

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE
MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO TIPO DE FERRADURA E ANGULAÇÃO DO
CASCO SOBRE O MOVIMENTO DO MEMBRO TORÁCICO
EM EQUINOS AO TROTE**

**Lina Maria Wehrle Gomide
Médica Veterinária**

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE
MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO TIPO DE FERRADURA E ANGULAÇÃO DO
CASCO SOBRE O MOVIMENTO DO MEMBRO TORÁCICO
EM EQUINOS AO TROTE**

Lina Maria Wehrle Gomide

Orientador: Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Medicina Veterinária (Clínica Veterinária).

Jaboticabal – SP
Maio – 2010

G633e Gomide, Lina Maria Wehrle
Efeito do tipo de ferradura e angulação do casco sobre o movimento do membro torácico em equinos ao trote / Lina Maria Wehrle Gomide. -- Jaboticabal, 2010
xvii, 79 f. : il ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010
Orientador: José Corrêa de Lacerda Neto
Banca examinadora: Fabiana Garcia Christovão, Thiago Luiz de Salles Gomes, Antonio de Queiroz Neto, Guilherme de Camargo Ferraz
Bibliografia

1. Equinos. 2. Biomecânica. 3. Casco. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 619:616.7:636.1

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

LINA MARIA WEHRLE GOMIDE – nascida em São Paulo, SP, em 25 de outubro de 1975, concluiu a graduação em medicina veterinária em 2001 pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, com bolsa de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq no ano de 2000. Fez residência em Clínica Médica de Grandes Animais, no Hospital Veterinário Governador Laudo Natel, na instituição anteriormente citada, com bolsa da Fundação de Desenvolvimento Administrativo – FUNDAP. Em março de 2004 iniciou o curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Medicina Veterinária, área de Clínica Veterinária, concluído em fevereiro de 2006, período em que foi bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. Em março deste mesmo ano ingressou no curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Medicina Veterinária, área de Clínica Veterinária, pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, concluído em 2010. Iniciou suas atividades de docente em agosto de 2004 na Universidade Camilo Castelo Branco – UNICASTELO, campus Fernandópolis, onde permaneceu até dezembro de 2009, ministrando as disciplinas Semiotécnicas de Enfermagem Veterinária, Semiologia e Clínica Propedêutica, Toxicologia Veterinária, Clínica Médica e Terapêutica de Ruminantes e Clínica Médica e Terapêutica de Equinos. É docente do Centro Universitário Barão de Mauá desde fevereiro de 2008, ministrando as disciplinas Semiologia e Laboratório Clínico, Clínica das Intoxicações e Plantas Tóxicas, Patologia e Clínica Médica de Grandes Animais e Terapêutica Veterinária.

Alah, para dar um presente ao povo árabe, tomou com a mão direita o vento sul que passava e disse:
“Para que sejas único e nunca te confundam com bestas, terás:

*O olhar da águia, a coragem do leão e a velocidade da pantera,
Do elefante dou-te a memória, do tigre a força, da gazela a elegância,
Teus cascos terão a dureza do sílex e teu pêlo a maciez da plumagem da pomba,
Irás saltar mais do que o gamo e terás do lobo o faro. Serão teus à noite os olhos do leopardo e te orientarás como o falcão, que sempre volta à sua origem
Serás incansável como o camelo e terás do cão o amor ao seu dono”*

Lenda da origem do cavalo árabe

DEDICATÓRIA

À minha família, que mesmo longe sempre está comigo.

AGRADECIMENTOS

Ao Juca, que está sempre disponível para orientar, aconselhar e ajudar, e por possibilitar o desenvolvimento deste trabalho. Além de orientador é também um exemplo.

Aos meus amigos colegas de experimento Raquel, Deborah e Marruco. Sem eles com certeza este trabalho não teria sido realizado.

Aos professores Cattelan, Áureo, Paola, Guilherme, Queiroz, Fabiana e Salles Gomes, pelo tempo disponibilizado e pelas sugestões que enriqueceram esta tese.

À professora Rosângela Zacharias Machado, pela paciência e compreensão, assim como às meninas da seção de Pós-Graduação.

Ao Deco, que esteve na retaguarda cuidando dos nossos queridos cavalos.

À Roberta que, mesmo sem termos muito contato, foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Rita e ao Yuri, ajuda fundamental nos momentos difíceis.

A todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram neste experimento.

Ao meu pai, pela oportunidade de conhecer estes animais maravilhosos que são os cavalos e me apoiar em tudo e à minha mãe, pelo orgulho que sente de mim. Ambos foram imprescindíveis para a finalização desta pesquisa.

À minha tia Sylvia, segunda mãe, sempre comigo. (*In memoriam*)

Aos meus irmãos, que mesmo longe se preocupam comigo.

Ao Dú, que aguentou meus momentos de chatice e de ausência e mesmo assim me ajudou e incentivou.

Aos queridos cavalos, que oferecem tudo sem esperar retribuições.

A Deus, pelas oportunidades.

SUMÁRIO

	Página
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Anatomia e função do dedo da mão do equino	3
2.1.1. Ossos do dedo da mão	3
2.1.2. Articulações e ligamentos do dedo da mão	4
2.1.3. Órgão digital	9
2.2. Terminologias do andamento em equinos	12
2.3. Biomecânica equina	13
2.3.1. Fases da passada	15
2.4. Princípios e técnicas de casqueamento e ferrajamento	20
2.4.1. Efeitos da elevação do talão	23
2.4.2. Efeitos da elevação da pinça	24
2.4.3. Influência do tipo de ferradura	25
III. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Animais	26
3.2. Protocolo experimental	26
3.3. Obtenção e processamento das imagens	28
3.3.1. Calibração	33
3.3.2. Rastreamento	34
3.3.3. Sincronização	37
3.3.4. Reconstrução 3D	38
3.3.5. Sincronismo 2D com 3D	38
3.3.6. Determinação do número de passadas	39
3.3.7. Gráficos e tabelas de dados bidimensionais e tridimensionais das variáveis estudadas	41
3.4. Análise estatística	43
3.4.1. Análise dos dados	43
3.4.2. Análise de homocedasticidade dos resíduos	43

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1. Variáveis cinemáticas	45
4.2. Avaliação do movimento	58
4.3. Avaliação dos eventos “apoio” e “decolagem”	65
V. CONCLUSÕES	73
VI. REFERÊNCIAS	73

LISTA DE ABREVIATURAS

%TA – percentual do tempo de apoio em relação à passada completa

AP – altura da passada

Art. – articulação

Art. IFD – articulação interfalangiana distal da mão

Art. IFP – articulação interfalangiana proximal da mão

Art. MF – articulação metacarpofalangiana

Artt. – articulações

CAM1 – câmera 1

CAM2 – câmera 2

CP - comprimento da passada

dxM1(CAM2) – variação da coordenada x do marcador 1 na câmera 2

dxM2(CAM2) – variação da coordenada x do marcador 2 na câmera 2

dyM1(CAM1) – variação da coordenada y do marcador 1 na câmera 1

dyM2(CAM1) – variação da coordenada y do marcador 2 na câmera 1

dyM2(CAM2) – variação da coordenada y do marcador 2 na câmera 2

FD – falange distal ou osso ungular

FM – falange média

FP – falange proximal

Lig. – ligamento

Ligg. – ligamentos

LS – ligamento suspensor

M. – músculo

M1 – marcador 1

M2 – marcador 2

Mm. – músculos

MT – membro torácico

MTE – membro torácico esquerdo

MTs – membros torácicos

Os. – osso

Os. MIII – Osso metacárpico III

Os. SD – Osso sesamóide distal ou osso navicular

Oss. – ossos

Oss. SP – Ossos sesamóides proximais do dedo

T – período ou duração da passada

TA – tempo de apoio

TECD – tendão do músculo extensor comum dos dedos

TFPD – tendão do músculo flexor profundo dos dedos

TFSD – tendão do músculo flexor superficial dos dedos

TS – tempo de suspensão

x – coordenada horizontal bidimensional dos filmes de cada câmera

X,Y,Z – coordenadas espaciais independentes da câmera

y – coordenada vertical bidimensional dos filmes de cada câmera

Z'M1(3D) – coordenada espacial Z do marcador 1

Z'M2(3D) – coordenada espacial Z do marcador 2

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Distribuição dos animais em grupos e tipo de elevação. Jaboticabal, 2010.....	28
Tabela 2: Peso das ferraduras utilizadas durante o experimento, de acordo com o material (ferro ou alumínio) e o tipo de elevação (plana ou 6º). Jaboticabal, 2010..	28
Tabela 3: Análise pelo teste t-Student das médias $\pm$ DP das variáveis cinemáticas separadas por elevação.....	45
Tabela 4: Análise pelo teste t-Student das médias $\pm$ DP das variáveis cinemáticas separadas por material da ferradura.....	45
Tabela 5: Médias $\pm$ DP dos valores do duração da passada dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.	47
Tabela 6: Médias $\pm$ DP dos valores do tempo de apoio dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.....	48
Tabela 7: Médias $\pm$ DP do percentual do tempo de apoio em relação à duração total da passada dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.	48
Tabela 8: Médias $\pm$ DP dos valores do tempo de suspensão dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.	50
Tabela 9: Médias $\pm$ DP dos valores da altura da passada dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.....	52
Tabela 10: Médias $\pm$ DP dos valores do comprimento da passada dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.	53
Tabela 11: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GF1 do Grupo I (ferro). Jaboticabal, 2010.	55
Tabela 12: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GF2 do Grupo I (ferro). Jaboticabal, 2010.	55
Tabela 13: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GF3 do Grupo I (ferro). Jaboticabal, 2010.	55
Tabela 14: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GA1 do Grupo II (alumínio). Jaboticabal, 2010.	56

Tabela 15: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GA2 do Grupo II (alumínio). Jaboticabal, 2010.	56
Tabela 16: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GA3 do Grupo II (alumínio). Jaboticabal, 2010.	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Figura esquemática dos ossos do dedo da mão do equino. 1: falange proximal; 2: falange média; 3: falange distal; 4: ossos sesamóides proximais; 5: osso sesamóide distal.....	4
Figura 2: Figura esquemática das articulações do dedo da mão do equino. 1: articulação metacarpofalangiana; 2: articulação interfalangiana proximal; 3: articulação interfalangiana distal.....	7
Figura 3: Figura esquemática dos ligamentos do dedo da mão do equino. 1: ligamentos colaterais das articulações metacarpofalangiana e interfalangianas proximal e distal; 2: ligamento sesamóide distal (somente um ilustrado); 3: ligamento palmar (somente um ilustrado); 4: ligamentos sesamóides colaterais; 5: ligamentos das cartilagens do casco (nem todos ilustrados).....	8
Figura 4: Figura esquemática dos tendões do dedo da mão do equino. 1: tendão do músculo flexor profundo do dedo; 2: tendão do músculo flexor superficial do dedo; 3: tendão do músculo extensor do dedo (ramo lateral não ilustrado); 4: ramo extensor do ligamento suspensor.....	8
Figura 5: Ilustração mostrando a relação entre os ossos e as estruturas de tecidos moles dentro da cápsula do casco. 1- falange proximal, 2- falange média, 3- falange distal, 4- cartilagem ungueal.....	9
Figura 6: Regiões do estojo córneo	10
Figura 7: Regiões da superfície solear do casco.....	11
Figura 8: Ilustração do contato inicial (A), apoio médio (B) e decolagem (C).....	16
Figura 9: Contato inicial do casco com o solo. A: primeiro com a pinça. B: primeiro com o talão.....	16
Figura 10: Ilustração da fase aérea do trote	19
Figura 11: Figura esquemática da angulação ideal do casco: alinhamento entre as linhas desenhadas sobre a superfície dorsal da parede do casco (verde), sobre a superfície do talão (roxa) e através as três falanges (vermelha).....	21
Figura 12: Figura esquemática do alinhamento ideal das falanges	21

Figura 13: Figura esquemática do “eixo quebrado do casco”. A: “eixo quebrado para frente”; B: “eixo quebrado para trás”.....	22
Figura 14: Elevação em 6º por meio de cunhas nas ferraduras de ferro (A) e alumínio (B).....	27
Figura 15: Ambiente de filmagem e campo de visão da câmera 1, marcadores da calibração e definição de coordenadas.....	29
Figura 16: Ambiente de filmagem e campo de visão da câmera 3, marcadores da calibração e definição de coordenadas.....	30
Figura 17: Posição dos marcadores esféricos reflexivos M1 (lateral) e M2 (dorsal) no casco do membro torácico esquerdo do equino.....	30
Figura 18: Início da recepção do som antes do fechamento da claquete e persistência da reverberação do som por vários quadros.....	32
Figura 19: Erros em mm da posição reconstruída dos marcadores de calibração. A- dispersão dos erros em x, y e z. B- Valores maiores de erros dos calibradores nas colunas quanto mais distantes do centro da imagem.....	33
Figura 20: Problemas no rastreamento automático pelo DVIDEOW: o ponto 5 (seta vermelha) está muito abaixo da posição real do marcador (seta azul).....	36
Figura 21: Superposição das projeções dos marcadores M1 e M2 nas 23 passadas do animal GA2 na semana Basal, mostrando (A) grande diferença dos pontos mínimo e máximo no eixo Z (B) e erros superiores a 10mm.....	44
Figura 22: Superposição das projeções dos marcadores M1 e M2 nas 23 passadas do animal GA3 na semana Pinça, mostrando (A) pequena diferença dos pontos mínimo e máximo no eixo Z (B) e erros inferiores a 10mm.....	44
Figura 23: Gráfico ilustrativo da dispersão individual da duração da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.	47
Figura 24: Gráfico ilustrativo da dispersão individual dos valores do tempo de apoio da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.	49
Figura 25: Gráfico ilustrativo da dispersão individual dos valores do tempo de suspensão da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.	50

Figura 26: Gráfico ilustrativo da dispersão individual dos valores da altura da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.	52
Figura 27: Gráfico ilustrativo da dispersão individual dos valores do comprimento da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.....	53
Prancha 1: Representação gráfica da projeção no plano XZ do marcador 1 nas passadas completas dos animais dos grupos GI (ferro) e GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010....	59
Prancha 2: Representação gráfica da projeção no plano XZ do marcador 2 nas passadas completas dos animais dos grupos GI (ferro) e GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010....	60
Figura 28: Ilustração do arco da passada do marcador M2. Jaboticabal, 2010..	61
Prancha 3: Representação gráfica do traço dos marcadores M1 e M2 nas passadas dos animais dos grupos GI (ferro) e GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça e Talão. Jaboticabal, 2010.....	61
Prancha 4: Representação gráfica do traço dos marcadores M1 e M2 nas passadas dos animais dos grupos GI (ferro) e GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça e Talão. Jaboticabal, 2010.....	62
Figura 29: Representação gráfica dos eventos em torno da decolagem, superposição das 23 passadas de um animal. Jaboticabal, 2010.....	67
Figura 30. Representação gráfica dos eventos em torno do impacto, superposição das 23 passadas de um animal. Jaboticabal, 2010.....	67
Prancha 5: Representação gráfica dos eventos em torno da decolagem dos animais do grupo GI (ferro) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.....	68
Prancha 6: Representação gráfica dos eventos em torno da decolagem dos animais do grupo GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.....	69
Prancha 7: Representação gráfica dos eventos em torno do impacto nos animais do grupo GI (ferro) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.....	70
Prancha 8. Representação gráfica dos eventos em torno do impacto nos animais do grupo GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.....	71

EFEITO DO TIPO DE FERRADURA E ANGULAÇÃO DO CASCO SOBRE O MOVIMENTO DO MEMBRO TORÁCICO EM EQUINOS AO TROTE

RESUMO - Este trabalho avaliou, por meio da cinematografia, as alterações biomecânicas induzidas após elevação em seis graus da pinça ou do talão no casco dos membros torácicos em equinos ao trote e se tais alterações eram influenciadas pelo material da ferradura. Para isso, foram utilizados seis equinos adultos PSA sadios, sem evidências clínicas de alterações locomotoras. Os animais foram separados em dois grupos: grupo 1, que utilizou ferraduras confeccionadas em ferro, e grupo 2, que utilizou ferraduras em alumínio. O experimento foi realizado em três semanas. Na semana basal os animais foram ferrados com ferradura plana. Nas semanas seguintes houve elevação em seis graus da pinça ou do talão. Os animais realizaram três sessões de exercícios em esteira rolante por semana, utilizando dois marcadores esféricos reflexivos nas faces dorsal e lateral do casco do membro torácico esquerdo. As variáveis cinemáticas avaliadas na terceira sessão de cada semana foram: duração da passada, tempo de apoio, tempo de suspensão, altura e comprimento da passada, além da avaliação do movimento descrito pelo casco. A análise estatística foi feita por meio do teste t-Student. As alterações decorrentes da elevação da pinça ou do talão foram muito diferentes, algumas vezes opostas, entre os animais para o mesmo tipo de elevação, inclusive dentro do mesmo grupo. Conclui-se que as alterações na angulação do casco induziram mudanças no andamento, mas, com base nos resultados deste trabalho, não é possível determinar uma indicação clínica geral para cada alteração imposta ou material utilizado.

