

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

**JERUSA PETRÓVNA RESENDE LARA**

---

**ANÁLISE CINEMÁTICA**  
**TRIDIMENSIONAL DO SALTO EM**  
**DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO**  
**NÍVEL EM COMPETIÇÃO.**

---

Campinas

2011

**JERUSA PETRÓVNA RESENDE LARA**

---

---

**ANÁLISE CINEMÁTICA  
TRIDIMENSIONAL DO SALTO EM  
DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO  
NÍVEL EM COMPETIÇÃO.**

---

---

Defesa de Mestrado apresentada à Pós-Graduação da Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre na área de concentração: Biodinâmica do movimento humano.

**Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Ricardo Machado Leite de Barros**

Campinas 2011

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

L32a Lara, Jerusa Petrónva Resende.  
Análise cinemática tridimensional do salto em distância de atletas de alto nível em competição / Jerusa Petrónva Resende Lara. - Campinas, SP: [s.n], 2011.

Orientador: Ricardo Machado Leite de Barros.  
Dissertação (mestrado) – Faculdade de Educação Física,  
Universidade Estadual de Campinas.

1. Biomecânica. 2. Análise de regressão. 3. Cinemática - Análise. 4. Salto (Atletismo). 5. Sensibilidade. I. Barros, Ricardo Machado Leite de. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

(asm/fef)

**Título em inglês:** Three-dimensional kinematic analysis of the long jump in high level in competition.

**Palavras-chaves em inglês (Keywords):** Biomechanics. Multiple regression. Repeatability and Sensibility.

**Área de Concentração:** Biodinâmica do Movimento Humano.

**Titulação:** Mestrado em Educação Física.

**Banca Examinadora:** Ricardo Machado Leite de Barros. Luciano A. Mercadante. Hans Joachim Karl Menzel.

**Data da defesa:** 04/02/2011.

**Programa de Pós-Graduação:** Educação Física.

JERUSA PETRÓVNA RESENDE LARA

**ANÁLISE CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL DO  
SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO  
NÍVEL EM COMPETIÇÃO.**

Este exemplar corresponde à redação final da  
Dissertação de Mestrado defendida por Jerusa  
Petróvna Resende Lara e aprovada pela  
Comissão julgadora em: 04/02/2011



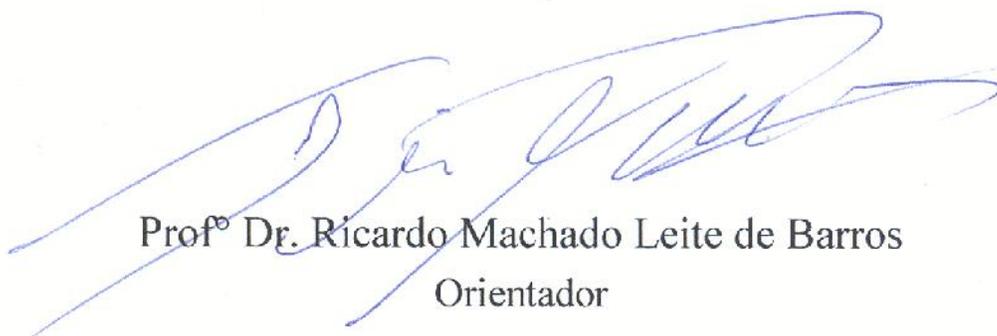
PROFº DR. RICARDO MACHADO LEITE  
DE BARROS

Orientador

Campinas

2011

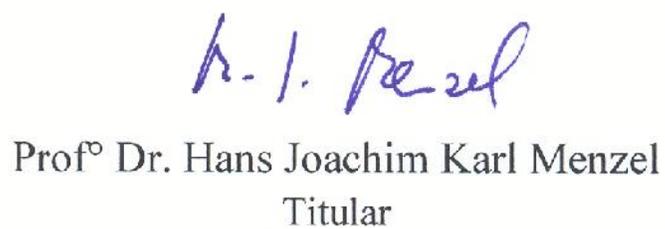
## COMISSÃO JULGADORA



Prof<sup>o</sup> Dr. Ricardo Machado Leite de Barros  
Orientador



Prof<sup>o</sup> Dr. Luciano Alegretti Mercadante  
Titular



Prof<sup>o</sup> Dr. Hans Joachim Karl Menzel  
Titular

# Dedicatória

---

---

*“Há quem diga que todas as noites são de sonhos.  
Mas há também quem garanta que nem todas, só as de verão.*

*No fundo, isto não tem muita importância.  
O que interessa mesmo não é a noite em si, são os sonhos.  
Sonhos que o homem sonha sempre, em todos os lugares,  
em todas as épocas do ano, dormindo ou acordado.”*

*Sonhos- Sonhos de uma noite de verão*

*William Shakespeare*

*Aos meus pais,*

*Por serem ao mesmo tempo*

*O vento que me impulsiona a navegar por novos mares enfrentando desafios*

*E o porto seguro onde posso me abrigar durante as tormentas.*

# Agradecimentos

---

---

*Por mais uma conquista da minha vida eu gostaria de agradecer...*

*A Deus pela interseção em todas as vezes que pedi;*

*Aos meus pais Antônio Carlos e Maria Auxiliadora por me apoiarem, ampararem, incentivarem e acima de tudo acreditarem que eu seria capaz dessa conquista onde em muitas das vezes nem mesmo eu acreditava. Pela paciência nas horas de stress e mau humor (e digamos que foram muitas!!!!);*

*As minhas irmãs que souberam entender a minha ausência em alguns momentos;*

*Aos meus sobrinhos que a cada risada e gargalhada me dava mais um motivo de viver;*

*Aos amigos 'Libianos' que entre risadas, aporrinhações, discussões, festas e alegrias me ajudaram a continuar firme e forte nesse caminho.*

*Nesse tempo em que estive na faculdade de educação física cursando o mestrado conquistei algumas coisas importantes para minha vida: Aprendi o significado das palavras limite, amizade, admiração e orientação. Sendo assim, agradeço também algumas pessoas em especial:*

*Ao Felipinho, por sempre pedir romantismos nos meus textos, algo quase improvável para alguém da área de exatas, mas não impossível para quando se tem amigos dispostos a ajudar;*

*Ao Márcio, pelos ensinamentos do atletismo, em especial o salto em distância. Por mostrar que por mais 'física' que eu seja que hoje, eu posso e consigo falar dessa modalidade esportiva com mais propriedade e conhecimento;*

*A Lorena, por ser sempre o ouvido que escuta as lamurias, reclamações e as conquistas. Por ser uma amiga para a vida toda;*

*Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros, pelos ensinamentos, pela paciência, orientação e por me fazer enxergar que meu limite era além daquele que eu imaginava.*

*Agradeço mais uma vez a Deus, mas desta vez, por ter colocado na minha vida uma 'pessoinha' que me deu toda força, atenção, carinho e compreensão nessa reta final de*

*mestrado. Foi totalmente essencial com suas palavras quando minha impaciência e intolerância quase falavam mais alto do que a minha determinação.*

Lara, Jerusa Petróvna Resende. **Análise cinemática tridimensional do salto em distância de atletas de alto nível em competição.**, 2011-Defesa de Mestrado - Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

## RESUMO

---

---

O presente trabalho teve como objetivo fazer a análise cinemática tridimensional do salto em distância de atletas de alto nível em competição através de quatro trabalhos independentes. O primeiro trabalho teve como objetivo analisar a relação das variáveis cinemáticas do salto em distância de atletas de alto nível em competição através de uma análise de regressão linear múltipla nas fases de aproximação, impulsão e voo. Os resultados encontrados foram que a velocidade escalar do centro de massa no *touchdown*, a altura máxima do centro de massa na fase de voo e a distância do pé de apoio do atleta à tábua de impulsão foram as variáveis incluídas no modelo de predição da distância saltada, sendo conjuntamente responsáveis por 68% da variabilidade da distância. Para um segundo modelo, onde as velocidades escalares foram substituídas pelas componentes das velocidades do centro de massa, a velocidade horizontal do centro de massa no *touchdown*, a velocidade vertical do centro de massa no *touchdown* e o ângulo de ataque foram responsáveis por 88% da variabilidade da distância saltada. O segundo trabalho teve como objetivo analisar a replicabilidade e a reprodutibilidade das variáveis cinemáticas tridimensionais no salto em distância e testar a sensibilidade dos valores de replicabilidade e reprodutibilidade na predição da distância saltada. Para esse estudo dez observadores de ambos os sexos realizaram cinco medições cada um de um mesmo salto em distância sob as condições que definem reprodutibilidade e replicabilidade. A partir das medições dos observadores, foram calculadas as variáveis cinemáticas do salto em distância na fase de impulsão. Concluímos que as variáveis de velocidades do centro de massa são reprodutíveis e replicáveis acima de 0.09m/s enquanto variáveis angulares, acima de 0.67°. Para a análise de sensibilidade foi encontrado que para variação de 1m na distância saltada, seriam necessários uma variação de 0.77, 200.00 e 1.80 m/s nas velocidades horizontal, lateral e vertical do centro de massa, respectivamente e uma variação de 5.75° no ângulo do vetor velocidade do centro de massa e o plano horizontal. O terceiro trabalho teve como objetivo investigar a cinemática angular do salto em distância de atletas de alto nível em competição através de três análises dos ângulos articulares durante a fase de impulsão, sugerindo que uma análise realizada durante uma competição oficial, fornece informações valiosas para as análises técnicas e de investigação. Além disso, a análise estatística revelou que os ângulos de flexão máxima ocorre de forma seqüencial, a partir do quadril ao tornozelo, quando relacionada com a porcentagem da fase de impulsão do salto. O último trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade nas variáveis cinemáticas tridimensionais de dois atletas medalhistas olímpicos e os resultados sugerem que os atletas devem buscar controlar as variáveis de saída da tábua, buscando reduzir a sua variabilidade e atingir seus valores ótimos das variáveis cinemáticas.

**Palavras-Chaves: Biomecânica, Regressão Múltipla, Replicabilidade, Reprodutibilidade e Variabilidade.**

Lara, Jerusa Petrónva Resende. **Three-dimensional kinematic analysis of the long jump in high level in competition.** 2011-Defesa de Mestrado - Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

## ABSTRACT

---

---

The aim of this study is to make a three-dimensional kinematic analysis of long jump during competition through four independent papers. The first study aimed to analyze the long jump kinematic variables relationship in high level athletes in competing across a multiple linear regression analysis of the approach, takeoff and flight phases. The results showed that the center of mass velocity at touchdown, center of mass maximum height during the flight phase and distance from the support athlete's foot to the takeoff board were the variables included in the prediction model of the hopped distance, and together were responsible for 68% of the distance variability. For the second model, the scalar velocities were replaced by the velocity components of the center of mass. With that change, the center of mass horizontal velocity at touchdown, the center of mass vertical velocity at touchdown and angle of attack were responsible for 88% of the distance variability. The aim of the second study was to examine the repeatability and reproducibility of three-dimensional kinematic variables in the long jump and test the sensitivity of the repeatability values and reproducibility in the distance jumped prediction. For this study, ten observers of both sexes performed five measurements each of a long jump under the same conditions that define reproducibility and repeatability. From the observer's measurements, we calculated the kinematic variables of the long jump during the takeoff. We conclude that the variables of the center of mass velocities are reproducible and repeatable over 0.09m/s while angular variables over 0.67°. For sensitivity analysis were found that for the variation of 1m in the distance jumped, would require a variation of 0.77, 200.00 and 1.80 m/s in horizontal, vertical and lateral velocities of the center of mass, respectively, and a variation of 5.75 ° in angle velocity vector of center of mass and in the horizontal plane. The third study aimed to investigate the angular kinematic of the long jump in high level athletes during competition across three analysis of the joint angles during the takeoff, suggesting that an analysis performed during an official competition provides valuable information for technical analysis and research. Furthermore, statistical analysis revealed that the maximum flexion angles occur sequentially, from hip to ankle, when associated to the percentage of the jump takeoff. The aim of the last study were to analyze the variability in three-dimensional kinematic variables of two Olympic medalists and the results suggest that athletes should attempt to control the output variables of the board, seeking to reduce their variability and achieve their optimum values of the kinematic variables.

**Keywords:** Biomechanics, Multiple Regression, Repeatability, Reproducibility and Variability.

# LISTA DE FIGURAS

## Capítulo 1

- Figura 1 - Representação esquemática do posicionamento das câmeras, do sistema de referência e das variáveis cinemáticas nos instantes TD e TO. 25
- Figura 2 - Regressão Linear da distância saltada em função da distância predita juntamente com a equação de predição e o valor de R<sup>2</sup> para a análise de regressão múltipla do modelo 1. 31
- Figura 3 - Regressão Linear da distância saltada em função da distância predita juntamente com a equação de predição e o valor de R<sup>2</sup> para a análise de regressão múltipla do modelo 2. 32

## Capítulo 2

- Figura 1- Variáveis cinemáticas nos instantes de *touchdown* e *takeoff*. 41
- Figura 2- Percentual da variabilidade intra e inter observador das variáveis cinemáticas. 44

## Capítulo 3

- Figura 1- Representação do início e fim da fase de impulsão e orientação dos ângulos articulares do cotovelo, joelho e tornozelo. 51
- Figura 2- Curvas médias (linhas inteiras) e os respectivos desvios-padrão (linhas tracejadas) para os ângulos articulares durante a fase de impulsão. 53

## Capítulo 4

- Figura 1- Variáveis cinemáticas nos instantes de *touchdown* e *takeoff*. 57
- Figura 2- Posições e velocidades do CM em função do percentual do ciclo. 60
- Figura 3- Posições e velocidades do CM em função do percentual do ciclo. 61

# LISTA DE TABELAS

---

---

## Capítulo 1

- Tabela 1 - Variáveis cinemáticas dos saltos analisados na competição. 28
- Tabela 2 - Valores de correlação e significância entre a distância saltada e as demais variáveis. 30
- Tabela 3 - Valores das variáveis cinemáticas tridimensionais comparativas com a literatura. 34

## Capítulo 2

- Tabela 1 - Valores de média e desvio padrão para as medidas dos 10 observadores para todas as variáveis. 43
- Tabela 2 - Resultados da análise de replicabilidade e reprodutibilidade das medidas. 45
- Tabela 3 - Resultados da análise sensibilidade das medidas. 46

## Capítulo 3

- Tabela 1 - Médias dos máximos ângulos de flexão durante a fase de impulsão. 52

## Capítulo 4

- Tabela 1 - Resultados da análise de variabilidade para os cinco saltos de ambos os atletas. 58

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

---



---

$\Delta x/\Delta z$	Varição da velocidade
<b>CBA</b> t	Confederação Brasileira de Atletismo
<b>CM</b>	Centro de Massa
<b>COB</b>	Comitê Olímpico Brasileiro
<b>D</b>	Distância Oficial Saltada
<b>D<sub>land</sub></b>	Distância perdida, durante a fase de voo do atleta, pelo contato de qualquer parte do corpo com a areia
<b>D<sub>pred</sub></b>	Distância predita
<b>D<sub>sim</sub></b>	Distância simulada
<b>D<sub>T2B</sub></b>	Distância entre o pé de contato do atleta a tábua de impulsão do salto
<b>D<sub>T2H</sub></b>	Distância efetiva
<b>g</b>	Aceleração da gravidade
<b>h<sub>0</sub></b>	Altura do centro de massa no <i>takeoff</i>
<b>h<sub>max</sub></b>	Altura máxima atingida pelo centro de massa do atleta durante o salto
<b>IAAF</b>	International Association of Athletics Federation
<b>LS</b>	Comprimento do último passo
<b>NLS</b>	Comprimento do penúltimo passo
<b>RE</b>	Replicabilidade
<b>RO</b>	Reprodutibilidade
<b>RMSE</b>	Erro médio quadrático
<b>SEM</b>	Erro padrão
<b>t<sub>con</sub></b>	Tempo de contato na tábua de impulsão
<b>TD</b>	<i>Touchdown</i>
<b>TO</b>	<i>Takeoff</i>
<b>t<sub>voo</sub></b>	Tempo de voo
<b>V<sub>0</sub></b>	Velocidade escalar no <i>takeoff</i>
<b>V<sub>0X</sub></b>	Velocidade horizontal do centro de massa no <i>takeoff</i>
<b>V<sub>0Y</sub></b>	Velocidade látero-lateral do centro de massa no <i>takeoff</i>
<b>V<sub>0Z</sub></b>	Velocidade vertical do centro de massa no <i>takeoff</i>
<b>V<sub>T</sub></b>	Velocidade escalar no <i>touchdown</i>
<b>V<sub>TX</sub></b>	Velocidade horizontal do centro de massa no <i>touchdown</i>
<b>V<sub>TY</sub></b>	Velocidade látero-lateral do centro de massa no <i>touchdown</i>
<b>V<sub>TZ</sub></b>	Velocidade vertical do centro de massa no <i>touchdown</i>
<b><math>\alpha_0</math></b>	Ângulo entre o vetor velocidade do centro de massa e a horizontal no <i>takeoff</i>
<b><math>\alpha_{MFJ}</math></b>	Ângulo de máxima flexão do joelho entre <i>touchdown</i> e <i>takeoff</i>

$\alpha_T$       Ângulo entre o vetor calcâneo-centro de massa e o vetor vertical no *touchdown*  
 $\sigma^2$       Variância

# SUMÁRIO

---



---

INTRODUÇÃO GERAL.....	16
-----------------------	----

## CAPÍTULO 1

ANÁLISE DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO NÍVEL EM COMPETIÇÃO POR REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA ( <i>STEPWISE</i> ).	20
Introdução.....	21
Metodologia.....	22
Resultados.....	26
Discussão.....	33
Conclusão.....	35
Agradecimentos.....	36

## CAPÍTULO 2

ANÁLISE DE REPLICABILIDADE, REPRODUTIBILIDADE E SENSIBILIDADE DE VARIÁVEIS CINEMÁTICAS TRIDIMENSIONAIS NO SALTO EM DISTÂNCIA.	37
Introdução.....	38
Metodologia.....	39
Resultados.....	42
Discussão.....	46
Conclusão.....	47
Agradecimentos.....	48

## CAPÍTULO 3

CINEMÁTICA ANGULAR DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO NÍVEL EM COMPETIÇÃO.	49
Introdução.....	49
Metodologia.....	50
Resultados.....	51
Discussão.....	51
Conclusão.....	55

## CAPÍTULO 4

VARIABILIDADE EM VARIÁVEIS CINEMÁTICAS DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO NÍVEL.	55
Introdução.....	55
Metodologia.....	56
Resultados e Discussão.....	57
Conclusão.....	59
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS.....	64
ANEXOS.....	69

# INTRODUÇÃO GERAL

---

---

O salto em distância tem sido objeto de estudo em diversas áreas do conhecimento científico, principalmente na área da biomecânica, visando entender as variáveis que têm maior interferência no desempenho do atleta na modalidade. O desempenho do atleta no salto em distância pode ser entendido pela biomecânica através da análise cinemática do salto.

A tentativa de se compreender a relação entre as variáveis cinemáticas e a distância saltada é amplamente estudada no meio científico. As variáveis escolhidas para as análises são calculadas na fase de maior importância para o salto, que ocorre entre a abordagem do atleta na tábua de impulsão (*touchdown*) e a saída da tábua (*takeoff*). De acordo com Hay (1986), esta fase é definida como sendo a fase de maior influência na qualidade técnica do salto em distância. O *touchdown* (TD) é definido como o instante em que o pé do atleta faz contato com a tábua de impulsão e o *takeoff* (TO) definido como o instante em que o pé do atleta perde contato com a tábua de impulsão (LEES ET AL., 1994).

Hay et al. (1986), através de um estudo feito com atletas finalistas de uma competição nacional dos Estados Unidos, desenvolveram um modelo para identificar as variáveis, características da técnica do salto, que determinam o desempenho do atleta na modalidade. Os resultados indicaram que a distância do salto está altamente correlacionada com a altura, a velocidade escalar do centro de massa e o ângulo de projeção do vetor velocidade do centro de massa (CM) no plano horizontal no instante de *takeoff*.

Alexander (1990) propôs modelos matemáticos em que a distância saltada era representada em função das variáveis: velocidade escalar do CM, ângulo da perna de apoio na tábua de impulsão em relação ao solo e ângulo do joelho da perna de apoio na tábua de impulsão no TD. Em um estudo posterior (SEYFARTH et al., 2000) a relação foi confirmada.

Na tentativa de quantificar as características cinemáticas das últimas passadas do atleta antes da abordagem na tábua de impulsão e na fase entre o TD e o TO, Lees et al (1993 e 1994) analisaram atletas do sexo masculino e feminino no *World Student Games* e encontraram uma relação entre a distância saltada e a altura do centro de massa e o ângulo da perna de apoio na tábua de impulsão em relação ao solo. Mostraram que o ganho da velocidade vertical do CM

durante a fase de compreensão (definida como o período entre o TD e a máxima de flexão de joelho da perna de apoio) estava relacionado com a diminuição de velocidade horizontal do CM no TD e sugeriram que a transferência de velocidade seria possível por meio do mecanismo de *pivot* (definido como sendo mecanismo em que o atleta passa da máxima flexão de joelho da perna de apoio para a elevação dos braços, perna de balanço e tronco entre o TD e o TO). Embora acreditassem na importância de se investigar a relação entre as variáveis envolvidas no mecanismo de *pivot* e a distância saltada, apenas a velocidade do CM no TD apresentou correlação significativa com o desempenho do salto em distância.

Em um estudo mais recente encontrado na literatura (GRAHAM-SMITH e LEES, 2005), a relação das variáveis cinemáticas com a distância saltada na fase entre TD e TO foi analisada inserindo as variáveis tridimensionais características do mecanismo de *pivot*, porém, a análise foi realizada com atletas nacionais em competições nacionais em que maior marca alcançada na competição foi de 7.84m e a fase de voo do salto não foi incluída na análise. Os autores exploraram a importância de uma análise cinemática tridimensional uma vez que o movimento do corpo do atleta durante o salto não ocorre apenas no plano sagital.

Apesar da fase de impulsão ser considerada a fase de maior importância para o salto em distância, as fases de aproximação em que o atleta adquire a velocidade horizontal do CM e a fase de voo em que o atleta tem que posicionar o corpo de melhor maneira possível para a aterrissagem, também são fases importantes de serem analisadas quando o objetivo é entender a mecânica do salto em distância.

Outros estudos encontrados na literatura exploraram fatores isolados e importantes para o desempenho do atleta na modalidade. Diante do fato do ângulo de projeção da velocidade do CM no plano horizontal ter sido uma variável frequentemente presente nas análises de correlação com a distância saltada, estudos focaram os objetivos de seus trabalhos em encontrarem o ângulo ótimo para um melhor desempenho do atleta (LINTHORNE et al., 2005, ALEXANDER R., 1990, ARAMPATIZIS et al., 1999, HAY et al., 1986, LEES et al., 1993 e NIXDORF et al., 1988, 1990) e até hoje esses valores encontrados são divergentes.

A cinemática angular também foi explorada na literatura. Muraki et al. (2008), ao estudarem atletas amadores em ambiente laboratorial, levantam a importância de se investigar como as articulações dos membros inferiores estão relacionadas com a transferência da

velocidade horizontal para vertical do CM na fase de impulsão. Outros estudos também analisaram essa relação (AE et al., 1986, FUCHIMOTO et al, 1994 e STEFANYSHYN et al., 1998) e concluíram que os extensores do joelho exercem maior força negativa (contra o movimento) e contribuíram para apoiar o corpo durante a transição do contato do pé de apoio do atleta na tábua de impulsão e a máxima flexão do joelho, e que os flexores do quadril exerceram força negativa para impedir a hiperextensão da articulação do quadril durante a transição entre a máxima flexão do joelho e o último contato do pé do atleta na tábua de impulsão.

A importância de se coletar dados em competição a fim de extrair informações reais do desempenho do atleta foi cuidadosamente explorado nos estudos em salto em distância, porém, devido à complexidade da análise, erros associados à medição das referências anatômicas podem comprometer a qualidade da análise. Todas as fontes de erro devem ser conhecidas e tratadas adequadamente (LESS et al., 1993). Portanto, é necessário assegurar que uma medida que faça parte de uma pesquisa ou sustente o controle do rendimento de um atleta seja adequadamente reprodutiva e válida (ATKINSON e NEVILL, 1998).

A partir dos estudos realizados por pesquisadores da ciência do esporte, técnicos e atletas da modalidade usufruem dos resultados na tentativa de melhorar o treinamento e o desempenho durante as fases pré-competitivas. A análise da variabilidade do desempenho do atleta é uma ferramenta importante no acompanhamento da evolução da distância saltada a partir de uma mudança nas variáveis cinemáticas, tornando-se, assim, imprescindível o acompanhamento do desempenho do atleta em diferentes competições. Com isso, diante da necessidade de se avaliar, tridimensionalmente, atletas de alto nível em competição, a fim de encontrar as reais relações das variáveis com o desempenho na modalidade sem que nenhum movimento em qualquer plano, nas três fases do salto, seja perdido, o objetivo geral deste estudo foi analisar a cinemática tridimensional do salto em distância de atletas de alto nível em competição e, para isso, quatro capítulos independentes serão apresentados.

