

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA

**USO DE ACELERÔMETROS PARA A AVALIAÇÃO DO
ANDAMENTO DE EQUINOS MARCHADORES**

Mitzem Sathler Bretas

Belo Horizonte - MG

2010

Mitzem Sathler Bretas

**USO DE ACELERÔMETROS PARA A AVALIAÇÃO DO ANDAMENTO DE
EQUINOS MARCHADORES**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Zootecnia.

Área: Genética e Melhoramento Animal

Orientador: Prof. Dr. José Aurélio Garcia Bergmann

Belo Horizonte - MG

2010

Bretas, Mitzem Sathler, 1978-

B844u Uso de acelerômetros para a avaliação do andamento de equinos marchadores / Mitzem Sathler Bretas. – 2010.

46 p. : il.

Orientador: José Aurélio Garcia Bergmann

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária.

Inclui bibliografia

1. Mangalarga (Cavalo) – Teses. 2. Cavalo marchador – Teses. 3. Cavalo – Passos, andamento, etc. – Teses. 4. Acelerômetros – Teses. I. Bergmann, José Aurélio Garcia. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. III. Título.

CDD – 636.108

Meus sinceros agradecimentos:

A UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais,

Ao meu orientador Professor Dr. José Aurélio Garcia Bergmann, ao meu Co-orientador Professor Dr. Hans Joachim Karl Menzel, ao amigo e Professor Dr. André Gustavo Pereira de Andrade,

A Professora Adalgiza Souza Carneiro de Rezende pela confiança e incentivo desde o início na Graduação e Iniciação Científica e início da vida como docente,

Ao Professor Geraldo Eleno Silveira Alves pelo bom exemplo de vida dedicada aos estudos.

Ao amigo e Professor Alessandro Moreira Procópio pela amizade e exemplo,

Ao Professor Marcos Pinotti Barbosa da Escola de Engenharia da UFMG ao amigo e pesquisador Alexandre Gonçalves Teixeira da Bios Engenharia.

A secretaria de Pós Graduação em Zootecnia da UFMG, em especial a amiga Heloisa Estevão da Silva.

A meu Professor Silvio Batista Piotto Júnior pela amizade, confiança e incentivo.

Aos meus queridos alunos da UNIPAC Bom Despacho pelo apoio e constante incentivo.

Aos meus colegas e Professores da UNIPAC Bom Despacho, Carolina Vianna Freitas e Bruno Divino Rocha

A Hippus Equoterapia e equipe, ao Haras Porto Rico, Haras Fórum, Haras Flávia, Haras Yuri e Equipe CTE – Mello Vianna.

A meus amigos Marcos Travassos (in memoriam), Regina Maria Santiago, Cátia Nascimento, Eduardo Bastianeto, Fernando Souza, Layse Midori Sasaki e ao Fernando Henrique Ceará.

A meus colaboradores e criadores de cavalos da ABCCMM.

Ao Fernando Mello Vianna – CTE Mello Vianna.

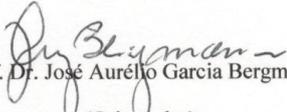
A toda Equipe VET – Veterinary Equine Team, em especial ao amigo Guilherme Nunes Assis.

A minha esposa Patrícia Roldão de Araújo por todo o equilíbrio e apoio.

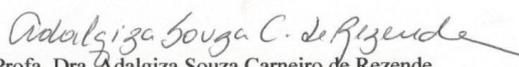
A meus familiares por todo apoio, em especial a minha mãe Vera, minha irmã Layla, tia Lela e Sylvio (in memoriam).

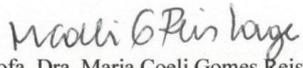
In Memoriam a vó Ruth pelo exemplo de Vida e Dedicção.

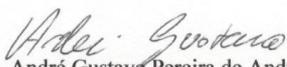
Tese defendida e aprovada em 27 de maio de 2010, pela comissão examinadora constituída por:


Prof. Dr. José Aurélio Garcia Bergmann
(Orientador)


Prof. Dr. Hans Joachim Karl Menzel


Profa. Dra. Adalgiza Souza Carneiro de Rezende


Profa. Dra. Maria Coeli Gomes Reis Lage


Prof. Dr. André Gustavo Pereira de Andrade

RESUMO**ABSTRACT**

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA | 14 |
| 2.1. Biomecânica e andamento dos equinos | 14 |
| 2.2. O uso de acelerômetros em equinos | 18 |
| 2.3. A marcha dos equinos | 19 |
| 2.4. Quesitos de avaliação da marcha | 21 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 23 |
| 3.1. Animais do estudo e ambiente de coleta de dados | 23 |
| 3.2. Dispositivo eletrônico e equipamentos auxiliares | 24 |
| 3.3. Captura de dados e repetições | 29 |
| 3.4. Tratamento dos dados | 29 |
| 3.5. Estatística | 32 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 33 |
| 4.1. Análises descritivas das notas dos quesitos avaliados e integrais | 33 |
| 4.2. Análises descritivas das velocidades | 35 |
| 4.3. Correlações de <i>Spearman</i> | 35 |
| 4.4. Correlações canônicas e representações gráficas | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 4.5. Análises descritivas das separações por grupos | 40 |
| 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES | 42 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 43 |
| 7. APÊNDICE | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Médias, desvios-padrão, valores mínimos e máximos e coeficientes de variação (CV) dos 46 animais analisados | 34 |
| Tabela 2: Descritiva dos fatores de vibração representados por seus valores integrais, nos eixos X (Antero-posterior), Y (Latero-medial) e Z (Ventre-dorsal), e integral resultante dos 46 animais analisados | 34 |
| Tabela 3: Correlações entre os resultados dos quesitos avaliados e os resultados do dispositivo eletrônico, representados pelos valores integrais | 36 |
| Tabela 4: Resultados descritivos dos quesitos avaliados, dos grupos superior e inferior | 40 |
| Tabela 5: Resultados descritivos dos fatores de vibração, representados pela integral X, Y e Z, e integral resultante, dos grupos superior e inferior | 41 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Representação do diagrama de marcha em oito sequências de apoios. **20**
- Figura 2: Medidor de Impacto Equino. **25**
- Figura 3: “Software” ou Aplicativo Medidor de Impacto Equino. Para coleta de dados **26**
- Figura 4: Computador portátil, chave de Bluetooth, Medidor de Impacto Equino, pilhas recarregáveis e recarregador. **26**
- Figura 5: Fixação do Medidor de Impacto Equino na parte posterior da manta padronizada **27**
- Figura 6: Medidor de Impacto Equino fixado na parte posterior da manta padronizada, apontado pela seta. **27**
- Figura 7: Animal devidamente arreado, com cabeçada, embocadura, sela australiana padronizada. Manta única, com o Medidor de Impacto Equino acoplado na parte posterior, indicado pela seta. **28**
- Figura 8: Desenho da pista de coleta de dados do Medidor de Impacto Equino. Apresentando 20m de comprimento por 8 m de largura. Sendo 1: Pista demarcada de 10 metros; 2: posicionamento do computador portátil e avaliador; 3: cones demarcatórios; 4: trajetória de marcha dos animais e 5: demarcação do limite da pista total. **28**
- Figura 9: Representação do resultado de uma série temporal, interpolada para 250 pontos, nos eixos X (Antero-posterior), Y (Latero-medial) e Z (Ventro-dorsal), exemplificando uma passagem do animal número 10. **30**
- Figura 10: Representação do resultado de uma série temporal, interpolada para 250 pontos, no eixo X (Antero-posterior), exemplificando uma **30**

passagem do animal número 10.

Figura 11: Representação do resultado de uma série temporal, interpolada para 250 pontos, no eixo Y (Latero-medial), exemplificando uma passagem do animal número 10. **31**

Figura 12: Representação do resultado de uma série temporal, interpolada para 250 pontos, no eixo Z (Ventre-dorsal), exemplificando uma passagem do animal número 10. **31**

Figura 13: Representação gráfica da distribuição dos animais após o cálculo das correlações canônicas e formação de auto-vetores V1 e W1. **38**

Figura 14: Representação gráfica da distribuição dos animais após o cálculo das correlações canônicas e formação de auto-vetores V1 e W1, verifica-se a formação de um grupo superior, acima da reta, e um grupo inferior, abaixo da reta **39**

RESUMO

Atualmente existe a necessidade de aprimorar as técnicas de avaliação dos andamentos dos equinos. Desenvolveu-se um dispositivo eletrônico, chamado Medidor de Impacto Equino, para análise da marcha dos equinos e realizou-se uma análise comparativa, entre os resultados do dispositivo e as notas dos quesitos de avaliações subjetivas de um único avaliador. Utilizou-se 46 equinos, montados, com sela e manta padronizada. Obteve-se, na marcha quatro passagens de cada animal, totalizando 184 passagens. O tratamento matemático dos dados foi realizado, analisando as séries temporais de cada passagem, por animal, em cada eixo X (antero-posterior), Y (antero-medial) e Z (dorso-ventral), pelo dispositivo eletrônico. Calculou-se a curva média por eixo, de cada animal e interpolou-se as séries temporais para 250 pontos. Dos três eixos, X, Y e Z, calculou-se seus valores integrais e também um valor integral resultante por animal. Foram calculadas estatísticas descritivas, médias, desvios-padrão, valores mínimos e máximos e coeficientes de variações, para todas as variáveis, realizou-se estudo de correlações de *Spearman* entre todas as notas dos quesitos da marcha e os resultados obtidos pelo dispositivo eletrônico após tratamento matemático, estudo das correlações canônicas e separação dos animais por grupos. Existem correlações entre os quesitos avaliados na marcha de elevada magnitude, sendo maiores entre gesto e comodidade, de 0,90. Entre os quesitos da marcha e os valores integrais X, Y, Z e integral resultante, as correlações foram também de elevada magnitude, sendo maiores entre a comodidade e integral Z, de -0,66 e comodidade e integral resultante, de -0,73, demonstrando que os animais mais cômodos têm tendência de menores vibrações na integral Z (dorso-ventral) e integral resultante. As correlações entre os valores integrais X, Y, Z e integral resultante, foram elevadas entre a integral Z e integral resultante, de 0,85, representando que a integral Z contribui em maior proporção para a formação da integral resultante e contribuem para validação do equipamento. As correlações canônicas possibilitam a formação de auto-vetores V1 e W1, que representam as equações da combinação linear para os fatores de vibração e os quesitos avaliados na marcha. A correlação canônica foi de 0,83, com 69% de explicação na variação dos dados, sendo também eficaz para validação do dispositivo eletrônico e possibilitando a separação de grupos de animais superiores e inferiores e sua análise descritiva.

Palavras-chave: Cavalos, acelerômetros, marcha e comodidade.

