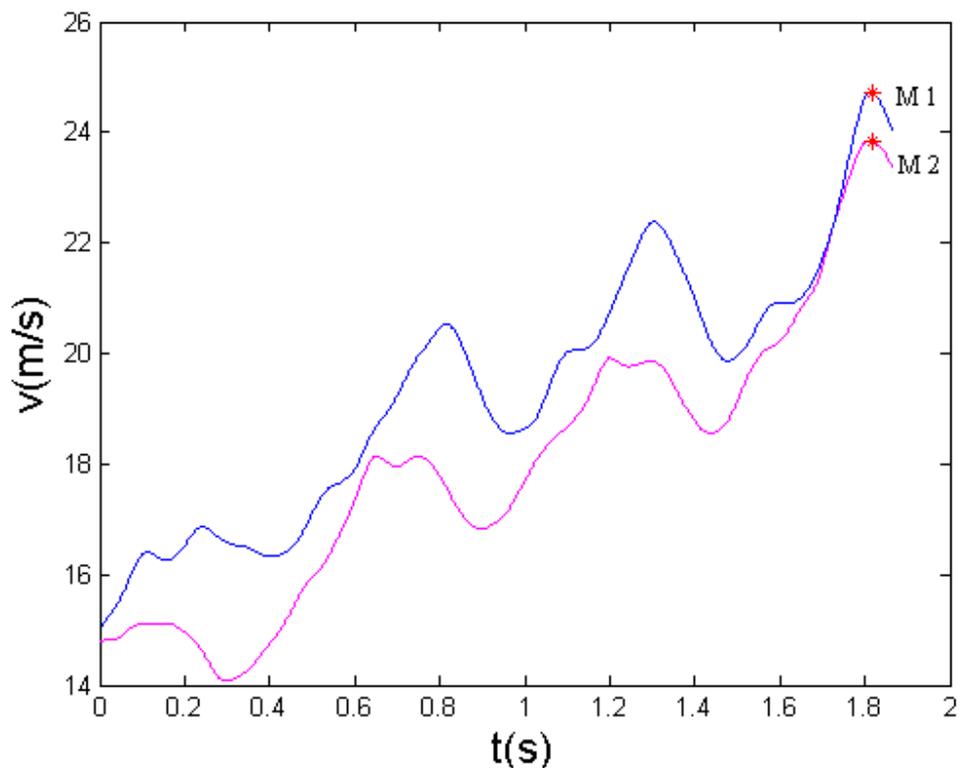


**Figura 7** - Boxplot da velocidade de saída do martelo dos atletas masculinos



**Figura 8** - Boxplot da distância alcançada do martelo pelos atletas masculinos

A seguir, temos as curvas de velocidade do melhor lançamento obtido em todas as competições, dos atletas do sexo masculino, M1 e M2. Em seguida as variáveis preditoras desse lançamento são apresentadas em uma tabela. Os atletas obtiveram as melhores marcas na terceira competição. Sendo alcançadas as distâncias de 57.13m e 55.01, para os atletas M1 e M2, respectivamente.



**Figura 9** - Curvas de velocidade do melhor lançamento de cada atleta, categoria masculina.

**Tabela 6** – Variáveis preditoras dos melhores lançamentos (masculino).

Atleta	Ângulo (°)	Altura (m)	Velocidade (m/s)	Distância (m)
M 1	37.94	1.24	24.66	57.13
M 2	38.82	1.34	23.84	55.01

A tabela 7 apresenta a média e desvio padrão das variáveis preditoras do melhor lançamento dos dois atletas masculinos brasileiros, que estão sendo comparados com as variáveis preditoras do melhor lançamento de três atletas finalistas em Sevilha 1999 (IAAF).

**Tabela 7** – Média e desvio padrão dos lançadores brasileiros e dos finalistas de Sevilha 1999.

<b>Atletas brasileiros</b>				
	<b>Ângulo (°)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Distância (m)</b>
Média	38.38	1.29	24.25	56.07
Dp	0.62	0.07	0.57	1.5
<b>Finalistas de Sevilha 1999</b>				
Média	38.34	1.57	29.60	79.44
Dp	2.01	0.18	0.22	0.69

### 4.2.2 Atletas do sexo feminino

Boxplots das variáveis analisadas do lançamento, ângulo, altura, velocidade de saída e a distância horizontal, das três atletas analisadas. Foram utilizados sete lançamentos da atleta F1 e seis lançamentos das atletas, F2 e F3.