Palavras-chave: apoio, cinemática, decolagem, esteira rolante, pinça, talão

EFFECT OF SHOE CONSTITUTION AND HOOF ANGULATION ON FORELIMB MOVEMENT IN HORSES AT TROT

SUMMARY – This study investigated, using kinematics methods, biomechanical changes due to toe or heel elevation in equine forelimb at trot and if it can be influenced by shoe material. Six adult sound arabian horses were separated in two groups: iron and aluminum group. The study was performed in three weeks with three treadmill exercise sessions each. Reflexive markers were applied on dorsal and lateral surfaces of left forelimb hoof. In first week horses were shod with flat shoes. In the following weeks horses were shod with six degrees toe or heel elevation. Measured kinematic variables were stride duration, stance fase, swing fase, maximal displacement in vertical direction of the hoof, stride length and flight arc. Statistical analisys used t-Student test. Variations caused by toe or heel elevation were extremely different, even opposite, between animals to same elevation type, even in same group. Results showed that response due to investigated elevations were different for each animal. We concluded that different hoof angulations induced changes in movement but the results of this investigation do not provide basis for general clinical applications for each elevation or material used.

Keywords: breakover, heel, impact, kinematics, toe, treadmill

I. INTRODUÇÃO

O corpo do equino é composto por um conjunto de segmentos rígidos articulados uns aos outros e, assim, segue exatamente as mesmas leis mecânicas dos objetos inanimados. Entretanto, estas leis devem ser aplicadas cuidadosamente, pois as equações mecânicas que determinam os movimentos de um conjunto de segmentos articulados do corpo são muito mais complexas do que as que determinam o movimento de um objeto inanimado simples (BARREY, 2004; O'GRADY, 2008). Como a porção distal do membro do equino é um pendulo articulado, alterações muito pequenas em qualquer lugar deste sistema podem criar grandes efeitos no posicionamento exato do casco durante a passada (DAVIES, 2002).

A forma como o equino se movimenta é influenciada por vários fatores, dentre os quais o fato dos membros torácicos serem unidos à caixa torácica apenas por músculos e ligamentos. Estes músculos permitem que o tronco do equino levante, abaixe ou incline um pouco, ajudando-o a manter o equilíbrio, particularmente durante curvas em velocidade. A cabeça e o pescoço agem como pesos balanceados e os músculos que movem os membros torácicos para frente estão conectados ao pescoço (PILLINER et al., 2004a).

Equinos atletas frequentemente sofrem lesões no aparelho locomotor devido a erros de manejo (nutrição, treinamento, ferrajamento e criação), más condições ambientais (pistas, tempo) e/ou constituição desfavorável (conformação dos membros, genética) (BARREY, 2004). As causas mais comuns de claudicação nos equinos estão relacionadas à mão/pé, sendo em grande parte diretamente associadas às anormalidades nos membros ou relacionadas às práticas de casqueamento e ferrajamento (TURNER & STORK, 1988).

A influência de um casco funcional no desempenho atlético é clara (PARKS, 2003; O'GRADY, 2008) e, dos procedimentos rotineiramente realizados em equinos atletas, os que possuem maior influência na manutenção do animal sem claudicação são o casqueamento e o ferrajamento. Estes procedimentos interferem não apenas nas

estruturas externas do casco, mas também nas internas, e influem diretamente no membro como um todo (O'GRADY & POUPARD, 2003). O casqueamento e o ferrajamento auxiliam na manutenção do movimento e funções normais do membro, quando adequados (PARKS, 2003; O'GRADY, 2008), e podem alterar diversos parâmetros funcionais, como o contato inicial, a duração da fase de apoio, o apoio médio e a decolagem (O'GRADY & POUPARD, 2003). A ferradura não é apenas uma extensão do casco, podendo ser utilizada para aumentar o comprimento e o peso da porção distal do membro (PARKS, 2003; O'GRADY, 2008).

O casqueamento e o ferrajamento do casco equino tem efeitos diversos no membro, sendo parte integral do mecanismo de absorção de impacto pelo animal. Entre eles estão os padrões de cargas no membro, que irão determinar as tensões mediais e/ou laterais aplicadas ao sistema locomotor, bem como a tensão total aplicada aos ligamentos e tendões (TURNER & STORK, 1988).

A prevenção e o tratamento de condições debilitantes do casco, tais como rachaduras, abscessos, síndrome navicular e laminite, ainda dependem da habilidade e da experiência do ferrador em visualizar o melhor formato de cada casco para um equino em particular, de tal forma que o casco tenha uma conformação confortável, eficiente e que o estimule a crescer no melhor formato possível (DAVIES, 2002).

As grandes perdas econômicas decorrentes das claudicações em equinos justificam o grande investimento material e humano voltado à pesquisa da locomoção equina, inclusive com aplicações clínicas e técnicas para preveni-las (BACK & CLAYTON, 2001; BARREY, 2004) ou realizar ajustes na forma e intensidade do movimento do animal (PILLINER et al., 2004a). Assim, a biomecânica, com ênfase na cinematografia, é atualmente uma ferramenta bastante importante para obter informações que auxiliem na manutenção da sanidade do aparelho locomotor ou que otimizem seu funcionamento.

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Anatomia e função do dedo da mão do equino

2.1.1. Ossos do dedo da mão

Os ossos dos dedos da mão do equino estão reduzidos somente a um dedo, o terceiro, constituído de três falanges e três ossos sesamóides (Fig. 1) (GETTY, 1986; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

A falange proximal (FP) é um osso longo, situado entre o osso metacárpico III (os. MIII) e a falange média (FM), com posição oblíqua de cerca de 55 graus com o plano horizontal. A FM é achatada na direção dorsopalmar, com sua largura maior que a altura. Situa-se entre a FP e a falange distal (FD) e sua direção corresponde à da primeira. A FD acha-se indiretamente envolvida pelo casco, do qual toma a forma de um modo geral. Apresenta um par de cartilagens de cada lado, as cartilagens medial e lateral do casco, que atingem metade da FM. A FD possui um processo extensor e um processo flexor, onde se inserem, respectivamente, o tendão do músculo extensor comum do dedo (TECD) e o tendão do músculo flexor profundo do dedo (TFPD) (GETTY, 1986; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

Dois ossos sesamóides proximais (oss. SP) se situam palmar à extremidade distal do os. MIII e estão intimamente ajustados entre si e à FP por potentes ligamentos. O osso sesamóide distal (os. SD), ou osso navicular, está situado palmar à junção das FM e FD e se une a esta última por um ligamento. Sua face palmar serve como superfície de deslizamento ao TFPD (GETTY, 1986; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

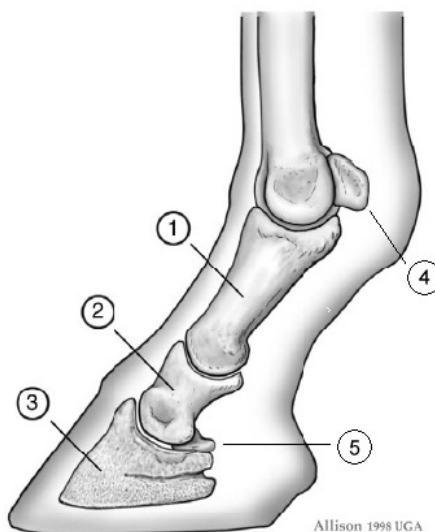


Figura 1: Figura esquemática dos ossos do dedo da mão do equino. 1: falange proximal; 2: falange média; 3: falange distal; 4: ossos sesamóides proximais; 5: osso sesamóide distal. (PARKS, 2003)

2.1.2. Articulações e ligamentos do dedo da mão

O dedo da mão é formado por três articulações: articulação metacarpofalangiana e articulações interfalangianas proximal e distal (Fig. 2).

A articulação metacarpofalangiana (art. MF), ou articulação do boleto, é formada pela junção da extremidade distal do os. MIII, a superfície articular proximal da FP e a superfície articular dos dois oss. SP. É, portanto, uma articulação composta, com movimentos de flexão e extensão e restritos movimentos de lateralidade. Sua cápsula articular é reforçada por dois ligamentos colaterais (Fig. 3 e 4) (SISSON, 1986a; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

A art. MF é auxiliada na sua função por meio de um sistema de suspensão, com finalidade de fixação passiva da articulação. O sistema de suspensão da falange compõe-se, proximalmente, pelo ligamento sesamóide proximal, ou ligamento suspensor da falange proximal, no terço médio o ligamento intersesamóide e distalmente o ligamento sesamóide distal, porções retas e oblíquas, e ramos extensores

do ligamento sesamóide proximal para o TECD (Fig. 3 e 4) (SISSON, 1986a; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

Como o ligamento sesamóide proximal atua prioritariamente nos ossos metacarpianos, onde se divide na extremidade distal do os. MIII (ramo medial e lateral), se insere no TECD e une-se ao ligamento palmar entre os sesamóides. Os ligamentos médios dos sesamóides são o ligamento palmar, que une os dois sesamóides, e os ligamentos colaterais mediais e laterais, que unem os sesamóides com o metacarpo e a falange proximal. Os ligamentos distais dos sesamóides são formações múltiplas (ligamento sesamóide reto, ligamentos sesamóides oblíquos, ligamentos sesamóides cruzados e ligamentos sesamóides curtos). Pode-se diferenciar o forte ligamento sesamóide reto, o qual se divide em dois, seguindo com um ramo mais forte para a falange proximal. Os ligamentos sesamóides oblíquos são adjacentes aos mesmos em ambos os lados, são igualmente fortes e inserem-se na falange proximal. Os ligamentos sesamóides cruzados são cobertos pelos ligamentos distais citados; surgem na base de um sesamóide e projetam-se, cruzando para o epicôndilo posicionado do lado oposto da falange proximal. Adicionalmente, atuam os ligamentos sesamóides curtos, para a margem da falange proximal, e feixes de união distais do ligamento sesamóide proximal do músculo extensor digital para o tendão comum na superfície dorsal da falange proximal, como ligamentos sesamóides distais (SISSON, 1986a; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

O aparelho sesamoideano, devido à sua resistência, limita e evita a extensão excessiva desta articulação. A flexão palmar é limitada apenas pelo contato dos bulbos do casco com o os. MIII. Durante a flexão palmar é possível um pequeno movimento de abdução, adução e rotação (SISSON, 1986a).

A articulação interfalangiana proximal da mão (art. IFP), ou articulação da quartela, funciona como articulação simples, com pouca angulação de flexão e extensão e restrito movimento de lateralidade. Ela articula a FP com a face articular proximal da FM (SISSON, 1986 a; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

A cápsula articular, dorsalmente e nos lados, une-se ao TECD e aos ligamentos colaterais, respectivamente. Palmarmente está reforçada pelo ligamento sesamóide

reto e os ramos do TFSD (SISSON, 1986 a). Dois ligamentos colaterais e quatro ligamentos palmares pertencem a esta articulação (Fig. 3 e 4) (SISSON, 1986a)

Os ligamentos colaterais são faixas curtas e fortes inseridas proximalmente na extremidade distal da FP e distalmente na extremidade proximal da FM. A direção dos ligamentos é aproximadamente vertical (SISSON, 1986 a).

Os ligamentos palmares consistem de um par central e faixas lateral e medial são inseridos distalmente na extremidade proximal da FM e na sua fibrocartilagem complementar. Os ligamentos lateral e medial se inserem proximalmente no meio das bordas da falange proximal e o par central mais distalmente (SISSON, 1986 a). Os ligamentos centrais unem-se distalmente aos ramos do TFSD e ao ligamento sesamóide reto (SISSON, 1986 a).

Os movimentos desta articulação são muito limitados, e consistem em flexão e extensão. Uma pequena flexão palmar é possível, e nesta posição ligeira flexão lateral e medial e rotação podem ser produzidas por manipulação. A flexão dorsal é evitada pelos ligamentos sesamóides lateral, palmar e reto (SISSON, 1986 a).

A articulação interfalangiana distal da mão (art. IFD) ou articulação da úngula é (SISSON, 1986 a) é uma articulação composta formada pela junção das FM, FD e o os. SD. Preferencialmente esta articulação pode ser flexionada ou estendida, e também são possíveis movimentos de lateralidade (LIEBICH & KÖNIG, 2004). A flexão dorsal parece limitada principalmente pelo TFPD. A mobilidade da parte palmar do encaixe para a FM (formado pelo os. SD diminui o efeito dos choques quando o peso repousa sobre o membro (SISSON, 1986 a).

A cápsula articular está inserida ao redor das margens das superfícies articulares. Dorsal e lateralmente ela é tensa e está unida com o TECD e os ligamentos colaterais, respectivamente (SISSON, 1986 a; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

O conjunto de ligamento é formado por ligamentos colaterais medial e lateral, entre as falanges proximal e distal (Fig. 3 e 4), unidos à cápsula articular e que se irradiam na cartilagem e no ligamento da cartilagem da falange distal. Os ligamentos sesamóides projetam-se como ligamento sesamóide distal ímpar, da margem distal do sesamóide distal até a margem palmar da superfície articular da falange distal e

ligamentos sesamóides colaterais medial e lateral, que conectam a cartilagem da falange distal e o osso sesamóide distal. A superfície palmar do osso sesamóide distal forma uma placa fibrosa distal para o TFPD. Entre o os. SD e o TFPD posiciona-se uma ampla bolsa sinovial, a bolsa podotroclear (SISSON, 1986 a; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

Os ligamentos das cartilagens da FD (Fig. 3 e 4) inserem as cartilagens do casco nas falanges e nas estruturas vizinhas e contribuem decisivamente para o movimento de locomoção da mão. Os ligamentos condroungulocompedais projetam-se para a extremidade distal da falange proximal e o ligamento condropulvinar se direciona para o coxim digital. Os ligamentos condrocoronais medial e lateral terminam na margem lateral da falange média e no ligamento colateral da articulação interfalângiana distal. Os ligamentos condroungueais colaterais e medial e lateral unem a margem distal da cartilagem da falange distal com o processo palmar e os ligamentos condroungueais cruzados projetam-se da superfície da cartilagem da falange distal para a extremidade palmar do processo palmar do lado oposto (SISSON, 1986a; LIEBICH & KÖNIG, 2004).