ABSTRACT

Currently there is a need to improve techniques for evaluating the movements of horses. Developed an electronic device, called the Impact Meter Equine for gait analysis of horses and has been a comparative analysis between the results of the device and the scores of questions of subjective evaluations of a single assessor. We used 46 horses, mounted, with saddle blanket and patterned. Was obtained in the march four passages of each animal, totaling 184 passages. The mathematical treatment of data was performed by analyzing the time series of each passage for each animal in each axis X (antero-posterior), Y (lateral-medial) and Z (dorso-ventral), the electronic device. We calculated the mean curve for each axis, of each animal and interpolated to the time series for 250 points. Of the three axes, X, Y and Z, it was estimated their integral values and also a resulting integral value per animal. Descriptive statistics were calculated, means, standard deviations, minimum and maximum values and coefficients of variation for all variables, the study was conducted Spearman correlations between all the notes of the requirements of the march and the results obtained by the electronic device after treatment mathematical study of canonical correlations and segregation of animals into groups. There are correlations between the items evaluated in the march of high magnitude, being largest between gesture and convenience, 0,90. Among the questions the march and the integral values X, Y, Z, and full results, correlations were also of high magnitude, being largest between convenience and integral Z, -0,66 and convenience and complete result of -0,73, showing that animals tend to become more comfortable in smaller vibrations integral Z (dorso-ventral) and resulting integral. The correlations between the integral values X, Y, Z, and resulting integral, were high between the Z integral and integral resulting from 0,85, representing that the integral Z contributes proportionally more to the formation of the resulting integral and contributing to the validation equipment. The canonical correlations allow the formation of self-vectors V1 and W1, which represent the combination of linear equations for the factors of vibration and the criteria evaluated in the march. The canonical correlation was 0,83, with 69% explanation of variation in data, is also effective for validating the electronic device and enabling the separation of groups of animals above and below and its descriptive analysis.

Keywords: Horses, accelerometers, gait and comfort.

1. INTRODUÇÃO

A reintrodução dos cavalos na América ocorreu no Caribe, na Ilha de Santo Domingo, em 1493, por Cristóvão Colombo. Posteriormente, foram trazidos animais de origem espanhola e ibérica, pelos colonizadores espanhóis e portugueses, para o restante do continente.

Em 1549, Thomé de Souza introduziu, na Bahia, equinos trazidos de Cabo Verde (Torres e Jardim, 1984). No ano de 1541, os primeiros cavalos Andaluzes foram introduzidos para o Brasil pelos colonizadores portugueses. Depois disso, por um longo período, nada mais foi registrado sobre a introdução destes equídeos no Brasil. Somente a partir de 1808, ocorreu a entrada dos tradicionais cavalos selecionados pela Real Coudelaria de Alter da Família Real Portuguesa, que se transferiu para o Brasil devido à invasão Napoleônica na Península Ibérica.

O cavalo tem sido utilizado no mundo para as mais diversas finalidades, como na tração de carruagens, no transporte de cargas, nos esportes hípicas, na equoterapia, na lida com o gado e para fins militares. Nos esportes, sua utilização abrange as mais diversas atividades, como o salto, as provas de baliza e tambores, o adestramento, o turfe e em várias diversas modalidades olímpicas, como o Concurso Completo de Equitação. Nas últimas décadas, o cavalo vem sendo amplamente empregado nas atividades de lazer com apelo ecológico, em que o homem, buscando uma forma de reduzir o estresse da vida urbana e retornar ao campo, busca o contato com o animal. O crescimento da equideocultura nacional nesta área é promissor, pois, no Brasil, se encontram as melhores raças de equinos para estes fins, as raças de cavalos marchadores.

É necessário o aprimoramento das técnicas de avaliação do andamento dos equinos, pois muito do que tem sido feito resulta da apreciação subjetiva do avaliador. Os métodos usados para investigar a locomoção animal são semelhantes àqueles empregados no estudo da biomecânica e da fisiologia do esforço humano, como o registro dos movimentos por meio de câmeras cinematográficas especiais acopladas a computadores, acelerômetros, plataformas de força e a eletromiografia de grupos musculares específicos (Nascimento, 1999).

A evolução das raças Mangalarga Marchador e Mangalarga tem ocorrido com base em observações quase sempre empíricas de seus criadores, bem como de técnicos e árbitros nos julgamentos das exposições. Poucas são as pesquisas com o objetivo de auxiliar a avaliação funcional objetiva e a seleção dos animais, existindo, inclusive, certo distanciamento entre

criadores e profissionais da área de melhoramento animal. Maior atuação nesse campo é necessária, além da aproximação entre os diversos segmentos envolvidos no desenvolvimento da equideocultura.

Devido ao grande número de questionamentos quanto às particularidades da dinâmica da marcha, é crescente a preocupação e o apoio de criadores e associações de raças, na busca do conhecimento para esta importante característica.

O objetivo deste trabalho foi o de desenvolver um dispositivo eletrônico para a avaliação objetiva da marcha dos equinos e de validar este dispositivo por meio da análise comparativa com as notas dos quesitos de avaliações subjetivas atualmente utilizadas em cavalos marchadores.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Biomecânica e andamento dos equinos

A biomecânica é uma disciplina científica que estuda os movimentos dos animais utilizando termos, métodos e leis da mecânica. As bases da descrição biomecânica são a cinematografia e a dinamografia, que são caracterizadas por sua exatidão, diferenciação e se limitam exclusivamente à descrição de fenômenos (Menzel, 1999). Seu estudo contribui para a definição de um tipo físico ideal para cada trabalho ou esporte e se torna extremamente importante para as raças equinas nacionais, pois são poucos os estudos com essa abordagem.

Em 1873, Marey citado por Vilela Júnior (2009), realizou os primeiros testes para a análise do trote por meio de um sistema com sensores ligados por fios e localizados nos membros de cavalos, que resultava em representação gráfica do apoio dos membros quando esses tocavam o solo.

Por meio da análise de vídeo, Smith (1996) analisou as transições entre andamentos de quatro para dois tempos, de dois para três tempos e de lento para rápido. Husnni *et al.* (1996) avaliaram 104 cavalos da raça Mangalarga Marchador objetivando estudar a interferência das claudicações na dinâmica da locomoção. Por meio da análise de fitas de vídeo, observando-se as imagens quadro a quadro, os autores descreveram a sequência de apoios dos membros em

duas passadas completas. Os animais foram classificados em oito grupos distintos, conforme a caracterização de seus apoios. O trabalho demonstrou a existência de variação no andamento em relação à marcha ideal, proposta pela respectiva associação de criadores, com alterações variando entre o trote e a andadura.

Utilizando filmadora de alta velocidade (500 Hertz) e marcadores colados no corpo do animal, Barrey (1999) introduziu um método de mensuração, suas aplicações para a avaliação da locomoção equina e algumas variáveis que deveriam ser levadas em consideração. A locomoção foi definida como a expressão mecânica da atividade física. Para a realização desta, o organismo requer sinergia entre vários sistemas que estão funcionalmente interligados pelo sistema nervoso. Na análise da locomoção utiliza-se a cinética ou dinâmica, que é o estudo da causa do movimento e está relacionada à força aplicada ao corpo e sua distribuição de massa e dimensões. A cinética envolve aplicação de força, aceleração, energia e trabalho e suas relações com as variáveis da cinemática. A cinemática estuda a mudança de posição dos segmentos corporais durante um período de tempo. Os movimentos são descritos quantitativamente por variáveis temporais lineares e angulares, como, por exemplo, o deslocamento, a velocidade e a aceleração (Barrey, 1999). Entre algumas condições para análise, Barrey (1999) destacou o condicionamento do animal, a padronização da pista, além da utilização de terminologia única para a descrição dos movimentos.

Quando o cavalo se locomove, o centro de gravidade sofre deslocamentos para frente, para os lados e para cima. Para frente, graças à progressão do tronco; para os lados, quando há mudança de apoio entre os bípedes laterais; e para cima, por causa da flexão e extensão, acentuando-se este, quando há momento de suspensão. Neste caso, as reações são ásperas, ao contrário, das reações suaves dos andamentos marchados. A intensidade das reações depende da capacidade amortecedora dos cascos, dos ângulos articulares, das quartelas e das escápulas, da resistência do solo e de outros fatores inerentes, ou não, à organização morfomecânica e morfofisiológica do cavalo (Nascimento, 1999). Este autor destacou a necessidade do aprimoramento das técnicas de avaliação do andamento dos equinos, pois muito do que vinha sendo feito resulta da análise subjetiva do avaliador.

A avaliação dos equinos para a inclusão, ou não, nos registros das associações de raças passa pelo olhar experiente de um avaliador, que analisa o andamento do animal utilizando a mera observação, sendo essa avaliação, portanto, subjetiva (Back e Clayton, 2001). A aplicação de técnicas objetivas de avaliação do andamento dos equinos é crescente, evoluindo para a área

da análise cinemática, da eletromiografia e dos modelos computadorizados. Ainda, a utilização de esteiras para a coleta de informações consiste em moderna forma de avaliar o andamento dos equinos. Assim, análises quantitativas do andamento são aplicadas com sucesso para o diagnóstico de problemas locomotores. Para realização de análises cinemáticas estão sendo utilizados videografias combinadas com aplicativos computacionais e sistemas optoeletrônicos que trabalham com emissão infravermelho. Para as análises videográficas é necessária a colocação de marcadores reflexivos, sendo que a maioria dos programas computacionais apresenta digitalização automática desses pontos. Quando isto não é possível, os programas permitem a digitalização e a correção manual (Clayton e Schamhardt, 2001).

As pesquisas mais recentes buscam identificar pontos anatômicos de fácil identificação para tomada de medidas lineares e angulares, e também pontos de colocação dos marcadores adesivos reflexivos para análises biomecânicas (Bretas *et al.*, 2003). O uso destes marcadores pode gerar pequenos erros na análise, pois os marcadores são fixados na pele do animal, e as vibrações, principalmente de animais com acúmulo de gordura corporal, são captadas, sendo necessário, nestes casos, o uso de modelos estatísticos para correção dos dados em análise (Van Weeren *et al.*, 1992).

A análise cinemática pode ser feita em duas ou três dimensões. Em duas dimensões são avaliadas imagens em movimento, estudando o comportamento dos segmentos do corpo. Em três dimensões, o procedimento é mais complexo, necessitando da calibração espacial do movimento (Clayton e Schamhardt, 2001). Muitos programas computacionais para análises videográficas estão disponíveis para análises cinemáticas. Dentre eles Clayton e Schamhardt (2001) citam o *Ariel Performance Analysis System* (Ariel Dynamics Inc.,CA), o *ExpertVision* (Motion Analysis Corp.CA) e o *Peak Performance System* (Peak Performance Technologies Inc.,CO).

Pesquisas recentes têm utilizado o Simi Motion (2003). Com módulos cinemáticos de duas ou três dimensões, o aplicativo suporta acoplagem com câmeras de alta velocidade, eletrodos para eletromiografia (EMG), plataformas de força, mensurações isoladas e outros serviços. O aplicativo possibilita a compreensão da funcionalidade da locomoção animal, sendo importante ferramenta para a análise do movimento na medicina veterinária e em pesquisas de biomecânica.