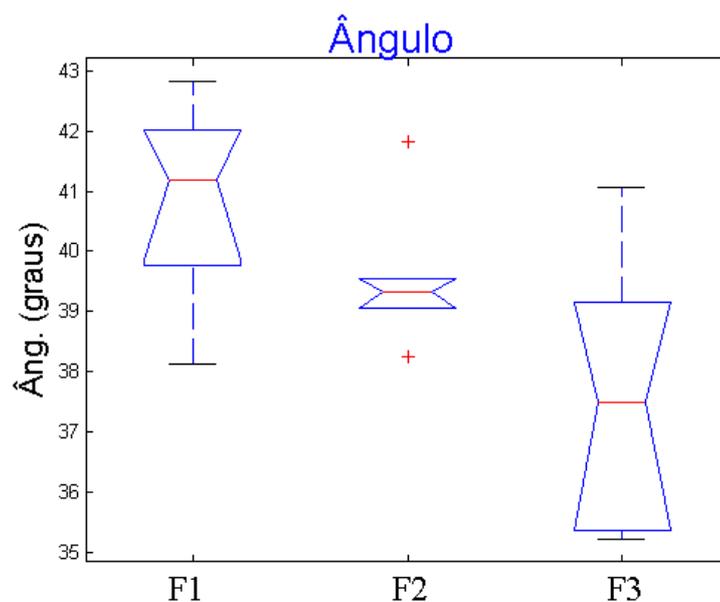


Figura 10 – Boxplot do ângulo de saída do martelo das atletas femininas