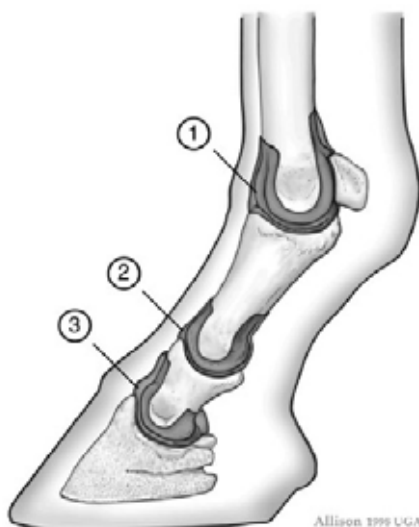


Figura 2: Figura esquemática das articulações do dedo da mão do equino. 1: articulação metacarpofalângiana; 2: articulação interfalângiana proximal; 3: articulação interfalângiana distal. (PARKS, 2003)



Figura 3: Figura esquemática dos ligamentos do dedo da mão do equino. 1: ligamentos colaterais das articulações metacarpofalangiana e interfalangeanas proximal e distal; 2: ligamento sesamóide distal (somente um ilustrado); 3: ligamento palmar (somente um ilustrado); 4: ligamentos sesamóides colaterais; 5: ligamentos das cartilagens do casco (nem todos ilustrados). (PARKS, 2003)



Figura 4: Figura esquemática dos tendões do dedo da mão do equino. 1: tendão do músculo flexor profundo do dedo; 2: tendão do músculo flexor superficial do dedo; 3: tendão do músculo extensor do dedo (ramo lateral não ilustrado); 4: ramo extensor do ligamento suspensor. (PARKS, 2003)

2.1.3. Órgão digital

O órgão digital é a extremidade do membro envolvida por uma pele completamente modificada, inclusive as estruturas englobadas pelo aparelho de sustentação e locomoção, ou seja, a porção distal da FM, o os. SD, a FD e as cartilagens ungulares mediais e laterais, bem como a podotróclea, constituída pelo os. SD, pela bolsa podotrocLEAR e pela área de inserção do TFPD (Fig 5) (SISSON 1986b; BUDRAS et al., 2004).

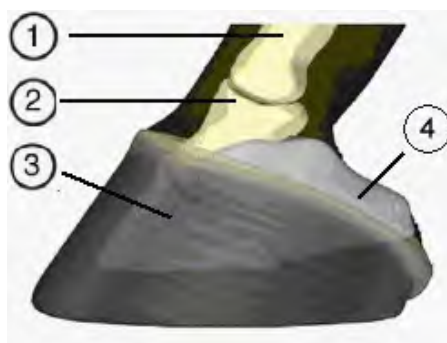


Figura 5: Ilustração mostrando a relação entre os ossos e as estruturas de tecidos moles dentro da cápsula do casco. 1- falange proximal, 2- falange média, 3- falange distal, 4- cartilagem ungueal. (O'GRADY, 2008)

O órgão digital formou-se primariamente como proteção das extremidades dos membros ante sua grande carga mecânica e, no equino, se adaptou para seus deslocamentos apoiados nos dedos (BUDRAS et al., 2004).

O casco do equino possui inúmeras funções, dentre elas a de suportar o peso do animal, dissipar a energia do impacto no solo, proteger as estruturas internas do estojo córneo e prover tração (O'GRADY, 2008). Cada região anatômica está adaptada à sua função biomecânica. Os elementos anatômicos da região caudal possuem propriedades de amortecimento devido à sua capacidade viscoelástica de estiramento (ranilha, expansão do talão, coxim digital, plexo venoso). A região central é estruturalmente

adaptada para suportar cargas pesadas. A sola e a FD formam juntas um conjunto arquitetônico em forma de arco. A região cranial provê ampla superfície de contato com o solo durante a fase de propulsão (pinça, sola e falange distal) (BARREY, 1990).

A úngula, ou casco, do equino é a cobertura córnea da extremidade distal do dígito. A parede é a parte da úngula visível quando o membro está posicionado no chão (Fig. 6). Ela cobre a frente e os lados do dígito e se reflete em direção palmar ou plantar, a um ângulo agudo, de modo a formar as barras, fusionados com a sola e unidas entre si pela cunha da úngula. A parede pode ser dividida em uma parte dorsal ou pinça, partes colaterais medial e lateral ou quartos e os ângulos, divididos em talão (vista solear) ou bulbo (vista caudal com o membro apoiado no solo) (Fig. 7). O comprimento da parede na pinça, quartos e talão está na proporção de aproximadamente 3:2:1 na mão. A superfície é lisa e está cruzada por cristas mais ou menos distintas, paralelas com a borda coronária e que indicam variações na atividade de crescimento da úngula (SISSON 1986b; BUDRAS & KÖNIG, 2004).

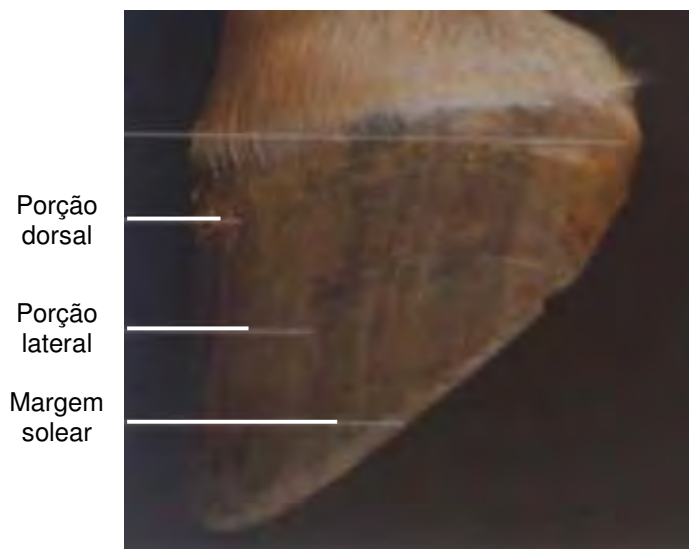


Figura 6: Regiões do estojo córneo. (KÖNIG & LIEBICH)

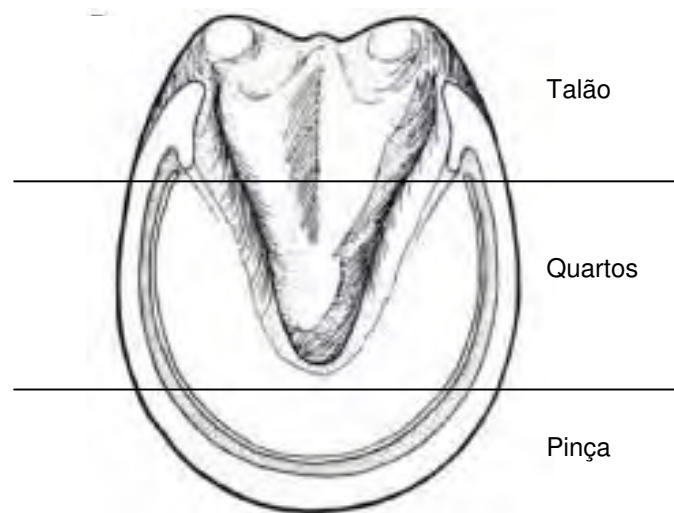


Figura 7: Regiões da superfície solear do casco. (adaptado de KAINER, 2002)

A sola constitui a maior parte da superfície ventral da úngula. Sua forma é ligeiramente semilunar. A borda convexa se une à parede por meio de substância córnea relativamente macia, a “zona branca” na superfície ventral da úngula (SISSON 1986b; BUDRAS & KÖNIG, 2004).

A cunha da úngula é uma massa cuneiforme que ocupa o ângulo limitado pelas barras e a sola e que se estende consideravelmente abaixo destas, na superfície basal do pé. A úngula está constituída por células epiteliais ceratinizada. A sola consiste em substância córnea e a cunha da úngula está constituída por substância córnea relativamente macia, muito mais elástica que a da parede ou da sola e que não está inteiramente ceratinizada (SISSON 1986b; BUDRAS & KÖNIG, 2004).

O cório do pé ou pododerme é a parte especialmente modificada e altamente vascular que proporciona nutrição ao casco (SISSON 1986b; BUDRAS & KÖNIG, 2004).

O pulvino digital é uma massa cuneiforme que se sobrepõe à cunha. Ela é um fator importante na diminuição da concussão. Os lados se relacionam essencialmente com as cartilagens da falange distal. Os bulbos, macios e de textura frouxa, contêm uma quantidade relativamente grande de gordura (SISSON 1986b; BUDRAS & KÖNIG,

2004).

A margem solear, como suporte da carga da parede do casco, é parte decisiva da superfície de contato do casco, na qual incide o peso do corpo. A cunha suporta o peso do corpo no ato de pisar. Em sua base cuneal a ranilha transforma-se no coxim córneo. Este, lateralmente, possui em continuação com os pedúnculos cuneais, as partes laterais e mediais do coxim, que são separadas do sulco cuneal central (BUDRAS & KÖNIG, 2004).

2.2. Terminologias do andamento em equinos

Um andamento é definido por um padrão de coordenação do membro, com movimentos sendo realizados repetidamente, passada após passada (CLAYTON, 2004b). É um movimento rítmico complexo, estritamente coordenado e automático dos membros e de todo o corpo do animal, que resulta em movimentos progressivos (BARREY, 2004). Cada andamento tem uma sequência característica de pegadas, que determina o número de batidas por passada (PILLINER et al., 2004a). Um andamento de dois tempos corresponde ao número de impactos do casco que podem ser ouvidos durante uma passada. Os sons se referem à sequência de pisadas do andamento, mas discretas assincronias não são detectadas audivelmente (BARREY, 2004).

A passada é definida como um ciclo completo de movimentos do membro (BARREY, 2004; CLAYTON, 2004b; PILLINER et al., 2004a) e uma série de passadas semelhantes é realizada durante a locomoção em qualquer andamento particular. Portanto, uma única passada pode ser considerada como a unidade representativa do andamento (CLAYTON, 2004b). Já que o padrão se repete, o começo da passada pode ser em qualquer ponto desse padrão e o término no mesmo lugar do início do próximo padrão (BARREY, 2004).

A duração de uma passada, ou período (T) está composta da fase de apoio, duração total do contato do membro com o solo, somada à fase de suspensão, quando o casco não está em contato com o solo (BARREY, 2004; CLAYTON, 2004b; KRAMER

& KEEGAN, 2004; PILLINER et al., 2004a).

A frequência da passada, usualmente expressa em passadas por segundo (passadas/s) ou em hertz (Hz), corresponde ao número de passadas realizadas na unidade de tempo e é igual ao inverso da duração da passada (BARREY, 2004). O comprimento da passada corresponde à distância entre dois posicionamentos sucessivos do mesmo membro (BARREY, 2004; PILLINER et al., 2004a).

2.3. Biomecânica equina

Biomecânica é o estudo do movimento (PILLINER et al., 2004a), da estrutura e da função de sistemas biológicos utilizando os métodos da mecânica (CLAYTON, 2004a). Existem dois métodos complementares para estudar o corpo em movimento: dinâmica, ou cinética, e cinemática. A cinemática estuda as alterações na posição dos segmentos do corpo no espaço durante um tempo específico (BARREY, 2004) e descreve o movimento sem considerar as forças que o causaram (CLAYTON, 2004a).

A análise cinemática do andamento é uma medição objetiva dos movimentos do corpo e pode ser utilizada para detectar e quantificar alterações na locomoção sem os erros inerentes à avaliação subjetiva. Pequenas diferenças na movimentação aparecem em exames simultâneos, comparando antímeros em diferentes períodos de tempo (KRAMER & KEEGAN, 2004).

A vantagem dos métodos cinemáticos é que, por meio deles, podem ser obtidos todos os parâmetros cinéticos (deslocamento, velocidade, aceleração linear, ângulo de rotação, velocidade e aceleração angulares, ângulo de articulação, máxima posição vertical da cabeça e comprimento da passada) dos segmentos identificados (BARREY, 2004; KRAMER & KEEGAN, 2004), assim como medições múltiplas de vários parâmetros ao mesmo tempo (KRAMER & KEEGAN, 2004). A abordagem cinemática é a mais comumente empregada, em vista da facilidade que oferece à obtenção de dados (BARREY, 2004).

A metodologia básica da análise do andamento requer que o equino seja

gravado em movimento. Para facilitar o cálculo dos parâmetros cinemáticos o animal é marcado, geralmente com esferas fluorescentes, em partes específicas do corpo, tais como protuberâncias ósseas facilmente reconhecíveis ou centros de articulações. Cada câmera utilizada durante a filmagem gera imagens bidimensionais das posições marcadas do corpo e várias câmeras colocadas em diferentes lugares geram imagens bidimensionais múltiplas para cada marca, posteriormente transformadas em uma sequência de imagens tridimensionais (KRAMER & KEEGAN, 2004), mas análises tridimensionais apresentam maiores problemas com a padronização (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2001).

Muitos sistemas cinemáticos têm apoio computacional, devido à necessidade de processamento e cálculo de grande quantidade de dados. Como os sistemas padrão requerem que o equino se movimente dentro dos limites de visão da câmera, muitas análises cinemáticas são realizadas em esteira rolante, o que possibilita a captura de passadas múltiplas e consecutivas do movimento a uma velocidade controlada (KRAMER & KEEGAN, 2004), mas também é possível estudar a locomoção destes animais em pista experimental (BARREY, 2004). Quando o equino se move a velocidade constante, as medidas temporais são bastante consistentes entre passadas. Maiores variações são encontradas entre diferentes animais do que em relação a passadas consecutivas do mesmo animal (CLAYTON, 2004b). O controle da velocidade do movimento é necessário, pois muitos parâmetros cinemáticos são dependentes da velocidade (CLAYTON, 2004b; KRAMER & KEEGAN, 2004; LELEUA et al, 2005), e a esteira rolante fornece excelentes meios para controlar a regularidade dos andamentos, já que tanto sua velocidade quanto sua inclinação são completamente controladas pelo operador (BARREY, 2004).

A frequência e o comprimento da passada (CP) são os componentes principais da velocidade do andamento. Para aumentar a velocidade de um andamento particular, a amplitude da passada aumenta e a duração do ciclo do membro se reduz, para repetições mais frequentes dos movimentos do membro. A velocidade (v) pode ser estimada pelo produto da frequência da passada (ou inverso do período) pelo comprimento da passada: $v = 1/T \times CP$ (BARREY, 2004).

A simetria do andamento é constante a velocidades crescentes, mas a regularidade e as variáveis temporais diminuem com a velocidade. Devido ao mecanismo de pêndulo, a frequência das passadas depende da altura do animal (comprimento do membro), da distribuição do peso e da elasticidade e porcentagem de fibras musculares de contração rápida nos músculos dos membros (LELEUA et al., 2005).