O primeiro capítulo, “ANÁLISE DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO NÍVEL EM COMPETIÇÃO POR REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA (*STEPWISE*).” o qual através do método de *stepwise*, explorou a relação entre as variáveis cinemáticas e a distância saltada, nas fases de aproximação, impulsão e voo do salto em distância.

O segundo capítulo “ANÁLISE DE REPLICABILIDADE, REPRODUTIBILIDADE E SENSIBILIDADE DE VARIÁVEIS CINEMÁTICAS TRIDIMENSIONAIS NO SALTO EM

DISTÂNCIA.” onde foi calculado o valor acima do qual as variáveis cinemáticas, do salto em distância na fase de impulsão, são replicáveis e reprodutíveis e a análise de sensibilidade das variáveis cinemáticas quando simulados as distâncias saltadas com os valores das variáveis e os erros padrão.

O terceiro capítulo, “CINEMÁTICA ANGULAR DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO NÍVEL EM COMPETIÇÃO.” foi elaborado a partir do resumo do trabalho submetido para o *13th Annual Congress of the EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE* no ano de 2008 e o quarto e último capítulo, “VARIABILIDADE EM VARIÁVEIS CINEMÁTICAS DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO NÍVEL.” foi elaborado a partir do resumo do trabalho submetido para o III congresso de Ciência do Desporto no ano de 2009.

# CAPÍTULO 1

## ANÁLISE DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO NÍVEL EM COMPETIÇÃO POR REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA (*STEPWISE*).

### RESUMO:

O objetivo desse trabalho foi analisar a relação das variáveis cinemáticas do salto em distância de atletas de alto nível em competição por meio de uma análise de regressão linear múltipla nas fases de aproximação, impulsão e voo. Para isso, dezessete saltos de nove atletas masculinos foram analisados no Grande Prêmio Rio Caixa de Atletismo no ano de 2007. O sistema DVIDEO foi usado para análise cinemática tridimensional dos saltos. Para entender a relação entre as variáveis cinemáticas estudadas e a distância saltada, foram feitas 3 análises: 1-) Análise descritiva dos saltos por meio das variáveis cinemáticas tridimensionais ; 2-) Análise de correlação linear simples entre as variáveis cinemáticas e a distância saltada e 3-) Análise de regressão linear múltipla por meio do método *stepwise*. Concluímos que a velocidade escalar do centro de massa no *touchdown* foi responsável por 40% da variabilidade da distância predita enquanto que a altura máxima do centro de massa na fase de vôo foi responsável por 16% e a distância do pé de apoio do atleta a tábua de impulsão teve 12% de contribuição na variabilidade da predição da distância saltada para um modelo que inicialmente tinha dez variáveis candidatas ao modelo de predição. Para um segundo modelo, onde as velocidades escalares foram substituídas pelas componentes das velocidades do centro de massa e quatorze variáveis formaram o conjunto de variáveis candidatas à predição da distância saltada, a velocidade horizontal do centro de massa no *touchdown* contribuiu com 44% da variabilidade da distância saltada, enquanto a velocidade vertical do centro de massa no *touchdown* contribuiu 30% e o ângulo de ataque 14%.

## INTRODUÇÃO

O salto em distância tem sido objetivo de estudos em diversas áreas do conhecimento científico, principalmente na área da biomecânica, visando entender as variáveis que tenham maior interferência no desempenho do atleta na modalidade. A compreensão do desempenho do salto em distância pode ser entendida pela biomecânica por meio da análise das variáveis cinemáticas do salto.

Sendo assim, pesquisadores na tentativa de compreender a relação entre variáveis cinemáticas e o desempenho do atleta na modalidade, analisaram a fase de impulsão, considerada por Hay (1993) a fase de maior influência na qualidade técnica do salto em distância. A fase de impulsão ocorre entre o instante em que o pé do atleta faz contato com a tábua de impulsão (*touchdown*) e o instante em que o pé do atleta perde contato com a tábua de impulsão (*takeoff*).

No intuito de estudar essa relação, Hay e Reid (1987) propuseram um modelo determinístico para predição da distância saltada em relação às variáveis mecânicas do salto, modelo esse aplicado mais tarde em outros estudos de salto em distância e salto triplo (HAY et al., 1986 e HAY, 1990). No modelo de predição, os autores encontraram relação entre a distância saltada e as seguintes variáveis: altura do centro de massa (CM), velocidade horizontal e velocidade vertical do CM no instante de *takeoff* (TO).

Alexander (1990) criou um modelo matemático onde as variáveis correlacionadas com a distância saltada foram: velocidade escalar no *touchdown* (TD), ângulo de ataque, ângulo de flexão do joelho e o torque gerado em torno da articulação do joelho. A correlação entre essas variáveis também foram encontradas por outros autores (SEYFARTH et al., 2000; LEES et al., 1993; LEES et al., 1994).

Estudos encontrados na literatura, além da tentativa de se encontrar a relação da distância saltada com as variáveis cinemáticas, também relacionam as variáveis mecânicas com o desempenho do atleta no salto em distância. Lees et al. (1994) observaram que 64% da velocidade vertical do CM no TO era adquirida na fase de *pivot*. Fase em que o atleta passa da máxima flexão de joelho à elevação dos braços, perna de balanço e tronco impulsando o corpo para cima. Concluíram que a combinação de uma elevada velocidade horizontal (gerada por meio da corrida de aproximação) com uma alta velocidade vertical (gerado pelo *pivot*) permite uma maior distância saltada.

Em 2005, Graham-Smith e Lees entendendo que uma análise bidimensional do salto em distância pudesse ser insuficiente para descrever o mecanismo de *pivot*, propuseram um estudo em que esse mecanismo pudesse estar analisado em um plano frontal, reverenciando assim a importância de uma análise cinemática tridimensional do salto em distância. Embora as análises tridimensionais de salto em distância em atletas de elite tenham sido apresentadas na literatura (BOBER, 1974; FUKASHIRO et al., 1993 e NIXDORF e BRÜGGEMANN, 1990) existe ainda uma carência de estudos que tentam correlacionar as variáveis cinemáticas coletadas em competição com o desempenho de atletas de alto nível nas três fases características do salto (aproximação, impulsão e voo).

Em muitas situações a explicação de um fenômeno por meio de apenas uma variável independente (correlação simples) pode não ser satisfatória, pois essa variável será apenas uma componente influenciando na variação da resposta estudada. Nestes casos, deve-se propor uma equação envolvendo mais de uma variável independente, chamado de modelo de regressão múltipla (PAULA, 2004).

Regressão e correlação são técnicas estatísticas baseadas nos conceitos de amostragem que permitem saber se (e como) duas ou mais variáveis estatísticas, de uma mesma população ou não, estão relacionadas umas com as outras. A regressão fornece as equações que relacionam a distância saltada com as variáveis cinemáticas. Com essas equações é possível prever sobre o comportamento futuro do fenômeno e a correlação mede o grau (ou qualidade) da relação entre essas mesmas variáveis (FARIAS A.A., 2002). Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi analisar a contribuição das variáveis cinemáticas tridimensionais obtidas nas fases de aproximação, impulsão e voo no resultado do salto, durante uma competição de alto nível. Para isso, utilizou-se uma análise por regressão linear múltipla (*stepwise*).

## **METODOLOGIA**

Foram analisados nove atletas do sexo masculino, de diferentes nacionalidades, considerados de alto nível por participarem de competições que pontuam no ranking da modalidade e por obterem marcas superiores a 80% do recorde mundial (8.95m no ano de 1991). As características médias desses atletas foram: idade:  $25.3 \pm 3.0$  anos; massa corporal:  $78.7 \pm 6.1$  Kg e altura:  $1.86 \pm 0.1$  m.

Os atletas foram analisados durante o Grande Prêmio Rio Caixa de Atletismo que aconteceu no Brasil no ano de 2007, competição essa contida no calendário da IAAF (*International Association of Athletics Federation*).

Dentre os 32 saltos válidos dos nove atletas que participaram da competição, foram analisados apenas aqueles saltos em que o atleta não foi ocluído na filmagem pela arbitragem do evento, totalizando dezessete saltos. O registro e análise das imagens foram autorizados pelo Comitê Olímpico Brasileiro (COB), pela Confederação Brasileira de Atletismo (CBAt) e pela organização do evento.

A análise cinemática tridimensional do movimento foi realizada utilizando o sistema DVIDEO (FIGUEROA ET AL., 2003). Os atletas foram filmados durante a competição por seis câmeras de vídeo digitais JVC<sup>®</sup> (modelo GR-DVL 9500) com frequência de aquisição de 60 Hz. As câmeras foram posicionadas ao longo da pista de salto e em frente da caixa de areia e usadas duas a duas para reconstrução tridimensional do movimento. Duas câmeras foram posicionadas a fim de reconstruir os movimentos do atleta na fase de aproximação, dada pelos últimos dois passos da corrida antes da abordagem do atleta na tábua de impulsão. Duas outras câmeras foram posicionadas para reconstruir o movimento do atleta na fase de impulsão e outras duas câmeras foram dispostas de maneira a cobrir a fase de voo do salto.

As câmeras foram sincronizadas por meio de sinal sonoro adicionado à banda de áudio, conforme o método proposto em Barros et al. (2006). Os pontos de referência necessários para a calibração das câmeras foram obtidos utilizando-se um bastão topográfico graduado com marcadores esféricos com distância conhecida entre eles. O bastão foi posicionado verticalmente, nivelado e filmado em várias posições da pista e da caixa de areia, a fim de cobrir todo o volume de medição (15 x 2 x 2 m). A medição consistiu na identificação manual de 18 pontos anatômicos nas seqüências de imagens de cada uma das câmeras a fim de delimitar 12 segmentos corporais do atleta: cabeça, tronco, braços, antebraços, coxas, pernas e pés de acordo com o modelo antropométrico proposto por Zatisiorsky et al (1990) e adaptado por De Leva (1996).

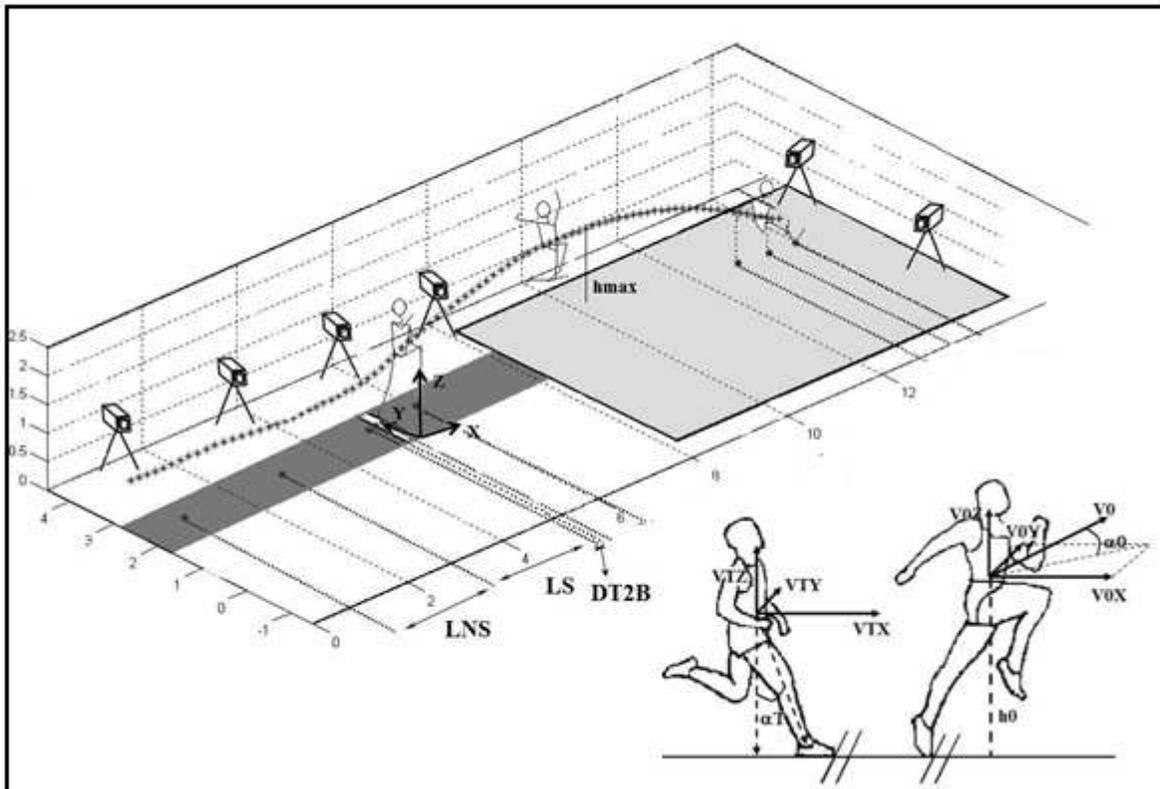
A partir das medições e dos parâmetros de calibração, as coordenadas 3D dos pontos foram obtidas pelo método DLT (ABDEL-AZIZ E KARARA, 1971) e suavizadas com o filtro digital *Butterworth* de 3ª ordem, com frequência de corte de 6 Hz. As coordenadas suavizadas foram utilizadas para calcular o centro de massa do atleta.

As variáveis experimentais foram calculadas nas três fases do salto em distância (aproximação, impulsão e voo). Para a fase de aproximação foram calculados os comprimentos do penúltimo e último passo do atleta antes da abordagem na tábua de impulsão (NLS e LS, respectivamente). Na fase de impulsão foram calculadas as componentes horizontal, lateral e vertical da velocidade do CM nos instantes TD e TO ( $V_{TX}$ ,  $V_{TY}$ ,  $V_{TZ}$ ,  $V_{0X}$ ,  $V_{0Y}$  e  $V_{0Z}$ , respectivamente); o ângulo entre o vetor calcâneo-centro de massa e o vetor vertical no TD ( $\alpha_T$ ); ângulo entre o vetor velocidade do CM e a horizontal no TO ( $\alpha_0$ ); altura do CM no TO ( $h_0$ ); distância ( $D_{T2B}$ ) entre o pé de apoio do atleta no instante de TD e a origem do sistema (tábua); e o ângulo de máxima flexão do joelho entre os instantes TD e TO ( $\alpha_{MFJ}$ ).

Já as variáveis calculadas na fase de voo foram: altura máxima do CM ( $h_{max}$ ); distância ( $D_{T2H}$ ) entre o contato do pé de apoio do atleta no TD e o contato do pé do atleta na caixa de areia.  $D_{T2H}$  mede a distância efetiva percorrida pelo atleta e revela o potencial do salto caso o atleta não tenha perdido distâncias na saída e na queda do salto. A última variável a ser calculada foi a distância entre o contato do pé do atleta e o contato de qualquer parte do corpo do mesmo com a areia ( $D_{Land}$ ), durante a fase de voo. Neste estudo, essa variável foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$D_{Land} = D_{T2H} - (D_{T2B} + D)$ , onde  $D$  representa a distância oficial saltada pelo atleta, aquela registrada pela arbitragem usando a trolha de marcação.

Para testar a acurácia do sistema, uma barra rígida com dois marcadores esféricos foi movimentada dentro do volume de calibração. A distância entre os dois pontos foi calculada, ao longo do tempo, a partir das coordenadas 3D obtidas pelo o sistema Dvideo e comparada com a distância real. A acurácia foi definida pelo erro médio quadrático (RMSE) e o valor encontrado foi de 3,6mm.



**Figura 1:** Representação esquemática do posicionamento das câmeras, do sistema de referência e das variáveis cinemáticas nos instantes TD e TO. O \* representa a posição do centro de massa do atleta durante os dois últimos passos até a queda na caixa de areia.

Para entender a relação entre as variáveis cinemáticas estudadas e a distância saltada, foram feitas três análises: 1-) Análise descritiva das variáveis cinemáticas tridimensionais dos 17 saltos analisados; 2-) Análise de correlação linear simples entre as variáveis cinemáticas e a distância saltada e 3-) Análise de regressão linear múltipla.

Para a análise estatística das variáveis cinemáticas extraídas a partir da trajetória do CM dos atletas, foram usados valores de médias e desvios-padrão. Na análise de correlação simples, a estatística usada foi o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) entre a distância saltada ( $D$ ) e as variáveis cinemáticas para intervalos de confiança de 95 e 99%. De acordo com Jacques (2006), as classificações para os coeficientes de correlação ( $r$ ) são dadas por: correlação nula ( $r=0$ ); correlação fraca ( $0 < r \leq 0.3$ ); correlação regular ( $0.3 < r \leq 0.6$ ); correlação forte ( $0.6 < r \leq 0.9$ ); correlação muito forte ( $0.9 < r < 1.0$ ) e correlação perfeita ( $r=1$ ).

A análise de regressão linear múltipla foi feita pelo método de regressão *stepwise*. Nesse método, a variável a ser estudada é explicada por uma combinação linear de outras variáveis. O método *stepwise* é um procedimento de adição sequencial de variáveis para a criação de um modelo que melhor descreva a variável dependente (distância saltada). Cada variável independente é ponderada pelo procedimento da análise de regressão para garantir máxima predição da variável dependente por um conjunto de variáveis candidatas. Os pesos denotam a contribuição relativa das variáveis independentes para a predição final e facilitam a interpretação sobre a influência de cada variável sobre a predição da variável dependente (HAIR ET AL, 1998). Sendo assim, o método de regressão linear múltipla se aplica ao objetivo do trabalho.

A análise de regressão linear múltipla foi dividida em duas análises: Na primeira, as componentes das velocidades foram substituídas pelas velocidades escalares tanto no instante TD quanto no instante TO, portanto, o primeiro modelo de predição testado, continha dez variáveis candidatas a predição da distância saltada. Em uma segunda análise, as componentes da velocidade permaneceram e restaram 14 variáveis candidatas, testando assim o segundo modelo de predição da distância saltada.

## **RESULTADOS**

### *Análise Descritiva*

A Tabela 1 apresenta os valores das variáveis cinemáticas calculadas nas fases de aproximação, impulsão e voo do salto para os 17 saltos analisados e as respectivas médias e desvios-padrão. Cabe ressaltar que os valores faltantes da variável relacionada ao comprimento do último passo (LS) foram devido à oclusão dos instantes de contato do pé de atleta, por pessoas da arbitragem da competição que passaram em frente à filmagem no momento do salto. O instante de contato é importante para a determinação do início e fim do passo.

A diminuição do comprimento do último passo (LS) em relação ao comprimento do penúltimo passo (NLS) já é esperada uma vez que o atleta ajusta as passadas a fim de não invalidar o salto pisando sobre o limite permitido na tábua de impulsão.

Podemos observar que os valores das componentes latero-lateral da velocidade do CM no TD e TO foram pequenas em relação as componentes vertical e horizontal da velocidade, uma vez que os atletas de alto nível oscilam pouco o CM lateralmente. A diminuição média de velocidade horizontal (V0X-VTX) entre os instantes de TD e TO foi de  $1.30 \pm 0.30\text{m/s}$  enquanto

o aumento médio ( $V_{0Z}-V_{TZ}$ ) de velocidade vertical foi de  $3.60 \pm 0.35$  m/s. A razão entre a perda de velocidade horizontal e o ganho de velocidade vertical pode ser expressa pela razão entre a variação de velocidade horizontal pela variação de velocidade vertical ( $\Delta V_X/\Delta V_Z$ ) e o valor médio encontrado foi de  $0.40 \pm 0.05$  o que representaria que 40% da velocidade horizontal foi transferida para a velocidade vertical. A velocidade escalar no TO teve uma redução de  $0.57 \pm 0.29$  m/s em relação à velocidade escalar no TD, representando uma diminuição de 6% da velocidade na fase de impulsão.

**Tabela 1:** Variáveis cinemáticas dos saltos analisados na competição.

<b>Salto</b>	<b>D</b>	<b>NLS</b>	<b>LS</b>	<b>D<sub>T2B</sub></b>	<b>V<sub>TX</sub></b>	<b>V<sub>TY</sub></b>	<b>V<sub>TZ</sub></b>	<b>V<sub>T</sub></b>	<b><math>\alpha_T</math></b>	<b><math>\alpha_{MFJ}</math></b>	<b>V<sub>0X</sub></b>	<b>V<sub>0Y</sub></b>	<b>V<sub>0Z</sub></b>	<b>h<sub>0</sub></b>	<b><math>\alpha_0</math></b>	<b>V<sub>0</sub></b>	<b>h<sub>max</sub></b>	<b>D<sub>land</sub></b>
	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(°)</b>	<b>(°)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m)</b>	<b>(°)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>
1	8.53	2.41	1.48	-0.18	10.15	0.28	0.10	10.15	29.6	138.0	8.68	-0.11	3.79	1.20	23.6	9.47	1.90	0.18
2	8.20	2.31	---	-0.18	9.91	0.28	0.24	9.92	27.4	134.6	8.42	-0.05	4.03	1.18	25.6	9.33	1.99	0.27
3	8.17	2.34	---	-0.11	10.14	0.21	-0.04	10.15	28.9	130.4	8.63	0.05	3.69	1.19	23.2	9.39	1.82	0.13
4	7.81	2.56	1.66	-0.08	9.60	0.17	0.20	9.60	24.5	145.1	8.47	-0.09	3.49	1.26	22.4	9.16	1.79	0.22
5	7.75	2.44	---	-0.14	9.82	0.17	-0.25	9.82	28.4	147.1	8.43	0.11	3.60	1.15	23.1	9.16	1.77	0.17
6	7.75	2.70	---	-0.05	10.31	0.33	-0.43	10.32	30.3	134.8	9.37	1.83	2.85	1.25	16.6	9.96	1.67	0.48
7	7.70	2.30	---	-0.25	9.40	0.26	0.48	9.42	25.2	136.3	8.21	0.01	3.79	1.27	24.8	9.04	1.89	0.42
8	7.57	2.54	---	-0.18	9.73	0.05	-0.52	9.75	35.7	146.3	8.02	0.28	3.45	1.10	23.3	8.74	1.74	0.20
9	7.51	2.18	2.21	-0.17	10.07	0.77	-0.92	10.14	35.4	134.3	8.18	0.13	3.46	1.22	23.0	8.88	1.76	0.27
10	7.50	2.49	2.09	-0.15	9.77	-0.26	0.03	9.77	21.8	154.6	8.72	-0.27	2.95	1.25	18.7	9.21	1.66	0.27
11	7.48	2.44	1.67	-0.10	9.35	0.02	0.20	9.35	22.6	149.0	8.29	0.47	3.36	1.18	22.0	8.96	1.69	0.24
12	7.40	2.60	1.69	-0.25	9.39	0.14	0.21	9.72	24.6	146.1	8.03	0.08	3.82	1.31	25.5	8.85	1.98	0.25
13	7.44	2.37	2.15	-0.19	9.71	0.04	-0.27	9.74	29.9	139.4	8.02	0.13	3.74	1.17	25.0	9.56	1.79	0.26
14	7.38	2.53	1.84	-0.11	9.72	0.44	0.06	9.49	20.2	142.7	8.79	0.34	3.74	1.17	23.1	8.91	1.63	0.12
15	7.36	2.33	---	-0.13	9.48	0.39	-0.13	9.07	30.3	138.7	8.18	0.33	3.53	1.22	23.3	8.84	1.76	0.21
16	7.32	2.18	1.95	-0.20	9.07	0.34	0.20	9.18	23.6	140.3	8.02	0.69	3.65	1.17	24.4	8.98	1.76	0.50
17	7.26	2.48	1.41	-0.27	9.17	0.40	0.00	9.40	25.1	146.4	8.23	0.46	3.58	1.18	23.5	8.89	1.76	0.19
<b>Média</b>	<b>7.65</b>	<b>2.42</b>	<b>1.94</b>	<b>-0.16</b>	<b>9.69</b>	<b>0.24</b>	<b>-0.05</b>	<b>9.71</b>	<b>27.3</b>	<b>141.4</b>	<b>8.39</b>	<b>0.26</b>	<b>3.56</b>	<b>1.20</b>	<b>23.0</b>	<b>9.14</b>	<b>1.79</b>	<b>0.25</b>
<b>desvio padrão</b>	<b>0.34</b>	<b>0.15</b>	<b>0.20</b>	<b>0.06</b>	<b>0.34</b>	<b>0.21</b>	<b>0.33</b>	<b>0.36</b>	<b>4.3</b>	<b>6.2</b>	<b>0.35</b>	<b>0.46</b>	<b>0.29</b>	<b>0.05</b>	<b>2.2</b>	<b>0.32</b>	<b>0.10</b>	<b>0.11</b>

### *Análise de correlação*

Os valores dos coeficientes de correlação ( $r$ ) e significância ( $p$ ) para as correlações entre a distância saltada e as demais variáveis estão representados na Tabela 2. Podemos observar que além de correlações significativas ( $p < 0.1$  e  $p < 0.05$ ) entre a distância saltada e as variáveis cinemáticas, também foram encontradas correlações significativa dentre as próprias variáveis cinemáticas.

As únicas variáveis que apresentaram correlação forte positiva com a distância saltada foram a velocidade horizontal ( $V_{TX}$ ) e a velocidade escalar ( $V_T$ ) do CM no instante de TD ( $r = 0.66$  e  $r = 0.64$ , respectivamente). As velocidades escalar ( $V_0$ ) e horizontal ( $V_{0X}$ ) do CM no instante de TO e a altura máxima do CM ( $h_{max}$ ) apresentaram correlações regulares positivas ( $r = 0.54$ ;  $0.41$  e  $0.44$ , respectivamente) com a distância saltada enquanto o ângulo de máxima flexão do joelho ( $\alpha_{MFJ}$ ) apresentou correlação regular negativa.