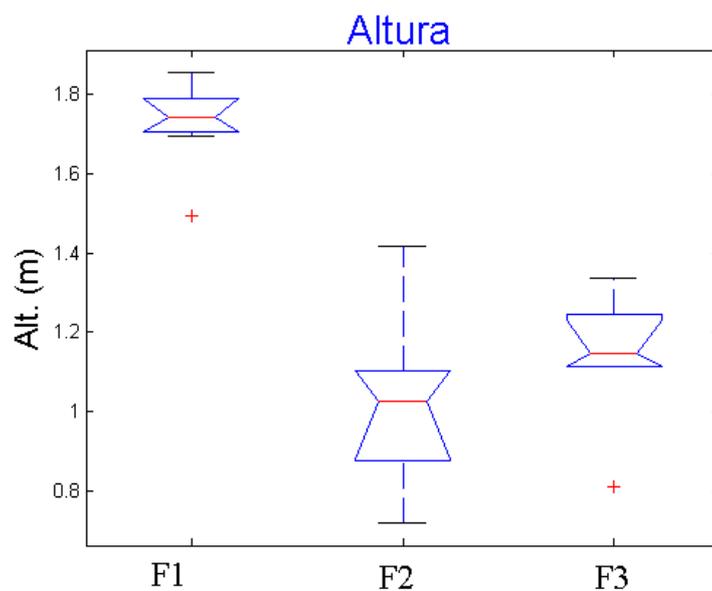
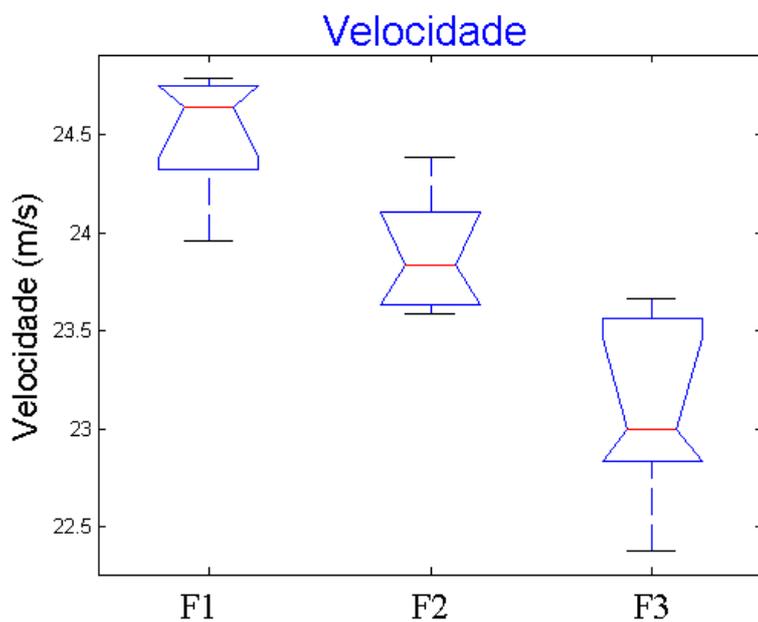
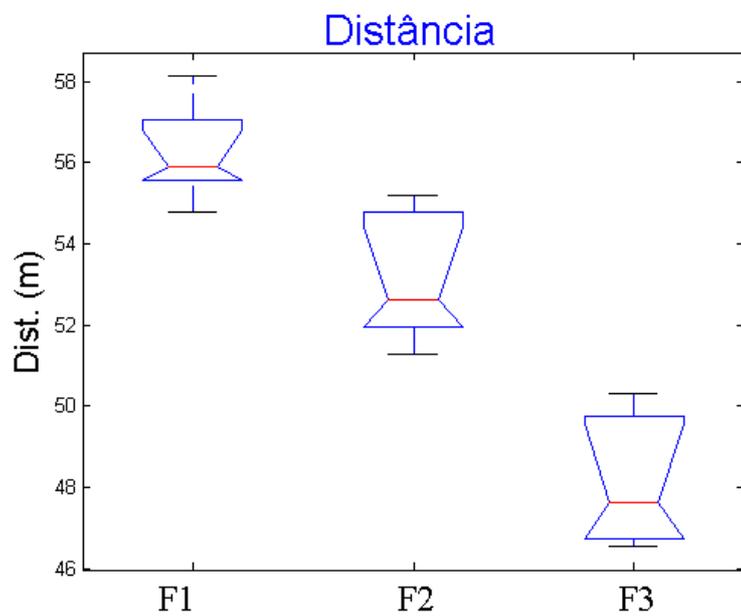