O andamento ideal para avaliações cinemáticas é o trote (KRAMER & KEEGAN, 2004). Este é simétrico, em dois tempos (ou duas batidas), com apoio simultâneo do membro pélvico e do membro torácico diagonal em cada meio ciclo da passada e um período de suspensão aérea. A diagonal esquerda está composta do membro pélvico esquerdo e do membro torácico direito; a diagonal direita está composta do membro pélvico direito e do membro torácico esquerdo. O movimento vertical do corpo é sinusoidal, com amplitudes equivalentes em cada metade de ciclo (BARREY, 2004; KRAMER & KEEGAN, 2004; PILLINER et al., 2004b). Uma análise mais apurada do trote mostra que os antímeros esquerdo e direito movem-se como imagens especulares; os membros diagonais movem-se praticamente sincronizados e há, usualmente, duas fases aéreas por passada (PILLINER et al., 2004b).

2.3.1. Fases da passada

A fase de apoio é composta do tempo de contato inicial (Fig. 8A), quando o casco toca o solo, tempo de apoio médio (Fig. 8B), quando há o balanço do membro sobre o casco estático no solo, e tempo de decolagem (Fig. 8C), quando o casco deixa o solo (PILLINER et al., 2004a). Nesta fase, o membro utiliza a força exercida contra o solo para suportar o peso do animal e promover propulsão (CLAYTON, 2004b; KRAMER & KEEGAN, 2004).

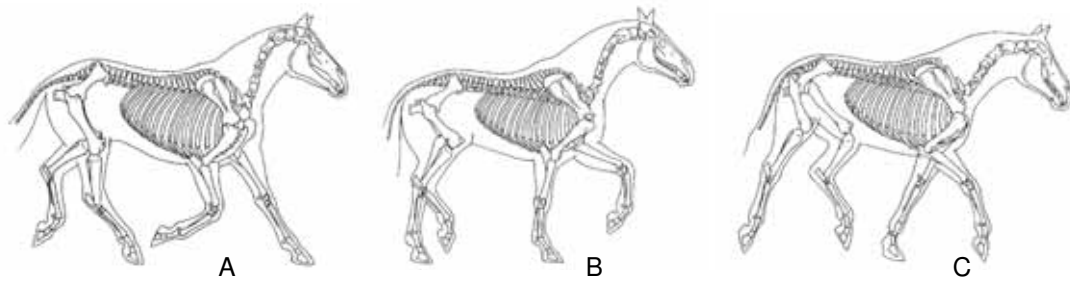


Figura 8: Ilustração do contato inicial (A), apoio médio (B) e decolagem (C). (PILLINER et al., 2004b)

O contato inicial, ou impacto do casco no solo, pode ocorrer com toda a sola (em nível) ou primeiro com a pinça (Fig. 9A) (geralmente nos andamentos mais lentos, sendo este último comum em alguns movimentos do adestramento) ou com o talão (Fig. 9B) (em andamentos mais velozes) (PILLINER et al., 2004a). Na maioria dos equinos o impacto ocorre primeiro com o talão ou com toda a sola (PARKS, 2003). O contato inicial primeiro com a pinça compromete a função de absorção de choques do talão e cria, provavelmente, uma ação de retração rápida nos tecidos moles que suportam as estruturas no aspecto palmar do membro distal (MORRISON, 2007).

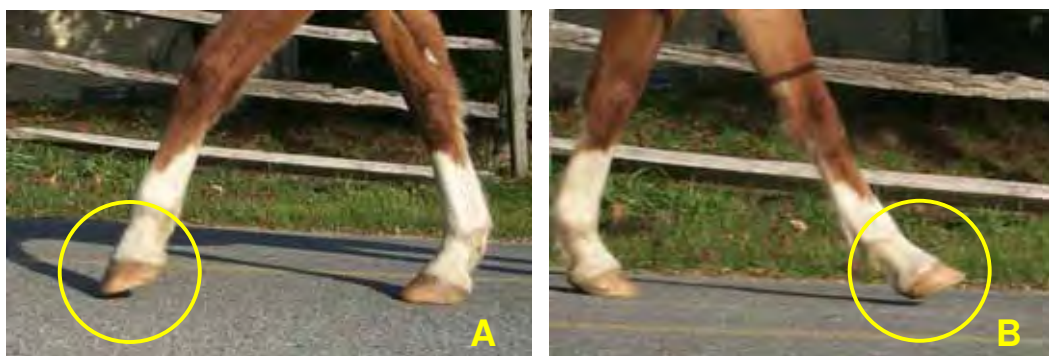


Figura 9: Contato inicial do casco com o solo. A: primeiro com a pinça. B: primeiro com o talão. (BAREFOOTHORSE, 2010)

O tempo de contato inicial ocorre em milissegundos, onde o membro sofre desaceleração rápida, causando uma onda de impacto que se propaga em direção proximal no membro, e é tão rápida que os músculos não têm tempo hábil para contrair e proteger as articulações e os ossos. Depois que o casco entra em contato com o solo, o peso do cavalo recai sobre o membro. Do instante em que o casco entra em contato com o solo até a metade da fase de apoio, quando o peso do cavalo está posicionado diretamente sobre o membro, existe um período de desaceleração (PILLINER et al., 2004a).

Durante o tempo de apoio médio há um instante em que o osso metacarpiano terceiro encontra-se na posição vertical (Fig. 8B) e, praticamente na metade da fase de apoio, ocorre máxima extensão da articulação metacarpofalangiana. Depois deste instante, a tensão nos tendões dos músculos flexores e no ligamento suspensor é reduzida, quando começam a se retrair elasticamente, ajudando a flexionar a parte distal do membro durante a fase de suspensão (PILLINER et al., 2004a). A articulação metacarpofalangiana se recupera quando o membro passa além da posição vertical. Desta maneira o membro é encurtado e esticado ao longo da passada, ajudando a manter o corpo aproximadamente no mesmo nível (PILLINER et al., 2004b).

A porção final da fase de apoio, denominada tempo de decolagem, consiste no período entre a retirada do talão (suspensão do talão) e da pinça (suspensão da pinça) do solo. Durante o tempo de decolagem, a pinça, que ainda está em contato com o solo, age como um fulcro ao redor do qual o talão gira, sob influência da retração do tendão do músculo flexor profundo dos dedos (O'GRADY & POUPARD, 2003; CLAYTON, 2004b; & KEEGAN, 2004; PILLINER et al., 2004a). Em uma superfície rígida, o casco permanece estático em relação ao solo, até que o talão comece a se elevar. Em uma superfície mais macia, a pinça afunda na superfície antes que o talão deixe o solo, o que reduz a pressão na região da falange distal. No momento da suspensão da pinça, os tendões e ligamentos podem se retrair irrestritamente, ocorrendo um período de aceleração, ou fase propulsiva, da metade da fase de apoio até a decolagem (PILLINER et al., 2004a).

Durante a fase de apoio, três funções biomecânicas são sucessivamente

assumidas pelas regiões caudal do casco, central e, finalmente, pela região cranial: amortecimento, suporte e propulsão. A distribuição do peso no casco muda constantemente durante esta fase e a carga mecânica na região caudal é maior que na cranial, especialmente após o impacto com o solo. A mudança na distribuição da força vertical da região caudal para a cranial ocorre pela reversão gradual dos momentos exercidos na falange distal pelos tendões dos músculos extensor comum dos dedos e flexor profundo dos dedos e o ligamento acessório (BARREY, 1990). A força de compressão exercida pelo tendão do músculo flexor profundo dos dedos sobre o osso navicular é proporcional à força nele exercida e à sua em torno deste osso (WILLEMEN et al., 1999).

Na articulação interfalangiana distal, somente o TFPD contrabalança o momento da força extensora originada pela reação do solo. Assim como na articulação interfalangiana distal, o momento da força exercida pelo solo sobre a articulação metacarpofalangiana iguala os momentos das forças exercidas sobre essa articulação pelos tendões dos músculos flexores profundo e superficial dos dedos e ligamento suspensor, conjuntamente (WILLEMEN et al., 1999). O pico relativo das forças verticais de reação do solo pode ser influenciado por diferenças de raça, provavelmente relacionadas à conformação (BACK et al., 2006)

Durante a fase de suspensão o membro age como um pêndulo. Quando os membros do equino deixam o solo, os mm. flexores do dedo puxam a falange distal para trás com tal energia, que sua rotação e o movimento para cima da articulação metacarpofalangiana adicionam força propulsiva para frente na passada, auxiliada pela elasticidade do ligamento suspensor. O membro torácico gira, tendo como ponto de pivô a parte superior da escápula. Na fase de suspensão o membro é puxado pra frente e logo pra trás, com a finalidade de reduzir a velocidade do casco antes do contato inicial com o solo (PILLINER et al., 2004b). Na fase de suspensão do trote há um período em que nenhum dos membros está em contato com o solo, denominado fase aérea (Fig. 10) (CLAYTON, 2004b).

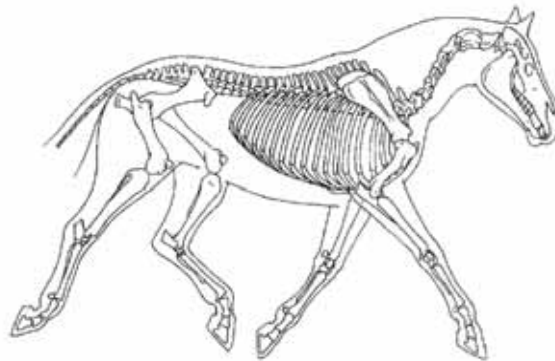


Figura 10: Ilustração da fase aérea do trote. (PILLINER et al., 2004b)

As forças que agem sobre o membro durante a fase de suspensão são relativamente pequenas, especialmente na porção distal do membro. Assim, desvios no padrão do movimento que ocorrem enquanto o membro é levado para frente provavelmente não influem na normalidade do andamento. Contrariamente, as grandes forças que suportam o peso do equino na fase de apoio são a causa da maioria das lesões em ossos, articulações, ligamentos e tendões destes animais (CLAYTON, 2004b). Membros torácicos suportam mais peso que os pélvicos, envolvendo mais concussão durante o movimento (PILLINER et al., 2004a) e o os. MIII é o osso que suporta sozinho o peso do corpo, sendo assim particularmente resistente (LIEBICH & KÖNIG, 2004).

As características das forças internas que atuam na FD dependem da conformação do casco e das forças externas sobre o dígito. Durante a locomoção, cada membro está sujeito a forças externas consideráveis. Em um equino sadio, ao menos cinco forças podem agir sobre a falange distal: forças de tensão dirigidas para as lâminas, forças de tensão providas do TFPD, forças de compressão providas da FM, forças providas do solo e uma força que age no processo extensor da falange distal, por meio dos ramos extensores do sistema suspensor. Estas forças agem simultaneamente, mas sua magnitude e direção podem variar de acordo com a posição do membro e a carga (LEACH, 1983). A tensão nos tendões e as modificações sagitais na orientação do membro são devidas primariamente às variações impostas nos

ângulos das articulações digitais, que alteram o curso dos tendões (CREVIER-DENOIX et al., 2001).

2.4. Princípios e técnicas de casqueamento e ferrajamento

Aspectos importantes do ferrajamento básico incluem o equilíbrio, o comprimento e a angulação do casco (O'GRADY & POUPARD, 2003). Para a aplicação de técnicas adequadas para cada caso é necessário conhecimento da direção e magnitude das forças que incidem sobre o membro bem equilibrado (LEACH, 1983).

O equilíbrio, que descreve as relações estáticas e dinâmicas dentro do casco e entre casco, solo e membro (PARKS, 2003), abrange tanto o equilíbrio dorsopalmar/dorsoplantar quanto o mediolateral. A orientação dorsopalmar correta assegura que toda a superfície solear da falange distal tenha a carga distribuída uniformemente durante o suporte do peso (O'GRADY & POUPARD, 2003).

O comprimento do casco é medido na face dorsal da pinça, desde seu contato com o solo até o fim da parede do casco na borda coronária, e determina o comprimento do braço de alavanca sobre o qual o membro rotaciona. O ângulo do casco é medido na junção da superfície dorsal da parede do casco com o solo (O'GRADY & POUPARD, 2003).

A conformação, ou forma, do casco é importante devido à sua relação com a função biomecânica da mão/pé (O'GRADY & POUPARD, 2003). Tanto a conformação quanto o equilíbrio são conceitos tridimensionais e alterações em um plano influenciam os outros. O equilíbrio pode ser manipulado pelo clínico no animal adulto, mas a conformação não (PARKS, 2003). O tendão flexor digital profundo é a principal influência na conformação do membro distal no plano sagital (MORRISON, 2007).

A mão bem equilibrada possui harmonia entre as estruturas de suporte de tecido mole e a coluna óssea (MORRISON, 2007). É definida como aquela em que uma linha desenhada na superfície dorsal da parede do casco (eixo do casco) e uma linha desenhada ao longo da superfície do talão estão alinhadas ou paralelas a uma linha

que se estende longitudinalmente através das três falanges (eixo da quartela) (LEACH, 1983; O'GRADY & POUPARD, 2003; CURTIS, 2008) (Fig. 11 e 12). O termo mão funcional ainda inclui uma parede do casco espessa, adequada profundidade de sola, talão bem definido e anéis de crescimento semelhantes na parede do casco (O'GRADY & POUPARD, 2003). A repetitiva carga mecânica decorrente da inércia do corpo, exercida em um casco mal equilibrado, provavelmente induz microlesões, assim como apresenta poder destrutivo em tecidos debilitados (BARREY, 1990).

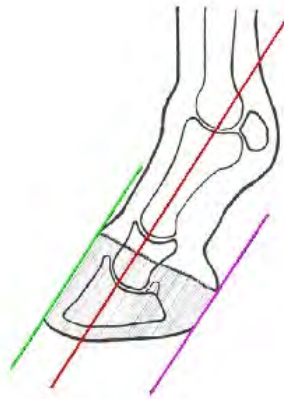


Figura 11: Figura esquemática da angulação ideal do casco: alinhamento entre as linhas desenhadas sobre a superfície dorsal da parede do casco (verde), sobre a superfície do talão (roxa) e através as três falanges (vermelha). (O'GRADY & POUPARD, 2003)



Figura 12: Figura esquemática do alinhamento ideal das falanges. (O'GRADY & POUPARD, 2003)

Falhas em manter o alinhamento das falanges podem levar a muitas condições de claudicação, incluindo laminite mecânica, dor no talão, doenças degenerativas nas artt. interfalangianas, lesões nos tendões flexores e lesões na parede dorsal do casco (CURTIS, 2008). Desequilíbrios dorsopalmares alteram o padrão do contato inicial do membro, com risco de ocorrerem injúrias musculoesqueléticas (LEACH, 1983). A sobrecarga regional é uma causa comum de dor no talão (MORRISON, 2007).

O “eixo do casco quebrado” é definido como o eixo do casco diferente do eixo da quartela (TURNER & STORK, 1988). Um “eixo quebrado para frente” (Fig. 13A), onde a verticalidade da parede dorsal do casco é maior do que o eixo da quartela, pode levar a tropeços e excessivo impacto nos talões. Se o equino tem um “eixo quebrado para trás” (Fig. 13B), com a pinça comprida e proeminente e o talão colapsado, o andamento se torna mais trabalhoso (CURTIS, 2008).



Figura 13: Figura esquemática do “eixo quebrado do casco”. A: “eixo quebrado para frente”; B: “eixo quebrado para trás”. (O’GRADY & POUPARD, 2003)

Procedimentos de casqueamento e ferrajamento que manipulam o ângulo e o comprimento da pinça ou a altura do talão têm sido usados como parte do esquema terapêutico de diversas afecções do sistema locomotor, para melhoria do desempenho atlético ou para resolver lesões de interferência (LEACH, 1983; STASHAK, 2002; CLAYTON, 1990; CHATEAU et al.; 2004), mas existem controvérsias sobre a correta seleção do ferrajamento para as diversas condições clínicas de claudicação.