Podemos observar também a velocidade horizontal do CM no TD, variável apontada como variável chave para o desempenho do salto em distância, apresentou correlação significativa além da distância saltada, com outras oito variáveis ( $D_{T2B}$ ,  $V_{TZ}$ ,  $V_T$ ,  $\alpha_T$ ,  $\alpha_{MFJ}$ ,  $V_{0X}$ ,  $\alpha_0$  e  $V_0$ ). Encontramos ainda uma correlação muito forte ( $r > 0.9$ ) entre a velocidade vertical do CM e o ângulo de projeção do CM no TO.

**Tabela 2:** Valores de correlação e significância entre todas as variáveis analisadas. Acima da diagonal principal estão representados os valores de significância e abaixo da diagonal principal (cinza) estão representados os valores de correlação.

$r^P$	D	NLS	LS	$D_{T2B}$	$V_{TX}$	$V_{TY}$	$V_{TZ}$	$V_T$	$\alpha_T$	$\alpha_{MFJ}$	$V_{0X}$	$V_{0Y}$	$h_0$	$\alpha_0$	$V_{0Z}$	$V_0$	$h_{max}$	$D_{land}$
D	1.00	0.86	0.32	0.42	<b>0.00</b>	0.91	0.58	<b>0.01</b>	0.36	<b>0.06</b>	<b>0.10</b>	0.34	0.96	0.91	0.32	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	0.50
NLS	-0.05	1.00	0.12	0.21	0.54	0.13	0.96	0.42	0.50	<b>0.08</b>	<b>0.04</b>	0.19	0.43	<b>0.04</b>	<b>0.08</b>	0.37	0.36	0.56
LS	-0.35	-0.52	1.00	0.65	0.43	1.00	<b>0.06</b>	0.57	0.40	0.64	0.56	0.91	0.61	0.74	0.37	0.73	0.34	0.25
$D_{T2B}$	0.21	0.32	0.17	1.00	<b>0.04</b>	0.81	0.38	0.31	0.96	0.75	<b>0.00</b>	0.17	0.86	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	<b>0.10</b>	<b>0.03</b>	0.73
$V_{TX}$	<b>0.66**</b>	0.16	0.28	<b>0.51**</b>	1.00	0.66	<b>0.04</b>	<b>0.00</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.00</b>	0.74	0.94	<b>0.10</b>	0.39	<b>0.01</b>	0.95	0.52
$V_{TY}$	-0.03	-0.38	0.00	-0.06**	0.12	1.00	0.18	0.81	0.22	<b>0.01</b>	0.99	0.31	1.00	0.46	0.33	0.55	0.83	0.79
$V_{TZ}$	0.15	0.01	<b>-0.61*</b>	-0.23	<b>-0.50**</b>	-0.34	1.00	<b>0.06</b>	<b>0.00</b>	0.53	0.85	0.28	0.23	0.23	0.11	0.82	0.13	0.72
$V_T$	<b>0.64**</b>	0.21	0.21	0.26	<b>0.90**</b>	0.06	<b>-0.46</b>	1.00	<b>0.05</b>	0.12	<b>0.03</b>	0.77	0.79	0.19	0.49	<b>0.01</b>	0.55	0.80
$\alpha_T$	0.23	-0.18	0.30	0.01	<b>0.51**</b>	0.32	-0.77	0.48	1.00	<b>0.07</b>	0.58	0.68	0.27	0.92	0.86	0.67	0.62	0.88
$\alpha_{MFJ}$	<b>-0.46*</b>	<b>0.43*</b>	-0.17	-0.08	<b>-0.47**</b>	<b>-0.61**</b>	0.17	-0.39	-0.45	1.00	0.55	0.42	0.88	0.46	0.20	0.11	0.17	0.42
$V_{0X}$	<b>0.41*</b>	<b>0.49**</b>	-0.21	<b>0.66**</b>	<b>0.66**</b>	0.00	-0.05	0.54	-0.15	-0.16	1.00	<b>0.09</b>	0.46	<b>0.00</b>	<b>0.04</b>	<b>0.00</b>	0.17	0.85
$V_{0Y}$	-0.25	0.33	-0.04	0.35	0.09	0.26	-0.28	0.08	0.11	-0.21	<b>0.42**</b>	1.00	0.90	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	0.16	<b>0.09</b>	<b>0.03</b>
$h_0$	-0.01	0.21	-0.19	-0.05	-0.02	0.00	0.31	0.07	-0.29	-0.04	0.19	-0.03	1.00	0.48	0.54	0.60	0.27	0.22
$\alpha_0$	0.03	<b>-0.51**</b>	-0.12	<b>-0.65**</b>	<b>-0.41**</b>	0.19	0.31	-0.33	0.02	-0.19	<b>-0.76**</b>	<b>-0.54**</b>	-0.18	1.00	<b>0.00</b>	<b>0.07</b>	<b>0.00</b>	0.37
$V_{0Z}$	0.25	<b>-0.43*</b>	-0.32	<b>-0.52**</b>	-0.22	0.25	0.40	-0.18	-0.05	-0.33	<b>-0.50**</b>	<b>-0.50**</b>	-0.16	<b>0.94**</b>	1.00	0.32	<b>0.00</b>	0.26
$V_0$	<b>0.54**</b>	0.23	0.12	<b>0.41*</b>	<b>0.65**</b>	-0.16	-0.06	0.64	0.11	-0.40	<b>0.68**</b>	0.35	0.14	<b>-0.45**</b>	-0.26	1.00	0.93	0.27
$h_{max}$	<b>0.49*</b>	-0.24	-0.34	<b>-0.54**</b>	-0.01	0.06	0.38	0.16	0.13	-0.35	-0.35	<b>-0.43*</b>	0.29	<b>0.68**</b>	<b>0.72**</b>	0.02	1.00	0.99
$D_{land}$	-0.18	-0.15	0.40	-0.09	-0.17	0.07	0.09	-0.06	-0.04	-0.21	0.05	<b>0.54**</b>	0.32	-0.23	-0.29	0.28	0.00	1.00

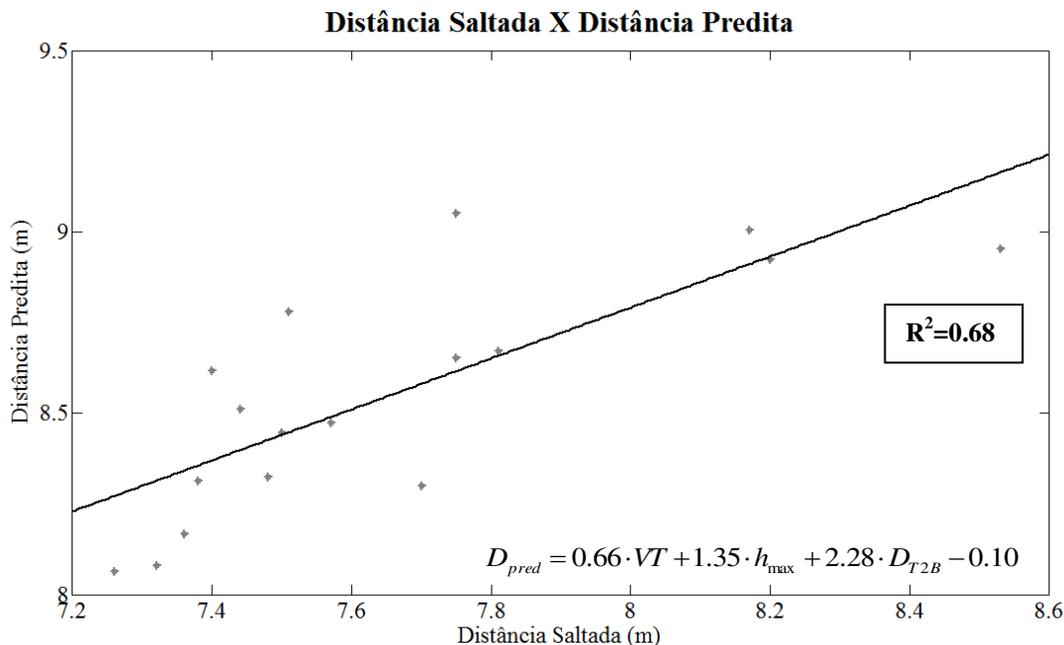
\*  $p < 0.1$ ; \*\*  $p < 0.05$ ;

*Análise de regressão linear múltipla:*

O primeiro modelo de predição, onde as componentes da velocidade do CM do atleta foram substituídas pelas velocidades escalares, dez variáveis formaram o conjunto de variáveis candidatas ao modelo de predição da distância saltada. A primeira variável a ser incluída no modelo foi a velocidade escalar ( $V_T$ ) no TD e representou 40% da variabilidade da predição da distância saltada. A segunda variável a ser incluída automaticamente no modelo foi a altura máxima ( $h_{\max}$ ) alcançada pelo CM durante o salto e o valor de  $R^2$  encontrado foi de 0.56, portanto a  $h_{\max}$ , conjuntamente com  $V_T$ , representou 16% da variabilidade distância predita. A última variável a ser incluída no modelo de predição foi a distância entre a ponta do pé de apoio do atleta e a tábua de impulsão ( $D_{T2B}$ ) com  $R^2$  de 0.68, representando 12% de contribuição dessa variável na variabilidade da distância predita. A equação que representa o primeiro modelo de predição está descrita abaixo:

$$D_{pred} = 0.66 \cdot VT + 1.35 \cdot h_{\max} + 2.28 \cdot D_{T2B} - 0.10 \quad (1)$$

A figura 2 representa a relação linear entre a distância saltada e a distância predita juntamente com o valor do  $R^2$  e a equação de predição da distância do modelo 1.



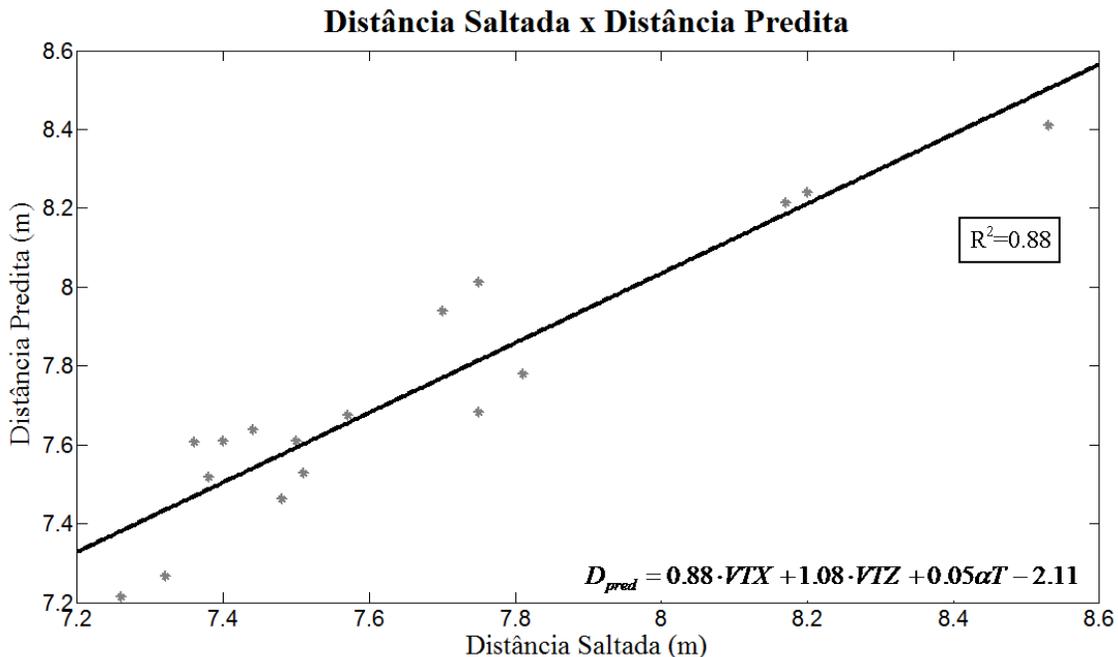
**Figura 2:** Regressão Linear da distância saltada em função da distância predita juntamente com a equação de predição e o valor de  $R^2$  para a análise de regressão múltipla do modelo 1.

No segundo modelo foram 14 variáveis candidatas ao modelo de predição da distância saltada. A variável de maior importância para a predição da distância saltada foi a velocidade horizontal ( $V_{TX}$ ). Um modelo de regressão linear usando apenas essa variável apresentou um valor de  $R^2$  de 0.44, ou seja, essa variável sozinha explicaria 44% do valor da variabilidade da distância predita. A segunda variável a ser incluída no modelo foi a velocidade vertical ( $V_{TZ}$ ) e apresentou um valor de  $R^2$  de 0.74. Neste caso a velocidade vertical representou, conjuntamente com  $V_{TX}$ , 30% da variabilidade da distância predita. A terceira e última variável selecionada automaticamente pelo método foi o ângulo de ataque ( $\alpha_T$ ) e o valor de  $R^2$  foi aumentado para 0.88, fazendo com que essa variável representasse, conjuntamente com  $V_{TX}$  e  $V_{TZ}$ , 14% da variabilidade da distância predita.

O modelo de predição do salto com as três variáveis ( $V_{TX}$ ,  $V_{TZ}$  e  $\alpha_T$ ), está descrito conforme a equação abaixo:

$$D_{pred} = 0.88 \cdot V_{TX} + 1.08 \cdot V_{TZ} + 0.05 \cdot \alpha_T - 2.11 \quad (2)$$

A relação linear entre a distância saltada e a distância predita juntamente com o valor do  $R^2$  e a equação de predição da distância do segundo modelo em que 14 variáveis foram candidatas ao modelo de predição, estão representadas na figura 3.



**Figura 3:** Regressão Linear da distância saltada em função da distância predita juntamente com a equação de predição e o valor de  $R^2$  para a análise de regressão múltipla do modelo 2.

## DISCUSSÃO

O fato da coleta de dados ter sido realizada em ambiente de competição, onde há restrições com relação ao posicionamento de câmeras e fixação de marcadores no corpo dos atletas, erros sistemáticos e de medições dos pontos anatômicos poderiam interferir na qualidade dos dados biomecânicos. Desta forma, o valor encontrado no teste de acurácia (3.6mm) foi satisfatório para análise cinemática do salto em distância em ambiente de competição. Valores encontrados na literatura, para diferentes sistemas de análises cinemáticas, apresentaram acurácia entre 0.5 e 11.6mm, porém coletados em ambiente controlado (CHIARI et al, 2005). Graham-Smith e Less (2005) consideraram a acurácia da reconstrução tridimensional a raiz quadrada média do erro (RMSE) das coordenadas reais de um objeto em relação às coordenadas medidas e obtiveram valores de 3.39, 1.92 e 5.20mm nas direções horizontal, vertical e lateral, respectivamente.

Comparando a média da distância saltada (7.65m) com as médias encontradas na literatura de 7.30m (BRIAN MCLEAN 1994 NO GRAND PRIX) e 7.45m (GRAHAM-SMITH E LEES 2005 NO AAA CHAMPIONS) sugere-se um melhor nível dos atletas no presente estudo. Apesar da média das distâncias saltadas serem próximas aquelas encontradas na literatura, três dos saltos analisados (8.17, 8.20 e 8.53m) são superiores aos melhores resultados apresentados nos trabalhos anteriores. A variação das distâncias saltadas dos saltos analisados foi de 7.26 a 8.53m enquanto no estudo de Lees et al. (2005) a variação foi de 7.14 a 7.84m. Esse estudo foi escolhido para comparação por apresentar características semelhantes ao presente estudo e também porque os dados foram analisados tridimensionalmente em uma competição oficial e com atletas de alto nível.

As variáveis  $V_{TX}$ ,  $V_{TY}$ ,  $V_{TZ}$ ,  $\alpha_T$ ,  $\alpha_{MFI}$ ,  $h_0$ ,  $V_{0X}$ ,  $V_{0Y}$  e  $V_{0Z}$  também foram comparadas com o estudo de Lees et al., conforme mostrado na Tabela 3. Os valores médios encontrados para todas as variáveis corroboram com a literatura.

**Tabela3:** Valores das variáveis cinemáticas tridimensionais comparativas com a literatura.

Média ± DP	D(m)	V <sub>TX</sub> (m/s)	V <sub>TY</sub> (m/s)	V <sub>TZ</sub> (m/s)	$\alpha_T$ (°)	$\alpha_{MFJ}$ (°)	h <sub>0</sub> (m)	V <sub>0X</sub> (m/s)	V <sub>0Y</sub> (m/s)	V <sub>0Z</sub> (m/s)
presente	7.65±	9.69±	0.24±	-0,05±	27.3±	141.4±	1.20±	8.39±	0.26±	3.56±
estudo	0.34	0.34	0.21	0.33	4.3	6.2	0.05	0.35	0.26	0.29
Lees et al. (2005)	7.45± 0.18	9.93± 0.37	0.13± 0.24	-0.18± 0.21	32.2± 2.2	140.2± 4.5	1.27± 0.04	8.55± 0.35	0.18± 0.32	3.37± 0.32

A análise de correlação entre as variáveis cinemáticas e a distância saltada foi explorada nos estudos encontrados na literatura através de uma análise de correlação simples (HAY et al., 1986, HAY et al., 1990, NIXDORF e BRUGGEMANN, 1990 e LEES et al., 1994). No presente estudo as variáveis que apresentaram correlação forte ( $p < 0.05$ ) com a distância saltada foram a velocidade horizontal e a velocidade escalar do CM no TD corroborando com diversos estudos da literatura. A relação entre o ângulo de projeção do vetor velocidade ( $\alpha_0$ ) e a distância saltada foi encontrada na literatura, porém, no presente estudo, essa correlação não foi significativa. A altura máxima do CM além de apresentar correlação regular com a distância saltada foi incluída pela análise de regressão linear múltipla no modelo de predição da distância. Essa variável por sua vez apresentou correlação forte ( $r = 0.68$ ;  $p < 0.05$ ) com o ângulo de projeção do vetor velocidade ( $\alpha_0$ ). A altura máxima do CM, assim como o próprio ângulo, requerem valores ótimos para o melhor desempenho do salto indicando, assim, variáveis não lineares.

Para estudar a relação entre a distância saltada e as variáveis cinemáticas do salto em distância, optou-se pela estatística de regressão linear múltipla. No primeiro modelo apresentado, a inclusão da velocidade escalar no TD corroborou com o modelo estudado por Lees et al (2005). Porém, no presente estudo, enquanto a VT representou 40% da variabilidade da distância predita, no estudo da literatura representou apenas 24.6%. Além da velocidade do CM no TD, as variáveis a altura máxima atingida pelo CM durante a fase de vôo e a distância entre o pé de apoio do atleta e a tábua de impulsão, foram incluídas no primeiro modelo.

A variação da altura do CM e a variação da velocidade escalar na fase de impulsão foram incluídas no modelo apresentado pela literatura justificado como sendo variáveis relacionadas a técnica do salto.

O valor do  $R^2$  entre a distância saltada e a distância predita é aumentado com a inclusão de variáveis no modelo, portanto, embora haja igualdade dos valores de  $R^2$  do modelo 1 ( $R^2=0.68$ ) com o modelo apresentado por Lees et al. ( $R^2=0.655$ ), os mesmos não podem ser comparados, uma vez que as variáveis candidatas para os dois modelos não foram as mesmas.

Para o segundo modelo, as variáveis de velocidades horizontal e vertical do CM no TD e o ângulo de ataque ( $\alpha_T$ ) foram incluídas no modelo de predição da distância saltada e juntas conseguiriam prever 88% da variabilidade da distância saltada. Embora as variáveis  $V_{TZ}$  e  $\alpha_T$  não apresentaram coeficiente de correlação de *Pearson* significativo com a distância saltada (como descrito na análise de correlação simples), ambas apresentaram correlações parciais com a distância saltada quando analisadas pela regressão linear múltipla. Desse modo, esse método pode ser mais indicado para esse tipo de análise, pois consegue identificar as contribuições das variáveis cinemáticas quando analisadas conjuntamente.

A variabilidade da distância saltada explicada por essas três variáveis foi de 88%. O valor de  $R^2$  de 0.88 mostrou-se satisfatório, uma vez que o objetivo da análise de regressão linear múltipla era exatamente identificar as contribuições das variáveis cinemáticas na predição da distância saltada. Podemos ainda ressaltar que o modelo 2, comparado ao modelo 1, apresentou um ajuste da reta de regressão melhor, pois quando o ajuste é bom, o modelo explica boa parte da variação total e conseqüentemente o valor de  $R^2$  é próximo de 1 sendo esse uma medida da qualidade do ajuste.

## CONCLUSÃO

A tentativa de encontrar as relações entre as variáveis cinemáticas e o desempenho do atleta no salto em distância foi objetivo de diversos estudos encontrados na literatura, porém algumas particularidades foram adotadas no presente estudo. Diante da necessidade de se avaliar: a-) atletas de alto nível, a fim de encontrar as reais relações de variáveis com o desempenho; b-) atletas em ambientes reais de competição, onde pode-se certificar o melhor empenho dos atletas na prova objetivando medalha; c-) o movimento do corpo do atleta através de uma análise tridimensional para que nenhuma informação ocorrida em qualquer plano seja perdida; d-) o movimento do salto em distância desde a corrida de aproximação até a aterrissagem na caixa de areia e ; e-) a relação entre as variáveis cinemáticas e a distância saltada fazendo uso de uma

estatística mais elaborada que consiga identificar as contribuições em termos percentuais das variáveis na predição da distância saltada, o objetivo desse trabalho foi analisar a contribuição das variáveis cinemáticas tridimensionais obtidas nas fases de aproximação, impulsão e vôo no resultado do salto, durante uma competição de alto nível. Para isso, utilizou-se uma análise por regressão linear múltipla (*stepwise*).

A análise de regressão permitiu entender as relações entre as variáveis cinemáticas e a distância saltada, além disso, a ordem de importância e a contribuição percentual das variáveis independentes na predição da distância saltada puderam ser estudadas. Concluímos que a velocidade escalar no TD foi responsável por 40% da variabilidade da distância predita enquanto que a altura máxima teve 16% e a distância do pé de apoio do atleta a tabua de impulsão teve 12% de contribuição na variabilidade da predição da distância saltada para um modelo que inicialmente tinha dez variáveis candidatas ao modelo de predição. Para um segundo modelo, onde as velocidades escalares foram substituídas pelas componentes das velocidades do CM e quatorze variáveis formavam o conjunto de variáveis candidatas a predição da distância saltada, a velocidade horizontal do CM no TD contribuiu com 44% da variabilidade da distância saltada, enquanto a velocidade vertical do CM no TD contribuiu 30% e o ângulo de ataque 14%.

## **AGRADECIMENTOS**

Este estudo foi financiado pela Fapesp (processo 05/53262-6) e CNPq (processo 451878/2005-1 e aprovado pelo Comitê Olímpico Brasileiro (COB) e Confederação Brasileira de Atletismo (CBAt).

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISE DE REPLICABILIDADE, REPRODUTIBILIDADE E SENSIBILIDADE DE VARIÁVEIS CINEMÁTICAS TRIDIMENSIONAIS NO SALTO EM DISTÂNCIA.

#### RESUMO:

O objetivo deste estudo foi analisar a replicabilidade e a reprodutibilidade das variáveis cinemáticas tridimensionais no salto em distância e testar a sensibilidade dos valores de replicabilidade e reprodutibilidade na predição da distância saltada, por de uma simulação dessa distância. Para esse estudo dez observadores de ambos os sexos realizaram cinco medições cada um de um mesmo salto em distância sob as condições que definem reprodutibilidade e replicabilidade. A partir das medições dos observadores, foram calculadas as variáveis cinemáticas do salto em distância na fase de impulsão. Através de uma análise de variância foram encontrados os valores de variância intra e inter observador e calculados os valores de erro padrão, esses considerados como os valores abaixo do qual as variáveis cinemáticas são reprodutíveis e replicáveis. Para testar a sensibilidade das variáveis cinemáticas foi usado um modelo de predição da distância saltada. Concluímos com esse estudo que as variáveis de velocidades do CM são reprodutíveis e replicáveis para valores superiores a 0.09m/s enquanto variáveis angulares, acima de 0.67°. Para a análise de sensibilidade foi encontrado que para a variação de 1m na distância saltada seriam necessários uma variação de 0.77, 200.00 e 1.80 m/s nas velocidades horizontal, lateral e vertical do centro de massa, respectivamente. Já para cada metro na variação da distância saltada precisaria de uma variação de 5.75° no ângulo do vetor velocidade do centro de massa e o plano horizontal.