Figura 11 - Boxplot da altura de saída do martelo das atletas femininas

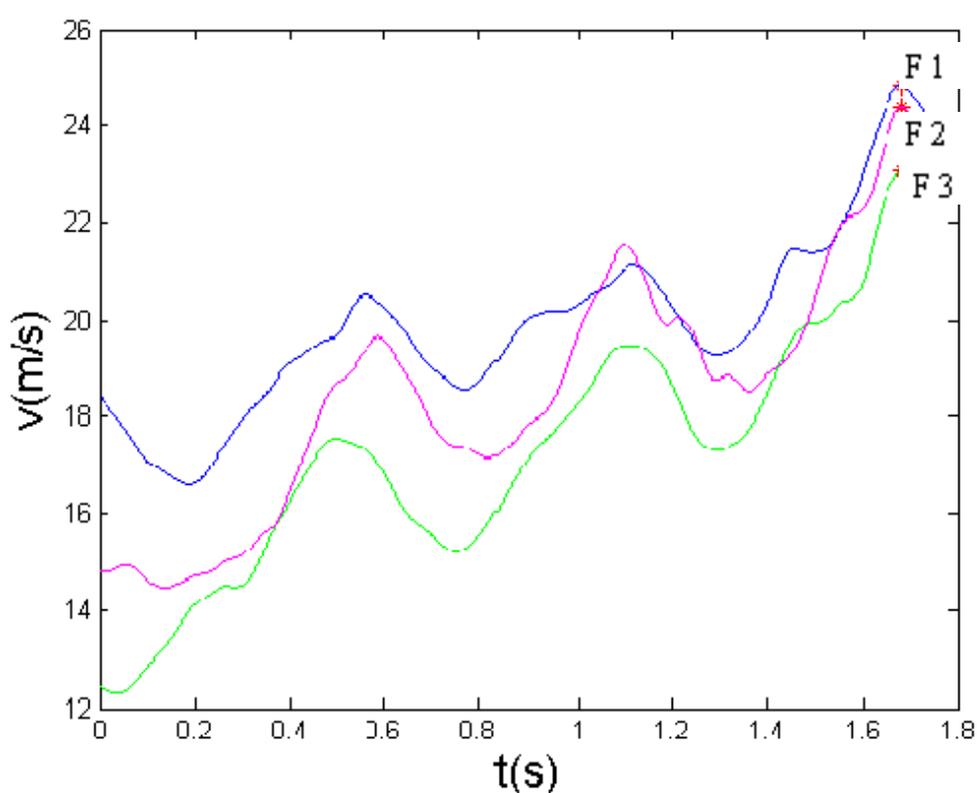


**Figura 12** – Boxplot da velocidade de saída do martelo das atletas femininas



**Figura 13** – Boxplot da distância alcançada pelo martelo das atletas femininas

Abaixo, temos as curvas de velocidade do melhor lançamento obtido em todas as competições das atletas do sexo feminino, F1, F2 e F3. Em seguida, as variáveis preditoras desse lançamento são apresentadas em uma tabela. A atleta, F1, obteve sua melhor marca na terceira competição. A atleta, F2, obteve sua melhor marca na primeira competição. Já atleta, F3, alcançou maior distância horizontal na segunda competição. As atletas atingiram a distância de 58.14m, 55.21 e 50.31, respectivamente.



**Figura 14** - Curvas de velocidade do melhor lançamento de cada atleta, categoria feminina.

**Tabela 8** – Variáveis preditoras dos melhores lançamentos (feminino).

<b>Atleta</b>	<b>Ângulo (°)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Distância (m)</b>
F 1	41.45	1.69	24.78	58.14
F 2	39.43	1.07	24.38	55.21
F 3	41.06	1.14	23.04	50.31

A tabela 9 apresenta a média e desvio padrão das variáveis preditoras do melhor lançamento das três atletas femininas brasileiras, que estão sendo comparados com as variáveis preditoras do melhor lançamento de três atletas finalistas em Sevilha 1999 (IAAF).

**Tabela 9** – Média e desvio padrão das lançadoras brasileiras e das finalistas de Sevilha 1999.

<b>Atletas brasileiras</b>				
	<b>Ângulo (°)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Distância (m)</b>
média	40.64	1.3	24.06	54.55
dp	1.07	0.33	0.91	3.96
<b>Finalistas de Sevilha 1999</b>				
média	39.57	1.67	28.88	70.59
dp	1.32	0.06	1.10	4.89

## **5 Discussão**

### **5.1 Análise intra-atletas**

#### **5.1.1 Atletas do sexo masculino**

O melhor lançador analisado, M1, pratica a modalidade a mais de vinte anos e já foi recordista brasileiro durante dez anos. Analisando o desvio padrão de todas as variáveis, percebemos que o atleta tem uma pequena variabilidade nas variáveis de saída, ou seja, é um atleta regular.

O lançador, M2, obteve uma melhor distância horizontal, quando aumentou o ângulo de saída do martelo. Essa comparação é feita entre os lançamentos de maior velocidade e o lançamento de melhor ângulo. No primeiro caso o atleta obteve uma velocidade de 24.65m/s e ângulo de 35.7° atingindo 53.59m, já em seu melhor lançamento de 55.01m, o atleta obteve uma velocidade de 23.84m/s e um ângulo de 38.82°.

#### **5.1.2 Atletas do sexo feminino**

Na categoria feminina a atleta, F1, alcançou melhor marca horizontal, no lançamento em que atingiu maior velocidade final na cabeça do martelo. Nota-se que é uma atleta constante, principalmente na velocidade e altura de saída do martelo.

A atleta, F2, teve uma queda no desempenho, da primeira para a terceira competição. Essa queda é consequência da menor velocidade de saída alcançada pela atleta durante as duas competições. Já que na primeira competição a atleta teve uma média de 24.24m/s e na terceira essa média caiu para 23.71.

A atleta, F3, atingiu sua maior distância horizontal quando aumentou em aproximadamente quatro graus seu ângulo de liberação do martelo da média de seus lançamentos.