Normalmente, assume-se que elevar o talão possui efeito contrário a rebaixar o talão (LEACH, 1983).

Ao se indicar uma prática de ferrajamento que eleva ou rebaixa o talão, os efeitos secundários do ângulo da articulação metacarpofalangiana precisam também ser levados em conta, porque mudanças nesse ângulo podem afetar o TFPD e o LS (LEACH, 1983). A art. IFP é uma articulação móvel e o ferrajamento ortopédico tem efeito direto na sua função. Como são usados normalmente calços sagitais, suas consequências biomecânicas na flexão/extensão da art. IFP devem ser levados em consideração pelo clínico (DEGUEURCE et al., 2001).

2.4.1. Efeitos da elevação do talão

O talão elevado subcarrega o talão e sobrecarrega a pinça (MORRISON, 2007). A elevação do talão induz flexão do cotovelo, associado a uma posição mais vertical do membro e induz, simultaneamente, extensão da art. MF (CREVIER-DENOIX et al., 2001). Ocorre também flexão precoce da articulação interfalangiana proximal, associada a uma posição mais horizontal da falange proximal e a uma orientação mais vertical da falange media (DEGUEURCE et al., 2001). Com isso, a origem dos mm. flexores digitais fica sob tensão, aumentando a carga especialmente no TFSD (CREVIER-DENOIX et al., 2001).

À medida que o membro se torna mais vertical, a coluna óssea se torna mais carregada e os ossos aparentam estar empilhados uns sobre os outros. Esta conformação sobrecarrega a coluna óssea e subutiliza as estruturas de suporte de tecido mole (MORRISON, 2007). A elevação do talão reduz em cerca de 24% a força máxima exercida pelo TFPD sobre o os. SD e em cerca de 21% o momento na art. MF, mas aumenta em 5% a contribuição do TFSD e do LS para o momento total de força na art. MF (WILLEMEN et al., 1999). A articulação interfalangiana proximal possui capacidade de absorção de choques e sua flexão reduz a tensão no tendão flexor digital profundo durante a fase de apoio (DEGUEURCE et al., 2001). Assim, a elevação do talão reduz a pressão na região do talão (LEACH, 1983).

Em animais com o eixo das falanges quebrado para trás, a elevação do talão fornece melhor suporte ao aparelho suspensório e ao talão, reduzindo assim a tensão na parede dorsal do casco. No entanto, um “eixo do casco quebrado para frente” pode levar a tropeços e excessivo impacto nos talões (CURTIS, 2008).

A flexão da art. IFD pela elevação do talão é fortemente indicada para a síndrome podotroclear, ou síndrome do navicular, já que o alívio no TFPD reduz a pressão no aspecto palmar do os. SD (CREVIER-DENOIX, et al., 2001) e para reduzir a tensão no TFPD (LEACH, 1983). Entretanto, devido à extensão da art. MF, a elevação do talão está claramente contra-indicada na maioria das lesões desta articulação, nas quais o objetivo deveria ser limitar sua hiperextensão (CREVIER-DENOIX, et al., 2001), assim como em lesões no TFSD e no LS (LEACH, 1983).

A elevação excessiva do talão pode modificar a orientação e a carga vertical exercida nas falanges distal e média, criando uma força potencialmente destrutiva entre a falange distal e a parede do casco. Assim, qualquer benefício de elevar o talão depende do conhecimento do limite ótimo desta elevação (LEACH, 1983).

2.4.2. Efeitos da elevação da pinça

A elevação da pinça é responsável por uma pequena extensão do cotovelo e um aumento no ângulo metacarpofalangiano dorsal, o que pode reduzir a tensão do TFSD (CREVIER-DENOIX et al., 2001). Ocorre também extensão da art. IFP, o que pode diminuir a capacidade de absorção de choques desta articulação, sobrecarregar as outras articulações digitais e causar aumento de tensão no TFPD (DEGUEURCE et al., 2001).

Uma pata com talão muito baixo subutiliza a coluna óssea e a região da pinça, sobrecarregando a região do talão e os tecidos moles das estruturas de suporte, com alongamento da unidade musculotendínea do TFPD. Isto permite que o osso navicular assumam um ângulo pequeno ou até mesmo negativo com o casco, já que o tendão não suporta verticalmente a região caudal deste osso. Se esta condição persiste, o posicionamento do membro coloca mais força nos talões, gerando um ciclo de

sobrecarga do talão, colapso estrutural e consequente sobrecarga (MORRISON, 2007). Uma pinça excessivamente longa aumenta a força necessária para a decolagem, prolongando assim a fase de apoio e aumentando a tensão no TFPD e estruturas associadas (O'GRADY & POUPARD, 2003) e um pico de força ocorre imediatamente antes da suspensão da pinça (BARREY, 1990).

Os possíveis efeitos deletérios de elevar a pinça incluem tensões alteradas no tendão flexor digital profundo e outras estruturas na região do talão (CLAYTON, 1990).

2.4.3. Influência do tipo de ferradura

As ferraduras reorientam o estresse nas estruturas internas do casco (PARKS, 2003). Com relação ao material, ferraduras viscoelásticas costumam prevenir lesões por uso exagerado das articulações distais, devido ao amortecimento do impacto no solo (BARREY, 2004).

A utilização de uma barra na ferradura na área do talão fornece maior rigidez ao estojo córneo, por reduzir o movimento de cisalhamento (CURTIS, 2008), e previne a concussão direta sobre o os. SD (LEACH, 1983).

Ferraduras ovais impedem que o talão e o lado medial do casco afundem no solo macio, causando estabilização do casco no plano transversal (CHATEAU et al., 2006), mas não têm efeito no momento de força nas artt. MF e IFD nem influência na força exercida pelo TFPD sobre o os. SD. Quando comparadas às ferraduras normais, as ferraduras ovais diminuem a animação do trote, isto é, o movimento do membro distal na direção vertical, mas não alteram o comprimento e a duração da passada ou percentual da fase de apoio (WILLEMEN et al., 1999).

A literatura apresenta informações nem sempre condizentes, e por vezes incompletas, em relação às alterações biomecânicas induzidas pelo ferrajamento. Assim, com este trabalho objetivou-se avaliar, por meio da cinematografia, as alterações biomecânicas induzidas após elevação em seis graus da pinça ou do talão no casco dos membros torácicos de equinos e verificar se tais alterações também são influenciadas pelo tipo de material utilizado na confecção ferradura – ferro ou alumínio.

III. MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de utilizar terminologias adequadas, adotou-se a nomenclatura anatômica de SCHALLER (1999).

3.1. Animais

Foram utilizados seis equinos adultos destreinados da raça Puro Sangue Árabe, quatro machos e duas fêmeas, entre cinco a seis anos de idade, peso médio e desvio padrão de $401 \pm 11,3\text{kg}$, pertencentes ao Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária (DCCV) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária/UNESP, Campus de Jaboticabal. Os animais foram previamente adaptados à esteira rolante (Esteira Galloper® Sahinco LTDA, 5500, Palmital, SP, Brasil) e mantidos em baias individuais, onde receberam três quilos de concentrado comercial para manutenção, feno de gramínea e água *ad libitum*. Antes do período experimental, os animais foram submetidos a exame (ALVES, 2004) para avaliação da higidez e exame físico minucioso do sistema locomotor, sendo utilizados equinos sadios, com os cascos dos membros torácicos (MTs) semelhantes ao contralateral em tamanho e forma, em boas condições nutricionais e após passarem por programas de desverminação, combate a ectoparasitas e vacinação.

3.2. Protocolo experimental

O experimento foi realizado no Laboratório de Fisiologia do Exercício Equino e Farmacologia (LAFEQ), situado no Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP. O ensaio foi realizado em três etapas, com uma semana de

duração cada, e teve aprovação do Comitê de Ética de Bem Estar (CEBEA) desta instituição (protocolo 028057-08).

Previamente ao experimento, todos os cascos dos animais foram casqueados e balanceados, respeitando o ângulo da parede do casco em relação ao solo, de tal forma que a parede do casco dorsal estava alinhada com o eixo da quartela tanto lateral quanto frontalmente.

Na primeira semana, basal, os membros torácicos foram casqueados e ferrados com ferraduras planas de ferro. Após esta semana, os animais foram distribuídos em dois grupos: grupo I (GF), ferrados durante todo o período com ferraduras confeccionadas em ferro, e grupo II (GA), ferrados durante todo o período com ferraduras em alumínio; cada grupo composto por dois equinos machos e uma fêmea (Tab. 1). Nas duas semanas seguintes houve elevação em seis graus da pinça ou do talão em ambos os membros torácicos, mediante aplicação de ferraduras em forma de cunha, nas quais a espessura, ora da pinça, ora do talão, eram maiores, conferindo à face superior da ferradura inclinação de seis graus (Fig. 14A e B). O peso das ferraduras confeccionadas com ferro e alumínio, sem elevação (plana) ou com elevação de pinça ou talão, encontra-se na Tabela 2. Todo o procedimento de confecção das ferraduras, casqueamento e ferrajamento foi realizado por um ferreiro experiente.

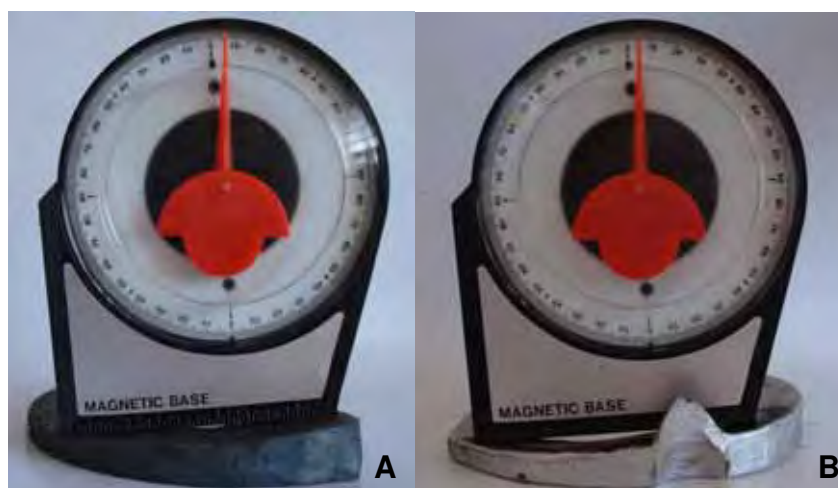


Figura 14: Elevação em 6º por meio de cunhas nas ferraduras de ferro (A) e alumínio (B).

Tabela 1: Distribuição dos animais em grupos e tipo de elevação. Jaboticabal, 2010.

Grupo	Animal	Identificação	Material	Semana 1	Semana 2	Semana 3
I	1	GF1	Ferro	Basal	Talão	Pinça
I	4	GF2	Ferro	Basal	Pinça	Talão
I	6	GF3	Ferro	Basal	Talão	Pinça
II	3	GA1	Alumínio	Basal	Pinça	Talão
II	5	GA2	Alumínio	Basal	Pinça	Talão
II	7	GA3	Alumínio	Basal	Pinça	Talão

Tabela 2: Peso das ferraduras utilizadas durante o experimento, de acordo com o material (ferro ou alumínio) e o tipo de elevação (plana ou 6°). Jaboticabal, 2010.

Tipo de material	Tipo de elevação	Peso médio (g)
Ferro	Plana	340
Ferro	6°	533
Alumínio	6°	202

Os equinos realizaram três sessões de exercício ao trote em esteira rolante, com velocidade de 3m/s, em dias alternados, e foi avaliado o andamento apenas no último dia de cada semana, sendo as duas sessões anteriores utilizadas para adaptação às ferraduras (WILLEMEN et al., 1999). Não houve período anterior de adaptação às ferraduras, ou seja, a primeira sessão de exercício foi realizada no dia seguinte ao ferrajamento.

3.3. Obtenção e processamento das imagens

O ambiente da esteira foi revestido com tecido preto não refletor e a base de madeira da esteira rolante pintada com tinta preta fosca, para evitar fontes espúrias de luz. Foi definido espaço de 2m de largura por 2,5m de comprimento por 1,5m de altura em torno da esteira; nesse espaço o animal ao trote foi filmado por duas câmeras. A identificação das coordenadas espaciais foi feita por meio de 24 marcadores, (numerados 1 a 24) colocados em quatro colunas suspensas (Fig. 15 e 16), denominadas C1, C2, C3 e C4.

As filmagens foram feitas com auxílio de duas câmeras de vídeo digitais (Panasonic, AG-DVC20 Mini DV®), utilizando fitas de vídeo digitais (Mini DV Panasonic 70,4mm 60min Linear Plus). As câmeras foram colocadas a aproximadamente 90 cm do solo com respectivos tripés e iluminadores de 300watts (Mirage-VLE 300 focal®), localizadas com vista frontal (Fig. 15) e com vista para a face fronto-lateral esquerda, obliquamente à manta de rolagem da esteira (Fig. 16). A câmara frontal foi denominada câmera 1 (CAM1) e a oblíqua denominada câmera 2 (CAM2).

Para a filmagem foi utilizada metodologia adaptada de Christovão et al. (2007). Os MTs foram pintados com tinta preta fosca, para evitar reflexos de luz. Foram utilizados dois marcadores esféricos reflexivos de 15 mm de diâmetro, apoiados sobre uma base de velcro fixada à parede do casco do membro torácico esquerdo com auxílio de cola de secagem rápida para garantir sua permanência durante o movimento. O marcador lateral, denominado marcador 1 (M1), foi colocado no terço médio da face lateral do casco; o marcador frontal, denominado marcador 2 (M2), foi colocado no terço médio-proximal da parede dorsal do casco, como mostra a Figura 17.

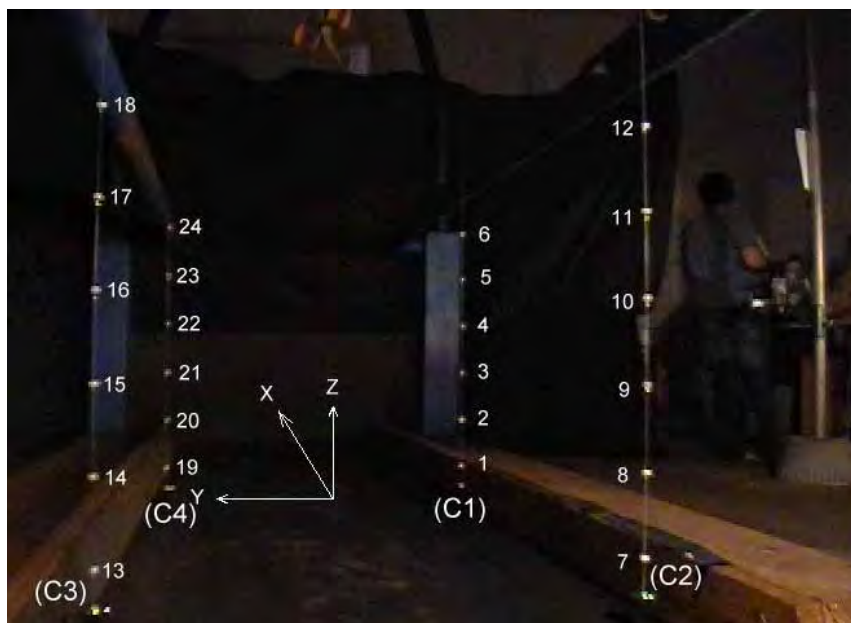


Figura 15: Ambiente de filmagem e campo de visão da câmera 1, marcadores da calibração e definição de coordenadas.

Números correspondem aos marcadores, C1-C4 às colunas suspensas.