Palavras-Chave: Biomecânica, Salto em Distância, alto nível, competição

## INTRODUÇÃO

Um dos objetivos da análise biomecânica é identificar variáveis associadas ao desempenho do atleta. Contudo, a performance real do atleta ocorre em um ambiente complexo de competição, no qual muitas das condições não são controláveis e alguns protocolos padrão para análise biomecânica não podem ser usados. Por exemplo, seria inviável o uso de marcadores sobre o corpo do sujeito, controlar a luminosidade do local, usar luz infravermelha e posicionar as câmeras de vídeo para aquisição das imagens em qualquer local da pista de salto. A possibilidade de se avaliar um atleta em condições laboratoriais controladas, mesmo aqueles especificamente desenhados para este fim, é limitada uma vez que o desempenho do atleta é afetado por condições ambientais específicas do local de competição, tais como piso, vento, temperatura, umidade e outros fatores que interferem psicologicamente no atleta, tais como o nível de *stress* do atleta, o tipo de competição, o desempenho dos outros atletas, a sequência de ocorrência dos resultados, entre outros.

Para que se obtenha uma análise biomecânica com alto grau de validade, é desejável que as variáveis biomecânicas sejam obtidas em ambiente real de competição. Contudo, deve-se também cuidar para que o aumento da validade não comprometa a confiabilidade, reprodutibilidade e a replicabilidade das medidas realizadas. A coleta de dados em competição é um desafio metodológico e o fato de não ser permitido à fixação de marcadores no corpo dos atletas, obriga o pesquisador a quadro a quadro de imagem, estimar, por exemplo, os centros articulares do atleta nos vídeos correspondentes. Além disso, estes centros articulares podem ser ocluídos pelo vestuário do atleta e sombras geradas em frente às câmeras. Todos esses fatores são fontes de erro (LESS et al., 1993) e devem ser conhecidos e tratados adequadamente. Portanto, é necessário assegurar que uma medida que faça parte de uma pesquisa ou sustente o controle do rendimento de um atleta seja adequadamente reprodutiva e válida (ATKINSON e NEVILL, 1998).

Em estudos encontrados na literatura, a replicabilidade das medidas das variáveis cinemáticas do salto em distância foi calculada pela da medição de quatro saltos diferentes realizados por três observadores. Para identificar se houve diferença entre as estimativas dos três observadores, foi usado o coeficiente de correlação de *Pearson* com nível de significância de  $p < 0.01$ . Os valores das variáveis cinemáticas foram expressos em percentuais do desvio padrão

em relação à média (LEES et al.,1993). Porém, a análise da sensibilidade das medidas das variáveis cinemáticas em relação à reprodutibilidade não foi encontrada na literatura.

De acordo com Bland e Altman (1986) os valores de replicabilidade e reprodutibilidade podem ser determinados a partir do erro padrão (SEM) entre as diferentes observações. Sokal e Rolf (1981) propuseram que a replicabilidade intra os observadores e a reprodutibilidade entre os observadores fossem testadas a partir de uma análise de variância (ANOVA).

Diante da necessidade de que as análises biomecânicas sejam realizadas em contexto real de competição e da necessidade de se conhecer o grau de replicabilidade e reprodutibilidade que se pode atingir, o objetivo deste estudo foi analisar a replicabilidade e a reprodutibilidade das variáveis cinemáticas tridimensionais no salto em distância e testar a sensibilidade dos valores de replicabilidade e reprodutibilidade na predição da distância saltada através de uma simulação dessa distância.

## **METODOLOGIA**

Para a análise de replicabilidade e reprodutibilidade das medidas das variáveis cinemáticas tridimensionais, foram usados os conceitos proposto no *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results (1994)* onde o termo replicabilidade é definido como sendo o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo observador, efetuadas sob as mesmas condições de medição, enquanto a reprodutibilidade mede o grau de concordância entre os resultados de medições de diferentes observadores. As condições de medição de replicabilidade e reprodutibilidade incluem o procedimento de medição, instrumento de medição, local e repetição das medidas em curto período de tempo. Os resultados, encontrados para replicabilidade e reprodutibilidade, são considerados medidas de precisão que representam os valores abaixo do qual as diferenças absolutas entre dois resultados repetidos podem se situar com uma probabilidade de 95%.

Para testar a replicabilidade e a reprodutibilidade das variáveis cinemáticas, dez observadores de ambos os sexos, com no mínimo um ano de experiência em análise cinemática, realizaram cinco medições cada um de um mesmo salto em distância sob as seguintes condições:

- a-) Usar o mesmo protocolo de 18 pontos para estimar os centros articulares do corpo do atleta,
- b-) Realizar as medições sempre no mesmo computador, c-) Efetuar todas as cinco medições no

prazo máximo de 15 dias apenas com a restrição de não serem feitas duas medições no mesmo dia, para que não houvesse condicionamento na segunda medição.

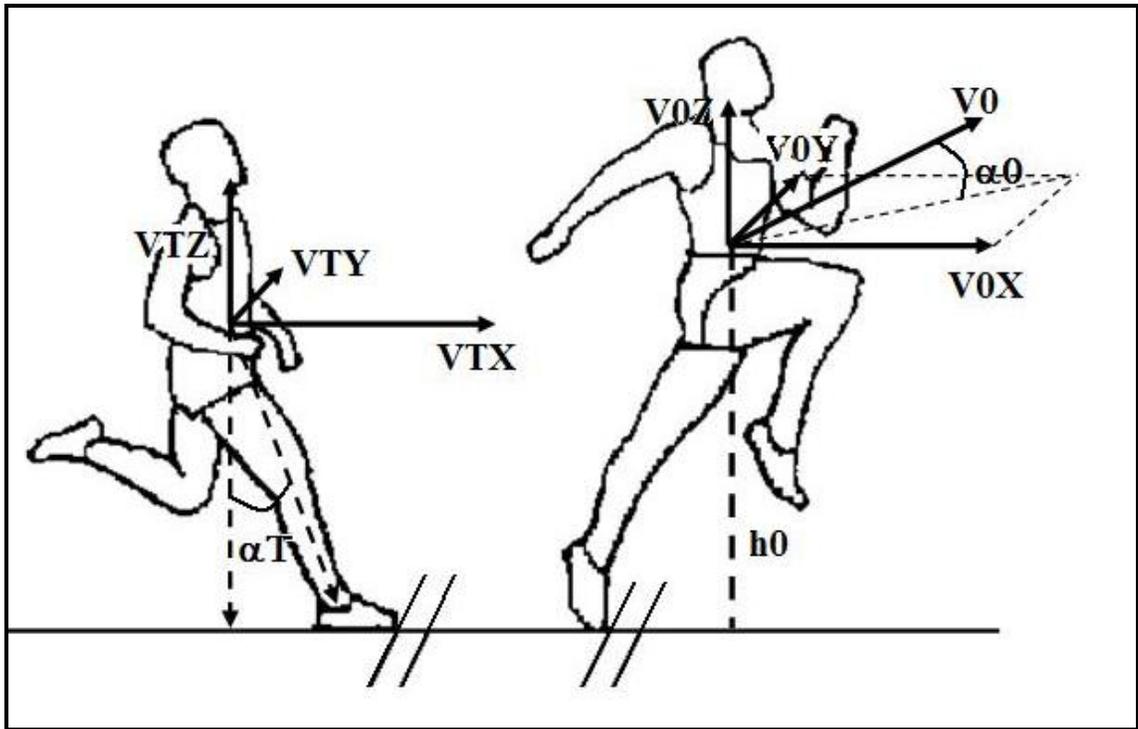
Para a análise de sensibilidade, foi usado o conceito proposto por *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results (1994)*, em que a sensibilidade é a razão entre a variação de cada uma das variáveis de influencia no resultado final pela variação do resultado final.

O salto usado para a análise do presente estudo foi o melhor resultado do Grande Prêmio Rio Caixa de Atletismo de 2007 (8.53m), salto esse de um atleta de alto nível. Os dados foram coletados conforme (BARROS et al., 2008) e o sistema de análise cinemática tridimensional DVIDEO (FIGUEROA et al., 2003) foi utilizado para estimar visualmente a posição dos centros articulares nas imagens do atleta durante o salto em distância e reconstruí-los tridimensionalmente.

A partir das medições dos centros articulares do atleta, foi calculada a posição tridimensional do CM em cada quadro de imagem correspondente a fase de impulsão do salto, considerada a fase de maior importância do salto em distância. A fase de impulsão consiste no evento entre o primeiro contato do pé de apoio do atleta na tábua de impulsão, conhecido na literatura como *touchdown* (TD) e o último contato do pé de apoio do atleta na tábua de impulsão, chamado de instante de *takeoff* (TO).

As variáveis experimentais calculadas foram: as componentes da velocidade do CM nos instantes TD e TO, o ângulo entre o vetor calcâneo-centro de massa e o vetor vertical no TD; ângulo entre o vetor velocidade do CM e a horizontal no TO; altura do CM no TO; razão entre a diminuição de velocidade horizontal e aumento de velocidade vertical ( $\Delta x/\Delta z$ ); e a distância ( $D_{T2B}$ ) entre o pé de apoio do atleta a tábua de impulsão (origem do sistema), conforme a Figura 1.

Para testar a acurácia do sistema, uma barra rígida com dois marcadores esféricos foi movimentada dentro do volume de calibração. A distância entre os dois pontos foi calculada, ao longo do tempo, a partir das coordenadas 3D obtidas pelo o sistema de análise cinemática e comparada com a distância real. A acurácia do sistema foi definida pelo erro médio quadrático (R.M.S.E.) entre a distância real e a distância estimada e o valor encontrado foi de 3,6 mm.



**Figura 1:** Variáveis cinemáticas nos instantes de *touchdown* e *takeoff*. Velocidade horizontal, látero-lateral e vertical do centro de massa no *touchdown* ( $V_{TX}$ ,  $V_{TY}$  e  $V_{TZ}$  respectivamente); ângulo entre o vetor calcâneo-centro de massa e o vetor vertical no *touchdown* ( $\alpha_T$ ); ângulo entre o vetor velocidade do centro de massa e a horizontal no *takeoff* ( $\alpha_0$ ); altura do centro de massa no *takeoff* ( $h_0$ ); velocidade horizontal, látero-lateral e vertical do centro de massa no *takeoff* ( $V_{0X}$ ,  $V_{0Y}$  e  $V_{0Z}$  respectivamente);

Para cada uma das variáveis mencionadas foram aplicados testes de normalidade das amostras usando *Lilliefors* teste. Para aquelas variáveis onde a normalidade foi verificada, foi usado a estatística ANOVA *two-way* e para as variáveis onde não apresentaram normalidade a análise de variância foi calculada através do teste de *Friedman* (ANOVA para medidas não paramétricas). Através desses dois testes foram calculadas as variâncias intra e inter observador. A variância inter observadores é estimada pela variação entre as médias dos vários observadores quando comparadas com a média geral de todos os observadores e a variância intra observadores é estimada pela média entre as variâncias de cada um dos observadores. (JACQUES., 2006).

Os valores de erro padrão (SEM) intra (replicabilidade) e inter (reprodutibilidade) observador, para cada uma das variáveis, foram obtidos pela razão entre o desvio padrão das medidas de cada variável e a raiz do tamanho da amostra ( $n=10$ ). O valor de SEM foi usado para estimar o valor abaixo o qual as variáveis cinemáticas não são reprodutíveis ou replicáveis.

A análise de sensibilidade do método em relação à medição de diferentes observadores foi feita através da predição da distância saltada. Para isso foi usado o modelo de predição descrito

por De Mestre (1990); Hay (1993) e Hubbard (2001) em que seis das onze variáveis do presente estudo aparecem na predição da distância saltada conforme a equação 1.

$$D_{pred} = \frac{V_0^2 \text{sen}2(\alpha_0)}{2g} \left[ 1 + \left( 1 + \frac{2gh_0}{V_0^2 \text{sen}^2(\alpha_0)} \right)^{1/2} \right] + D_{T2B} \quad (1)$$

Onde  $V_T$  é a velocidade escalar no TD;  $\alpha_0$  é o ângulo entre a projeção do vetor velocidade do CM no plano;  $h_0$  é a altura do CM no TO;  $g$  é a aceleração da gravidade ;  $D_{T2B}$  é a distância entre o pé de apoio do atleta e a tábua de impulsão.

A distância predita ( $D_{pred}$ ) foi calculada usando os valores médios das variáveis presentes no modelo; e a distância simulada ( $D_{sim}$ ) foi calculada usando o valor médio  $\pm$  o maior valor do SEM (reprodutibilidade ou replicabilidade) das variáveis presentes no modelo. Para cada uma das seis variáveis presentes no modelo de predição da distância saltada, foram calculados os valores de sensibilidade das medidas pela razão entre a distância simulada e a distância predita. O modelo de predição usado esta descrito pela equação 2. Para simular o maior valor de sensibilidade, foi escolhido o maior valor entre reprodutibilidade e replicabilidade.

$$\text{Sensibilidade} = \frac{\text{Reprodutibilidade}}{D_{pred} - D_{sim}} \quad (2)$$

## RESULTADOS

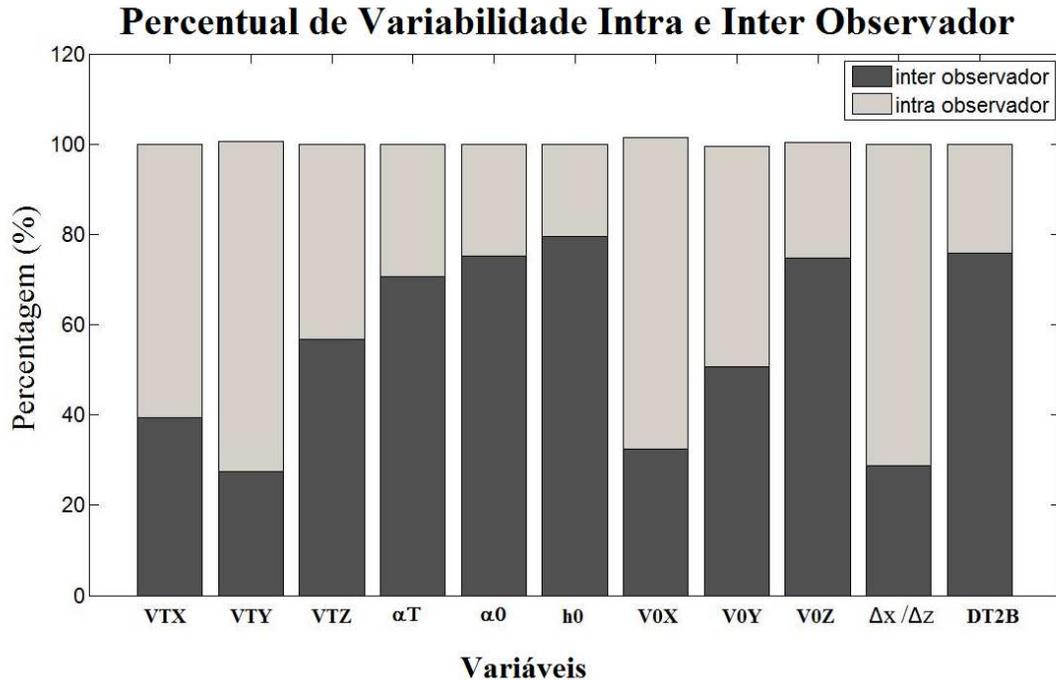
Os valores médios e desvios padrão de todas as variáveis, para cada um dos dez observadores, juntamente com a média e o desvio padrão geral estão representados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Valores de média e desvio padrão para as medidas dos 10 observadores para todas as variáveis e média e desvio padrão geral de todos os observadores.

<b>OB</b>	<b>V<sub>TX</sub></b> (m/s)	<b>V<sub>TY</sub></b> (m/s)	<b>V<sub>TZ</sub></b> (m/s)	<b><math>\alpha_0</math></b> (°)	<b><math>\alpha_T</math></b> (°)	<b>h<sub>0</sub></b> (m)	<b>V<sub>0X</sub></b> (m/s)	<b>V<sub>0Y</sub></b> (m/s)	<b>V<sub>0Z</sub></b> (m/s)	<b><math>\Delta x/\Delta z</math></b>	<b>D<sub>T2B</sub></b> (m)
OB1	10.46±0.09	0.32±0.04	-0.51±0.07	23.1±0.5	34.9±0.3	1.20±0.00	8.61±0.12	-0.10±0.06	3.68±0.06	-0.44±0.04	-0.18±0.00
OB2	10.49±0.08	0.21±0.12	-0.46±0.14	23.5±0.1	33.0±0.6	1.21±0.01	8.62±0.18	0.03±0.09	3.75±0.09	-0.45±0.08	-0.19±0.08
OB3	10.51±0.07	0.11±0.08	-0.53±0.10	24.0±0.5	34.8±0.4	1.19±0.00	8.54±0.05	0.01±0.05	3.80±0.08	-0.45±0.01	-0.17±0.00
OB4	10.43±0.06	0.20±0.11	-0.39±0.10	22.9±0.8	32.1±1.7	1.22±0.02	8.70±0.05	-0.12±0.08	3.68±0.12	-0.43±0.01	-0.16±0.00
OB5	10.53±0.09	0.07±0.23	-0.05±0.96	22.2±1.3	35.6±0.2	1.17±0.00	8.54±0.37	0.02±0.43	3.49±0.28	-0.61±0.25	-0.18±0.00
OB6	10.03±0.12	0.24±0.21	0.23±0.12	20.4±0.3	25.1±6.4	1.32±0.00	8.71±0.04	-0.27±0.05	3.23±0.06	-0.44±0.05	-0.10±0.00
OB7	10.49±0.08	0.20±0.07	-0.35±0.04	23.8±0.8	34.6±0.3	1.20±0.00	8.56±0.05	0.01±0.05	3.78±0.13	-0.47±0.02	-0.17±0.00
OB8	10.47±0.06	0.23±0.09	-0.48±0.08	23.5±0.4	34.3±0.5	1.18±0.01	8.60±0.05	0.07±0.04	3.74±0.05	-0.44±0.02	-0.16±0.01
OB9	10.58±0.05	0.13±0.09	-0.41±0.03	23.4±0.6	35.1±0.5	1.20±0.01	8.65±0.06	-0.08±0.11	3.75±0.11	-0.47±0.03	-0.16±0.00
OB10	10.43±0.09	0.09±0.13	-0.47±0.04	23.5±0.3	34.3±0.3	1.21±0.00	8.63±0.07	0.07±0.07	3.76±0.06	-0.43±0.02	-0.18±0.01
<b>M±DP</b>	<b>10.44±0.16</b>	<b>0.18±0.14</b>	<b>-0.38±0.23</b>	<b>23.1±1.1</b>	<b>33.4±3.5</b>	<b>1.21±0.04</b>	<b>8.63±0.10</b>	<b>-0.05±0.15</b>	<b>3.68±0.18</b>	<b>-0.46±0.09</b>	<b>-0.16±0.03</b>

OB= Observadores; M= média; DP= desvio padrão

A Figura 2 representa em percentual o quanto a variabilidade inter e intra observador é responsável pela variabilidade total das medidas de cada uma das onze variáveis analisadas no presente estudo. Verifica-se que as variáveis  $V_{TY}$ ,  $V_{0Y}$  e  $V_{0z}$  foram variáveis em que a variabilidade intra, foi maior do que a variabilidade inter observador.



**Figura 2:** Percentual da variabilidade intra e inter observador das variáveis cinemáticas.

A Tabela 2 apresenta os valores de significância ( $p < 0.05$ ) intra e inter observador (“p intra” e “p entre”; respectivamente), os valores de replicabilidade e reprodutibilidade e quanto esses valores representam em termos percentuais da média de cada variável. Pode-se observar que não foram encontradas diferenças significativas intra observadores para as variáveis analisadas. Para a análise inter observador apenas as variáveis  $V_{TY}$ ,  $V_{0X}$  e  $\Delta V_x / \Delta V_z$  não apresentaram diferenças significativas. Para as variáveis de velocidade em que os valores são próximos de zero ( $V_{TY}$ ,  $V_{0Y}$  e  $V_{0z}$ ), os valores de replicabilidade e reprodutibilidade obtiveram um valor máximo de 80% do valor da variável. Já para as variáveis de ângulo, o valor máximo de reprodutibilidade ( $0.67^\circ$ ) representou 2.9% do valor médio da variável e para as variáveis.

**Tabela 2:** Resultados da análise de replicabilidade (RE) e reprodutibilidade (RO) das medidas.

Variável	Média	$p_{inter}$	$p_{intra}$	RO	RE	% RO/média	% RE/média
$V_{TX}$	10.44	0.02	0.44	0.03	0.01	0.3	0.1
$V_{TY}$	0.18	0.11	0.19	0.04	0.02	22.2	11.1
$V_{TZ}$	-0.38	0.00	0.21	0.09	0.04	23.7	10.5
$\alpha_T$	33.4	0.00	0.15	0.67	0.30	2.9	1.3
$\alpha_0$	23.10	0.00	0.66	0.20	0.09	0.6	0.3
$h_0$	1.21	0.00	0.21	0.00	0.00	0.0	0.0
$V_{0X}$	8.63	0.06	0.45	0.03	0.01	0.3	0.1
$V_{0Y}$	-0.05	0.00	0.54	0.04	0.02	80.0	40.0
$V_{0Z}$	3.68	0.00	0.33	0.03	0.01	0.8	0.3
$\Delta x/\Delta z$	-0.46	0.16	0.11	0.03	0.01	6.5	2.2
$D_{T2B}$	-0.16	0.00	0.68	0.01	0.00	6.3	0.0

$p < 0.05$ . \*As velocidades estão expressas em m/s, os ângulos em graus, a altura e as distâncias em metros e a razão  $\Delta x/\Delta z$  é adimensional. O  $p_{inter}$  e o  $p_{intra}$ , representam os valores de significância inter e intra observadores respectivamente. % RE/média e % RO/média representam os valores percentuais da replicabilidade e reprodutibilidade em relação a média dos valores das variáveis.

Na Tabela 3 estão representados os valores da diferença entre a distância predita e distância simulada e os valores da razão entre a reprodutibilidade e a diferença entre as distâncias, representando a sensibilidade da distância saltada em relação a reprodutibilidade de cada uma das variáveis contidas no modelo .

O valor da distância predita ( $D_{pred}$ ) encontrado foi de 8.0233m e a variação máxima entre a distância predita e distância simulada encontrada foi de  $\pm 0.0390$ m quando acrescido uma variação de 0.03m/s na velocidade horizontal do CM no TO. De acordo com os valores de sensibilidade da predição da distância saltada em relação a variação de cada variável, pode-se observar que para uma variação de velocidade horizontal do CM no TO de 0.77m/s afetaria a um metro na predição da distância saltada, um valor pequeno quando comparado com a velocidade latero-lateral do CM no TO ( $V_{0Y}$ ) que seria necessário uma variação de 200m/s nessa variável para cada um metro na predição da distância saltada.

**Tabela 3:** Resultados da análise sensibilidade das medidas.

Variável	RO	$D_{pred}-D_{sim}$ (m)	RO/ $D_{pred}-D_{sim}$
$\alpha_0$	0.20	$\pm 0.0348$	5.75
$h_0$	0.00	0.0000	0.00
$V_{0X}$	0.03	$\pm 0.0390$	0.77
$V_{0Y}$	0.04	$\pm 0.0002$	200.00
$V_{0Z}$	0.03	$\pm 0.0167$	1.80
$D_{T2B}$	0.01	$\pm 0.0100$	1.00

\*As velocidades estão expressas em m/s, os ângulos em graus, a altura e as distâncias em metros e a razão  $\Delta x/\Delta z$  é adimensional. RO representa os valores de reprodutibilidade e RO/  $D_{pred}-D_{sim}$  representa o valor de sensibilidade onde  $D_{pred}-D_{sim}$  representa a diferença entre a distância predita e a distância simulação.

## DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar a replicabilidade, reprodutibilidade e a sensibilidade das medidas das variáveis cinemáticas tridimensionais do salto em distância, a partir de cinco medições de 10 observadores diferentes.

As velocidades horizontal, latero-lateral e vertical do CM no TD são consideradas variáveis replicável acima de 0.01, 0.02 e 0.04 m/s respectivamente e reprodutível acima de 0.03, 0.04 e 0.09 m/s respectivamente, enquanto no instante de TO os valores encontrados, para as velocidades horizontal, latero-lateral e vertical do CM, para que essas variáveis sejam replicáveis foi acima de 0.01, 0.02 e 0.01 m/s respectivamente e reprodutíveis acima de 0.03, 0.04 e 0.03m/s respectivamente. Sugerindo, assim, que para as variáveis relacionadas à velocidade do CM, os valores acima de 0.04m/s são considerados replicáveis e acima de 0.09m/s são considerados reprodutíveis. Para as variáveis em que os valores são próximos de zero ( $V_{TY}$ ,  $V_{TZ}$  e  $V_{0Y}$ ), os valores de replicabilidade e reprodutibilidade atingiram 80% do valor da variável, sugerindo que embora os valores de replicabilidade e reprodutibilidade sejam pequenos para essas variáveis, eles são relevantes quando comparados aos valores médios das variáveis.

Para as variáveis de ângulo, os valores acima para que o ângulo de ataque seja reprodutível e replicável foram de 0.67 e 0.30°; respectivamente e para o ângulo de projeção da velocidade do CM no plano horizontal ( $\alpha_0$ ), os valores para que seja reprodutível e replicável

foram de 0.20 e 0.09° ;respectivamente. O maior percentual de reprodutibilidade e replicabilidade em relação ao valor médio encontrado nessas duas variáveis de ângulo foi de 2.9%.