Para mensurar a velocidade dos animais são utilizados fotocélulas acopladas ao computador, ou o próprio programa, como o Simi Motion (Procópio, 2005), que permite, por meio de gráficos, obter o deslocamento em função do tempo.

As avaliações com uso de câmeras de alta velocidade simplificam o processo da análise quantitativa da locomoção. Câmeras que filmam com resoluções de 250 a 1.000 Hertz (imagens por segundo) são necessárias para quantificar eventos de curta duração nos animais (Linford, 1994). Já a eletromiografia detecta atividades associadas à contração muscular e busca determinar a atividade presente durante diferentes atividades físicas (Clayton e Schamhardt, 2001; Perrelli, 2001). A acuidade dos resultados possibilita estudos visando determinar o centro de gravidade e os parâmetros biomecânicos da locomoção (Buchner, 2000).

As pesquisas sobre o andamento dos equídeos provêm, em quase sua totalidade, de raças estrangeiras, com características distintas das observadas nas raças marchadoras nacionais. Observa-se grande variação dos atributos da marcha nestas raças, tornando-se, hoje, um foco de discussão. Desta forma, existe uma lacuna no que diz respeito ao conhecimento e à caracterização do andamento marchado dos equinos nacionais, a avaliação dos mecanismos envolvidos e sua herança. O Brasil constitui-se no principal detentor do patrimônio genético da marcha equina, sendo de fundamental importância a busca do conhecimento à cerca dela (Procópio, 2005).

Lage (2001) estudou características morfométricas e o padrão de deslocamento de animais da raça Mangalarga Marchador e suas associações com a qualidade da marcha, utilizando equipamento de vídeo VHS (16Hz) e analisando imagens quadro a quadro. Em suas conclusões, a autora cita que a análise das imagens digitalizadas indicou que a cinematografia da movimentação dos animais pode também servir como método de julgamento da marcha. Além disso, estas análises permitiram estabelecer os parâmetros biomecânicos do andamento dos cavalos que são úteis na prévia escolha de animais.

Avaliações cinemáticas, por meio de câmera de alta resolução (250 imagens por segundo) e do programa computacional Simi Motion, foram realizadas em animais da raça Mangalarga Marchador por Procópio (2005), abrindo uma linha de estudos que contribui para a descrição dos tipos de andamento encontrados nos animais e com desdobramentos para a implantação de programas de melhoramento para a característica marcha.

Bretas (2006) analisou as correlações entre a morfometria e os resultados apresentados em análises cinemáticas da marcha da raça Campolina. Por meio de filmagem padronizada com câmera de alta frequência acoplada a computador, o autor obteve informações sobre a cinemática da marcha, além de 28 medidas morfométricas que contribuíram para a avaliação da locomoção e seleção dos animais.

Christovão (2006) investigou a aplicação de uma metodologia para análise cinemática tridimensional do movimento de equinos em esteira rolante. Foram obtidas variáveis lineares, como o posicionamento e deslocamento vertical da cabeça, cernelha e garupa, tempo de apoio e de suspensão dos membros. Este método ainda permitiu avaliar as alterações dos movimentos da cabeça e dos membros de animais não claudicantes e claudicantes.

Andrade (2009) estudou o padrão da marcha de equinos, com o uso de técnicas de cinemática e formação de modelos de redes neurais artificiais, diferenciando racialmente os animais. Também foram realizadas avaliações para identificar as angulações que melhor definiam variáveis do andamento dos animais.

A evolução das pesquisas sobre a biomecânica do andamento dos animais é marcante. Evidencia-se que a aplicação de novas técnicas para a quantificação dos parâmetros da marcha, por meio do uso de dispositivos e componentes computacionais, sendo uma alternativa para o auxílio às pesquisas e, conseqüentemente, na aplicação ao melhoramento animal.

2.2. O uso de acelerômetros em equinos

O uso de sensores de movimento ou acelerômetros é corriqueiro nas engenharias, servindo de forma confiável como medidor de vibrações, inclinações e das forças atuantes em equipamentos e motores. Também a indústria utiliza, de forma freqüente, os acelerômetros, para avaliar as vibrações (Gomes *et al.*, 2009).

Alguns estudos foram feitos com a aplicação de acelerômetros em equinos de raças estrangeiras, mas não foram encontradas pesquisas nas raças nacionais com foco no uso desta tecnologia para quantificar e aprimorar as formas de avaliações dos animais.

Os acelerômetros possibilitam a mensuração da vibração da superfície ao qual está acoplado. Barrey *et al.* (1991), utilizando acelerômetros na parede dos cascos dos equinos, determinaram o instante inicial de contato dos cascos com o solo e associaram a mensuração da aceleração às vibrações nas estruturas do membro. O uso dos acelerômetros é eficiente para determinar características que ocorrem nos membros dos equinos, podendo definir claramente os momentos de apoio dos cascos no solo e servindo também como parâmetro para identificação de animais com problemas, principalmente claudicações. Os acelerômetros também foram utilizados para avaliar a absorção do choque dos cascos com o solo, com diferentes tipos de ferraduras, com o objetivo de identificar os melhores materiais para o ferrageamento e prevenção de lesões nos membros (Benoit *et al.*, 1991).

Barrey *et al.* (1994), em outro estudo, aplicaram dois acelerômetros em equinos, fixando os dispositivos por uma fita elástica na região do esterno dos animais e mediram as acelerações que chegavam ao tronco, longitudinais e dorsoventrais. De forma semelhante, Barrey e Galloux (1997) correlacionaram a eficiência do salto com o deslocamento dorsoventral e a características dos membros dos animais, incluindo a coordenação dos anteriores e posteriores.

Barrey e Desbrosse (1996), utilizando acelerômetros, detectaram assimetrias nos movimentos do tronco de animais claudicantes e, posteriormente, Barrey e Galloux (1997) utilizaram o mesmo método para descrição das vibrações que chegam ao tronco de cavalos de salto, durante um percurso com obstáculos. Galloux *et al.* (1994) utilizaram acelerômetros tridimensionais fixados à sela de animais de salto e descreveram as vibrações nos movimentos dos animais nas diferentes formas de andamento, passo, trote, galope e salto.

Nas raças equinas nacionais ainda não foram descritos estudos com o uso de acelerômetros, sendo, portanto uma nova linha de pesquisa que tende a crescer e a beneficiar a equideocultura nacional.

2.3. A Marcha dos equinos

A marcha apresenta algumas variações em sua descrição sendo algumas até conflitantes, de acordo com Procópio (2005). Pode-se dizer, que a marcha é um andamento natural, podendo também ser artificial, marchado, simétrico quando de boa qualidade, com apoios laterais e

diagonais, apresentando quatro tempos. Seus movimentos e apoios são dos bípedes laterais e diagonais, intercalados por tripedais, devido à dissociação dos membros, conforme diagrama apresentado na FIG. 1. Suas reações são suaves com pouco deslocamento de centro de gravidade. O comprimento da passada está próximo a 2 metros e a velocidade entre 12 e 14 quilômetros por hora (Nascimento, 1999).

Existem grandes variações neste complexo andamento, que podem ser simplificadas com a definição de marcha picada ou lateralizada, em que os membros se movimentam com os bípedes em laterais, aproximando-se em extremos à andadura. A marcha batida, por outro lado, apresenta predomínio dos bípedes em diagonal, com seus extremos aproximando-se do trote. Deve-se salientar que o animal deve estar em permanente contato com o solo, pois isto é pré-requisito para a classificação do andamento marchado (Lage, 2001; Procópio, 2005; Bretas, 2006).

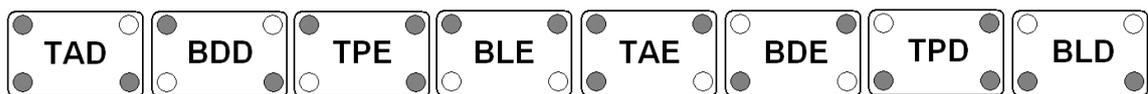


FIGURA 1: Representação do diagrama de marcha em oito seqüências de apoios.

TAD – Tríplice Anterior Direito;

BDD – Bipedal Diagonal Anterior Direito;

TPE – Tríplice Posterior Esquerdo;

BLE – Bipedal Lateral Esquerdo;

TAE – Tríplice Anterior Esquerdo;

BDE – Bipedal Diagonal Anterior Esquerdo;

TPD – Tríplice Posterior Direito;

BLD – Bipedal Lateral Direito.

2.4. Quesitos para a avaliação da marcha

Nas raças Mangalarga Marchador e Mangalarga os julgamentos dos equinos buscam avaliar as qualidades dos animais e o comparativo entre os grupos de animais apresentados nas diversas categorias durante as exposições oficializadas. Os quesitos de avaliação da marcha dos animais da raça Mangalarga Marchador descrevem, de uma forma mais clara, os parâmetros a serem observados. Entretanto, estes julgamentos são feitos de forma subjetiva. De acordo com a Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador (Regulamento..., 2007), nos julgamentos de marcha, os árbitros observam cinco itens distintos que facilitam e padronizam a avaliação.

Gesto de Marcha: é a qualidade de movimentos dos membros anteriores e posteriores e de seu diagrama de apoios, característicos da marcha. Pode-se compreender melhor o gesto de marcha ao dividir seu conceito em duas partes, diagrama e gesto. O diagrama é a representação gráfica da sequência dos apoios executados pelo animal, considerando a variação dos tempos de apoios diagonais, laterais e tríplexes. Na ocorrência do tríplex apoio, típico da marcha, observa-se nítida dissociação entre anterior e posterior numa mesma diagonal. A decomposição dos momentos da marcha faz com que este andamento tenha o diagrama de apoios semelhante ao do passo. Já o gesto propriamente dito, é caracterizado pelo andamento “rolado” dos membros anteriores e posteriores, flexionando-se bem e usando, de forma adequada, as articulações, para que o animal descreva um semicírculo com seus anteriores (perfil) e apresente um movimento de avanço e enérgico com os posteriores, com articulação nítida, porém suave, dos jarretes. O movimento rolado, principalmente executado pelos anteriores, é fundamental para que o casco toque o solo ainda com o membro semi flexionado, permitindo, assim, o amortecimento do choque proveniente da batida do casco no chão.