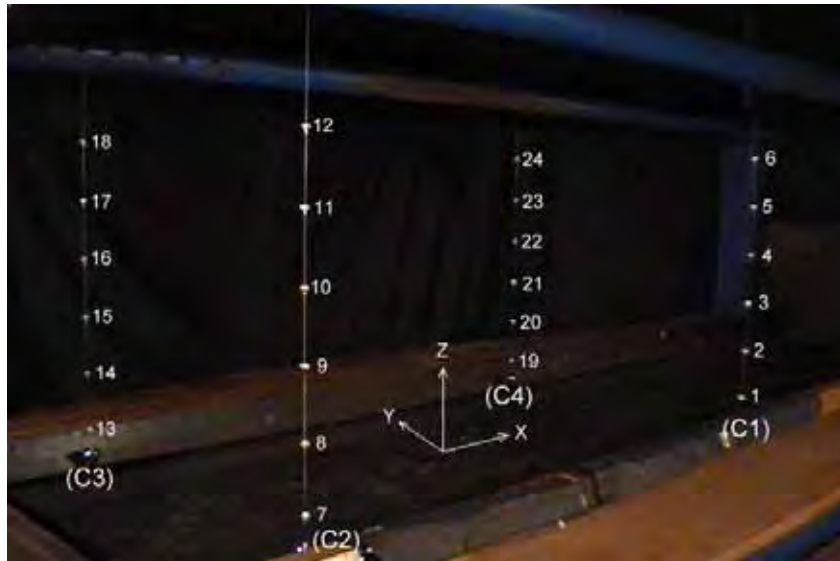


Figura 16: Ambiente de filmagem e campo de visão da câmera 3, marcadores da calibração e definição de coordenadas.
Números correspondem aos marcadores, C1-C4 às colunas suspensas.



Figura 17: Posição dos marcadores esféricos reflexivos M1 (lateral) e M2 (dorsal) no casco do membro torácico esquerdo do equino.

A sessão foi gravada a 30 Hz e as imagens capturadas exportadas para um Pentium IV mediante emprego de um programa de captura de imagens (AMCAP® - capture application sample, v.8000, Microsoft Corporation), que transformou as imagens para o formato padrão AVI. O programa de análise de imagens Dvideow® v.5.0 (BARROS et al., 1999) do Laboratório para Instrumentação Biomecânica, Faculdade de Educação Física – UNICAMP, foi utilizado para cortar as imagens, identificar e rastrear os marcadores e obter as coordenadas bidimensionais de cada vídeo compondo-as para obter as coordenadas tridimensionais a partir de cada par de vídeos.

Alguns tópicos de “Resultados” e “Discussão” foram abordados nesta sessão para facilitar o entendimento da sequência realizada até atingir a metodologia aqui adotada.

O corte das imagens leva em conta o sincronismo temporal dado por uma claquete comum. O bater da claquete identifica o mesmo quadro nos vídeos das duas câmeras, permitindo sincronizar os vídeos de ambas as câmeras.

A sincronização utilizando a claquete é crítica. Em alguns filmes esta fica bastante dúbia, por falta de visibilidade completa da claquete nas duas câmeras simultaneamente, ou por falta de resolução da imagem. Outro artifício que poderia ser utilizado para sincronizar os quadros das duas câmeras seria o ruído produzido pela claquete; infelizmente este recurso também não pode ser realizado neste trabalho. Tendo como exemplo o animal GA2 basal, na câmera 1 a reverberação se inicia no quadro 102, quando a claquete ainda está aberta, e persiste até o quadro 124, muito depois do fechamento da claquete (Fig. 18); justamente o filme que apresentou a maior dificuldade para sincronizar o fechamento da claquete nas duas câmeras.

A presença de um pico de som no quadro 102, sem o fechamento concomitante da claquete, indica defasagem entre a gravação do vídeo e do áudio. Embora na câmera 2 o sinal seja análogo, não é possível afirmar que a defasagem som-imagem seja a mesma para as duas câmeras; portanto este sinal não pode ser utilizado para o sincronismo.



Figura 18. Início da recepção do som antes do fechamento da claquete e persistência da reverberação do som por vários quadros.

A estimativa equivocada do ponto de sincronismo pode gerar grandes erros na reconstrução 3D. Testes realizados com deslocamento proposital de um e de dois quadros mostraram diferenças de quase 200 mm. Este ponto pode ser bastante melhorado adotando-se mais que uma batida da claquete em posições diferentes, cuidando-se da visibilidade da claquete para todas as câmeras, e utilizando-se uma claquete eletrônica, mesmo que improvisada com “LEDs” (Light emitting diode) ou com cronômetro esportivo de centésimos de segundo.

A metodologia natural seria identificar os quadros $q_{1,i}$ a $q_{1,j}$ da câmera 1 correspondentes aos mesmos instantes de tempo dos quadros $q_{2,k}$ a $q_{2,m}$ da câmera 2 (com $n = j - i = m - k$), e cortar ambos os vídeos, obtendo-se duas sequências de quadros numerados de 1 a n em cada câmera correspondentes agora aos mesmos instantes de tempo vistos sob dois ângulos diferentes. No entanto, o processo de corte e rastreamento não é reversível, e caso se deseje modificar i , j , k ou m , o trabalho de corte e rastreamento deverá ser refeito desde o início, implicando em grande esforço e perda de tempo.

Para evitar esta situação, utilizou-se outra sequência, rastreando os vídeos integralmente sem cortes; as sequências de coordenadas são então sincronizadas pela simples manipulação de índices de quadros. Desta forma, alterações em i , j , k ou m não exigem novo rastreamento.

3.3.1. Calibração

A calibração das coordenadas foi realizada com o programa DVIDEOW, filmando-se as quatro colunas de marcadores. Na etapa de calibração registram-se no DVIDEOW as coordenadas espaciais dos 24 marcadores, determinadas mediante medições feitas em campo com trena métrica e uma mangueira cheia de água para a determinação da horizontal. Os 24 marcadores são rastreados, em um quadro, nos filmes de ambas as câmeras e o DVIDEOW gera dois arquivos de calibração, um para cada câmera.

O teste de sanidade aplicado utilizou os mesmos dados da posição rastreada dos 24 marcadores para efetuar a reconstrução 3D das coordenadas espaciais desses marcadores, e compará-las com as coordenadas reais fornecidas para o processo de calibração. Constatou-se que os erros são maiores no eixo Z, ($-0,15 \pm 3,63$ mm, contra $-0,07 \pm 2,33$ mm no eixo X e $-0,29 \pm 1,69$ mm no eixo Y) (Fig. 19A) e dependem da posição do marcador no campo de visão das câmeras; provavelmente o efeito de aberração esférica, decorrente da lente da câmera, é responsável por erros tanto maiores quanto mais afastados do centro do campo de visão. A figura 19B mostra os erros do eixo Z de cada coluna como função do número do marcador dentro da coluna (1 a 6).

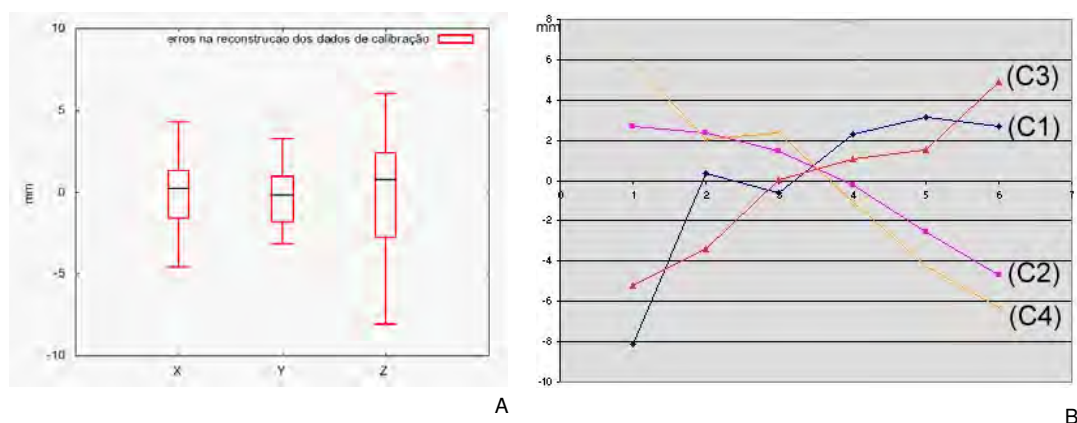


Figura 19: Erros em mm da posição reconstruída dos marcadores de calibração. A- dispersão dos erros em x, y e z. B- Valores maiores de erros dos calibradores nas colunas quanto mais distantes do centro da imagem.

As colunas C1 e C3 ficam nos mesmos extremos em ambas as câmeras, e as colunas C2 e C4 ficam em extremos opostos em cada câmera, o que justifica a inclinação diferente para cada par.

Os marcadores 3 e 4 possuem erros menores que 2mm, porém os marcadores 1 e 6, nos extremos das colunas, chegam a apresentar erros de 8mm. Vê-se também que os erros são, aproximadamente, lineares com a distância ao centro do campo de visão.

Os marcadores colocados no casco movem-se sempre no extremo inferior do campo de visão das câmeras e, portanto, pode-se esperar que os erros do processo de reconstrução 3D sejam da ordem de 10mm. Por isso a análise deste trabalho baseou-se quase em sua totalidade nos dados bidimensionais dos filmes rastreados, evitando-se a composição dos erros de aberração esférica.

No fim do processo de rastreamento e reconstrução de todos os vídeos, pode-se proceder a mais um teste de sanidade, pela análise do valor da distância entre os marcadores 1 e 2 nas coordenadas $[X,Y,Z]$. Os erros mostraram heterocedasticidade proporcional à diferença de elevação em Z, como anteriormente descrito. Também foi feita a análise de sensibilidade quanto a erros de rastreamento e arquivos de coordenadas de rastreamento com diferenças de uma unidade nas coordenadas $[X,Y]$ produzem erros de até 5mm nas coordenadas $[X,Y,Z]$. Deve-se notar que erros de uma unidade nas coordenadas de rastreamento $[X,Y]$ são muito pequenos e extremamente comuns quando se estima manualmente a posição de um marcador e até mesmo na sequência de rastreamento automático do DVIDEOW. Mesmo assim, os erros de até 5mm nas coordenadas $[X,Y,Z]$ são diminuídos quando se calcula a distância entre marcadores, produzindo erro máximo de 0,25mm nessa distância, mostrando serem correlacionados para ambos os marcadores; os erros dependerão também das transformações feitas sobre os dados tridimensionais.

3.3.2. Rastreamento

O rastreamento feito com a utilização do programa DVIDEOW é o passo mais trabalhoso de todo o processo. O processo de rastreamento termina com um único

arquivo “.dat” contendo as coordenadas temporais [x,y] de todos os marcadores, espaçadas no tempo de 1/60 seg; porém isso nem sempre sucede. Nesse caso é possível salvar os dados em mais que um arquivo, e uni-los em um único arquivo com alguma ferramenta de software, tal como o Excel. Foi utilizada a linguagem de programação Perl, para tratamento dos arquivos de dados, o que permite um tratamento automático que pode ser facilmente refeito quando necessário.

Devem ser feitas algumas considerações importantes sobre este processo de rastreamento. Apesar de o casco ter sido pintado de preto fosco, há reflexos no casco que “enganam” o DVIDEOW, fazendo com que ele tome o reflexo como marcador, algumas vezes em sequências extensas, o que significa que mesmo com trabalho cuidadoso de pintura do casco não foi possível excluir fontes de luz que não fossem dos marcadores. Este falso rastreamento pode passar despercebido, e é necessário estabelecer testes de sanidade para identificar tais ocorrências. Como os dois marcadores utilizados estavam fixos a uma estrutura rígida – o casco – a distância entre estes fica dentro de limites bem reconhecíveis, não sendo constante devido a erros de perspectiva; mesmo assim, erros de rastreamento como o acima relatado são facilmente identificáveis.

O marcador altamente reflexivo parece introduzir erros no rastreamento (Fig. 20) por apresentar brilho não uniformemente distribuído na imagem desse marcador. Talvez um marcador branco fosco apresente melhores resultados, ficando isto como sugestão para próximas pesquisas.

Além do rastreamento dos marcadores há a necessidade de identificar visualmente os instantes em que o casco toca a esteira e como esse contato inicial é realizado. Foi considerada a idéia de pintar uma faixa branca na circunferência distal do casco, para melhorar o contraste e facilitar a identificação desses instantes, mas isso poderia dificultar ainda mais o processo de rastreamento por desviar o reconhecimento dos marcadores.



Figura 20: Problemas no rastreamento automático pelo DVIDEOW: o ponto 5 (seta vermelha) está muito abaixo da posição real do marcador (seta azul).

O rastreamento foi realizado nos filmes originais, sem qualquer outro tratamento pelo DVIDEOW. Desta forma havia trechos em que a passada era anormal, e casos em que o marcador é oculto pelo outro membro torácico, ou até mesmo por entrarem em regiões de sombra do próprio membro. Nos quadros em que um marcador era invisível, foi adotada a estratégia de fornecer manualmente as coordenadas do canto superior esquerdo como sendo as coordenadas do marcador, para permitir a continuidade do processo pelo programa. Estas coordenadas são facilmente reconhecíveis no arquivo de dados, e podem ser manualmente editadas e trocadas por “NaN” (“not a number”). Outra consideração importante é cuidar de que o zoom não esteja acionado pelo botão direito do mouse, ao marcar o canto superior esquerdo, caso contrário as coordenadas resultantes não serão mais facilmente identificáveis.

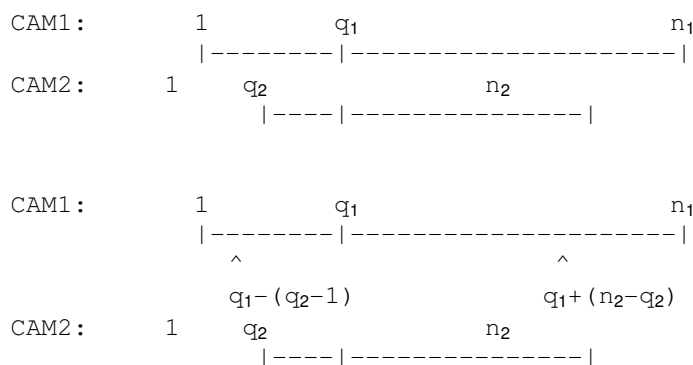
É importante frisar que se um marcador é invisível em uma câmera o quadro correspondente da outra câmera deve ser anulado também. Esta consistência não pode ser feita nesta etapa, sendo efetuada na etapa 4.

Algumas notas podem ajudar a facilitar o trabalho com o DVIDEOW: 1) muitas vezes o DVIDEOW aparece com os botões de “parar”, “avançar” e “retroceder” desenhados do lado direito, muito longe do menu “Tracking”, o que dificulta o ato de clicar em “track markers” e logo posicionar sobre o botão de “parar”; em geral, se usarmos a opção Windows de “mostrar desktop” o DVIDEOW ao retornar se redesenha e coloca esses botões do lado esquerdo, o que torna o processo mais fácil; 2) as setas direita e esquerda avançam e retrocedem o filme no DVIDEOW; 3) na maior parte dos casos basta corrigir um ponto para retomar a função “track markers” – não é necessário corrigir mais que um ponto à frente, em geral.