A altura do CM no TO foi a única variável a ser considerada reprodutível e replicável para qualquer valor de medida e a variável de distância entre o pé de apoio do atleta e a tábua de impulsão teve valores de reprodutibilidade e replicabilidade acima de 0.01m representando 6.3% do valor médio para essa variável.

De acordo com os valores encontrados na literatura (LEES ET AL. 1003), os valores de replicabilidade encontrados para as velocidades foram de 5% do valor médio das variáveis enquanto para as variáveis angulares foi de 8% e para as variáveis de distância e altura do CM foi de 3% do valor médio.

Para a análise de sensibilidade pode-se observar que uma variação de 5.75° no ângulo ( $\alpha_0$ ) seria necessária para que a diferença entre a distância predita e simulada fosse de um metro, enquanto que para as velocidades horizontal, lateral e vertical do CM no TO os valores foram de 0.77, 200.00 e 1.80 m/s para que a diferença entre as distancias predita e simulada fosse de um metro e como já era de se esperar, uma variação de 1 metro na distância do pé de apoio do atleta a tabua de impulsão ( $D_{T2B}$ ) apresentaria uma diferença de um metro na distancia predita menos a distância simulada.

## CONCLUSÃO

Concluimos com este estudo de replicabilidade, reprodutibilidade e sensibilidade das medidas das variáveis cinemáticas tridimensionais do salto em distância que existem diferenças significativas inter observadores, porém não existem diferenças intra observadores na medição das variáveis cinemáticas do salto em distância. A partir da análise de variância foi possível encontrar os valores abaixo do qual as variáveis cinemáticas não são reprodutíveis e replicáveis e através da análise de sensibilidade, foi possível identificar a interferência desses valores de reprodutibilidade na distância saltada através da simulação da distância usando um modelo de predição. As variáveis relacionadas as velocidades do CM são reprodutíveis e replicáveis acima de 0.09m/s enquanto variáveis angulares, acima de 0.67°. Para a análise de sensibilidade foi encontrado que a variação de 1m na distância saltada, seriam necessários uma variação de 0.77, 200.00 e 1.80 m/s nas velocidades horizontal, lateral e vertical do centro de massa,

respectivamente. Já para cada metro na variação da distância saltada precisaria de uma variação de  $5.75^\circ$  no ângulo do vetor velocidade do centro de massa e o plano horizontal.

## **AGRADECIMENTOS**

Este estudo foi financiado pela Fapesp (processo 05/53262-6) e CNPq (processo 451878/2005-1 e aprovado pelo Comitê Olímpico Brasileiro (COB) e Confederação Brasileira de Atletismo (CBAt).

## CAPÍTULO 3

### CINEMÁTICA ANGULAR DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO NÍVEL EM COMPETIÇÃO.

13TH ANNUAL CONGRESS OF THE EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE

Jerusa P. R. Lara<sup>1</sup>, Caio B. Sakalauskas<sup>1</sup>, Márcio Prudêncio<sup>1</sup>, Luciano A. Mercadante<sup>1,2</sup>, Sergio A. Cunha<sup>1</sup>, Tiago G. Russomanno<sup>1</sup>, Milton S. Misuta<sup>1</sup> e Ricardo M. L. Barros<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Instrumentation for Biomechanics, Campinas State University, Brazil

<sup>2</sup>Laboratory of Motor Control, Mogi das Cruzes University, Brazil

#### INTRODUÇÃO:

As relações entre as variáveis cinemáticas e o desempenho do atleta no salto em distância foram bem exploradas na literatura. A velocidade horizontal do centro de massa (CM), no instante do primeiro contato do atleta com a tábua de impulsão para o salto, esta altamente correlacionada com a distância saltada (LUHTANEN e KOMI, 1979; HAY, 1986; HAY et al., 1986; LEES et al., 1994 e 2005) e embora a velocidade vertical do CM não apresentasse correlação com a distância saltada, apresenta forte correlação com a velocidade horizontal. A velocidade vertical do CM no instante em que o atleta perde contato com a tábua de impulsão é adquirida através da transferência de velocidade horizontal do CM. Acredita-se que quanto maior a transferência de velocidade horizontal para vertical, maior a distância saltada (ROGERS, 2004).

Três fatores técnicos são importantes para o aumento da velocidade vertical do CM: O mecanismo de *pivot*, o balanço dos membros livres e a extensão do corpo, particularmente dos ângulos da perna de apoio (AE, 1989). Desta forma, o comportamento da perna de apoio durante a fase de impulsão é importante para a transferência de velocidade horizontal para velocidade vertical do CM e se torna essencial a investigação do funcionamento dos ângulos articulares durante a fase de impulsão do salto em distância (MURAKI et al., 2008). Diante disso, o objetivo desse trabalho foi investigar a cinemática angular do salto em distância de atletas de alto nível em competição.

## **METODOLOGIA:**

Foram analisados dezessete saltos de nove atletas do sexo masculino, de diferentes nacionalidades, considerados de alto nível por participarem de competições que pontuam no ranking da modalidade. Os atletas foram analisados durante o Grande Prêmio Rio Caixa de Atletismo que aconteceu no Brasil no ano de 2007. O registro e análise das imagens foram autorizados pelo Comitê Olímpico Brasileiro (COB), pela Confederação Brasileira de Atletismo (CBAt) e pela organização do evento.

A análise cinemática tridimensional do movimento foi realizada utilizando o sistema DVIDEO (FIGUEROA et al., 2003). Os atletas foram filmados durante a competição por seis câmeras de vídeo digitais JVC<sup>®</sup> (modelo GR-DVL 9500) com frequência de aquisição de 60 Hz. As câmeras foram posicionadas ao longo da pista de salto e em frente da caixa de areia e usadas duas a duas para reconstrução tridimensional do movimento.

As câmeras foram sincronizadas por meio de sinal sonoro adicionado à banda de áudio, conforme o método proposto em Barros et al. (2006). Os pontos de referência necessários para a calibração das câmeras foram obtidos utilizando-se um bastão topográfico graduado com marcadores esféricos com distância conhecida entre eles. O bastão foi posicionado verticalmente, nivelado e filmado em várias posições da pista e da caixa de areia, a fim de cobrir todo o volume de medição. A medição consistiu na identificação manual de 18 pontos anatômicos nas seqüências de imagens de cada uma das câmeras a fim de delimitar 12 segmentos corporais do atleta: cabeça, tronco, braços, antebraços, coxas, pernas e pés de acordo com o modelo antropométrico proposto por Zatsiorsky et al (1990) e adaptado por De Leva (1996). As coordenadas 3D dos pontos foram obtidas pelo método DLT (ABDEL-AZIZ e KARARA, 1971) e suavizadas com o filtro digital *Butterworth* de 3ª ordem, com frequência de corte de 6 Hz.

A partir das coordenadas tridimensionais dos centros articulares do corpo do atleta, foram calculados os ângulos articulares dos segmentos pescoço, tronco, ombro direito e esquerdo, cotovelo direito e esquerdo, quadril direito e esquerdo, joelho direito e esquerdo e tornozelo esquerdo e direito de cada atleta. Os calculados foram de flexão e extensão, movimento do segmento proximal em torno do eixo médio-lateral.

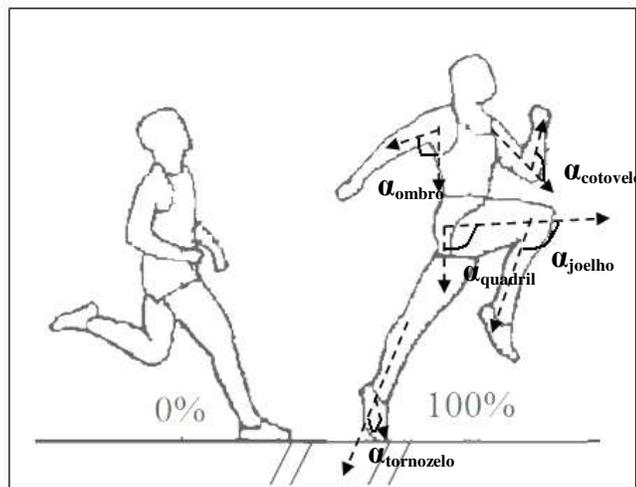
Os ângulos foram calculados durante a fase de impulsão do atleta sobre a tábua de salto e o ciclo da fase de impulsão teve como início o primeiro contato do pé de apoio do atleta na tábua

de impulsão e fim o último contato do pé do atleta a tábua de impulsão. Todos os saltos analisados tiveram o pé esquerdo como sendo o pé de contato na tábua de impulsão.

Para avaliar a cinemática angular do salto em distância de atletas de alto nível em competição, três análises foram feitas para os ângulos articulares durante o percentual da fase de impulsão:

1-) Análise do instante em percentual que ocorrem os picos de máxima flexão dos ângulos articulares. 2-) Análise gráfica das curvas média ( $\pm$  DP) em função do percentual da fase de impulsão. As análises 1 e 2 foram feitas a fim de caracterizar um padrão de movimento dos saltadores em distância da competição analisada.

3-) Análise estatística (*t-test*) dos percentuais da fase de impulsão em que ocorreram os picos de flexão do quadril, joelho e dorsi flexão do tornozelo da perna de suporte.



**Figura 1:** Representação do início e fim da fase de impulsão e orientação dos ângulos articulares.  $\alpha_{cotovelo}$ = ângulo articular do cotovelo;  $\alpha_{ombro}$ = ângulo articular do ombro;  $\alpha_{joelho}$ = ângulo articular do joelho;  $\alpha_{quadril}$ = ângulo articular do quadril e  $\alpha_{tornozelo}$ = ângulo articular do tornozelo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os valores médios de máxima flexão dos ângulos articulares e os desvios padrão em que percentual da fase de impulsão o pico ocorre, estão representados na tabela 1. Pode-se observar que para os membros inferiores da perna de apoio durante a fase de impulsão, houve uma sincronização entre o quadril, joelho e tornozelo em relação ao instante (em percentual da fase de impulsão) do valor máximo de flexão. A máxima flexão do quadril esquerdo acontece a 0% da fase de impulsão, ou seja, no primeiro contato do pé do atleta na tábua de impulsão seguido da

máxima flexão de joelho que acontece a 47% da fase de impulsão e máxima flexão do tornozelo acontece a 53% da fase de impulsão. Já no membro contrário (perna direita) a máxima flexão do tornozelo acontece a 0% da fase de impulsão, seguido pela máxima flexão do joelho a 50% da fase de impulsão e a última articulação a atingir a máxima flexão foi o quadril a 100% da fase de impulsão, ou seja, no instante em que o atleta tira o pé de apoio (esquerdo) da tábua de impulsão.

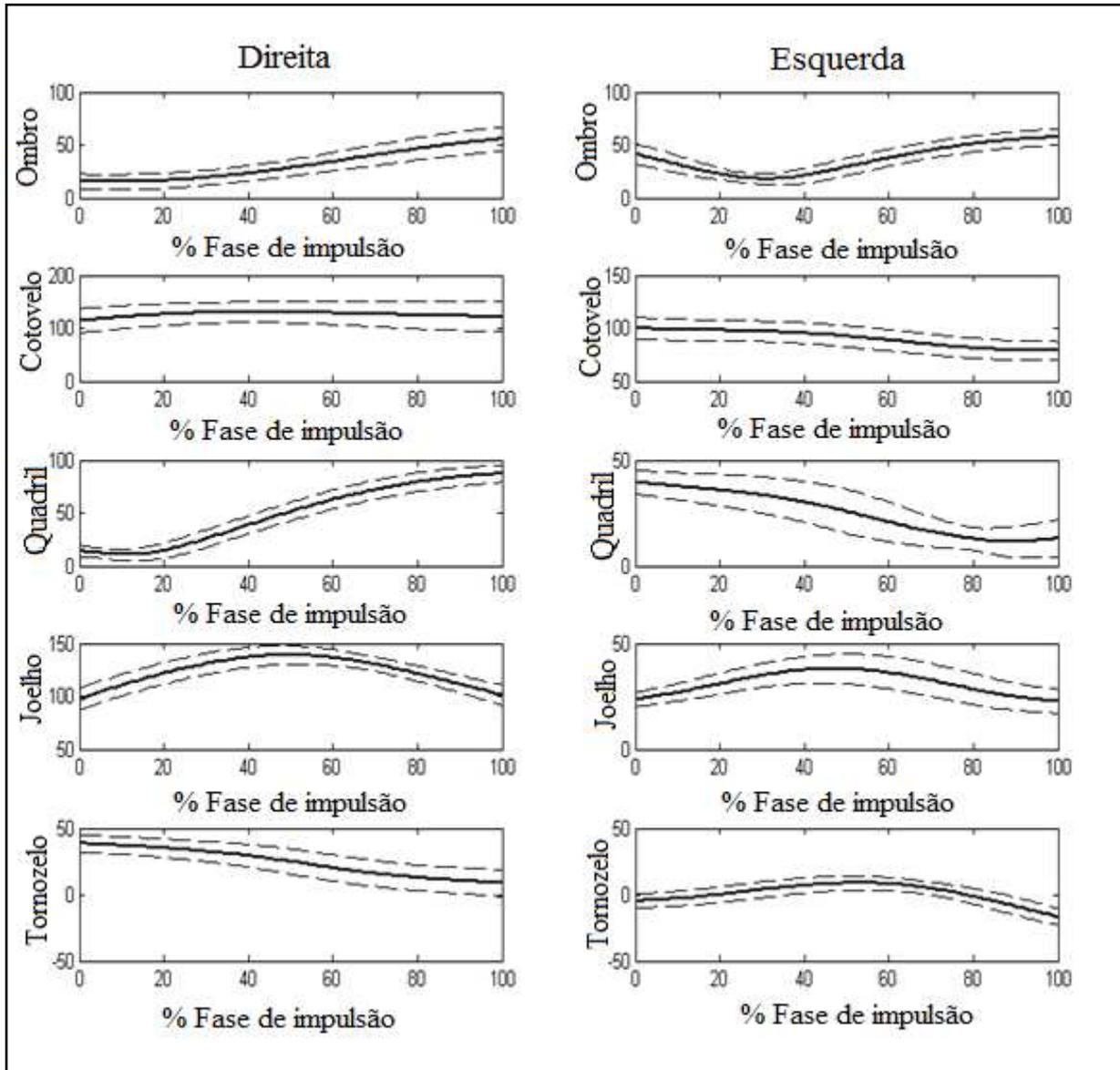
Para os membros superiores, o cotovelo esquerdo teve a máxima flexão no momento do primeiro contato do pé do atleta na tábua de impulsão (0%) e o ombro esquerdo foi ter o valor máximo de flexão a 40% da fase de impulsão. Nos membros contrários (direito), a máxima flexão do cotovelo e ombro ocorreu a 40% da fase de impulsão.

**Tabela 1:** Médias dos máximos ângulos de flexão durante a fase de impulsão.

Articulação	Ângulo máxima flexão	% da fase de impulsão
Cotovelo (e )	130.4°± 19.2°	0
Quadril (e)	87.3 °± 8.1°	0
Tornozelo(d)	38.4°±6.6°	0
Cotovelo (d )	99.8 °± 10.3°	40
Ombro (d)	57.6°± 7.8°	40
Joelho (e )	37.8°±6.8°	47
Joelho (d)	138.5°±9.0°	50
Tornozelo (e)	8.3°±5.3°	53
Ombro (e)	55.6°± 11.2°	100
Quadril (d)	39.3 °± 5.7°	100

(e) membro esquerdo e (d) membro direito

As curvas médias ( $\pm$ DP) dos ângulos articulares em função do percentual da fase de impulsão estão representadas na Figura 2.



**Figura 2:** Curvas médias (linhas inteiras) e os respectivos desvios-padrão (linhas tracejadas) para os ângulos articulares durante a fase de impulsão.

A análise estatística entre os valores de percentual da fase de impulsão em que ocorreram a máxima flexão do quadril, joelho e tornozelo da perna de apoio (esquerda) mostrou diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) quando comparados o percentual médio da fase de impulsão em que ocorreu a máxima flexão do joelho ( $46,2 \pm 8,2\%$ ) e o percentual médio quando ocorreu a máxima flexão do tornozelo ( $53,1 \pm 7,3\%$ ). Também foi encontrado diferença significativa quando comparado o percentual médio da fase de impulsão em que ocorreu a máxima flexão do joelho com o percentual médio que ocorreu a máxima flexão do quadril ( $0,00\%$ ).

O valor da média do ângulo de flexão do joelho da perna de apoio foi totalmente adequado para saltadores de elite mundial, de acordo com a literatura esse ângulo é em torno de 35°, a fim de minimizar o deslocamento vertical do centro de massa durante a fase de amortização (contração excêntrica). Isso cria uma grande tensão nos músculos extensores dos membros inferiores, aumentando a força inicial e a possibilidade de manifestá-la de maneira explosiva.

Além disso, a análise estatística revelou que os ângulos de flexão máxima ocorre de forma seqüencial, a partir do quadril ao tornozelo, quando relacionada com a porcentagem da fase de apoio.

## **CONCLUSÃO**

Este estudo apresenta uma descrição da cinemática angular de atletas de altonível em competição, incluindo o melhor salto de 2007. A análise foi realizada durante uma competição oficial e fornece informações valiosas para as análises técnicas e de investigação. Além disso, a análise estatística revelou que os ângulos de flexão máxima ocorre de forma seqüencial, a partir do quadril ao tornozelo, quando relacionada com a porcentagem da fase de apoio.

# CAPÍTULO 4

## VARIABILIDADE EM VARIÁVEIS CINEMÁTICAS DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS DE ALTO NÍVEL

III CONGRESSO CIÊNCIA DO ESPORTO E II SIMPÓSIO INTERNACIONAL CIÊNCIA  
DO ESPORTO.

Jerusa P.R. Lara, Márcio Vianna Prudêncio, Milton Misuta, Sergio A.Cunha, Luciano A.  
Mercadante e Ricardo M. L. Barros.

Faculdade de Educação Física – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.

### INTRODUÇÃO

Dentre o esporte de alto rendimento, bons treinadores monitoram o desempenho do atleta ao longo do tempo visando identificar tendências devido aos efeitos do treinamento, ao meio ambiente, lesões etc. Para julgar se um determinado treino ou intervenção dos pesquisadores ciência do esporte tenham sido bem sucedidos, é importante saber como a variável de desempenho de um atleta se comporta com uma pequena alteração benéfica ou prejudicial (FLYGER, 2008). Para isso, a variação no desempenho de um atleta é calculada pelo desvio padrão dos desempenhos repetidos. Hopkins (1999) define que a variação individual de desempenho competitivo de um atleta como o coeficiente de variação de desempenho ( $CV = \text{desvio padrão} / \text{média}$ ) e afirma que para atletas que sempre terminam as provas em até a quarta colocação, que uma melhora da metade do valor do CV resulta em um aumento de 10% nas chances de vencer a competição.

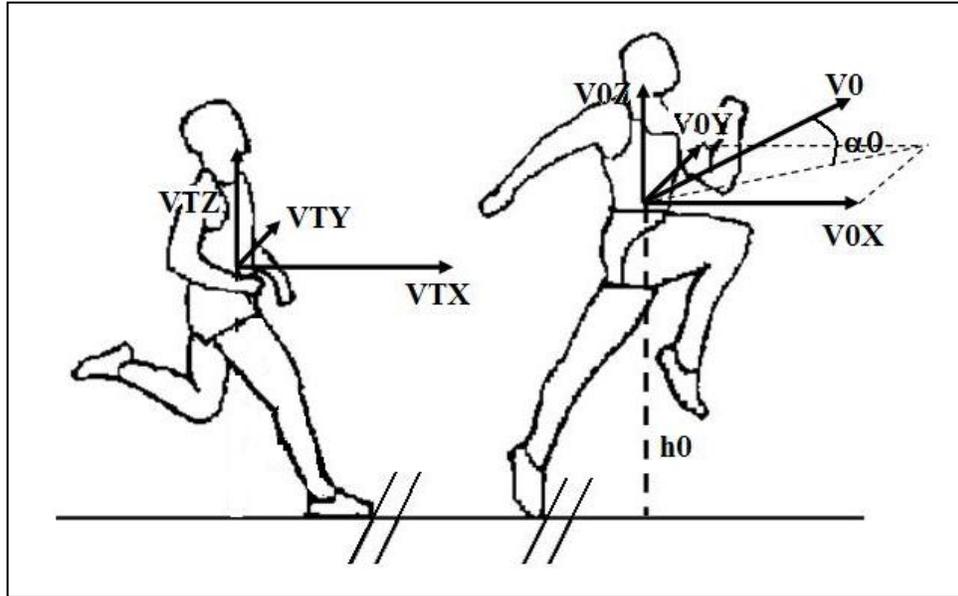
Os pesquisadores da ciência do esporte estão interessados em quantificar a menor mudança de valor que é benéfica para o desempenho do atleta e o desempenho do atleta no salto em distância está relacionado às variáveis cinemáticas e neste caso, o papel da biomecânica visa identificar e avaliar as variáveis que tenham influência sobre o desempenho do atleta na modalidade. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade em variáveis cinemáticas tridimensionais nos saltos em distância de atletas de alto nível.

## METODOLOGIA

Os dados foram coletados em cinco edições do Grande Prêmio de Atletismo, realizadas no Brasil no ano de 2008. Cinco saltos do atual campeão olímpico e cinco saltos da atual campeã olímpica em salto em distância foram analisados. Neste estudo, a fase de impulsão do salto em distância foi analisada com os registros feitos por duas câmeras digitais com frequência de aquisição de 60 Hz, posicionadas dentro da pista ao longo do corredor de salto. O sistema DVIDEO (FIGUEROA et al., 2003) foi usado para a análise cinemática 3D. Dezoito pontos foram manualmente digitalizados em cada uma das imagens dos vídeos gerados por cada câmera. A trajetória do centro de massa do atleta foi calculada usando o modelo antropométrico proposto por Zatsiorsky e Seluyanov (1990). Os dados foram suavizados usando um filtro digital com frequência de corte igual a 8 Hz.

A partir da trajetória do centro de massa foram calculadas as variáveis cinemáticas: Velocidade horizontal, látero-lateral e vertical do centro de massa no *touchdown* ( $V_{TX}$ ,  $V_{TY}$  e  $V_{TZ}$  respectivamente); ângulo entre o vetor velocidade do centro de massa e a horizontal no *takeoff* ( $\alpha_0$ ); altura do centro de massa no *takeoff* ( $h_0$ ); velocidade horizontal, látero-lateral e vertical do centro de massa no *takeoff* ( $V_{0X}$ ,  $V_{0Y}$  e  $V_{0Z}$  respectivamente) conforme a Figura 1. A variável D corresponde a distância oficial do salto.

Foram calculados os coeficientes de variação (CV, desvio-padrão/média) de todas as para todas as variáveis, a fim de analisar a variabilidade das variáveis cinemáticas. Para a segunda análise foi feita a variabilidade das curvas de posição e velocidade do CM nos três eixos de movimento do salto: horizontal, vertical e lateral em função do percentual da fase de impulsão do salto em distância (% do ciclo). O início do ciclo (0%) representa o *touchdown* e o final do ciclo (100%) representa o *takeoff*.



**Figura 1:** Variáveis cinemáticas nos instantes de *touchdown* e *takeoff*. Velocidade horizontal, látero-lateral e vertical do centro de massa no *touchdown* ( $V_{TX}$ ,  $V_{TY}$  e  $V_{TZ}$  respectivamente); ângulo entre o vetor velocidade do centro de massa e a horizontal no *takeoff* ( $\alpha_0$ ); altura do centro de massa no *takeoff* ( $h_0$ ); velocidade horizontal, látero-lateral e vertical do centro de massa no *takeoff* ( $V_{0X}$ ,  $V_{0Y}$  e  $V_{0Z}$  respectivamente);

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das variáveis cinemáticas e os coeficientes de variação estão representados na Tabela 1. A variabilidade da distância saltada pelos atletas analisados foi de 1.78% para o atleta masculino e 1.50% para a atleta feminina, valores esses similares ao encontrado na literatura ( $CV_D = 1.7\%$ ) para atletas considerados de alto nível (HOPKINS, 2008). As maiores variabilidades encontradas foram nas velocidades latero-laterais e vertical do CM, isso se deu pelo fato dos valores das variáveis serem próximas de zero. De acordo com Atkinson e Nevill (1998) o coeficiente de variação não é um bom medidor de variabilidade para variáveis em que os valores são próximos de zero, uma vez que o cálculo do coeficiente é uma razão entre o desvio-padrão e a média.

Dentre as demais variáveis, a maior variabilidade encontrada foi na velocidade vertical do CM de saída da tábua, para ambos os atletas, sendo até dez vezes maiores que a variabilidade da distância saltada. O ângulo de saída e a velocidade horizontal do CM de entrada e saída da tábua e a altura do CM também apresentaram valores superiores à variabilidade da distância saltada.