Comodidade: é o atributo que permite ao animal conduzir o cavaleiro sem lhe transmitir desconforto, avaliando-se “atritos”, temperamento, adestramento, equilíbrio e conformação. Ao se deslocar em marcha, o animal poderá transmitir ao cavaleiro “atritos” verticais, frontais e laterais, resultantes de limitações morfológicas e de seu diagrama de apoios. Estes “atritos” são indesejáveis por trazerem desconforto ao cavaleiro. Ainda, um cavalo para ser confortável precisa ter bom temperamento de sela. Se linfático, o animal precisa ser continuamente tocado pelo cavaleiro, o que não é confortável. Se sanguíneo ou nervoso, o animal trás desconforto,

impedindo a equitação descontraída. O cavalo de bom temperamento de sela apresenta-se sempre em atitude de atenção, porém calmo, dócil. Animais mal adestrados trazem desconforto ao cavaleiro. Um cavalo que apresente apoio pesado na embocadura, tracionando o cavaleiro pelas rédeas, impede a boa equitação. São também desconfortáveis os animais que não respondem bem aos comandos do cavaleiro, exigindo atitudes enérgicas e desgastantes. Também o equilíbrio faz parte da comodidade e está diretamente ligado à segurança. Se desequilibrado, o cavalo põe em risco o cavaleiro, que precisa estar atento para possível acidente. Alguns itens da conformação estão diretamente ligados a comodidade. Um cavalo com pouco arqueamento de tórax, por exemplo, dificulta o contato das pernas do cavaleiro com os costados do animal, tornam-se limitadas, assim, a segurança do cavaleiro e o uso das ajudas. É também desconfortável o cavalo obeso, que montado impede uma boa postura do cavaleiro sobre a sela.

Estilo: é o conjunto de características que dão ao cavalo um ar nobre, elegante, e que evidencia equilíbrio, firmeza e energia. Um cavalo com bom estilo assume, quando montado, uma condição dita “em atitude”. Para tal é preciso que tenha a nuca flexionada, mantendo a cabeça em um ângulo de 90 graus com o pescoço. Este, por sua vez, deverá estar em posição oblíqua, formando um ângulo próximo de 45 graus em relação ao solo. Um cavalo de bom estilo precisa ainda manter seu tronco estático, movimentando apenas seus membros, deve se deslocar com os aprumos alinhados, sem movimentos “parasitas”. É, ainda, indispensável estabilidade da garupa e das espáduas. Diz-se que os animais pouco estáveis nestas regiões, “torcem garupa” e “batem paletas”.

Rendimento: está diretamente ligado à amplitude de passadas e traduz-se pela capacidade de percorrer uma determinada distância com um menor número de passadas. O rendimento não deve ser confundido com velocidade. Para apresentar bom rendimento é fundamental que o animal esteja em atitude e equilibrado e que tenha boa impulsão, característica indispensável a qualquer cavalo de sela.

Regularidade: é a qualidade expressa pelo cavalo que marcha no mesmo ritmo e velocidade, do início ao final de um julgamento, sem alterar o seu gesto de marcha bem como os demais itens.

Reformulado recentemente, o regulamento geral para eventos da Regulamento... (2010), define que os itens para a avaliações dos animais montados ficam definidos como: gesto de marcha, estilo, comodidade e estabilidade, adestramento, rendimento e regularidade, aprumos

e articulações em dinâmica. A Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo da Raça Mangalarga (Regulamento..., 2009) define, para a raça Mangalarga, padrões semelhantes à raça Mangalarga Marchador para avaliação dos animais em marcha, avaliando-se também o passo, a “marcha trotada”, aprumos, galope e comodidade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Animais do estudo e ambiente de coleta de dados

A pesquisa foi realizada com informações de 46 animais de marcha batida, sendo 42 da raça Mangalarga Marchador e 4 da raça Mangalarga (20 machos, 14 fêmeas e 12 castrados), com idade média de 5,4 anos, sendo mínima 2,5 anos e máxima de 13 anos.

Os animais foram avaliados, de Setembro de 2009 a Janeiro de 2010, em pistas de terra batida demarcadas, nas propriedades participantes: Hippius – Centro de Equoterapia, em Bom Despacho; Haras Porto Rico, em Florestal; Haras Flávia, em Lagoa da Prata; Haras Fórum, em Pedro Leopoldo; CTE Mello Vianna, em Confins e Haras Visão, em Lagoa Santa, todas no Estado de Minas Gerais.

Os animais foram apresentados pelos cavaleiros e/ou treinadores devidamente arreados, com cabeçada, embocadura, sela australiana e manta padronizada única, para inspeção e ajustes do arreamento, orientações e devidas anotações sobre identificação dos animais, propriedade, uso e tipo de ferraduras e embocaduras e outras observações necessárias, em planilha apropriada, de acordo com o Apêndice I.

Para a coleta de dados, duas etapas foram estabelecidas. A primeira etapa foi a avaliação subjetiva visual da marcha e montaria dos animais, procedendo com as respectivas anotações na planilha apropriada conforme Apêndice I. A segunda etapa foi a coleta de dados com o dispositivo eletrônico acoplado a manta, em pista demarcada.

Para a primeira etapa, o cavaleiro e/ou treinador montado no animal iniciava a apresentação na pista da respectiva propriedade. Os animais montados passaram por cinco minutos de aquecimento e, posteriormente, 15 minutos de avaliações visuais, de acordo com ABCCMM (Chaves, 2007) nos cinco quesitos principais (gesto, estilo, comodidade, regularidade e

rendimento). Para tal, os animais foram pontuados nos quesitos, com notas de 0 (pior) a 10 (melhor). Ao final da desta primeira etapa totalizou-se 20 minutos de avaliações subjetivas. Um único avaliador, técnico credenciado pela ABCCMM e com notório conhecimento e prática de julgamentos de equinos marchadores pontuou todos os animais do estudo, de acordo com Apêndice I.

Posteriormente estes animais montados por seus respectivos cavaleiros e/ou treinadores passavam pela segunda etapa de avaliação, em pista demarcada, conforme FIG. 8, para coleta de dados pelo dispositivo eletrônico, ficando o avaliador com o computador portátil na parte central da pista. O piso era de terra batida, firme e plano, sendo, a pista, de 20 metros de comprimento por oito metros de largura, delimitada utilizando-se dez cones de silicone de 25 centímetros de altura. Na lateral, foi demarcada uma demarcada de 10 metros de comprimento por um metro de largura (FIG. 8).

3.2. Dispositivo eletrônico e equipamentos auxiliares

O desenvolvimento do método e do dispositivo eletrônico foi feito em parceria entre a Escola de Veterinária, Escola de Educação Física e Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG e a empresa Bios Serviços e Comercio Ltda. A UFMG é detentora da propriedade, e deu início ao processo de patenteamento do dispositivo eletrônico, para aprovação junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI.

O dispositivo eletrônico foi desenvolvido sobre três acelerômetros que geram sinais analógicos proporcionais à aceleração. Estes sinais passam por um sistema de ajustes que aplicam determinado ganho aos mesmos. Os sinais resultantes são interpretados por um conversor analógico/digital de 12 bits que transformam o sinal analógico resultante em um número para cada acelerômetro. Esta transformação ocorre em uma frequência 100 Hz (frequência de amostragem). O dispositivo eletrônico foi denominado de Medidor de Impacto Equino (FIG. 2).

Para a captura dos dados do dispositivo eletrônico, foi desenvolvido o aplicativo ou “*software*” denominado, Aplicativo Medidor de Impacto Equino, conforme a FIG. 3, que geram os dados brutos de aceleração e arquivam, automaticamente, em planilha de “*Excell*”,

no computador de captura, juntamente de outros dados (identificação do animal, proprietário, andamento, raça, sexo, tipo de piso e haras).

O dispositivo eletrônico apresenta uma chave de “*Bluetooth*”, modelo Bridge Controller, “CP2102 USB to UART”, apresentando conexão sem fio para acoplagem à computadores em portas “USB 2.0”. Utilizou-se um computador portátil (*notebook*), “*HP Pavilion tx1000 AMD Turion 4Ghz HD500G*”, para coleta dos dados gerados pelo dispositivo eletrônico.

A fonte de alimentação de energia do dispositivo eletrônico foi feita por três pilhas recarregáveis SONY AA / 2.500mAh cada, e o recarregador utilizado foi o modelo SONY Power Charge, BCG-34HLD4E para acoplagem de até 4 pilhas (FIG. 4).

Utilizou-se para a montagem dos animais sela modelo único tipo australiana completa e manta padronizada única com 85 x 85 centímetros com dois centímetros de espessura. Na face posterior da manta foi acoplado o suporte costurado com elásticos de seis centímetros e velcros, também de seis centímetros, para a fixação do dispositivo eletrônico (FIG. 5, 6 e 7).



FIGURA 2: Medidor de Impacto Equino.

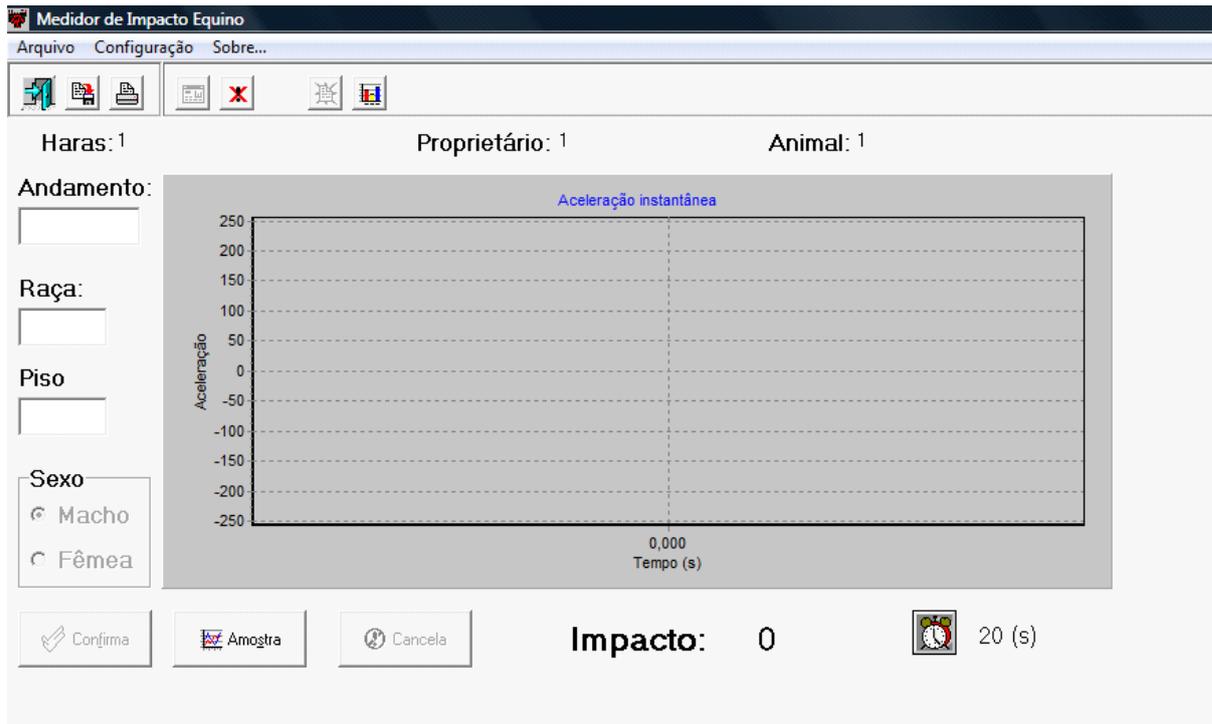


FIGURA 3: “Software” ou Aplicativo Medidor de Impacto Equino, para coleta dos dados.