3.3.3. Sincronização

Procurou-se fazer com que o reconhecimento de todos os eventos pertinentes fosse automático, sempre que possível, a partir dos dados das coordenadas dos marcadores. Eventos dissociados dos marcadores exigem identificação visual pelo experimentador e é necessário identificar visualmente o sincronismo entre os dois filmes por meio da batida da claquete, o que foi anteriormente citado como ponto crítico do processo.

Supondo que o filme da câmera 1 possua n_1 quadros, e o filme da câmera 2 possua n_2 quadros. Depois de identificado o quadro q_1 da batida da claquete na câmera 1 e o quadro q_2 correspondente na câmera 2, pode-se gerar uma nova sequência de numeração de quadros que seja comum a ambas as câmeras:



A sequência $(q_1-(q_2-1))$ a $(q_1+(n_2-q_2))$ da câmera 1 corresponde à sequência 1 a n_2 da câmera 2. Casos em que $n_2 > n_1$ são tratados da mesma maneira.

Nota-se que se imagina a sequência de quadros como se fosse iniciada em 1, pois é assim que o DVIDEOW a apresenta na tela; no entanto os arquivos de coordenadas $[x,y]$ são numerados de zero a n_1-1 , zero a n_2-1 .

Antes de invocar o programa DVIDEOW é necessário trocar os valores “NaN” por zero, por exigência desse programa. Nesta etapa seria possível eliminar os quadros da câmera 2 correspondentes aos quadros da câmera 1 nos quais algum marcador está invisível, e vice-versa. Porém, a etapa de reconstrução 3D, que exige valores não negativos, vai gerar coordenadas 3D espúrias, que necessitarão ser editadas e trocadas por “NaN”; por isso, a eliminação de quadros inválidos foi feita em todos os arquivos na etapa 4. É bom notar que o valor “NaN” nos arquivos de dados é importante para garantir a identificação como não numérico em todos os casos, pois nada garante a inexistência de coordenadas com valor zero no caso genérico.

3.3.4. Reconstrução 3D

Esta é uma etapa manual, utilizando o programa DVIDEOW. Os filmes e os arquivos de coordenadas $[x,y]$ geram um arquivo com as coordenadas tridimensionais dos marcadores 1 e 2. Também uma nota para facilitar o trabalho com o DVIDEOW: é possível utilizar sempre as mesmas janelas [1] e [2]; desta forma os arquivos de calibração são carregados uma única vez, e carrega-se “Sequence Load” [1] e [2] e depois “Measurement Load” [1] e [2].

3.3.5. Sincronismo 2D com 3D

Nesta etapa os arquivos com coordenadas bidimensionais e coordenadas tridimensionais são mesclados em um único arquivo, aqui denominado “coordenadas 5D”. Isto facilita o processo de análise de dados, já que a maioria dos cálculos deste trabalho foi realizada sobre coordenadas bidimensionais de cada filme, e apenas o

cálculo da “altura da passada” necessitou utilizar coordenadas tridimensionais. Nesta etapa foram realizados os testes de sanidade possíveis, tais como os limites da distância entre os marcadores 1 e 2 no espaço – que deve ser uma constante - marcando com “NaN” todas as coordenadas dos quadros nos quais ao menos um marcador não estava visível, assim como a própria repetição da órbita das 23 passadas.

Nos arquivos “5D” estavam as coordenadas $[x,y]$ dos marcadores 1 e 2 na câmera 1, as coordenadas $[x,y]$ dos marcadores 1 e 2 na câmera 2 e as coordenadas $[X,Y,Z]$ dos marcadores 1 e 2 no espaço. Desta forma, foram utilizados aqui três conjuntos de índices: dois índices originais (de zero a n_i) dos filmes sem cortes e os índices de sincronizados pela claquete para os filmes originais (índices (de 1 a m_k) das coordenadas tridimensionais). Após toda esta sequência verificou-se que, se o sincronismo das claquetes fosse inequívoco, o processo deveria ter sido: conferir o sincronismo pela posição da claquete; cortar novos filmes em 60Hz, eliminando as partes não comuns das duas câmeras; rastrear os filmes 2D, gerando arquivos 2D com o mesmo número de quadro; reconstruir os dados 3D a partir destes dois arquivos 2D. Tais adaptações geram um conjunto coerente em que a mesma sequência de índices se aplica não só a todas as sequências de dados, como também à visualização dos filmes pelo DVIDEOW, e permite utilizar facilmente qualquer segmento das imagens.

3.3.6. Determinação do número de passadas

Para a determinação do início de cada passada adotou-se o reconhecimento automático de um evento bem determinado: o instante em que o marcador 2 (frontal) inverte a direção do movimento na câmera 1 (também frontal). Devido ao efeito de perspectiva dessa câmera frontal, a esteira parece subir no campo de visão. O casco desce até tocar a esteira, quando então passa a subir (aparentemente). A derivada de $yM2(CAM1)$ inverte o sinal, e esse instante determina o início da fase de apoio, tomado como início da passada.

A programação do reconhecimento desse instante em que a derivada inverte o sinal não é muito fácil. O algoritmo utilizado foi:

“ $t_{apoio} = (q+1)$ se ($(dyM2[q] \geq 0)$ AND anteriores(1) AND proximos(10))”, onde anteriores(n) exige n derivadas ≥ 0 ; próximos(n) exige a primeira derivada negativa (por iniciar-se uma serie negativa) e o número de negativos ser maior que o dobro do número de positivos ou nulos nos próximos n quadros. Além disso, foi necessário excluir todas as sequências em que a derivada seguia o padrão “positivo, negativo, positivo, positivo”, devido a um problema na determinação da posição do marcador pelo DVIDEOW, causado pela irregularidade do reflexo do marcador, como mostrado anteriormente na Figura 19.

Nesta sequência, embora o marcador 1 (pontos amarelos) suba monotonicamente (com o casco apoiado sobre a esteira), percebe-se que o brilho está concentrado em dois pontos, superior direito e inferior esquerdo; o programa estava consistentemente estimando a posição pelo brilho superior, e passou a estimar a posição pelo brilho inferior. Com isso, a posição do marcador parece descer no quarto ponto (contando-se de baixo para cima) mostrado na Figura 19, embora o marcador continue subindo. Essa inversão espúria da derivada dificulta os reconhecimentos de padrões, e provavelmente é responsável por boa parte dos erros de conversão tridimensional.

Da aplicação desse algoritmo obteve-se uma tabela com o número de passadas de cada filme e pode-se então escolher o maior número de passos a serem analisados em todos os filmes.

Durante a etapa de rastreamento foi possível familiarizar-se com o andamento de todos os cavalos, e notou-se que quase todos se assustavam com o bater da claquete, introduzindo distorções no andamento. Por isso, escolheu-se ignorar os primeiros 5 passos depois do bater da claquete, tempo suficiente para os cavalos retomarem o andamento normal. Assim, o maior número de passadas completas em todos os filmes foi 23.

Para o tratamento das etapas seguintes escolheu-se gerar novos arquivos de dados “5D”, contendo apenas os trechos correspondentes aos 23 passos.

3.3.7. Gráficos e tabelas dos dados bidimensionais e tridimensionais das variáveis estudadas

Para produzir os gráficos utilizados neste trabalho escolheu-se o programa GNUPlot (<http://www.gnuplot.info>), por ser projeto “open source”. Foram gerados vários roteiros para produzir os gráficos a partir dos arquivos de dados bidimensionais e tridimensionais dos 23 passos.

Para produzir as tabelas de dados para análises estatísticas, foram escolhidos os parâmetros: duração da passada, duração da fase de apoio, duração da fase de suspensão, percentual da fase de apoio e altura e comprimento da passada. Com exceção da variável altura da passada, determinada com dados 3D, todas as variáveis foram determinadas com imagens 2D.

A duração da passada já estava disponível, como a diferença entre os quadros de início de passada determinados na etapa 5. O início da passada corresponde ao ponto de contato em que o casco toca a esteira. Mais uma vez a resolução de quadros das câmeras utilizadas foi insuficiente para determinar se o casco toca a esteira pinça-primeiro, talão-primeiro ou com toda a sola. Talvez outra disposição de marcadores permita melhorar a determinação desse ângulo; de qualquer forma, as variações são muito pequenas e muito rápidas. Estudos que necessitem prioritariamente determinar o tipo de contato são mais bem conduzidos utilizando placas de força ou câmeras que possibilitem maior definição temporal das imagens.

Em segundo lugar foi necessário determinar o fim da fase de apoio e início da fase de suspensão dentro da passada. O tempo de decolagem consiste da diferença entre os instantes em que o talão começa a elevar-se até a decolagem propriamente dita, quando a pinça deixa a esteira. A determinação exata do tempo de decolagem não foi possível com o aparato utilizado, pois a resolução no tempo das câmeras utilizadas, 60 quadros por segundo, é insuficiente para isso. A 60 quadros por segundo o tempo de decolagem dura menos que dois quadros, o que inviabiliza a precisão razoável com os dados disponíveis. Na câmera 2 (fronto-lateral), o ângulo formado entre os marcadores durante a fase de apoio, determinado pelas coordenadas bidimensionais, é constante, e

começa a aumentar no instante em que o talão começa a elevar-se. A inspeção visual dos filmes mostra que a velocidade no eixo x da pinça é constante durante a fase de apoio, e aumenta repentinamente no instante em que a pinça deixa a esteira. Isto é refletido no aumento da inclinação da curva do ângulo entre os marcadores 1 e 2 na câmera 2. Como o processo todo dura menos que dois quadros adotou-se o quadro seguinte ao quadro em que o ângulo entre os marcadores começa a aumentar (determinado pelas coordenadas bidimensionais da câmera 2) como o instante da decolagem.

A duração da fase de apoio, duração da fase de suspensão e percentual da fase de apoio ficam bem determinados a partir dos pontos de contato e decolagem. O comprimento da passada é determinada multiplicando-se a velocidade da esteira pela duração da passada.

A altura da passada foi determinada pelas coordenadas tridimensionais, calculando-se a diferença da máxima coordenada Z do marcador 1 (lateral) durante a fase de suspensão para sua mínima coordenada Z durante a fase de apoio. Embora a coordenada mínima da fase de apoio possa estar sujeita a erros de reconstrução 3D, e embora se possa sugerir que a média teria sido mais adequada, deve-se argumentar que a determinação da maior coordenada Z não poderia ser obtida por uma média simples; seria necessário adotar um método complexo de ajuste da equação de alguma curva polinomial à órbita do marcador 2 para eliminar os erros de reconstrução. Isto estaria muito além do escopo deste trabalho; além disso, testes feitos tomando a média em Z da fase de apoio e o máximo em Z da fase de suspensão não alteraram significativamente os resultados (já que os erros possuem sempre o mesmo sinal em todos os casos) de modo que foi adotado o método mais simples.

O comprimento da passada foi calculado pela multiplicação da velocidade da esteira pela duração da passada ($v = 1/T \times CP$).

3.4. Análise estatística

3.4.1. Análise dos dados

Os dados foram submetidos ao teste de Anderson-Darling, confirmando a normalidade da distribuição dos dados dentro de 5% de significância, por meio do programa SAS - Statistical Analysis System (SAS – Institute). A significância estatística das variáveis do membro torácico esquerdo: duração da passada, duração da fase de apoio, duração da fase de suspensão e altura da passada foram calculadas por Análise de Variância (ANOVA) seguido pelo teste t-Student.

Já que a velocidade era constante, o comprimento da passada e o percentual da fase de apoio, por serem transformações diretas desses dados, não acrescentam nada à análise estatística, sendo apresentados apenas para ilustração.

3.4.2. Análise de homocedasticidade dos resíduos

A distância entre marcadores é uma constante no espaço. No entanto, os desvios em relação à média das medidas chega a ultrapassar 10mm em alguns casos. Tomando dois casos extremos, as órbitas dos marcadores M1 e M2 do animal 2 do grupo II (GA2) com ferradura basal e do animal 3 deste mesmo grupo (GA3) com elevação da pinça, a diferença maior da elevação no eixo Z para GA2 (Fig. 21A), produz erros na distância acima de 10mm (Fig. 21B), enquanto que para GA3 o erro permanece abaixo de 5mm (Fig. 22B) devido à menor variação em Z neste animal (Fig. 22A). Há, portanto, uma estreita correlação entre a diferença na coordenada Z e o erro na distância entre marcadores, tornando estes dados heterocedásticos.

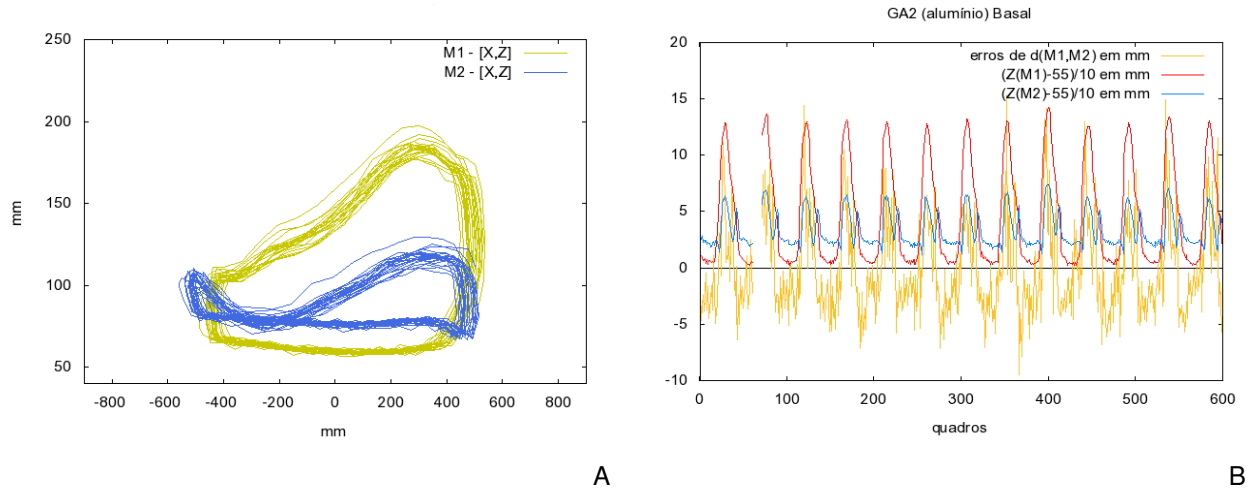


Figura 21: Superposição das projeções dos marcadores M1 e M2 nas 23 passadas do animal GA2 na semana Basal, mostrando (A) grande diferença dos pontos mínimo e máximo no eixo Z (B) e erros superiores a 10mm.

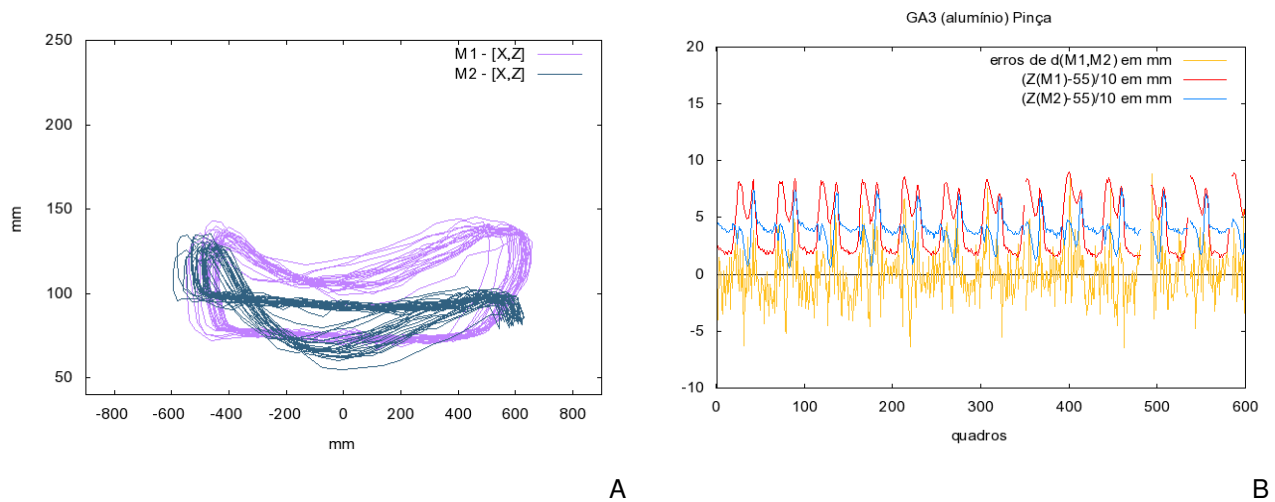


Figura 22: Superposição das projeções dos marcadores M1 e M2 nas 23 passadas do animal GA3 na semana Pinça, mostrando (A) pequena diferença dos pontos mínimo e máximo no eixo Z (B) e erros inferiores a 10mm.