## **5.2 Análise entre atletas**

### **5.2.1 Atletas do sexo masculino**

Observa-se que apenas a velocidade de saída, figura 7, apresenta uma diferença estatística significativa para  $p < 0.05$ . Porém, vale ressaltar, que a velocidade de saída é a principal variável preditora do lançamento.

Analisando as curvas de velocidade do melhor lançamento de cada atleta, figura 9, nota-se, que o atleta, M1, mantém uma aceleração média maior e mais constante durante os giros comparado ao atleta, M2. Essa análise pode ser realizada, traçando uma linha imaginária entre os picos de velocidade dos giros e observando a inclinação dessa reta, enquanto mais inclinada à reta, em relação ao eixo x, maior será a aceleração média do atleta.

A grande diferença dos lançadores brasileiros em relação aos atletas internacionais está na velocidade de saída, como mostra a tabela 7. A velocidade de saída está diretamente ligada à energia cinética aplicada ao martelo, que é produzida pela força do atleta.

### **5.2.2 Atletas do sexo feminino**

Em relação à altura de saída notamos que a atleta, F2, que apresenta menor estatura, tem a menor média na altura de saída do martelo. Segundo Konz (2006), aspectos antropométricos determinam a técnica do atleta. Na categoria feminina também notamos a

variação estatística entre as três atletas, tanto na velocidade de saída, figura 12, como na distância, figura 13. Essa variação comprova os motivos do melhor desempenho da atleta F2.

Já em relação às curvas de velocidade, figura 14, percebemos que a atleta F1, não aumenta de forma expressiva a velocidade durante o segundo e o terceiro giro, ou seja, essa atleta realiza quatro giros, porém não tão eficientes, visto que os giros são realizados para aumentar a velocidade do martelo, (Dapena 1984).

Como acontece na categoria masculina, a velocidade de liberação do martelo é a variável que tem a maior defasagem das atletas brasileiras para as atletas internacionais, tabela 9.

## **6 CONCLUSÃO**

Com esses dados, podemos concluir que a metodologia foi aprimorada para a análise cinemática tridimensional de lançamento de martelo em competição. Houve uma diminuição significativa no tempo de obtenção dos resultados, possibilitando a divulgação dos resultados para os técnicos e atletas logo após a competição.

Foi possível obter e comparar as variáveis preditoras do lançamento de martelo dos atletas brasileiros das categorias, masculina e feminina, durante competições oficiais da Federação Paulista de Atletismo (FPA).

A média da velocidade de saída do melhor lançamento dos melhores das atletas brasileiros em competição, é de 24.25m/s para os homens e de 24.06 para as mulheres. Já no campeonato mundial de Sevilha, realizado em 1.999, a média da velocidade de saída dos finalistas é de 29.60m/s e 28.88, respectivamente.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

---

DAPENA, J. The Pattern of Hammer Speed During a Hammer Throw and Influence of Gravity on its Fluctuations. *Journal of Biomechanics*, v. 17, n.8, p. 553-559, 1984.

DAPENA, J. A Kinematic Study of Center of Mass Motions in the Hammer Throw. *Journal of Biomechanics*, v. 19, n.2, p. 147-158, 1986.

DAPENA, J., GUTIÉRREZ-DÁVILA, M., SOTO, V.M., ROJAS, F.J. *Prediction of Distance in Hammer Throwing*. *Journal of Sports Sciences*, v. 21, p. 21-28, 2003.

KONZ S. M., *Technique and performance level comparisons of male and female hammer throwers*. Dissertation submitted to the Faculty of Brigham Young University, December, 2006

MERCADANTE L. A., et al. *Análise cinemática tridimensional do lançamento do martelo* In: Simpósio Internacional de Ciências do Esporte, 38., 2005, São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, v.13. p.274 – 274. 2005.

MERCADANTE L. A., et al *Variabilidade da velocidade do martelo durante os giros em atletas brasileiros de alto nível* In: Congresso de Ciência do Desporto,1., *Anais...* Campinas, 2005.

MERCADANTE L. A., et al. *Análise Cinemática Tridimensional do Lançamento do Martelo em Treinamento e Competição*. XII Congresso Brasileiro de Biomecânica, Rio Claro, maio de 2007.

ZATSIORSKY, V. M., *Biomecânica no esporte performance do desempenho e prevenção de lesão*, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.