FIGURA 4: Computador portátil, chave de Bluetooth, Medidor de Impacto Equino e pilhas recarregáveis e recarregador.



FIGURA 5: Fixação do Medidor de Impacto Equino na parte posterior da manta padronizada.



FIGURA 6: Medidor de Impacto Equino fixado na parte posterior da manta padronizada, apontado pela seta.



FIGURA 7: Animal devidamente arreado, com cabeçada, embocadura, sela australiana. Manta padronizada, com o Medidor de Impacto Equino acoplado na parte posterior, indicado pela seta.

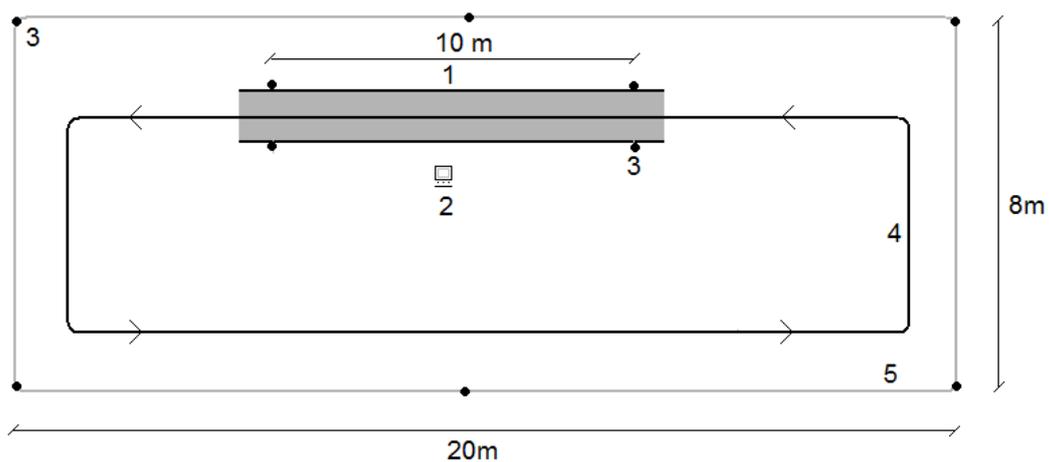


FIGURA 8: Desenho da pista de coleta de dados do Medidor de Impacto Equino. Apresentando 20m de comprimento por 8 m de largura. Sendo 1: Pista demarcada de 10 metros; 2: posicionamento do computador portátil e avaliador; 3: cones demarcatórios; 4: trajetória de marcha dos animais e 5: demarcação do limite da pista total.

3.3. Captura de dados e repetições

Para cada coleta do dispositivo eletrônico o animal montado pelo seu respectivo cavaleiro e/ou treinador, passava pela pista demarcada, inicialmente ao passo para adaptação às condições do experimento, Em seguida, o animal montado passava novamente por duas vezes em marcha, dando continuidade à adaptação e, posteriormente, dava-se início as capturas de dados pelo dispositivo eletrônico. Nesta etapa de marcha os cavaleiros foram orientados para passarem com seus animais em velocidade média, semelhante à apresentada durante os julgamentos nas pistas de exposições. Os 46 animais apresentaram quatro repetições de passagens, assim a coleta totalizou 184 passagens.

A velocidade de cada passagem foi calculada por meio do tempo (em segundos) gasto para percorrer dez metros da pista de captura do dispositivo eletrônico.

3.4. Tratamento dos dados

Os números resultantes dos acelerômetros foram capturados e convertidos em planilha “*Excell*” pelo “*Software*” Aplicativo Medidor de Impacto Equino. De cada animal e em cada um dos eixos, X (Antero-posterior), Y (Latero-medial) e Z (Ventre-dorsal), foi subtraída as médias dos valores obtidos, com o equipamento em repouso, gerando valores calibrados. Estes valores possibilitaram a formulação das interpolações, médias e integrais para as análises estatísticas.

A partir das quatro repetições de passagens, nos eixos X (Antero-posterior), Y (Latero-medial) e Z (Ventre-dorsal), foram criadas séries temporais médias para cada animal, em cada eixo (X, Y e Z), as quais foram interpoladas para 250 pontos, para uma padronização dos dados (FIG. 9, 10, 11 e 12).

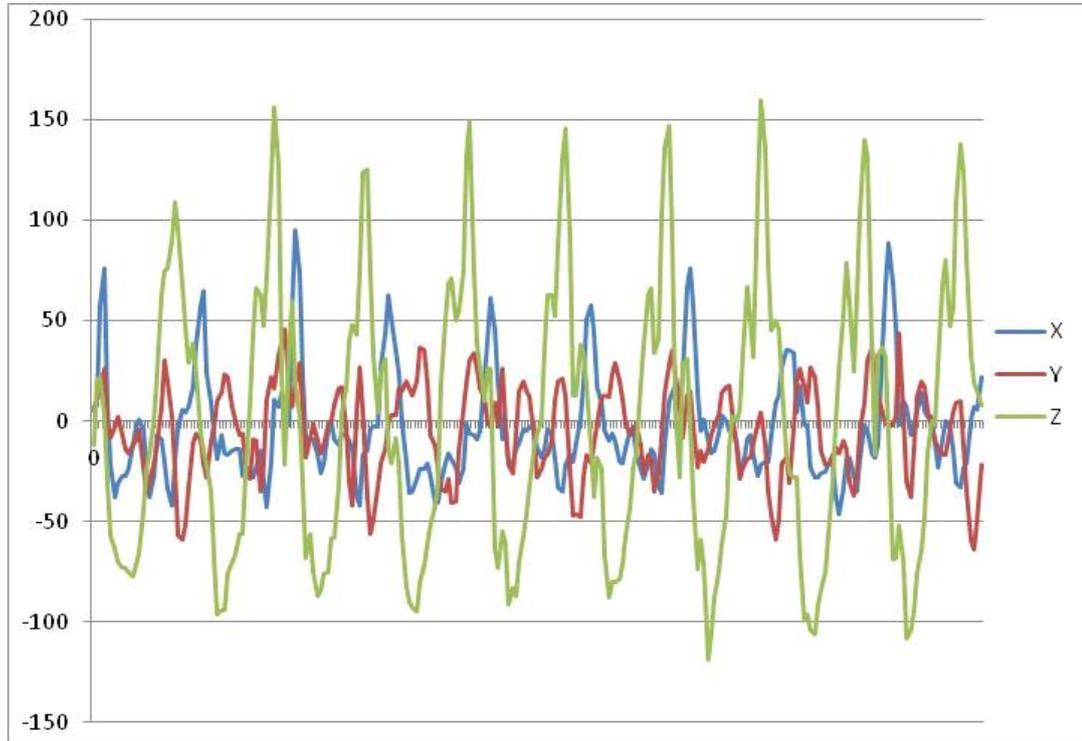


FIGURA 9: Representação do resultado de uma série temporal, interpolada para 250 pontos, nos eixos X (Antero-posterior), Y (Latero-medial) e Z (Ventro-dorsal), exemplificando uma passagem do animal número 10.

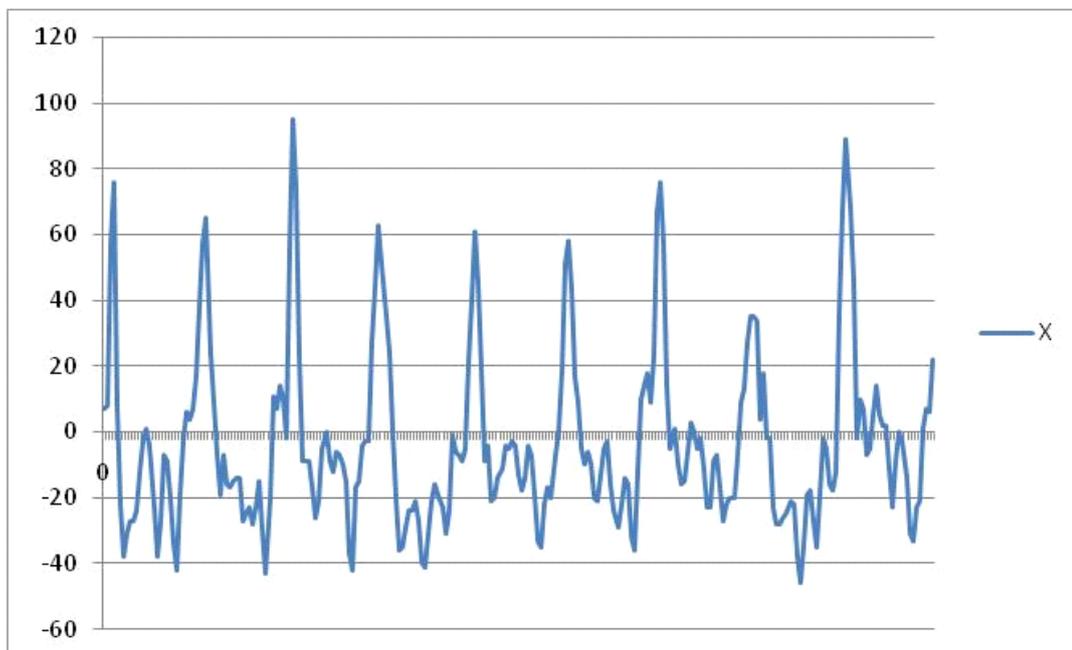


FIGURA 10: Representação do resultado de uma série temporal, interpolada para 250 pontos, no eixo X (Antero-posterior), exemplificando uma passagem do animal número 10.

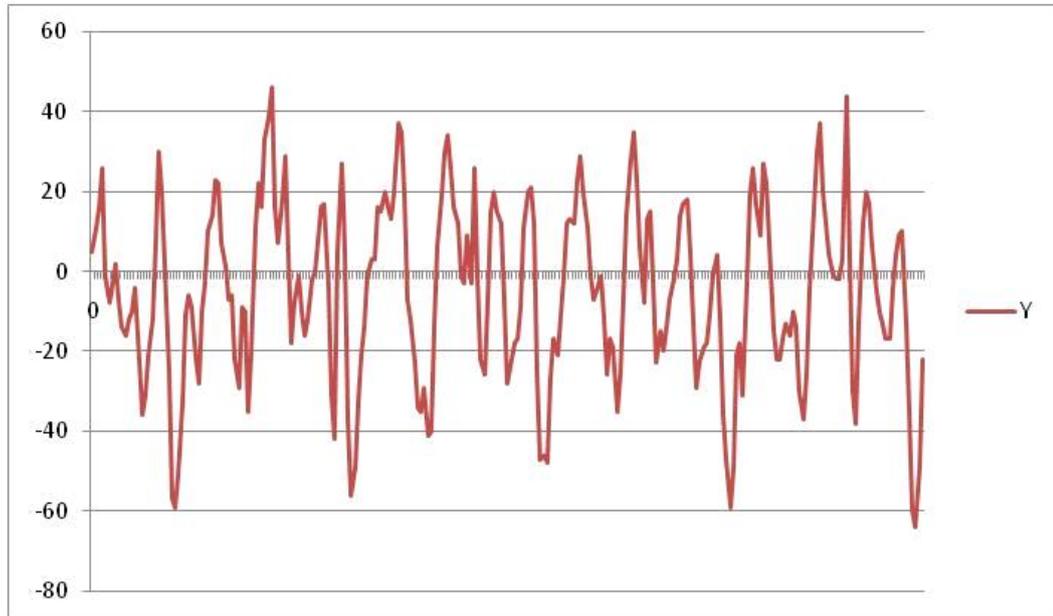


FIGURA 11: Representação do resultado de uma série temporal, interpolada para 250 pontos, no eixo Y (Latero-medial), exemplificando uma passagem do animal número 10.