**Tabela 1:** Resultados da análise de variabilidade para os cinco saltos de ambos os atletas.

		<b>D</b>	<b>V<sub>TX</sub></b>	<b>V<sub>TY</sub></b>	<b>V<sub>TZ</sub></b>	<b>a<sub>0</sub></b>	<b>h<sub>0</sub></b>	<b>V<sub>0X</sub></b>	<b>V<sub>0Y</sub></b>	<b>V<sub>0Z</sub></b>
<b>Masculino</b>	1	8.53	10.15	0.28	0.10	23.60	1.21	8.66	-0.11	3.79
	2	8.39	10.26	0.21	0.22	22.60	1.21	9.01	0.06	3.76
	3	8.37	10.12	0.34	0.17	22.80	1.21	8.86	0.02	3.50
	4	8.20	9.88	0.32	0.24	25.60	1.20	8.38	-0.05	4.02
	5	8.17	10.14	0.22	-0.04	23.20	1.21	8.84	0.07	2.48
	<b>média</b>	<b>8.33</b>	<b>10.11</b>	<b>0.27</b>	<b>0.14</b>	<b>23.56</b>	<b>1.21</b>	<b>8.75</b>	<b>0.00</b>	<b>3.51</b>
	<b>SD</b>	<b>0.15</b>	<b>0.14</b>	<b>0.06</b>	<b>0.11</b>	<b>1.20</b>	<b>0.00</b>	<b>0.24</b>	<b>0.08</b>	<b>0.60</b>
	<b>CV(%)</b>	<b>1.78</b>	<b>1.38</b>	<b>21.22</b>	<b>82.05</b>	<b>5.11</b>	<b>0.37</b>	<b>2.76</b>	<b>-3830.80</b>	<b>17.22</b>
<b>Feminino</b>	1	6.99	9.78	0.32	-0.53	23.60	1.18	7.77	0.17	3.40
	2	6.83	9.97	0.46	-0.49	23.27	1.13	8.02	0.26	3.05
	3	6.82	10.14	0.20	-0.15	21.97	1.12	7.05	0.06	3.81
	4	6.75	9.65	0.02	0.19	20.90	1.17	8.72	-0.03	3.32
	5	6.73	9.41	0.01	0.28	21.40	1.11	8.36	-0.01	3.27
	<b>média</b>	<b>6.82</b>	<b>9.79</b>	<b>0.20</b>	<b>-0.14</b>	<b>22.23</b>	<b>1.14</b>	<b>7.98</b>	<b>0.09</b>	<b>3.37</b>
	<b>DP</b>	<b>0.10</b>	<b>0.28</b>	<b>0.19</b>	<b>0.37</b>	<b>1.17</b>	<b>0.03</b>	<b>0.63</b>	<b>0.12</b>	<b>0.28</b>
	<b>CV(%)</b>	<b>1.50</b>	<b>2.88</b>	<b>96.02</b>	<b>-267.26</b>	<b>5.27</b>	<b>2.73</b>	<b>7.93</b>	<b>136.76</b>	<b>8.25</b>

DP= desvio padrão e CV = coeficiente de variação.

As Figuras 2 e 3 representam as curvas de posição e velocidade do CM nos eixos horizontal, lateral e vertical do movimento em função do percentual da fase de impulsão. Pode-se observar que, para ambos os atletas (feminino e masculino), a variabilidade na posição e na velocidade do CM horizontal, lateral e vertical foi pequena.

A diminuição da velocidade horizontal ( $V_{0X}-V_{TX}$ ) durante a fase de impulsão apresentou valores médios de 1.36m/s para o atleta masculino chegando a um valor máximo de 1.50m/s para um salto de 8.20m, enquanto que para a atleta feminina o valor médio foi de 1.80m/s atingindo um valor máximo de 3.0m/s para um salto de 6.82m.

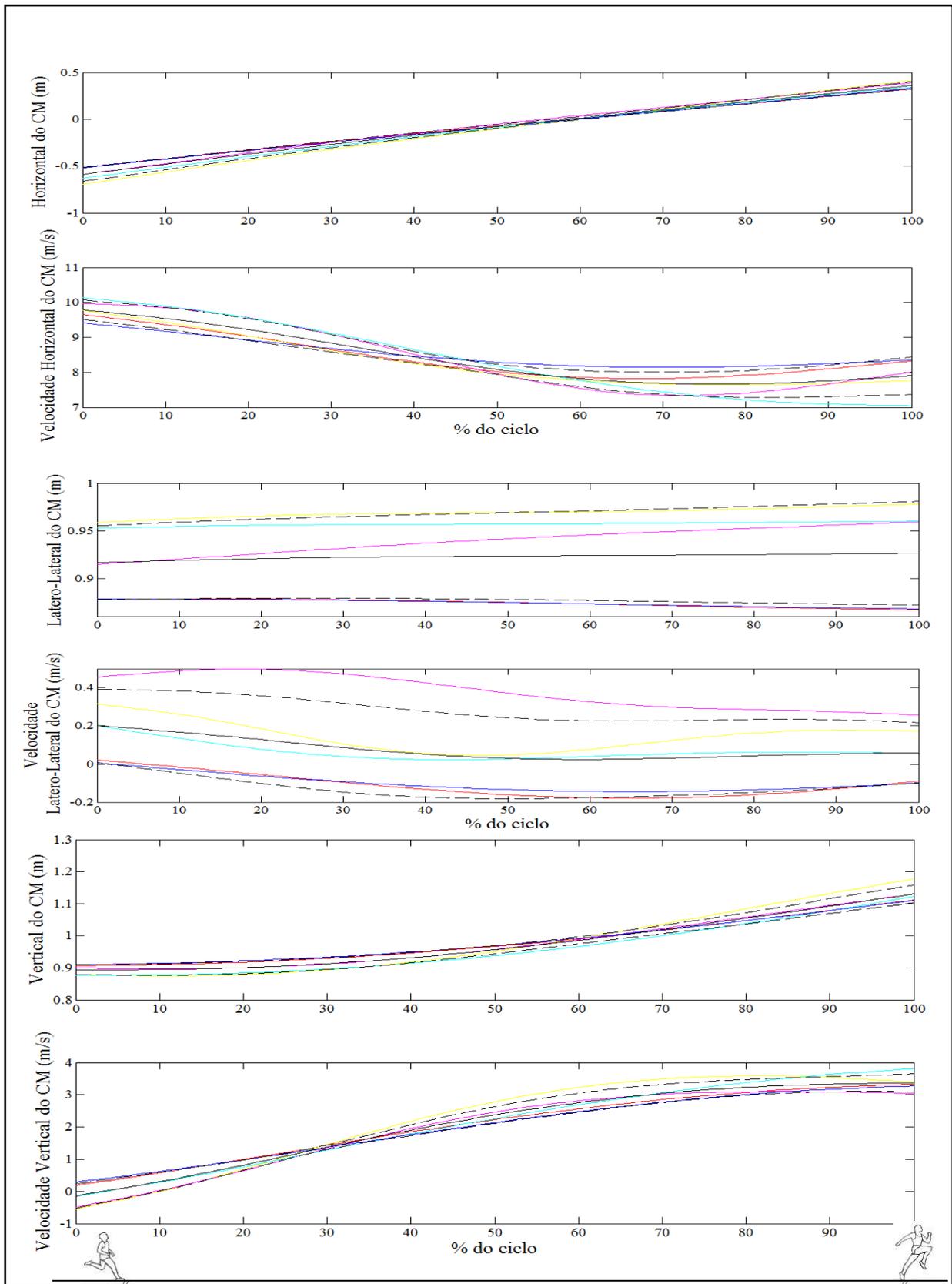
O aumento da velocidade vertical do CM ( $V_{0Z}-V_{TZ}$ ) durante a fase de impulsão apresentou valores médios de 3.37m/s para o atleta masculino chegando a um valor máximo de 3.78m/s para um salto de 8.20m, enquanto que para a atleta feminina o valor médio foi de 3.51 m/s atingindo um valor máximo de 3.96 m/s para um salto de 6.75 m.

A razão entre a diminuição de velocidade horizontal do CM e o aumento da velocidade vertical do CM na fase de impulsão, indica o quanto de velocidade horizontal foi transferida para

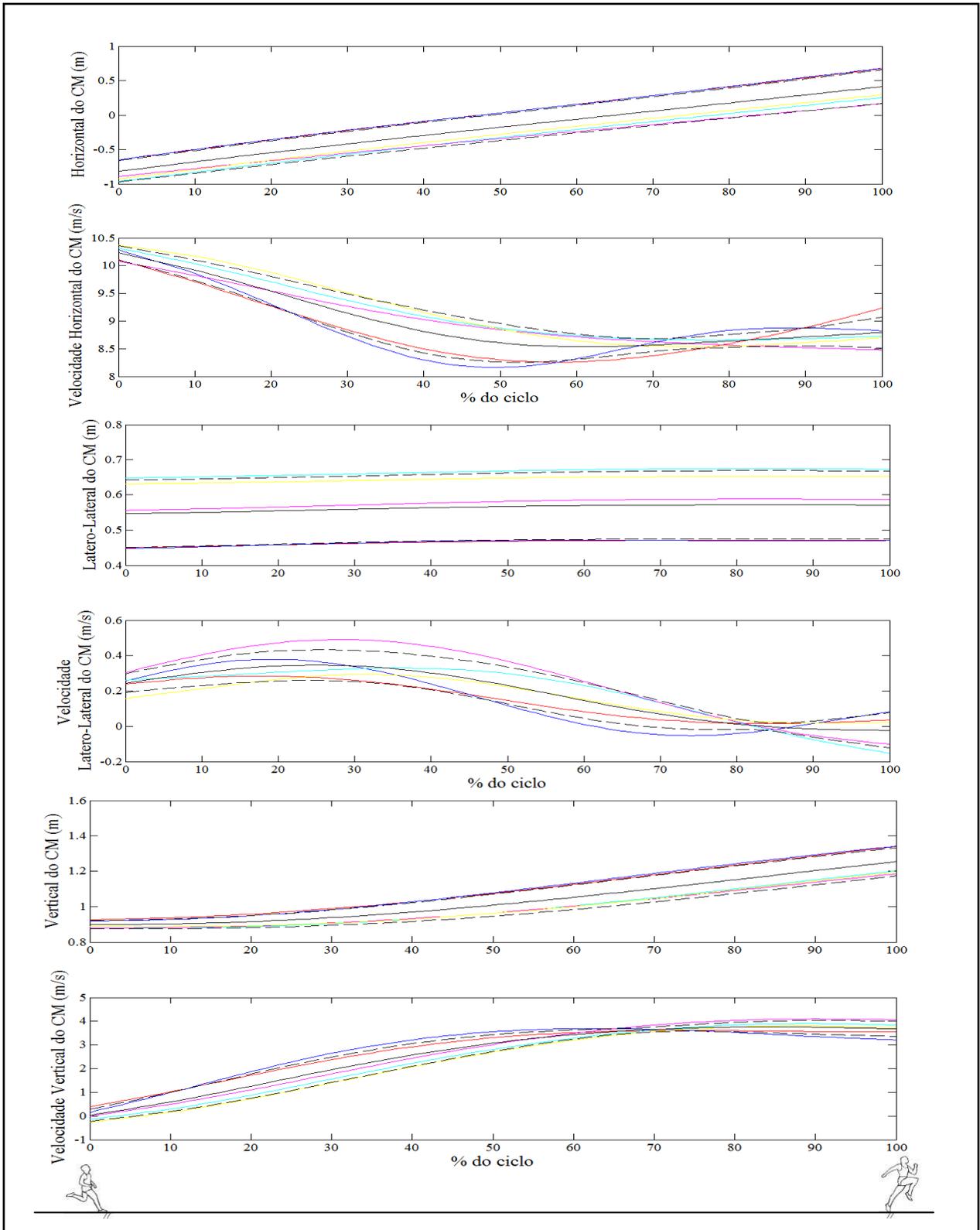
velocidade vertical do CM. Para o atleta masculino essa razão foi de 0.4 representando que a 40% da velocidade horizontal foi transferida para velocidade vertical. Para a atleta feminina a razão foi de 0.51 que a 51% da velocidade horizontal foi transferida para velocidade vertical. Quanto maior for a transferência de velocidade horizontal para a vertical do CM durante a fase de impulsão maior a eficiência da distância saltada. Nesse caso, a atleta feminina apresentou uma transferência de velocidade superior ao atleta masculino, porém as velocidades são inferiores. A transferência de velocidade conjuntamente com fatores de biótipo relacionados ao sexo entre outros fatores determinantes para o desempenho do atleta na modalidade justifica as maiores distâncias saltadas pelo atleta masculino.

A curva de velocidade horizontal do CM para o atleta masculino apresentou valores médios máximos de velocidade a 0% da fase de impulsão e valores médios mínimos a 65% da fase de impulsão. Para a atleta feminina a curva de velocidade horizontal do CM apresentou valores médios máximos a 0% da fase de impulsão e valores médios mínimos a 75% da fase de impulsão. Em ambos os casos pode-se notar que o valor médio mínimo não ocorreu a 100% na da fase de impulsão (*takeoff*) sugerindo que os atletas apesar de diminuírem essa velocidade durante a fase de apoio, essa diminuição não é linear fazendo com que o atleta em alguns casos ainda consiga elevar 0.5m/s a velocidade horizontal do CM.

Os resultados sugerem que os atletas devem buscar controlar as variáveis de saída da tábua, buscando reduzir a sua variabilidade e atingir seus valores ótimos.



**Figura 2:** Posições e velocidades do CM em função do percentual do ciclo. As curvas vermelhas, azuis, cianas, majentas, amarelas, pretas e pretas tracejadas representam os saltos feminino de 6.75m, 6.99m, 6.83m, 6.82m, 6.73m, média e média  $\pm$  desvio-padrão, respectivamente.



**Figura 3:** Posições e velocidades do CM em função do percentual do ciclo. As curvas vermelhas, azuis, cianas, majentas, amarelas, pretas e pretas tracejadas representam os saltos masculino de 8.39m, 8.37m, 8.53m, 8.20m, 8.17m, média e  $\text{média} \pm \text{desvio-padrão}$ , respectivamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

---

O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise cinemática tridimensional do salto em distância de atletas de alto nível em competição. Para isso o texto foi estruturado no formato de quatro capítulos independentes que tinham por objetivos:

- Analisar a contribuição das variáveis cinemáticas tridimensionais obtidas nas fases de aproximação, impulsão e vôo no resultado do salto, durante uma competição de alto nível. Neste estudo, utilizou-se uma análise por regressão linear múltipla (*stepwise*).
- Analisar a replicabilidade e a reprodutibilidade das variáveis cinemáticas tridimensionais no salto em distância e testar a sensibilidade dos valores de replicabilidade e reprodutibilidade na predição da distância saltada através de uma simulação da distância saltada.
- Investigar a cinemática angular do salto em distância de atletas de alto nível em competição.
- Analisar a variabilidade em variáveis cinemáticas tridimensionais nos saltos em distância de atletas brasileiros de alto nível.

A análise de regressão permitiu entender as relações entre as variáveis cinemáticas e a distância saltada, além disso, a ordem de importância e a contribuição percentual das variáveis independentes na predição da distância saltada puderam ser estudadas. Concluímos que a velocidade escalar no TD foi responsável por 40% da variabilidade da distância predita enquanto que a altura máxima teve 16% e a distância do pé de apoio do atleta a tabua de impulsão teve 12% de contribuição na variabilidade da predição da distância saltada para um modelo que inicialmente tinham dez variáveis candidatas ao modelo de predição. Para um segundo modelo, onde as velocidades escalares foram substituídas pelas componentes das velocidades do CM, quatorze variáveis formavam o conjunto de variáveis candidatas à predição da distância saltada, a velocidade horizontal do CM no TD contribuiu com 44% da variabilidade da distância saltada, enquanto a velocidade vertical do CM no TD contribuiu 30% e o ângulo de ataque 14%.

No estudo de replicabilidade, reprodutibilidade e sensibilidade das medidas das variáveis cinemáticas tridimensionais do salto em distância as variáveis relacionadas as velocidades do CM são reprodutíveis e replicáveis acima de 0.09m/s enquanto variáveis angulares, acima de 0.67°. Para a análise de sensibilidade foi encontrado que a variação de 1m na distância saltada, seriam

necessários uma variação de 0.77, 200.00 e 1.80 m/s nas velocidades horizontal, lateral e vertical do centro de massa, respectivamente. Já para cada metro na variação da distância saltada precisaria de uma variação de  $5.75^\circ$  no ângulo do vetor velocidade do centro de massa e o plano horizontal.

Através do estudo da cinemática angular do salto em distância realizado durante uma competição oficial, informações valiosas para as análises técnicas e de investigação foram fornecidas. Além disso, a análise estatística revelou que os ângulos de flexão máxima ocorre de forma seqüencial, a partir do quadril ao tornozelo, quando relacionada com a porcentagem da fase de apoio.

O estudo de variabilidade sugerem que os atletas devem buscar controlar as variáveis de saída da tábua, buscando reduzir a sua variabilidade e atingir seus valores ótimos.

Com a finalização dos quatro capítulos diferentes, fechamos a análise cinemática tridimensional do salto em distância de atletas de alto nível em competição.

## REFERÊNCIAS

---



---

AE M. et al. (1986). **Mechanical powers and contributions of the lower limb muscle during running at different speeds.** Bulletin of health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 9 , 229-239.

ABDEL- AZIZ, Y. I.; KARARA, H. M (1971). **Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates.** AASP/UI SYMP. ONCLOSE-RANE PHOTOGRAMMETRY, URBANA, ILLINOIS, p. 1-18,.

ALEXANDER, R.M. (1990). **Optimum take-off techniques for high and long jumps.** Philosophical Transactions of the Royal Society (London B), 329, 3-10.

Arampatzis, A., Brüggemann, G.-P., & Walsch, M. (1999). Long jump. In G.P. Brüggemann, D. Koszewski, & H. Müller (Eds.), **Biomechanical Research Project Athens 1997: Final Report** (pp. 82 – 113). Oxford: Meyer & Meyer Sport.

ATKINSON G, NEVILL AM. (1998). **Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine.** Sports Med; 26(4):217-38.

BARRY N. TAYLOR AND CHRIS E. KUYATT. **Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results.** Physics Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-0001 (Supersedes NIST Technical Note 1297, January 1993) September 1994

BARROS RML, BRENZIKOFER R, LEITE NJ e FIGUEROA PJ (1999). **Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise tridimensional de movimentos humanos,** Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, pp.79-86,.

BARROS, R.M.L., RUSSOMANO, T. G., FIGUEROA, P. J. AND BRENZIKOFER, R. (2006). **A method to synchronise vídeo câmeras using the áudio band.** Journal of Biomechanics, v 39, n.4, p. 776-780.

BARROS et al., (2008). **A 3D KINEMATICAL ANALYSIS OF LONG JUMP IN THE “GOLD MEETING RIO OF ATHLETICS 2007”.** XXV ISBS Symposium 2007, Ouro Preto – Brazil PP 487-490

BLAND, J. M. AND ALTMAN, D. G. (1986). **Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurements.** Lancet, i, 307-10.

BOBBERT, M.F., HUIJING, P.A., & VAN INGEN SCHENAU, G.J. (1987). **Drop jumping II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping.** Medicine and Science in Sports and Exercise, 19, 339-346.

BOBER, T. (1974). **Investigation of the take-off technique in the triple jump.** In R.C. Nelson & C.A. Morehouse (Eds.), *Biomechanics IV* (pp. 149 – 154). Baltimore, MD: University Park Press.

BRIAN MCLEAN (1994). **A Biomechanics analysis of the long jump.** Australian track and field season.

BRUGGEMANN, P., & SUSANKA, P. (1987). **The long jump.** In Scientific Report on the Second IAAF World Championships in Athletics, Rome (pp. 1-54). London: International Athletic Federation.

BRUGGEMANN & B. GLAD (EDS.), (1988). **Scientific research project at the Games of the XXIVth Olympiad—Seoul** (pp. 263-302). Monaco: International Athletic Federation.

JACQUES S.M., (2006). **Bioestatística: Princípios e Aplicações.**

CHIARI, L., DELLA CROCE, U., LEARDINI, A., & CAPPOZZO, A. (2005). **Human movement analysis using stereophotogrammetry Part 2: Instrumental errors.** *Gait & Posture*, 21, 197–211.

DAPENA, J., & CHUNG, C.S. (1988). **Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping.** *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20, 290-302.

DE LEVA. P. (1996). **Adjustmentes to Zatsiorsky- Seluyanov’s segment inertial parameters.** *Journal Biomechanics*, 29, 1223-1230.

DE MESTRE, N. (1990). **The mathematics of projectiles in sport.** Cambridge: Cambridge University Press.

DEMPSTER, W.T. (1955). **Space requirements of the seated operator** (WADC-TR-55-159). Wright-Patterson Air Force Base, OH.

FARIAS, A. A., (2002). **Estatística Aplicada**, 2.ed. São Paulo: Saraiva.

FIGUEROA, P.J., LEITE, N.J., & BARROS, R.M.L. (2003). **A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis.** *Computer Methods and Programs in Biology*, 72, 155–165.

FISHER, R. A. (1938). **Statistical methods for research workers** (7th ed.). Edinburgh: Oliver and Boyd.

FLYGER N., (2008). **Variability in Competitive Performance of Elite Track Cyclists.** National Sports Institute of Malaysia, National Sports Complex, 57000 Kuala Lumpur, Malaysia

FUCHIMOTO T. et al. (1994). **Biomechanical study on long jump training using short approach run.** In A. Nagata (ed.). *A system human and movement.* Pp 66-71.

- GRAHAM-SMITH & LEES. (2005). **A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off.** Journal of Sports Sciences, September 2005; 23(9): 891 – 903.
- GRAHAM-SMITH, P., & LEES, A. (1997). **A comparison of the information quality between cinematography and videography for long jump analysis.** Biology of Sport, 14, 213 – 225.
- HAIR J.F.(1998). **Análise Multivariada de dados.** 5° Ed. Prentice Hall,pp 127.
- HAY, J.G. (1986). **The biomechanics of the long jump.** In K.B. Pandolf (Ed.), Exercise and sports science reviews (Vol. 14, pp. 401-446). New York: Macmillan.
- HAY, J.G., MILLER, J.A., & CANTEMA, R.W. (1986). **The techniques of elite male long jumpers.** Journal of Biomechanics, 19, 855-866.
- HAY, J.G. (1987). **Biomechanics of the long jump—and some wider implications.** In B. Johnson (Ed.), Biomechanics X-B (pp. 1193-1203). Champaign, IL: Human Kinetics.
- HAY, J.G. (1993). **Citius, altius, longius (faster, higher, longer): The biomechanics of jumping for distance.** Journal of Biomechanics, 26(Suppl. 1), 7-22.
- HAY, J.G., & MILLER, J.A. (1985). **Techniques used in the transition from approach to takeoff in the long jump.** International Journal of Sport Biomechanics, 1, 174-184.
- HAY, J.G., & NOHARA, H. (1990). **Techniques used by elite long jumpers in preparation for take-off.** Journal of Biomechanics, 23, 229-239.
- HOPKINS, 2008
- HUBBARD, M. (2001). **The flight of sports projectiles.** In V. M.Zatsiorsky (Ed.), Biomechanics in sport (pp. 381 – 400). Oxford:Blackwell Science.
- JACQUES, S.M. (2006). **Bioestatística: Princípios e Aplicações.** Porto Alegre: Artmed, 2006, 255p.
- KARAS, V. L., P. SUSANKA, S. OTAHAL, and E. MORAVKOVA. (1976). **Current problems in the biomechanical research of sport locomotion (German).** In: Biomechanik und sportliche Leistung, W. Baumann (Ed.). Schorndorf: Verlag Karl Hoffman, pp. 41-51.
- KER, R.F., BENNETT, M.B., BIBBY, S.R., KESTER, R.C, & ALEXANDER, R.N. (1987). **The spring in the arch of the human foot.** Nature, 325, 147-149.
- KOH, T.J., & HAY, J.G. (1990). **Landing leg motion and performance in the horizontal jumps: 1. The long jump.** International Journal of Sport Biomechanics, 6, 343-360.

LESS, A., FOWLER N. & DERBY D. (1993). **A biomechanical analysis of the last stride, touch-down and take-off characteristics of the women's long jump.** Journal of Sport Sciences, 11, 303-314.

LEES A., GRAHAM-SMITH P. & FOWLER N. (1994). **A Biomechanical Analysis of the Last Stride, Touchdown, & Takeoff Characteristics of the Men's Long Jump.** Journal of Applied Biomechanics, 10, 61-78.

LINTHORNE N.P., GUZMAN M.S. & BRIDGETT L.A. (2005). **Optimum take-off angle in the long jump.** Journal of Sport Sciences, 27 (3), 703-712.

LUHTANEN, P. & KOMI, P. V. (1979). **Mechanical power and segmental contribution to force impulses in long jump take-off.** European Journal of Applied Physiology, 41, 267-274.

MCGRAW O.K. & WONG S. P. (1996). **Forming Inferences About Some Intraclass Correlation Coefficients.** Psychological Methods, 1, 30-46.

MONTGOMERY, D. C. ; PECK, E. A. ; VINING, G. G. (2001). **Introduction to linear regression analysis.** 3. ed. New York: John Wiley & Sons.

MONTGOMERY D. E. , PECK E. A. (1982) – **Introduction to linear regression analysis,** John Wiley & Sons, Nova Iorque.

MURAKI Y., et al. (2008) **Joint torque and power of the takeoff leg in the long jump.** International Journal of Sport and Health Science. V6, 21-32

NIGG, B. M. (1974). **Sprung, Springen, Sprunge [Jump, jumping, jumps].** Zurich: Juris Verlag, pp. 56-74.