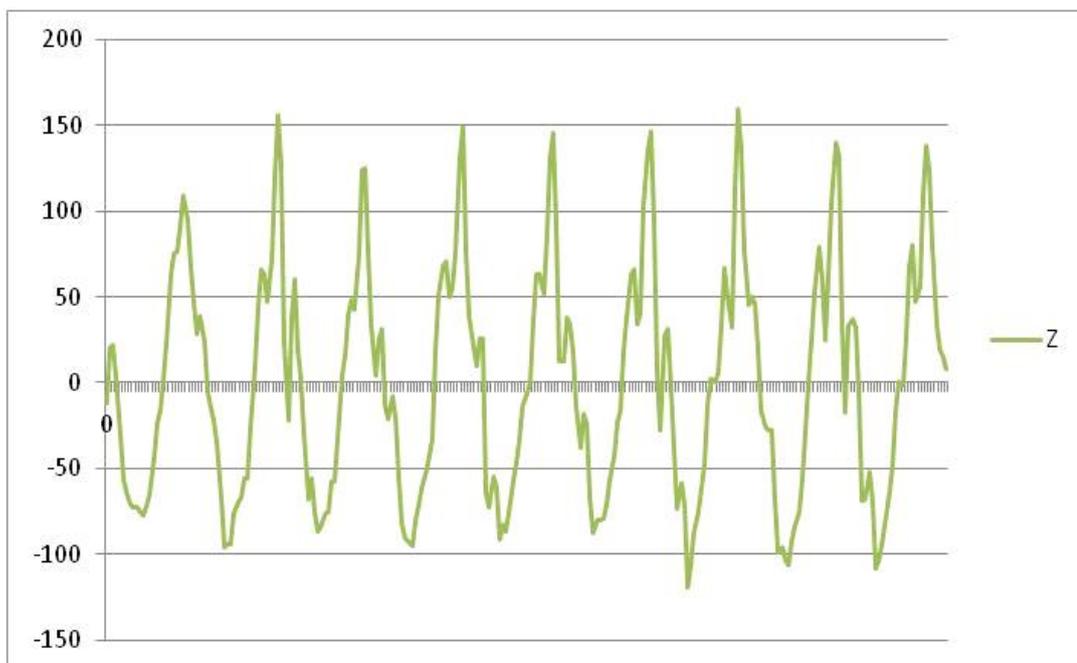


FIGURA 12: Representação do resultado de uma série temporal, interpolada para 250 pontos, no eixo Z (Ventre-dorsal), exemplificando uma passagem do animal número 10.

Após o cálculo de cada série temporal média, foi calculada a integral das curvas em cada eixo, integral X, integral Y e integral Z, e também uma integral resultante (r), a partir das curvas médias dos animais em cada eixo.

A equação para cálculo da integral resultante (r) foi:

r = Integral resultante

X_t^2 = Representa a curva média dos animais no eixo X;

Y_t^2 = Representa a curva média dos animais no eixo Y;

Z_t^2 = Representa a curva média dos animais no eixo Z;

t = Tempo de cada componente em seus respectivos vetores, nas séries temporais estudadas.

Portanto, cada animal foi representado pelas cinco pontuações dos quesitos de avaliação subjetiva (gesto, estilo, comodidade, regularidade e rendimento) e por quatro valores integrais (integral X, integral Y, integral Z e integral resultante), estas indicando fatores de vibração originados do Medidor de Impacto Equino.

3.5. Estatística

Para as análises estatísticas contabilizaram-se nove variáveis para cada animal sendo cinco notas de quesitos avaliados e quatro resultantes da leitura do dispositivo eletrônico.

Os procedimentos para organização dos arquivos, cálculos das variáveis, tratamento dos dados e análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico - “Statistical package for the social sciences” (Statistical..., 2003).

Inicialmente foi verificada a distribuição dos dados e calculadas as estatísticas médias, desvios-padrões, mínimos, máximos e coeficientes de variações para todas as variáveis. Realizaram-se correlações de *Spearman* ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) entre as variáveis, pois os dados não apresentavam distribuição normal (Sampaio, 1998).

Posteriormente, calculou-se as correlações canônicas, de acordo com Fávero *et al.* (2009) e Mingoti (2005). Foram calculados os auto-vetores V1 e W1, obtidos pelas combinações

lineares das variáveis estudadas, de modo a maximizar as correlações existentes, para os resultados entre as notas dos quesitos de avaliação dos animais e os resultados obtidos pelo dispositivo eletrônico, após tratamento dos dados. A partir dos dois auto-vetores, V1 e W1, o objetivo da correlação canônica foi o de estimar os coeficientes $a_1 a_2 a_3 \dots a_n$ e $b_1 b_2 b_3 \dots b_n$, de modo que a correlação entre as variáveis canônicas V1 e W1, seja máxima. (Fávero *et al.*, 2009; Mingoti, 2005). O auto-vetor V1 foi representado por $V1 = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4$, representando a combinação linear dos valores integrais ou fatores de vibração, obtidos pela coleta de dados com o dispositivo eletrônico (Integral X= X_1 , Integral Y= X_2 , Integral Z= X_3 e Integral Resultante= X_4). Já o auto-vetor W1 foi representado por $W1 = b_1Y_1 + b_2Y_2 + b_3Y_3 + b_4Y_4 + b_5Y_5$, representando a combinação linear das notas dos quesitos avaliados na marcha dos animais (Gesto= Y_1 , Estilo= Y_2 , Comodidade= Y_3 , Regularidade= Y_4 e Rendimento= Y_5). Calculou-se a raiz quadrada da correlação canônica (r) que representa o quanto da variância dos dados pode ser explicada pelos resultados obtidos, de acordo com Fávero *et al.* (2009) e Mingoti (2005).

Em seguida, os valores dos auto-vetores V1 e W1 para cada animal foram transformados em valores absolutos para a visualização gráfica. A correlação canônica possibilitou uma análise estatística e descritiva, e a separação dos animais em grupos superiores e inferiores, segundo a qualidade da marcha (FIG. 13 e 14).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises descritivas das notas dos quesitos avaliados e integrais

Pelos resultados apresentados na TAB. 1 observa-se que, para os 46 animais, os valores médios para avaliação dos quesitos da marcha estiveram acima dos seis pontos. Nota-se que a menor média foi para o quesito comodidade e a maior para rendimento. Verificou-se que, para os quesitos gesto e comodidade, as notas variaram de 0 a 10 e, para os quesitos estilo, regularidade e rendimento, as notas variaram de 3 a 10. Os coeficientes de variação (CV) apresentam valores dentro do esperado, e menores do que os encontrados para os fatores de vibração (TAB. 2), indicando menor diferenciação entre os animais avaliados.

TABELA 1

Médias, desvios-padrão, valores mínimos e máximos e coeficientes de variação (CV) dos 46 animais analisados

| | Gesto | Estilo | Comodidade | Regularidade | Rendimento |
|---------------|--------------|---------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Média | 6,24 | 6,78 | 6,02 | 6,97 | 7,43 |
| Desvio Padrão | 2,71 | 1,96 | 2,94 | 1,94 | 1,45 |
| Mínimo | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 |
| Máximo | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| CV | 0,43 | 0,28 | 0,48 | 0,27 | 0,19 |

Os valores da Tabela 2 representam fatores de vibração, resultantes da leitura do Medidor de Impacto Equino, após tratamento matemático. Para os 46 animais observou-se que a menor média foi para a integral X, -0,76, e a maior para a integral resultante, 2,15. Os coeficientes de variação (CV) apresentam valores bem mais elevados que os observados para os atributos da marcha (TAB. 1). Nas diferenças entre os coeficientes de variação entre os quesitos avaliados na marcha e os resultados do Medidor de Impacto Equino, identifica-se maior precisão do dispositivo eletrônico, pois, este apresenta maior distribuição dos dados em torno da média, capturando maiores vibrações das acelerações do que a mera observação subjetiva

TABELA 2

Descritiva dos fatores de vibração representados por seus valores integrais, nos eixos X (Antero-posterior), Y (Latero-medial) e Z (Ventre-dorsal), e integral resultante dos 46 animais analisados

| | Integral X | Integral Y | Integral Z | Integral Resultante |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| Média | -0,76 | 0,24 | 0,49 | 2,15 |
| Desvio Padrão | 0,62 | 0,30 | 0,16 | 0,06 |
| Mínimo | -1,64 | -0,25 | 0,27 | 2,03 |
| Máximo | 0,31 | 1,00 | 1,07 | 2,26 |
| CV | 0,81 | 1,25 | 0,32 | 0,02 |

4.2. Análises descritivas das velocidades

A média de velocidade de todas as passadas dos animais foi de 13,93 km/h, com desvio padrão de 3,9; mínimo de 10,41; máximo de 15,23 e coeficiente de variação de 0,28. Pode-se dizer que, para velocidade durante a marcha, os animais estão dentro do preconizado pelo Regulamento... (2010), em que os animais devem apresentar-se a uma velocidade entre 12 à 14 km/h, e também estão de acordo com o proposto por Procópio (2005), para a avaliação dos animais na marcha.

4.3. Correlações de *Spearman*

Observou-se, pelas correlações apresentadas na TAB. 3, entre os quesitos da marcha e os resultados a partir do Medidor de Impacto Equino, que os valores variaram de moderados a altos, e que a maior parte delas foi estatisticamente significativa ($P < 0,01$ e $P < 0,05$).

As correlações entre gesto, o estilo, a comodidade, a regularidade e o rendimento foram positivas e elevadas, sendo a maior, entre o gesto e comodidade, de 0,90. Animais com melhores notas de gesto apresentaram melhor comodidade, estilo, regularidade e rendimento. A associação entre os quesitos avaliados na marcha é importante, pois, identificando os melhores animais em um único quesito de avaliação subjetiva, identificaram-se, também, os animais com melhores notas nos outros quesitos de julgamento.

TABELA 3

Correlações entre os resultados dos quesitos avaliados na marcha e os resultados do Medidor de Impacto Equino, representados pelos valores integrais

| | Gesto | Estilo | Comodidade | Regularidade | Rendimento | Integral X | Integral Y | Integral Z | Integral Resultante |
|----------------------------|--------------|---------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| Gesto | 1 | 0,81** | 0,90** | 0,67** | 0,57** | 0,63** | 0,60** | -0,57** | -0,64** |
| Estilo | | 1 | 0,74** | 0,81** | 0,75** | 0,70** | 0,69* | -0,42** | -0,43** |
| Comodidade | | | 1 | 0,63** | 0,58** | 0,64** | 0,62** | -0,66** | -0,73** |
| Regularidade | | | | 1 | 0,87** | 0,67** | 0,58** | -0,24 | -0,30* |
| Rendimento | | | | | 1 | 0,52** | 0,49** | -0,19 | -0,29* |
| Integral X | | | | | | 1 | 0,78** | -0,24 | -0,33* |
| Integral Y | | | | | | | 1 | -0,32* | -0,35* |
| Integral Z | | | | | | | | 1 | 0,85** |
| Integral Resultante | | | | | | | | | 1 |

** P<0,01 ; *P<0,05.

Todas as correlações entre o gesto, o estilo, a comodidade, o rendimento, a regularidade e os valores integrais X e Y foram significativas e positivas. Animais com boas notas dos quesitos de avaliação da marcha apresentam maiores oscilações Antero-posteriores e Latero-mediais. Isto se deve ao deslocamento dos animais em marcha, pois ocorre progressão do animal, deslocando o corpo para frente e outras oscilações no tronco provindo das trocas de apoios dos membros, em diagonais, laterais e tríplexes (Nascimento, 1999), resultando em vibrações do tronco quantificadas pelo dispositivo eletrônico. Entretanto, as correlações entre gesto, estilo e comodidade, e a integral Z foram significativas e negativas. Assim, animais com notas elevadas nos quesitos gesto, estilo e comodidade, apresentaram menores valores da integral Z, associadas à menores oscilações ventro-dorsais indicando uma equitação mais confortável.

A correlação entre comodidade, os outros quesitos avaliados na marcha e os valores integrais foram elevadas. Para o animal de boa comodidade observou-se oscilações maiores antero-posterior e latero-medial, representadas pelos valores das correlações com as integrais X (0,64) e Y (0,62), e menores no sentido ventro-dorsal, indicado pelo valor da integral Z (-0,66). A correlação entre comodidade e a integral resultante foi a maior entre os quesitos subjetivos (-0,73), representando maior contribuição para formação do valor da integral resultante. Assim, ao se identificar animais de boa comodidade, observam-se menores oscilações ventro-dorsal e, também, menores valores dos fatores de vibração representados pela integral resultante. Portanto, pode-se afirmar que as correlações entre as notas de comodidade, observada por avaliações subjetivas, e os resultados das vibrações validam o dispositivo eletrônico, Medidor de Impacto Equino. Ainda, é possível qualificar os animais com melhores notas de comodidade, como os que apresentaram oscilações positivas antero-posteriores e latero-mediais, e negativas ventro-dorsais e integral resultante. Animais mais cômodos apresentaram maiores amplitudes antero-posteriores e latero-mediais e, de forma contrária, menores oscilações ventro-dorsais e na integral resultante.

As correlações entre as integrais X, Y, Z e a integral resultante, indicado pelos valores -0,33, -0,35 e 0,85, respectivamente, demonstram que as oscilações antero-posteriores e latero-mediais contribuem de forma inversa para a formação da integral resultante. Entretanto, as oscilações ventro-dorsais contribuem de maneira direta.

4.4. Correlações canônicas e representações gráficas

De acordo com a metodologia proposta por Fávero *et al.* (2009) e Mingoti (2005), calculou-se a correlação canônica entre V1 (auto-vetor de combinação linear dos fatores de vibrações) e W1 (auto-vetor de combinação linear dos quesitos avaliados na marcha), que foi de 0,83. Tal achado demonstra, portanto, elevada associação entre os dois métodos para avaliar a marcha equina, pelo Medidor de Impacto Equino e pela avaliação subjetiva. Esta correlação esteve associada a 69% de explicação na variação dos resultados.

Os resultados da formação dos auto-vetores V1 e W1, com seus respectivos coeficientes, $a_1 a_2 a_3 \dots a_n$ e $b_1 b_2 b_3 \dots b_n$, foram os seguintes:

$V1 = -0,516 \times Integral\ X + 0,271 \times Integral\ Y - 0,037 \times Integral\ Z - 0,434 \times Integral\ Resultante$

$W1 = 0,246 \times Gesto + 0,044 \times Estilo + 0,504 \times Comodidade + 0,6 \times Regularidade - 0,315 \times Rendimento$

As representações gráficas, após transformação dos resultados dos auto-vetores V1 e W1 em valores absolutos, são apresentadas nas FIG 13 e 14. Observa-se nítida separação de dois grupos de animais: animais superiores, com resultados de W1 elevados e de V1 baixos, e animais inferiores, com resultados de W1 baixos e de V1 elevados.

Os equinos com melhor qualidade da marcha são visualmente identificados no grupo superior, com resultados de W1 elevados e de V1 baixos, onde se enquadram 24 animais. Já os animais classificados como do grupo inferior, que apresentaram W1 baixos e de V1 elevados, contabilizam 22 animais graficamente identificáveis (FIG. 13).

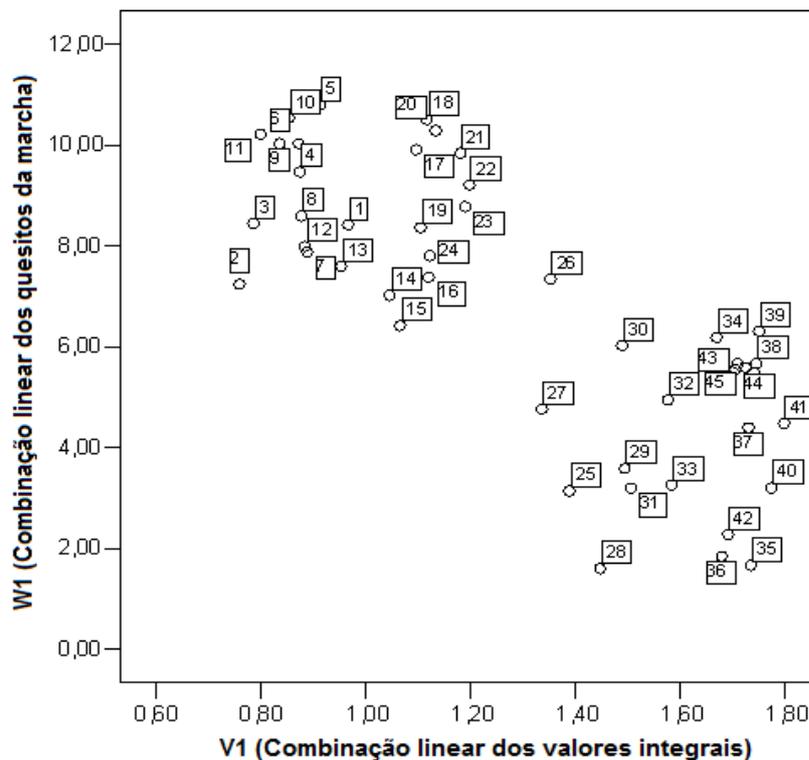


FIGURA 13: Representação gráfica da distribuição dos animais após o cálculo das correlações canônicas e formação de auto-vetores V1 e W1.

Como exemplo, os resultados dos valores de V1 e W1 acerca de três animais do grupo superior e de três animais do grupo inferior foram:

- Grupo Superior:

Animal 09: W1= 10,03 e VI= 0,84

Animal 10: W1= 10,53 e VI= 0,85

Animal 11: W1= 10,22 e VI= 0,80

- Grupo Inferior:

Animal 44: W1= 5,54 e VI= 1,70

Animal 45: W1= 5,59 e VI= 1,72

Animal 46: W1= 5,48 e VI= 1,74

De forma semelhante, na FIG. 14 observa-se a divisão dos grupamentos superior e inferior, apresentados como resultado do estudo da correlação canônica a partir dos resultados obtidos pelo dispositivo eletrônico e as notas de avaliação subjetiva dos animais para os quesitos subjetivos da marcha.

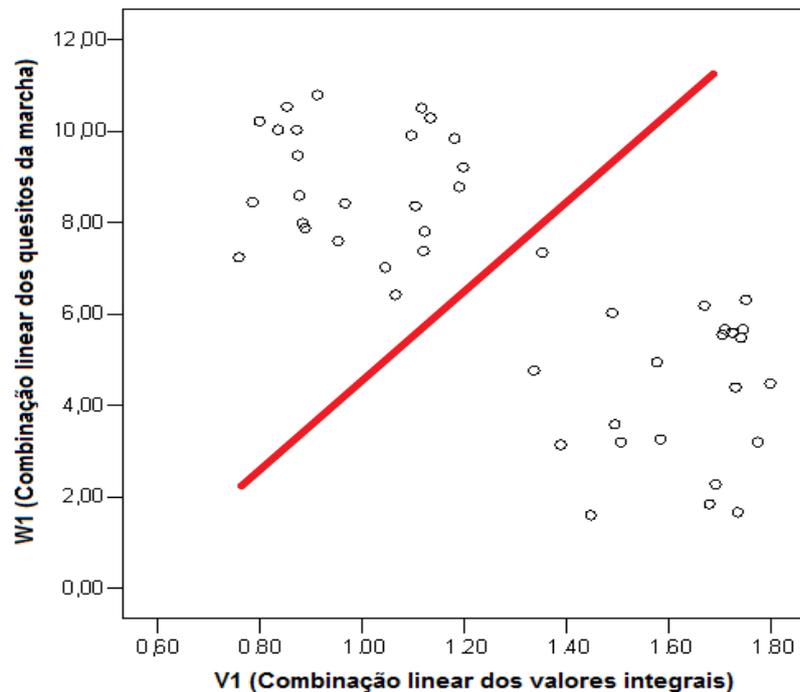


FIGURA 14: Representação gráfica da distribuição dos animais após o cálculo das correlações canônicas e formação de auto-vetores V1 e W1, verifica-se a formação de um grupo superior, acima da reta, e um grupo inferior, abaixo da reta.

O estudo das correlações canônicas possibilitou a diferenciação de grupos e também uma nítida visualização gráfica desta diferença. O grupo superior apresentou notas dos quesitos de avaliação da marcha acima dos valores médios dos animais, e também valores baixos dos fatores de vibração. Entretanto, no grupo inferior, verificam-se animais com notas abaixo das médias dos quesitos de avaliação da marcha, e também valores maiores dos fatores de vibração. Verifica-se maior agregação dos animais no grupamento superior e maior dispersão dos animais do grupamento inferior.