NIXDORF, E., & BRUGGEMANN, G.P. (1990). **Biomechanical analysis of the long jump.** In G.-P. Bruggeman & B. Glad (Eds.), Scientific Research Project at the Games of the XXIVth Olympiad, Seoul, 1988 (pp.263 – 302). London: International Amateur Athletic Federation.

NIXDORF, E., & BRUGGEMANN, G.P. (1988). **Biomechanical analysis of the long jump.** In Scientific Report on the Second IAAF World Championships in Athletics (2nd edn., pp. E1 – E54). Monaco: International Athletic Foundation.

PAULA, G. A. (2004). **Modelos de regressão: com apoio computacional.** São Paulo: IME /USP.

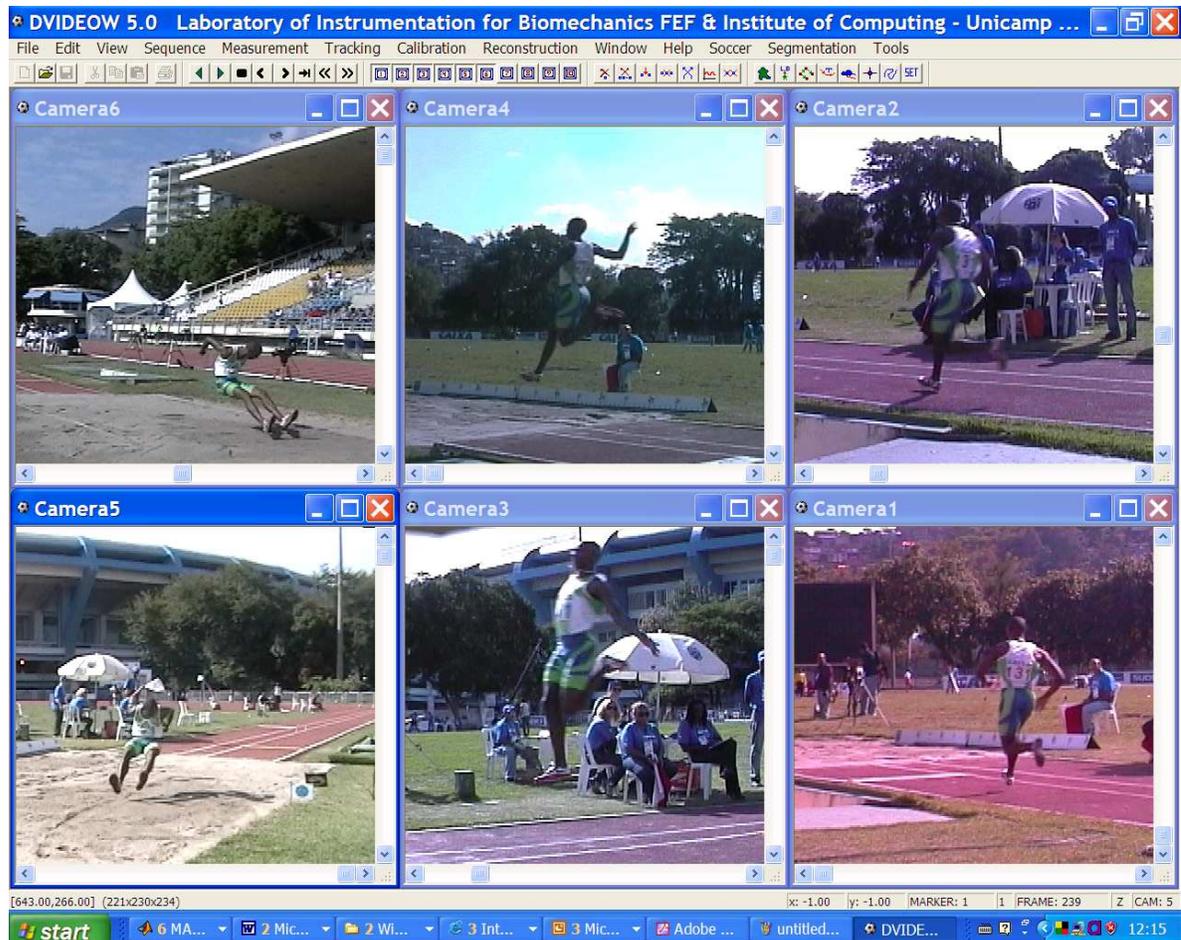
RAMEY, M.R. (1972). **Force relationships in the running long jump.** Medicine and Science in Sports, 2, 146-151.

ROGERS, J.L. (2004). **USA Track & Field Coaching Manual.** pp 152-166

- SANTOS, CARLA, (2007), **Estatística Descritiva - Manual de Auto-aprendizagem**, Lisboa, Edições Sílabo.
- SEYFARTH, A., BLICKHAN, R., & VAN LEEUWEN, J. L. (2000). **Optimum take-off techniques and muscle design for long jump**. *Journal of Experimental Biology*, 203, 741 – 750.
- SEYFARTH, A., FRIEDRICHS, A., WANK, V., BLICKHAN, R. (1999). **Dynamics of the long jump**. *Journal of Biomechanics* 32, pp 1259-1267.
- STEFANYSHYN D.J. E NIFF B. M. (1998). **Contribution of the lower extremity joints to mechanical energy in running vertical jumps and running long jump**. *Journal of Sport Sciences*, 16, 177-186
- SCHEIRMAN, G. L., SMITH, S. L., & DILLMAN, C. J. (1989). **Three dimensional kinetic and kinematic relationships in the long jump**. In G. de Groot, A.P. Hollander, P.A. Huijing, & G.J. van Ingen Schenau (Eds.), *Biomechanics XI-B* (pp. 561 – 564). Champaign, IL: Human Kinetics.
- SOKAL, R. R. AND ROHLF, F. J. (1981). **Nested analysis of variance**. In **Biometry - The Principles and Practice of Statistic in Biological Research**. Pp. 271-285. W. H. Freeman: New York, U.S.A.
- VINCENT, W. J. (1995). **Statistics in kinesiology**. Champaign, IL:Human Kinetics.
- WAENY, J.C.C. (1980). **Repetitividade e reprodutividade I**. São Paulo: IPT, b.18p. (Série ACM,18)
- WAENY, J.C.C. (1980). **Repetitividade e reprodutividade II**. São Paulo: IPT, c.14p. (Série ACM, 20)
- WILL G. HOPKINS (2005). **Competitive Performance of Elite Track-and-Field Athletes: Variability and Smallest Worthwhile Enhancements**. *Sport science* 9, 17-20, *Sport and Recreation, Auckland University of Technology, Auckland 1020, New Zealand*.
- WINTER, D. A. (1990). **Biomechanics and motor control of human movement** (2nd edn.). New York: Wiley.
- WITTERS, T., BOHETS, W., & VAN COPENOLLE, H. (1992). **A model of the elastic take-off energy in the long jump**. *Journal of Sports Sciences*, 10, 533-540.
- ZATSIORSKY,VM, SELUYANOV V., & CHUGUNOVA L.(1990). **Body Segment Inertial Parameters Determination Using a Gamma-scanner method**. *Biomechanics of Human Movement: Application in Rehabilitation, Sports and Ergonomics*.

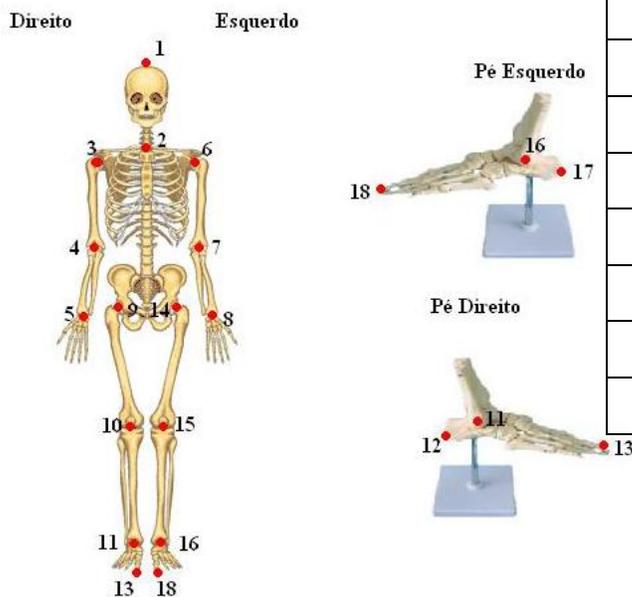
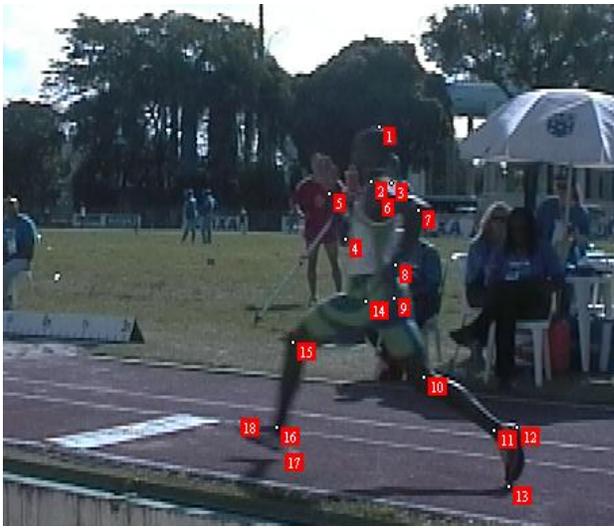
# ANEXOS 1:

**Figura 1:** Visão das seis câmeras usadas na coleta de dados do Grande Prêmio Rio Caixa de Atletismo 2007.



## ANEXOS 2

**Figura 2:** Figura representativa do protocolo de marcação dos centros articulares.



1	Vértex da cabeça
2	Incisura jugular
3	Centro articular do ombro direito
4	Centro articular do cotovelo direito
5	Centro articular do punho direito
6	Centro articular do ombro esquerdo
7	Centro articular do cotovelo esquerdo
8	Centro articular do punho esquerdo
9	Centro articular do quadril direito
10	Centro articular do joelho direito
11	Maléolo lateral direito
12	Calcânar direito
13	Halux direito
14	Centro articular do quadril esquerdo
15	Centro articular do joelho esquerdo
16	Maléolo lateral esquerdo
17	Calcânar esquerdo
18	Halux esquerdo

## ANEXOS 3:

**Tabela 1-**Valores das cinco medidas das variáveis cinemáticas dos 10 observadores, usados no estudo de replicabilidade e reprodutibilidade.

	<b>VTX</b>	<b>VTY</b>	<b>VTZ</b>	<b><math>\alpha T</math></b>	<b><math>\alpha 0</math></b>	<b>h0</b>	<b>V0X</b>	<b>V0Y</b>	<b>V0Z</b>	<b><math>\Delta X/\Delta Z</math></b>	<b>DT2B</b>
	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(°)	(°)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)		(m)
<b>OB1</b>	10,39	0,29	-0,45	23,5	35,0	1,21	8,54	-0,18	3,72	-0,44	-0,18
	10,56	0,38	-0,58	23,5	34,7	1,20	8,48	-0,11	3,69	-0,49	-0,19
	10,55	0,28	-0,51	23,1	35,5	1,20	8,61	-0,03	3,68	-0,46	-0,18
	10,39	0,28	-0,58	22,3	34,7	1,20	8,79	-0,06	3,61	-0,38	-0,19
	10,40	0,35	-0,45	23,1	34,9	1,20	8,65	-0,11	3,69	-0,42	-0,18
<b>OB2</b>	10,59	0,28	-0,27	23,4	32,7	1,20	8,32	-0,08	3,61	-0,59	-0,32
	10,45	0,13	-0,48	23,6	32,6	1,20	8,79	0,04	3,85	-0,38	-0,15
	10,44	0,04	-0,65	23,3	32,8	1,20	8,65	0,13	3,73	-0,41	-0,16
	10,40	0,26	-0,50	23,6	32,7	1,21	8,61	0,10	3,77	-0,42	-0,16
	10,57	0,34	-0,40	23,6	34,1	1,21	8,71	-0,03	3,79	-0,45	-0,16
<b>OB3</b>	10,60	0,14	-0,63	23,6	34,4	1,19	8,55	0,02	3,74	-0,47	-0,17
	10,42	0,07	-0,45	24,7	35,1	1,19	8,46	0,09	3,89	-0,45	-0,17
	10,49	0,14	-0,48	23,7	34,9	1,19	8,57	-0,04	3,76	-0,45	-0,17
	10,46	-0,01	-0,44	24,4	35,1	1,19	8,54	0,01	3,88	-0,45	-0,17
	10,55	0,21	-0,64	23,5	34,4	1,19	8,59	-0,02	3,73	-0,45	-0,17
<b>OB4</b>	10,45	0,29	-0,37	22,0	30,9	1,24	8,74	-0,21	3,53	-0,44	-0,15
	10,41	0,13	-0,37	22,3	30,6	1,24	8,75	-0,12	3,59	-0,42	-0,15
	10,36	0,31	-0,24	23,0	31,2	1,24	8,69	-0,16	3,68	-0,42	-0,16
	10,42	0,05	-0,47	23,6	33,9	1,20	8,67	-0,14	3,79	-0,41	-0,16
	10,52	0,21	-0,48	23,8	34,0	1,19	8,62	0,01	3,80	-0,44	-0,16

<b>OB5</b>	10,68	-0,32	-0,65	23,1	35,6	1,17	8,64	-0,24	3,68	-1,01	-0,18
	10,52	0,08	-0,45	22,7	35,7	1,17	8,73	-0,16	3,65	-0,44	-0,18
	10,46	0,18	-0,21	23,5	35,2	1,19	8,71	-0,22	3,79	-0,44	-0,18
	10,47	0,23	-0,52	23,6	35,6	1,18	8,57	-0,42	3,74	-0,45	-0,18
	10,46	0,24	-0,37	20,5	35,3	1,17	8,85	0,35	3,30	-0,44	-0,18
<b>OB6</b>	10,05	0,12	0,24	20,2	36,5	1,32	8,65	-0,25	3,19	-0,47	-0,10
	9,88	-0,05	0,19	20,6	22,8	1,31	8,76	-0,35	3,30	-0,36	-0,10
	10,13	0,45	0,29	20,6	22,2	1,32	8,73	-0,29	3,29	-0,47	-0,09
	9,93	0,30	0,37	19,9	21,6	1,32	8,72	-0,24	3,16	-0,43	-0,10
	10,16	0,39	0,05	20,4	22,5	1,32	8,69	-0,22	3,24	-0,46	-0,10
<b>OB7</b>	10,53	0,25	-0,41	22,6	34,8	1,20	8,61	0,01	3,59	-0,48	-0,17
	10,60	0,12	-0,34	24,3	34,4	1,20	8,58	0,00	3,87	-0,48	-0,17
	10,53	0,21	-0,33	23,5	34,2	1,20	8,54	-0,03	3,72	-0,49	-0,17
	10,41	0,15	-0,36	24,4	34,8	1,21	8,49	0,10	3,85	-0,46	-0,16
	10,41	0,28	-0,30	24,3	34,7	1,21	8,60	-0,03	3,89	-0,43	-0,17
<b>OB8</b>	10,53	0,10	-0,48	24,1	34,7	1,21	8,52	0,04	3,81	-0,47	-0,17
	10,39	0,15	-0,42	23,5	33,9	1,18	8,62	0,14	3,74	-0,43	-0,17
	10,52	0,27	-0,40	23,5	34,2	1,18	8,64	0,08	3,75	-0,45	-0,16
	10,46	0,31	-0,53	23,1	34,4	1,18	8,64	0,04	3,69	-0,43	-0,17
	10,47	0,30	-0,58	23,3	34,2	1,18	8,58	0,04	3,70	-0,44	-0,16
<b>OB9</b>	10,61	0,25	-0,40	23,3	35,6	1,21	8,73	-0,03	3,75	-0,45	-0,17
	10,55	0,14	-0,42	24,3	35,0	1,20	8,62	0,03	3,89	-0,45	-0,16
	10,54	-0,01	-0,36	23,6	34,4	1,20	8,69	-0,04	3,79	-0,44	-0,16
	10,65	0,14	-0,44	22,8	35,3	1,19	8,58	-0,25	3,61	-0,51	-0,16
	10,57	0,14	-0,41	23,2	35,3	1,19	8,60	-0,09	3,68	-0,48	-0,16

<b>OB10</b>	10,32	0,30	-0,49	23,3	34,7	1,21	8,62	-0,01	3,71	-0,40	-0,18
	10,47	-0,04	-0,41	23,7	34,3	1,21	8,68	0,13	3,81	-0,43	-0,18
	10,56	0,06	-0,49	23,5	34,4	1,21	8,69	0,08	3,77	-0,44	-0,17
	10,41	0,08	-0,50	23,3	33,9	1,22	8,52	0,15	3,68	-0,45	-0,18
	10,42	0,05	-0,49	23,8	34,4	1,21	8,64	0,01	3,82	-0,41	-0,19
<b>mean±std</b>	<b>10,44±0,16</b>	<b>0,18±0,14</b>	<b>-0,38±0,23</b>	<b>23,1±1,1</b>	<b>33,4±3,5</b>	<b>1,21±0,04</b>	<b>8,63±0,10</b>	<b>-0,05±0,15</b>	<b>3,68±0,18</b>	<b>-0,46±0,09</b>	<b>-0,16±0,03</b>

---

## ANEXOS 4:

**Tabela 2-**Siglas, Significados e Definições.

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>	<b>Definição</b>
<b>CM</b>	Centro de Massa	$\vec{CM} = \frac{\sum_i (\vec{r}_i \cdot m_i)}{\sum_i m_i}$ <p>Onde, <math>m_i</math>: Massa pontual <math>i</math>ésima e <math>\vec{r}_i</math>: Posição da massa <math>i</math>ésima respectivo ao eixo de referência assumido.</p>
<b>D</b>	Distância oficial saltada pelo atleta	Distância registrada pela arbitragem usando a trolha de marcação.
<b>D<sub>land</sub></b>	Distância perdida, durante a fase de voo do atleta, pelo contato de qualquer parte do corpo com a areia	$D_{Land} = D_{T2H} - (D_{T2B} + D)$ <p>Onde, D representa a distância oficial saltada pelo atleta, registrada pela arbitragem usando a trolha de marcação.</p>
<b>D<sub>pred</sub></b>	Distância predita do salto	$D_{pred} = \frac{V_0^2 \sin 2(\alpha_0)}{2g} \left[ 1 + \left( 1 + \frac{2gh_0}{V_0^2 \sin^2(\alpha_0)} \right)^{1/2} \right] + D_{T2B}$ <p>Onde <math>V_T</math> é a velocidade escalar no TD; <math>\alpha_0</math> é o ângulo entre a projeção do vetor velocidade do CM no plano; <math>h_0</math> é a altura do CM no TO; <math>g</math> é a aceleração da gravidade ; <math>D_{T2B}</math> é a distância entre o pé de apoio do atleta e a tábua de impulsão.</p>
<b>D<sub>sim</sub></b>	Distância simulada do salto	Usando o mesmo modelo da distância predita, porém para cada variável foi usado o valor médio $\pm$ o maior valor do SEM (reprodutibilidade ou replicabilidade).
<b>D<sub>T2B</sub></b>	Distância entre o pé de contato do atleta a tábua de impulsão do salto	$\vec{O} - \vec{Q}_i$ Onde, O é a origem do sistema e $Q_i$ é um vetor $(x_i, 0, 0)$ referente ao pé de apoio do atleta no instante de saída da tábua.

<b>D<sub>T2H</sub></b>	Distância efetiva do salto	$\vec{T}_f - \vec{T}_i$ Onde, $T_f$ são as coordenadas 3D do ponto marcado pelo contato de qualquer parte do corpo do atleta na caixa de areia e $T_i$ são as coordenadas 3D do pé de apoio do atleta no instante de saída da tábua.
<b>LS</b>	Comprimento do último passo	$\vec{L}_f - \vec{L}_i$ Onde, $L_f$ são as coordenadas 3D do pé de apoio a frente e $L_i$ são as coordenadas 3D do pé de apoio atrás no instante do último passo.
<b>NLS</b>	Comprimento do penúltimo passo	$\vec{N}_f - \vec{N}_i$ Onde, $N_f$ são as coordenadas 3D do pé de apoio a frente e $N_i$ são as coordenadas 3D do pé de apoio atrás no instante do último passo.
<b>RE</b>	Replicabilidade	Definido como sendo o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo observador, efetuadas sob as mesmas condições de medição
<b>RO</b>	Reprodutibilidade	Definido como sendo o grau de concordância entre os resultados de medições de diferentes observadores.
<b>RMSE</b>	Erro médio quadrático	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}}$ Onde, $\varepsilon$ é o erro e $n$ o tamanho da amostra.
	Sensibilidade	Definido como a razão entre a variação de cada uma das variáveis de influencia no resultado final pela variação do resultado final.  $Sensibilidade = \frac{Reprodutibilidade}{D_{pred} - D_{sim}}$

<b>SEM</b>	Erro padrão	$SEM = \frac{DP}{n}$ Onde, DP é o desvio padrão e n é o número da amostra
<b>t<sub>con</sub></b>	Tempo de contato na tábua de impulsão	$t_{con} = \frac{q_{TO} - q_{TD}}{f}$ Onde, q <sub>TO</sub> é o quadro de imagem correspondente ao instante de TO, q <sub>TD</sub> é o quadro de imagem correspondente ao instante de TD e f é a frequência de aquisição dos dados.
<b>TD</b>	<i>Touchdown</i>	Definido como o instante em que o pé do atleta faz contato com a tábua de impulsão (LEES ET AL., 1994).
<b>TO</b>	<i>Takeoff</i>	Definido como o instante em que o pé do atleta perde contato com a tábua de impulsão (LEES ET AL., 1994).
<b>t<sub>voo</sub></b>	Tempo de voo	$t_{voo} = \frac{q_q - q_{TO}}{f}$ Onde, q <sub>q</sub> é o quadro de imagem correspondente ao instante da queda do atleta na areia, q <sub>TO</sub> é o quadro de imagem correspondente ao instante de TO e f é a frequência de aquisição dos dados.
<b>V<sub>0</sub></b>	Velocidade escalar no <i>takeoff</i>	$V_0 = \sqrt{(V_{0x})^2 + (V_{0y})^2 + (V_{0z})^2}$ Onde, V <sub>0x</sub> , V <sub>0y</sub> , V <sub>0z</sub> , representam as velocidades horizontal, lateral e vertical do CM no TO.
<b>V<sub>T</sub></b>	Velocidade escalar no <i>touchdown</i>	$V_T = \sqrt{(V_{Tx})^2 + (V_{Ty})^2 + (V_{Tz})^2}$ Onde, V <sub>Tx</sub> , V <sub>Ty</sub> , V <sub>Tz</sub> , representam as velocidades horizontal, lateral e vertical do CM no TD.
<b>α<sub>0</sub></b>	Ângulo entre o vetor velocidade do centro de massa e a horizontal no <i>takeoff</i>	Ângulo entre o vetor velocidade do CM e o vetor horizontal.
<b>α<sub>MFJ</sub></b>	Ângulo de máxima flexão do joelho entre <i>touchdown</i> e <i>takeoff</i>	Maior ângulo entre os vetores coxa e perna nos

		instantes entre TD e TO.
$\alpha_T$	Ângulo entre o vetor calcâneo-centro de massa e o vetor vertical no <i>touchdown</i>	Ângulo entre o vetor que tem origem no CM e extremidade no calcâneo e o vetor vertical.

## **ANEXOS 5:**

**Trabalho completo no International Society of Biomechanics in Sports-2007-  
Ouro Preto- Brasil.**

**Título:** A 3D KINEMATICAL ANALYSIS OF LONG JUMP IN THE “GOLD MEETING RIO OF ATHLETICS 2007”.

## **ANEXOS 6:**

**Resumo do trabalho no 13th Annual Congress of the EUROPEAN COLLEGE OF SPORT  
SCIENCE- 2008- Estoril - Portugal**

**Título:** ANGULAR KINEMATICS OF HIGH LEVEL LONG JUMPERS IN COMPETITION.

## **ANEXOS 7:**

**Resumo do trabalho no III Congresso de Ciência do Desporto - FEF - UNICAMP**

**Título:** VARIABILIDADE EM VARIÁVEIS CINEMÁTICAS DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS BRASILEIROS DE ALTO NÍVEL.

## **A 3D KINEMATICAL ANALYSIS OF LONG JUMP IN THE “GOLD MEETING RIO OF ATHLETICS 2007”**

**Ricardo M. L. Barros, Luciano A. Mercadante, Jerusa P. Lara, Caio B. Sakalauskas, Márcio Prudêncio, Sergio A. Cunha, Tiago G. Russomano, Milton S. Misuta**

**Laboratory of Instrumentation for Biomechanics,  
State University of Campinas, Campinas, Brazil**

This study was based on the 3D kinematical analysis of long jump in an official competition of the International Association of Athletics Federation. A six camera kinematical analysis system was used to reconstruct the 3D coordinates of eighteen points, modeling the athlete's body with the follow segments: head, trunk, arms, forearms, thighs, calves and feet. Several performance variables concerning the center of mass trajectories and velocities were used to characterize and compare the individual jumps. Descriptive statistics was used to compare the results obtained with those found in the literature.