Pela correlação canônica verifica-se, ainda, que os resultados obtidos pelo dispositivo eletrônico, após o tratamento matemático adequado, podem identificar as notas dos quesitos de avaliações utilizados no julgamento dos animais para a marcha, sendo este um importante resultado para validação do dispositivo eletrônico.

4.5. Análise descritiva das separações por grupos

Na TAB. 4 são apresentados os resultados da estatística descritiva dos grupos superior e inferior, separados pela correlação canônica e representados pelas FIG. 13 e 14. O critério utilizado para a separação dos grupos foi à média das notas dos quesitos de avaliação, sendo este valor de 6,68 pontos, o que foi validado pela divisão realizada pela avaliação gráfica dos animais.

TABELA 4

Resultados descritivos dos quesitos avaliados, dos grupos superior e inferior

| | Gesto | | Estilo | | Comodidade | | Regularidade | | Rendimento | |
|---------------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|--------------|----------|------------|----------|
| | Superior | Inferior | Superior | Inferior | Superior | Inferior | Superior | Inferior | Superior | Inferior |
| Média | 8,16 | 4,13 | 8,20 | 5,22 | 8,16 | 3,68 | 8,29 | 5,54 | 8,25 | 6,54 |
| Desvio Padrão | 1,46 | 2,12 | 1,31 | 1,23 | 1,46 | 2,29 | 1,08 | 1,65 | 0,99 | 1,37 |
| Mínimo | 5 | 0 | 6 | 3 | 5 | 0 | 6 | 3 | 6 | 3 |
| Máximo | 10 | 7 | 10 | 7 | 10 | 7 | 10 | 9 | 10 | 9 |
| CV | 0,18 | 0,51 | 0,16 | 0,23 | 0,18 | 0,62 | 0,13 | 0,30 | 0,12 | 0,21 |

Os animais classificados no grupamento superior apresentaram médias dos quesitos de avaliação elevadas, acima de 8,0 pontos e no grupamento inferior com médias abaixo dos 6,6 pontos. Os coeficientes de variação para os quesitos, gesto, comodidade e regularidade evidenciam maior variação das notas atribuídas aos animais que se enquadraram no grupo inferior.

TABELA 5

Resultados descritivos dos fatores de vibração, representados pela integral X, Y e Z, e integral resultante, dos grupos superior e inferior

| | Integral X | | Integral Y | | Integral Z | | Integral Resultante | |
|---------------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|---------------------|----------|
| | Superior | Inferior | Superior | Inferior | Superior | Inferior | Superior | Inferior |
| Média | -0,26 | -1,31 | 0,47 | 0,01 | 0,43 | 0,57 | 2,12 | 2,20 |
| Desvio Padrão | 0,35 | 0,29 | 0,19 | 0,15 | 0,17 | 0,11 | 0,05 | 0,02 |
| Mínimo | -0,70 | -1,64 | 0,16 | -0,25 | 0,27 | 0,44 | 2,03 | 2,14 |
| Máximo | 0,31 | -0,72 | 1,00 | 0,29 | 1,07 | 0,82 | 2,26 | 2,23 |
| CV | 1,37 | 0,22 | 0,42 | 8,80 | 0,40 | 0,20 | 0,02 | 0,01 |

A TAB. 5 apresenta os valores da estatística descritiva dos fatores de vibração, representados pela integral X, Y, Z e integral resultante. Observa-se grande variação dos coeficientes de variação, sendo os maiores, da integral X, no grupo superior de 1,37; e integral Y, no grupo inferior de 8,80. Mas nota-se que os coeficientes de variação dos fatores de vibração para a integral resultante foram baixos, indicando que a integral resultante representou bem os grupos superior e inferior, e pode ser usada como valor de referência para identificação de bons animais.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O dispositivo eletrônico, Medidor de Impacto Equino, foi eficiente para os estudos de avaliação da marcha dos equinos. Observa-se a necessidade da formação de maior banco de dados, com diferentes tipos de andamento para aprimoramento do equipamento.

A metodologia utilizada para a avaliação da marcha dos animais, juntamente com o desenvolvimento da técnica de captura dos dados do dispositivo eletrônico, foi também eficiente, e pode ser aprimorada, aumentando-se a frequência de captura dos acelerômetros e a distância de captura dos dados por *Bluetooth*.

O dispositivo eletrônico indicou que animais mais cômodos apresentam maiores oscilações antero-posteriores e latero-mediais, e menores dorso-ventrais e integral resultante.

O uso da metodologia de correlações canônicas possibilitou a formação de auto-vetores associados a avaliação subjetiva da marcha e à leitura do Medidor de Impacto Equino o que possibilitou a visualização gráfica da diferenciação entre grupos superior e inferior em relação a qualidade da marcha.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A.G.P. *Análise do padrão cinemático da marcha em equinos por meio de redes neurais artificiais*. 2009. 85f Tese (Doutorado em Zootecnia - Melhoramento Genético Animal) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- BACK, W.; CLAYTON, H. *Equine locomotion*. London: W.B. Saunders, 2001. 384p.
- BARREY, E. Methods, applications and limitations of gait analysis in horses. *Vet. J.*, v. 157, p 7-22, 1999.
- BARREY, E., LANDJERIT, B.; WOLTER, R. Shock and vibration during hoof impact on different track surfaces. *Equine Exerc. Physiol.*, v.3, p.97–106, 1991.
- BARREY, E.; DESBROSSE, F. Lameness detection using an accelerometric device. *Pferdeheilkunde.*, v.12. p.617–622, 1996.
- BARREY, E.; GALLOUX, P. Analysis of the equine jumping technique by accelerometry. *Equine Vet. J.*, v.29, n.23, p.45–49, 1997.
- BARREY, E.; HERMELIN, M.; VAUDELIN, J.L. *et al.* Utilisation of an accelerometric device in equine gait analysis. *Equine Vet. J.* v.26, n.17, p. 7–12, 1994.
- CHRISTOVÃO, F.G. *Análise cinemática tridimensional do movimento de equinos em esteira rolante*. 2006. 96f Tese (Doutorado em Medicina Veterinária – Patologia Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.
- BENOIT, P.; BARREY, E.; REGNAULT, J.C.; BROCHET, J.L. Comparison of the damping effect of different shoeing by the measurement of hoof acceleration. *Acta Anat.*, v.146, n.2-3, p.109–113, 1991.
- BRETAS, M. S.; BERGMANN, J.A.G.; PROCÓPIO, A.M. Descrição dos pontos anatômicos para a tomada de medidas lineares e angulares nos equinos da raça Mangalarga Marchador. In: SEMANA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2003, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: UFMG, 2003. Cd Rom.

- BRETAS, M. S. *Associação entre características morfométricas e cinemáticas de equinos da raça Campolina*. 2006. 70f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia – Melhoramento Genético Animal) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- BUCHNER, H.H.F. Body centre of mass movement in sound horse. *Vet J.*, v.160, n.1, p.225–234, 2000.
- CLAYTON, H.; SCHAMHARDT, H.C. Measurement techniques for gait analysis. In: BACK, W.; CLAYTON, H. *Equine locomotion*. London, W.B. Saunders, 2001. p.55-75.
- FÁVERO, L.P.; BELFIORE, P.; SILVA, F.L. *et al.* *Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões*. Rio de Janeiro: Elsevier. 2009. 544p.
- GALLOUX, P.; RICHARD, N.; DRONKA, T. *et al.* Analysis of equine gait using three dimensional accelerometers fixed on the saddle. *Equine Vet. J.*, v.26, n.17, p.44–47, 1994.
- GOMES, D.W.; SANTOS, R.G.; QUINTINO, M.V. *et al.* *Acelerômetro*. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2009. 4p.
- HUSSNI, C.A.; WISSDORF H.; NICOLETTI J.L.M. Variações da marcha em equinos da raça Mangalarga Marchador. *Ciênc. Rural*, v.26, n.1, p.91-95, 1996.
- CHAVES, R.C. *Interpretação dos conceitos de marcha*. [s.l.]: ABCCMM, 2007. (Apostila)
- LAGE, M.C.G.R. *Caracterização morfométrica, dos aprumos e do padrão de deslocamento de equinos da raça Mangalarga Marchador e suas associações com a qualidade da marcha*. 2001. 114f. Dissertação (Doutorado em Ciência Animal - Melhoramento Genético Animal) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. MG.
- LINFORD, L.R. Camera speeds for optoelectronic assessment of stride-timing characteristics in horses at the trot. *Am. J. Vet. Res.*, v.55, n.9, p.1189–1195, 1994.
- MENZEL, H.J. *Conceitos da análise biomecânica da técnica de movimento: novos conceitos em treinamento esportivo*. Belo Horizonte: CENESP – UFMG, 1999. P.42-72.
- MINGOTI, S. A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: UFMG. 2005. 300p.
- NASCIMENTO, J.F. *Mangalarga Marchador: tratado morfofuncional*. Belo Horizonte: Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador, 1999. 577p.

PERRELLI, G. D. D. *Estudo eletromiográfico em equinos da raça Brasileiro de Hipismo, submetidos ao trote nos pisos de areia e de grama*. 2001. 85f Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária-Clínica e Cirurgia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

PROCÓPIO, A.M. *Análise cinemática da locomoção de equinos marchadores*. 2005. 95f Tese (Doutorado em Ciência Animal - Melhoramento Genético Animal) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

REGULAMENTO geral para eventos e metodologia de julgamento. ABCCMM, 2007. Disponível em: <<http://www.abccmm.org.br/>>. Acessado em: 18/01/2010

REGULAMENTO geral para eventos e metodologia de julgamento. ABCCMM, 2010. Disponível em: <<http://www.abccmm.org.br/>>. Acessado em: 18/01/2010.

REGULAMENTO SRG. ABCCRM, 2009. Disponível em: <<http://www.cavalomangalarga.com.br/>>. Acessado em: 18/01/2010

SAMPAIO, I.B.M. *Estatística aplicada a experimentação animal*. Belo Horizonte: FEPMVZ, 1998. 221p.

SIMI MOTION: veterinary medicine. 2003. Disponível em: <<http://www.simi.com/en/markets/veterinary/motion/index.html>>. Acessado em: 19/12/2009.

SMITH, K. Here's how to smooth the transitions from four beats to two, two beats to three, from slow motion to speed. *Equus Magazine*, v.230, p.27-32, 1996.

TORRES, A.D.P.; JARDIM, W.R. *Criação do cavalo e de outros equinos*. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1984. 654p.

VALE R. C. *O Exterior do cavalo*. 2.ed. São Paulo: Manole, 1984. 96p.

VAN WEEREN, P.R.; Van BORGET, A.J.; BARNEVELT, A. Correction models for skin displacement in equine kinematic gait analysis. *Equine Vet. J.*, v.12, n.3, p.178 – 192, 1992.

VILELA JÚNIOR, G. B. *Biomecânica*. 2009. Disponível em: <<http://guanis.sites.uol.com.br/biomechanics/marey.htm>>. Acessado em: 19/01/2010.