**KEY WORDS:** biomechanics, sport, kinematical analysis, long jump.

### **INTRODUCTION:**

The biomechanical analysis of long jump has been conducted with many different purposes. Ballreich and Brüggemann (1986) presented the principles of analysis and researched the best variables to explain the success of the athletes. Alexander (1990) identified the principles that govern optimum speed and leg angle for the take-off of long jumping and concluded that a faster run-up is desirable in long jumping to allow a great horizontal component of velocity at take-off. Bridgett and Linthorne (2006) analyzed an experienced male athlete using a single high speed camera and they concluded that the athletes should use a maximal run-up speed and place the take-off leg at about 61° to the horizontal with a minimum of knee flexion.

Graham-Smith and Lees (2005) have performed a three-dimensional analysis of the touch-down to take-off phase in the long jump. They studied fourteen male high level long jumpers and found that performance in the long jump is dependent not only on speed but also on technique and strength. According to these authors, many three dimensional studies of long jump exist, but the only studies to have reported detailed data on the touch-down to takeoff phase were two-dimensional.

The purpose of this study was to present data on high level male long jumpers who participated in the GOLD MEETING RIO OF ATHLETICS 2007 and to analyze the 3D kinematical variables related to their performances, in the takeoff, touchdown on board and landing phases.

### **METHOD:**

The “GOLD MEETING RIO OF ATHLETICS 2007” was a competition included in the calendar of the International Association of Athletics Federation (IAAF) and the winner was the first in the IAAF mean's long jump ranking, in May 2007. There were analyzed the two best jumps of the winner (Irving Saladino, 8.53m and 8.20m), the second best jump of the 2<sup>nd</sup> placed (Bashir Ramzy, 7.75m), the second best jump of the third placed (Trevell Quinley, 7.40m), the two best jumps of the 4<sup>th</sup> placed (Louis Tristán, 7.75m and 7.38m) and the best jump of the 5<sup>th</sup> placed (Erivaldo Vieira, 7.70m). The best jumps of the second and third placed were lost due to problems of occlusion.

The DVideo kinematic analysis system (Figueroa, Leite & Barros, 2003) was used for the 3D kinematical analysis. Four video cameras (60 Hz) were positioned in one size along the runaway and used two-by-two to reconstruct the movement from the two last steps to the takeoff. Two more cameras were located in front of the runaway. These cameras were used

for the 3D reconstruction of the flying phase. The angles between the optical axes of the cameras used to reconstruct coordinates were approximately 90 degrees. The camera registers were synchronized as described in Barros et al. (2006).

Eighteen points were manually digitized in the image sequences, modeling the athlete's body with the follow segments: head, trunk, arms, forearms, thighs, calves and feet. These 3D data were smoothed with a zero-phase forward and reverse Butterworth digital filter of 3<sup>th</sup> order with a 6 Hz cut-off frequency. The body center of mass was calculated based on the anthropometric model proposed in Zatsiorsky and Seluyanov (1990).

Several performance variables concerning the center of mass trajectories and velocities were used to characterize and compare the individual jumps. Descriptive statistics was used to compare the results obtained with those found in the literature.

The definition of touchdown on the board was taken as the first clear frame in which the foot was in contact with the ground and the takeoff was taken as the first frame in which the foot was clear of the ground (Lees et al., 1994). The landing on sand was defined as the first frame in which the foot was in contact with the sand.

In order to evaluate the accuracy of the measures obtained with the kinematical analysis system used in actual conditions, the following test was conducted. The procedures of measurements accomplished by the referees after each jump were recorded. Three-dimensional positions of two points on the extremity of the jump board were reconstructed in order to define a straight line corresponding to the board extremity. The contact point of the laser-based electronic distance measurement device and the sand was also reconstructed and the distance from the board extremity to the contact point was calculated. These measures were compared with the official distances contained in the official report.

## RESULTS AND DISCUSSION:

Table 1 presents the official distances and the distances measured by the kinematical analysis system after each of five jumps. The official results were reported with two numbers after the decimal point (centimeters). The test shows that the video based measures were such accurate as the official measures.

Table 1. Comparison of official measures and those obtained by the kinematical system.

Athlete	D (m)	D <sub>video</sub> (m)
Saladino, I.	8.20	8.198
Ramzy, B.	7.75	7.748
Tristán, L.	7.75	7.754
Quinley, T.	7.40	7.398
Tristán, L.	7.38	7.378

Table 2 presents the official distances (**D**) and biomechanical variables used to describe the individual jumps of the athletes. The variables were calculated from the three-dimensional reconstruction of the whole-body center of mass trajectory and velocity curves. The variables measured at the touchdown on board were the components of the vector velocity in the progression (**V<sub>TX</sub>**), latero-lateral (**V<sub>TY</sub>**) and vertical directions (**V<sub>TZ</sub>**). The variable  $\alpha_T$  corresponds to the angle defined by the vertical line passing through the **CM** and the line defined by the **CM** and the point at the calcaneus (attack angle). The follow variables were measured at the takeoff.  $\alpha_0$  is the angle between the vector velocity of the **CM** and the horizontal plane. **h<sub>0</sub>** is the height of **CM**. **V<sub>0X</sub>**, **V<sub>0Y</sub>** and **V<sub>0Z</sub>** are, respectively, the components of the vector velocity in the progression, latero-lateral and vertical directions.  $\Delta_x/\Delta_z$  is the ratio between the loss in horizontal velocity and the gain in the vertical velocity. Higher values mean better transfer from horizontal to vertical velocities.

Table 2. Performance variables at touchdown and takeoff on board of men's long jump in the GOLD MEETING RIO OF ATHLETICS 2007.

Athlete	<b>D</b> (m)	<b>V<sub>TX</sub></b> (m.s <sup>-1</sup> )	<b>V<sub>TY</sub></b> (m.s <sup>-1</sup> )	<b>V<sub>TZ</sub></b> (m.s <sup>-1</sup> )	<b>α<sub>T</sub></b> (°)	<b>α<sub>0</sub></b> (°)	<b>h<sub>0</sub></b> (m)	<b>V<sub>0x</sub></b> (m.s <sup>-1</sup> )	<b>V<sub>0y</sub></b> (m.s <sup>-1</sup> )	<b>V<sub>0z</sub></b> (m.s <sup>-1</sup> )	<b>Δ<sub>x</sub>/Δ<sub>z</sub></b>
Saladino, I	8.53	10.15	0.28	0.10	29.7	23.6	1.21	8.66	-0.11	3.79	0.40
Saladino, I.	8.20	9.88	0.32	0.24	27.5	25.6	1.20	8.38	-0.05	4.02	0.40
Ramzy, B.	7.75	9.12	0.24	0.45	20.1	19.9	1.41	8.11	-0.02	2.94	0.41
Tristán, L.	7.75	10.23	0.25	-0.39	30.2	20.0	1.26	8.77	0.49	3.19	0.41
Vieira, E.	7.70	9.41	0.25	0.48	25.4	24.9	1.28	8.19	0.01	3.80	0.37
Quinley, T.	7.40	9.37	0.18	0.22	24.7	25.5	1.33	7.99	0.09	3.81	0.38
Tristán, L.	7.38	9.80	0.15	-0.26	31.2	22.0	1.13	8.45	0.61	3.43	0.37
Mean	<b>7.82</b>	<b>9.71</b>	<b>0.24</b>	<b>0.12</b>	<b>27.0</b>	<b>23.1</b>	<b>1.26</b>	<b>8.36</b>	<b>0.15</b>	<b>3.57</b>	<b>0.39</b>
SD	0.42	0.42	0.06	0.33	3.9	2.47	0.09	0.29	0.29	0.34	0.02
Mean (Lees et al., 2005)		<b>9.93</b>	<b>0.13</b>	<b>-0.18</b>	<b>32.2</b>		<b>1.27</b>	<b>8.55</b>	<b>0.18</b>	<b>3.37</b>	<b>0.39</b>
SD (Lees et al., 2005)		0.37	0.24	0.21	2.2		0.04	0.35	0.32	0.32	

Table 3: Results of the stride length and distances of mean's long jump in the GOLD MEETING RIO OF ATHLETICS 2007.

Athlete	<b>NLS</b> (m)	<b>LS</b> (m)	<b>D<sub>1</sub></b> (m)	<b>D<sub>2</sub></b> (m)	<b>D<sub>3</sub></b> (m)	<b>D<sub>4</sub></b> (m)	<b>D<sub>T2H</sub></b> (m)	<b>D<sub>T2B</sub></b> (m)	<b>D<sub>Land</sub></b> (m)
Saladino, I	2.40	---	0.23	6.69	1.17	0.59	8.88	0.20	0.12
Saladino, I.	2.30	---	0.27	6.81	0.85	0.56	8.62	0.14	0.28
Ramzy, B.	2.47	2.15	0.37	5.89	1.30	0.45	8.08	0.09	0.24
Tristán, L.	2.70	2.08	0.33	6.30	0.90	0.68	8.25	0.03	0.47
Vieira, E.	2.29	---	0.17	6.15	1.23	0.56	8.33	0.21	0.42
Quinley, T.	2.60	1.64	0.40	5.67	1.20	0.26	7.74	0.21	0.13
Tristán, L.	2.52	1.92	0.13	5.58	1.28	0.61	7.67	0.07	0.22
Mean	2.47	1.95	0.27	6.16	1.13	0.53	8.22	0.14	0.27
STD	0.15	0.23	0.10	0.48	0.18	0.14	0.43	0.07	0.13

Table 3 presents the variables related to the distances covered during the jump phases. **NLS** is the length of the next to the last stride. **LS** is the length of the last stride. **D<sub>1</sub>** is distance from the extremity of the board to the center of mass projection on the ground at the takeoff. **D<sub>2</sub>** is the distance traveled by the **CM** from the instant of takeoff to the instant in which the **CM** reached the same height of takeoff. **D<sub>3</sub>** is the distance from the end point of **D<sub>2</sub>** to **CM** projection at the landing in sand. **D<sub>4</sub>** is the distance from the end point of **D<sub>3</sub>** to the foot landing on sand.

**D<sub>T2H</sub>** consists of the distance from the toe contact at the takeoff to the heel contact on sand in landing. This distance measures the effective distance traveled by the jumper and reveals the athlete's potential jump in case of a jump without any waste in takeoff or landing (**D<sub>T2B</sub>** and **D<sub>Land</sub>**). **D<sub>T2B</sub>** quantifies the distance from the athlete's toe at the touchdown to the board extremity (the greater the worst). **D<sub>Land</sub>** is the distance lost during landing by the contact of any part of the body with the sand behind the heel. In this study, this variable was calculated as follow:  $D_{Land} = D_{T2H} - (D_{T2B} + D)$ .

The results of mean values and standard deviations were also presented in Table 2 and Table 3. The comparable results obtained by Lees et al. (2005) in a similar 3D kinematical analysis were included at the end of Table 2. The comparison of means and standard deviations revealed very coherent results.

The result of an individual jump is determined by multiple factors and none of them can alone explain the better performance. Despite this, some aspects can be highlighted from the analysis of Table 2 and 3. In order to exemplify the analysis, the two Saladino's best jumps ( $J_1=8.53\text{m}$  and  $J_2=8.20\text{m}$ ) were compared. The results show that in  $J_1$  the approach happened with higher horizontal velocity at the touchdown ( $V_{Tx}=10.51 \times V_{Tx}=9.88 \text{ m.s}^{-1}$ ) and takeoff ( $V_{0x}=8.66 \times V_{0x}=8.38 \text{ m.s}^{-1}$ ) and smaller vertical velocity at the takeoff ( $V_{0z}=3.79 \times V_{0z}=4.02 \text{ m.s}^{-1}$ ). Similar values were found in  $V_{0y}$ ,  $h_0$ ,  $\Delta_x/\Delta_z$ ,  $D_1$  and  $D_4$ .

Besides the difference in the velocities, the main differences appeared comparing  $J_1$  and  $J_2$  in terms of  $D_2$  and  $D_3$  and the variables related to the distances lost during the jump,  $D_{T2B}$  and  $D_{Land}$ .  $D_2$  was 0.12 m smaller in  $J_1$ , but  $D_3$  was 0.32 m greater. In  $J_1$ , the distances lost were 0.10 m less than in  $J_2$ .

In the best jump, the horizontal velocity was greater despite the smaller vertical velocities producing a two degrees smaller takeoff angle. This decreased the flying time compared to  $J_2$  and consequently  $D_2$ . However, this flatter angle makes possible the landing with a lower center of mass position, increasing substantially  $D_3$  (0.32m). These associated facts seem to be the main reasons to explain the better performance in the first jump.

## CONCLUSION:

Three-dimensional analyses of high level long jumpers in an official competition were reported in this study. Individual and statistical analyses were provided and the results compared with the data available in the literature.

## REFERENCES:

- Alexander, R.M. (1990). *Optimum take-off techniques for high and long jumps*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Series B, Biological Sciences, 329(1252), 3-10.
- Ballreich, R. & Brüggemann, G.P. (1986). *Biomechanik des weitsprungs*. In: Ballreich, R. & Kuhlow, A. (Eds.), *Biomechanik der sportarten 1. Biomechanik der Leichtathletik* (pp 28-47). Stuttgart: Enke.
- Barros, R.M.L., Russomano, T.G., Brenzikofer, R. & Figueroa, P.J. (2006). A Method to Synchronize Video Cameras Using the Audio Band. *Journal of Biomechanics*, 39(4), 776-780.
- Bridgett, L.A. & Linthorne, N.P. (2006). Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed. *Journal of Sports Science*, 24(8), 889-97.
- Figueroa, P.J., Leite, N. & Barros, R.M.L. (2003). A Flexible Software for Tracking of Markers used in Human Motion Analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 72, 155-165.
- Graham-Smith, P. & Lees, A. (2005). A three-dimensional kinematics analysis of the long jump take-off. *Journal of Sports Science*, 23(9), 891-903.
- Zatsiorsky, V., Seluyanov, Body Segment Inertial Parameters Determination U Berme, N. Cappozzo, A.: *Biomechanics of Human Movement: Application in Rehabilitation, Sports and Ergonomics*. Bertec Corporation. USA. 1990.

## Acknowledgement

CNPq (477771/2004-1; 309245/2006-0), PRODOC- CAPES (3300301704p6) and - Fapesp (processo 05/53262-6).

## ANGULAR KINEMATICS OF HIGH LEVEL LONG JUMPERS IN COMPETITION

Lara, J., Sakalauskas, C., Prudêncio, M., Mercadante, L., Cunha, S., Russomanno, T., Misuta, M., Barros, R.  
*1-Campinas State University; 2-Mogi das Cruzes University, Brazil*

The aim of this study was to analyze angular kinematics of high level long jumpers in competition. The data were collected in the GOLD MEETING RIO OF ATHLETICS 2007, a competition included in the calendar of the International Association of Athletics Federation (IAAF). Seventeen jumps of nine male athletes ranging from 7.26m to 8.53m were analyzed. The winner of this competition was also the 2007 world champion in the modality (8.57m). Two digital video cameras (60 Hz) positioned inside the field along the runway were used to reconstruct the movement from the last touch-down to the takeoff (support phase). The DVideo system was used for the 3D kinematical analysis (Figueroa, et al., 2003). Eighteen anatomical landmarks were manually digitized throughout both video sequences. The body was represented according to the model of ten segments proposed by Zatsiorsky (1990). The data were filtered with a zero-phase forward and reverse Butterworth digital filter of 3rd order with a 6 Hz cut-off frequency. Using the 3D coordinates the following joint angles were calculated: neck, trunk, shoulders, elbows, hips, knees and ankles. Three ways of analyses were applied to the joint angles during the support phase. 1) The graphical analysis of mean ( $\pm$ SD) curves in function of the percent of the support phase. 2) The average of maximal angles of knee flexion and ankle dorsi-flexion during the support phase. Analyses 1 and 2 were performed in order to characterize the angular motion patterns of the jumpers in this competition. 3) The last analysis consisted of a t-test of the percents of the support phase in which occurred the peaks of knee flexion and dorsi-flexion of the support limb. The results were 1) curves of the central tendency and variability for all angles. 2) The average maximum knee flexion ( $\pm$ SD) and ankle dorsi-flexion angles of the support limb were ( $37.8^{\circ}\pm 6.8^{\circ}$ ) and ( $8.3^{\circ}\pm 5.3^{\circ}$ ) and to the swing limb were ( $138.5^{\circ}\pm 9.0^{\circ}$ ) and ( $38.4^{\circ}\pm 6.6^{\circ}$ ). 3) Statistical differences ( $P<0.05$ ) were verified comparing the mean maximal knee flexion percent ( $46.2\pm 8.2\%$ ) and the mean maximal ankle dorsi-flexion percent ( $53.1\pm 7.3\%$ ). In this study provided an useful description and analysis of a high level long jumpers in competition.

### References.

Figueroa, P.J., Leite, N. & Barros, R.M.L. (2003). A Flexible Software for Tracking of Markers used in Human Motion Analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 72, 155-165.  
Zatsiorsky, VM; et al(1990). Body Segment Inertial Parameters Determination Using a Gamma-scanner method. In Berne, N; Cappozzo, A: *Biomechanics of Human Movement: Application in Rehabilitation, Sports and Ergonomics*.

## ADDED MASS IN HUMAN SWIMMERS: AGE AND GENDER DIFFERENCES

Caspersen, C., Berthelsen, P., Eik, M., Pâkozdi, C., Kjendlie, P.  
*Norwegian School of Sport Sciences, Norway*

**INTRODUCTION:** In stationary swimming (changing velocity), some of the water around the swimmer is set in motion. This can be thought of as an added mass (AM) of water. Previously only one other study (Klauck, 1999) has investigated added mass on swimmers during passive gliding, and reported added mass values in a range of 30-70kg. The purpose of this study was to find added mass on human swimmers and the effects of age and genders on added mass.

**METHODS:** 31 subjects between the ages of 12 to 36 years were included. They were recruited into three groups; boys (aged  $13.7\pm 1.1$  years), women ( $21.8\pm 3.4$  years) and men ( $25.2\pm 4.9$  years) with body mass of  $52.6\pm 10.6$  kg,  $63.9\pm 5.3$  kg and  $78.2\pm 6.3$  kg, respectively. The subjects were connected to a 2.8m long bar with handles, attached with springs (stiffness  $k=318$  N/m) and a force cell. By oscillating this system vertically and registering the period of oscillations it was possible to find the added mass of the swimmer, given the known masses of the bar and swimmer.

**RESULTS:** Added mass for the three groups were  $14.5\pm 3.1$  kg,  $15.1\pm 1.2$  kg and  $21.1\pm 2.5$  kg for boys, women and men, respectively. This corresponds to relative added mass (AM%) of, respectively  $27.8\pm 2.9\%$ ,  $23.6\pm 1.5\%$  and  $27\pm 2.2\%$  of the subjects' body mass. This study reported significant difference in AM ( $p<0.01$ ) and AM% ( $p<0.01$ ) between men and women. In boys and men significant differences were found for AM ( $p<0.01$ ), but not for AM% ( $p<0.01$ ).

**DISCUSSION:** The added mass in this study seems to be lower and within a smaller range than previously reported (Klauck, 1999). An added mass of about 27% of body mass will influence inertial forces during passive gliding phases in a swimming race, but must also be considered in intracyclic velocity fluctuations. The subjects' lack of experience to hold the optimal and best position on the bar during oscillation, could lead to increased AM. Boys and men reported similar values for AM%. This indicates that AM is in some way dependent on body mass. Lower AM% values for women could mean that they are influenced by other effects of body size such as height, CD, frontal surface area or % body fat compared men. This study indicates an effect of gender between men and women, but no effect on AM by age between boys and men. If age can be viewed to represent experiences (and skill), added mass seem not to be reduced by swimming training or skill enhancement.

### References.

J. Klauck. Man's water resistance in accelerated motion: An experimental evaluation of the added mass concept. In: *Biomechanics and medicine in swimming VIII*, Keskinen, Komi and Hollander (eds.), Jyväskylä, 1999, p.83-88.

## VALIDITY OF A VELOCITY DECAY METHOD FOR ESTIMATING PASSIVE DRAG IN SWIMMERS

Eik, M., Berthelsen, P., Caspersen, C., Pâkozdi, C., Kjendlie, P.  
*Norwegian School of Sport Sciences, Norway*

**INTRODUCTION:** Passive drag can be measured by towing swimmers passively through the water. This requires expensive and often inaccessible equipment and can be a time consuming process. The velocity decay test has previously been used as an indirect method for estimating passive drag (Kjendlie & Stallman, 2008). The aim of this study was to test the validity of the velocity decay method by comparing the passive drag coefficient (D) calculated from the velocity decay test with D from towing tests. To estimate passive drag from the decelerating phase correctly, the added mass effect was taken into account.

**METHODS:** 24 subjects (6 women, 9 boys and 9 men) carried through an underwater oscillation decay test to find the subjects added mass. The subjects were then passively towed in a towing tank at five different velocities (1.5, 1.9, 2.3, 2.7, and 3.1 m/s<sup>-1</sup>). D values were calculated by dividing the towing force by velocity squared. Finally, in a prone position with arms above their heads the subjects pushed off from the wall before passively gliding to a stop. The gliding velocity decay was measured. A Matlab routine seeking the least sum of squares was run through the velocity data,  $v(t)$ , and estimated D and the velocity immediately after push of ( $v_0$ ) from:  $v(t) = v_0 / ((Dv_0t/mv) + 1)$ , where  $mv$  is the virtual mass (the sum of the mass of the subject and the added mass). Mean D values from the five towing velocities and D values estimated from the velocity decay test were compared by a paired t-test.

## VARIABILIDADE EM VARIÁVEIS CINEMÁTICAS DO SALTO EM DISTÂNCIA DE ATLETAS BRASILEIROS DE ALTO NÍVEL

Jerusa P.R. Lara, Márcio Vianna Prudêncio, Milton Misuta, Sergio A.Cunha, Luciano A. Mercadante e Ricardo M. L. Barros.

Faculdade de Educação Física – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.

e-mail: [jprlara@yahoo.com.br](mailto:jprlara@yahoo.com.br)

Introdução: A biomecânica visa identificar e avaliar as variáveis biomecânicas e suas variabilidades que tenham influência sobre o desempenho. Objetivo: O objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade em variáveis cinemáticas tridimensionais nos saltos em distância de atletas brasileiros de alto nível. Metodologia: Os dados foram coletados em cinco edições do Grande Prêmio de Atletismo, realizadas no Brasil no ano de 2008. Cinco saltos do atual campeão olímpico e cinco saltos da atual campeã olímpica em salto em distância foram analisados. Neste estudo, a fase de decolagem do salto (takeoff) foi analisada com os registros feitos por duas câmeras digitais com frequência de aquisição de 60 Hz, posicionadas dentro da pista ao longo do corredor de salto. O sistema Dvideo (Figuroa et al., 2003) foi usado para a análise cinemática 3D. Dezoito pontos foram manualmente digitalizados em cada uma das imagens dos vídeos gerados por cada câmera. A trajetória do centro de massa do atleta foi calculada usando o modelo antropométrico proposto por Zatsiorsky e Seluyanov (1990). Os dados foram suavizados usando um filtro digital de 3<sup>rd</sup> com frequência de corte igual a 8 Hz. A partir da trajetória do centro de massa foram calculadas as variáveis cinemáticas: velocidade horizontal do centro de massa no instante de entrada na tábua ( $V_{TX}$ ), ângulo entre o vetor velocidade do centro de massa e a horizontal ( $a_0$ ), altura do centro de massa no instante de saída na tábua ( $h_0$ ), velocidade horizontal do centro de massa no instante de saída da tábua ( $V_{0X}$ ) e velocidade vertical do centro de massa no instante de saída da tábua ( $V_{0Z}$ ). A variável D corresponde a distância oficial do salto. Foi calculado o coeficiente de variação (CV, desvio-padrão/média), para os cinco saltos de cada atleta, para todas as variáveis (valores em percentual), a fim de analisar a variabilidade. Resultados: Os coeficientes de variações (CV) para as variáveis foram: Masculino  $CV_{V_{0Z}}=17.2$ ;  $CV_{a_0}=5.1$ ;  $CV_{V_{0X}}=2.8$ ;  $CV_D=1.8$ ;  $CV_{V_{TX}}=1.4$  e  $CV_{h_0}=0.4$  e Feminino:  $CV_{V_{0Z}}=10.4$ ;  $CV_{V_{0X}}=8.0$ ;  $CV_{a_0}=5.3$ ;  $CV_{h_0}=3.9$ ;  $CV_{V_{TX}}=2.0$  e  $CV_D=1.4$ . Podemos observar que a variabilidade da distância saltada pelos atletas analisados é similar à encontrada na literatura ( $CV_D = 1.6$  e  $1.7$ ). A maior variabilidade foi encontrada na velocidade vertical de saída da tábua, para ambos os atletas, sendo até dez vezes maior que a variabilidade da distância saltada. O ângulo de saída e a velocidade horizontal de saída da tábua também apresentaram valores superiores à variabilidade da distância saltada. Conclusão: Os resultados sugerem que os atletas devem buscar controlar as variáveis de saída da tábua, buscando reduzir a sua variabilidade e atingir seus valores ótimos.