Provavelmente um posicionamento diferente das câmeras, para fazer com que a ação ocorresse sempre na região de menor aberração esférica, reduziria este problema.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variáveis cinemáticas

Os resultados da análise das variáveis: duração da passada (T, em segundos), duração da fase de apoio (TA, em segundos), duração da fase de suspensão (TS, em segundos), percentual da fase de apoio (%TA), altura da passada (AP, em milímetros) e comprimento da passada (CP, em metros) agregando separadamente os dados por tipo de elevação ou por material da ferradura encontram-se nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Pode-se verificar que não houve diferença em ambas as análises, o mesmo observado na análise de variância considerando agregação por grupos, por tipo de elevação e interação grupos e tipo de elevação. Já que não houve diferenças significativas para as variáveis estudadas mesmo quando colocando todos os animais em um grupo, sem a influência do material da ferradura, optou-se por manter os grupos originais ferro e alumínio.

Tabela 3: Análise pelo teste t-Student das médias $\pm$ DP das variáveis cinemáticas separadas por elevação.

Elevação	T (s)	TA (s)	TS (s)	%TA	AP (mm)	CP (m)
basal (n=6)	0,74 $\pm$ 0,03	0,31 $\pm$ 0,03	0,43 $\pm$ 0,03	42,11% $\pm$ 0,04	122,86 $\pm$ 25,15	1,29 $\pm$ 0,09
pinça (n=6)	0,76 $\pm$ 0,03	0,32 $\pm$ 0,01	0,44 $\pm$ 0,04	42,33% $\pm$ 0,02	123,75 $\pm$ 34,12	1,31 $\pm$ 0,11
talão (n=6)	0,75 $\pm$ 0,04	0,33 $\pm$ 0,03	0,42 $\pm$ 0,03	43,78% $\pm$ 0,03	114,55 $\pm$ 33,51	1,27 $\pm$ 0,10
p (Student)						
B-P	0,42	0,58	0,68	0,94	0,96	0,68
P-T	0,85	0,44	0,50	0,39	0,65	0,50
B-T	0,58	0,33	0,75	0,43	0,64	0,75

T = Duração da passada; TA = Tempo de Apoio; TS = Tempo de Suspensão; %TA = Percentual do Tempo de Apoio; AP = Altura da passada; CP= Comprimento da Passada.

B-P = comparação basal-pinça; P-T = comparação pinça-talão; B-T = comparação basal-talão

Tabela 4: Análise pelo teste t-Student das médias $\pm$ DP das variáveis cinemáticas separadas por material da ferradura.

Material	T (s)	TA (s)	TS (s)	%TA	AP (mm)	CP (m)
Alumínio (n=3)	0,75 $\pm$ 0,02	0,32 $\pm$ 0,32	0,43 $\pm$ 0,02	0,42 $\pm$ 0,02	110,08 $\pm$ 31,47	1,30 $\pm$ 0,07
Ferro (n=3)	0,75 $\pm$ 0,04	0,32 $\pm$ 0,32	0,43 $\pm$ 0,04	0,43 $\pm$ 0,04	130,68 $\pm$ 25,19	1,28 $\pm$ 0,12
p (Student)	0,96	0,64	0,78	0,66	0,15	0,78

T = Duração da passada; TA = Tempo de Apoio; TS = Tempo de Suspensão; %TA = Percentual do Tempo de Apoio; AP = Altura da passada; CP= Comprimento da Passada.

Já a análise da interação animal com grupo e elevação demonstrou a grande influência da variação individual na ausência de diferenças estatísticas. Assim, foi realizada a análise indivíduo a indivíduo. Os resultados da análise individual das variáveis: duração da passada, tempo de apoio, tempo de suspensão, percentual do tempo de apoio, altura da passada e comprimento da passada encontram-se nas Tabelas 11 a 16. Nenhum valor encontrado foi superior a 1,75 da mediana, não havendo, portanto, indicação para a retirada de valores extremos (TREDoux & DURRHEIM, 2002).

A análise da dispersão desses dados para cada variável, como mostrado nas figuras 23 a 27, revela que cada animal possui uma adaptação individual às diferentes condições de elevação e que esta não depende do material da ferradura. Na variável altura da passada, por exemplo, os equinos GF1 e GA3 mostram o mesmo estilo de adaptação para as diversas elevações da ferradura enquanto que os equinos GF2 e GA2 mostram outro estilo de adaptação, oposto ao anterior. Notou-se assim que, ao agregar os dados tanto por grupo quanto por elevação, as diferenças se anulam, com uma diferença resultante da agregação nula. As diferenças somente podem ser consideradas individualmente, apresentando significância ($p < 0,01$) para os indivíduos acima mencionados.

Os valores da duração da passada de cada animal encontram-se na Tabela 5. Com relação ao grupo ferro, ocorreu aumento ($p < 0,01$) no período, e consequentemente redução da frequência da passada, tanto na elevação da pinça quanto na elevação de talão em dois equinos do grupo ferro (GF1 e GF2) e redução na frequência da passada apenas na elevação da pinça no equino GF3.

Com relação ao grupo alumínio, o animal GA2 apresentou aumento da frequência da passada tanto na elevação da pinça quanto na elevação de talão, enquanto o equino GA3 apresentou redução da frequência da passada após elevação da pinça. O animal GA1 manteve a frequência da passada em todas as elevações avaliadas. Essas variações individuais com relação à duração da passada podem ser melhor visualizadas na Figura 23, onde são apresentadas, para cada animal, nas barras

extremas os valores máximo e mínimo do conjunto, na caixa o primeiro e terceiro quartil e a mediana desenhada como uma linha horizontal em negrito.

Tabela 5: Médias $\pm$ DP dos valores da duração da passada dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

	Duração da passada			p (Student)		
	basal	pinça	talão	B-P	P-T	B-T
GF1	0,71 $\pm$ 0,01	0,75 $\pm$ 0,04	0,75 $\pm$ 0,02	<0,001	0,4638	<0,001
GF2	0,77 $\pm$ 0,02	0,81 $\pm$ 0,02	0,82 $\pm$ 0,02	<0,001	0,1031	<0,001
GF3	0,72 $\pm$ 0,01	0,73 $\pm$ 0,02	0,71 $\pm$ 0,02	0,0498	0,0139	0,2457
GA1	0,73 $\pm$ 0,03	0,73 $\pm$ 0,02	0,73 $\pm$ 0,02	0,9226	0,9042	0,8356
GA2	0,77 $\pm$ 0,01	0,74 $\pm$ 0,01	0,75 $\pm$ 0,01	<0,001	0,2342	<0,001
GA3	0,76 $\pm$ 0,02	0,78 $\pm$ 0,01	0,77 $\pm$ 0,01	<0,001	0,0013	0,1234

B-P = comparação basal-pinça; P-T = comparação pinça-talão; B-T = comparação basal-talão

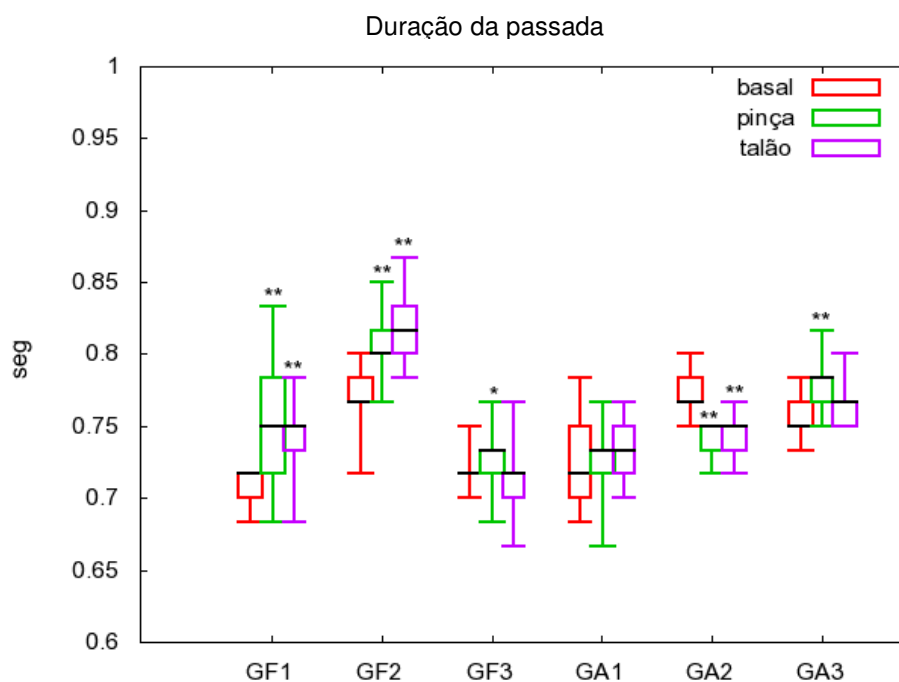


Figura 23: Gráfico ilustrativo da dispersão individual dos valores da duração da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

* diferença menor que 5% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

** diferença menor que 1% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

Os valores de tempo de apoio (em segundos), assim como a porcentagem do tempo de apoio em relação ao tempo total da passada de cada animal, encontram-se nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Com relação ao grupo ferro, houve aumento ($p < 0,01$) no tempo de apoio tanto na elevação da pinça quanto na elevação do talão, com maior intensidade no primeiro caso, no animal GF1 e apenas na elevação de talão no animal GF2. O animal GF3 não apresentou alterações no tempo de apoio.

Com relação ao grupo alumínio, o animal GA2 apresentou diminuição na elevação da pinça e o animal GA3 apresentou aumento no tempo de apoio em ambas as elevações. O animal GA1 não apresentou alterações no tempo de apoio, assim como anteriormente citado na frequência da passada. As variações individuais com relação tempo de apoio podem ser melhor visualizadas na Figura 24.

Tabela 6: Médias $\pm$ DP dos valores do tempo de apoio dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

	Tempo de Apoio			p (Student)		
	basal	pinça	talão	B-P	P-T	B-T
GF1	0,27 $\pm$ 0,03	0,31 $\pm$ 0,04	0,29 $\pm$ 0,02	<0,001	0,0150	0,0012
GF2	0,33 $\pm$ 0,02	0,32 $\pm$ 0,02	0,38 $\pm$ 0,02	0,2883	<0,001	<0,001
GF3	0,34 $\pm$ 0,02	0,33 $\pm$ 0,02	0,35 $\pm$ 0,02	0,3624	0,0074	0,1022
GA1	0,32 $\pm$ 0,02	0,32 $\pm$ 0,02	0,31 $\pm$ 0,02	0,3773	0,4131	0,1117
GA2	0,33 $\pm$ 0,01	0,32 $\pm$ 0,02	0,33 $\pm$ 0,02	0,0373	0,0123	0,3841
GA3	0,29 $\pm$ 0,03	0,32 $\pm$ 0,02	0,32 $\pm$ 0,03	0,0062	0,6246	0,0035

B-P = comparação basal-pinça; P-T = comparação pinça-talão; B-T = comparação basal-talão

Tabela 7: Médias $\pm$ DP do percentual do tempo de apoio em relação à duração total da passada dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

	% Tempo de Apoio			p (Student)		
	basal	pinça	talão	B-P	P-T	B-T
GF1	37,46% $\pm$ 3,69%	41,57% $\pm$ 4,00%	38,86% $\pm$ 3,18%	0,0008	0,0148	0,1750
GF2	42,58% $\pm$ 2,85%	39,41% $\pm$ 2,53%	45,80% $\pm$ 2,44%	0,0002	<0,001	0,0002
GF3	47,12% $\pm$ 3,04%	45,67% $\pm$ 2,60%	48,88% $\pm$ 1,55%	0,0882	<0,001	0,0187
GA1	44,23% $\pm$ 2,36%	43,51% $\pm$ 2,57%	42,85% $\pm$ 2,30%	0,3298	0,3593	0,0505
GA2	42,47% $\pm$ 1,50%	42,87% $\pm$ 2,64%	44,65% $\pm$ 2,38%	0,5256	0,0206	0,0006
GA3	38,78% $\pm$ 3,45%	40,39% $\pm$ 2,77%	41,64% $\pm$ 3,57%	0,0881	0,1941	0,0084

B-P = comparação basal-pinça; P-T = comparação pinça-talão; B-T = comparação basal-talão

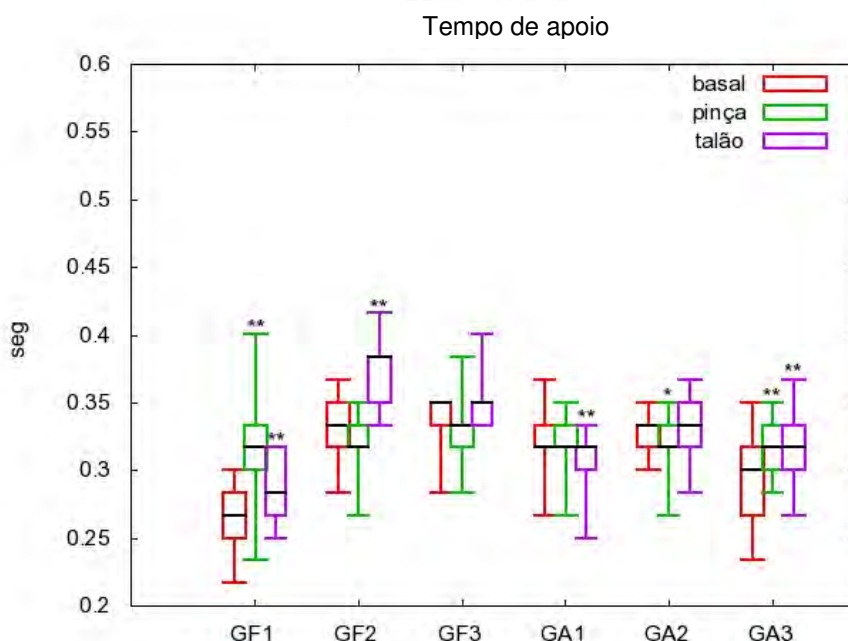


Figura 24: Gráfico ilustrativo da dispersão individual dos valores do tempo de apoio da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

* diferença menor que 5% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

** diferença menor que 1% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

Os valores de tempo de suspensão (em segundos) de cada animal encontram-se na Tabela 8.

Com relação ao grupo ferro, o equino GF1 manteve o tempo de suspensão em todas as elevações estudadas. Os equinos GF2 e GF3 apresentaram aumento ($p < 0,01$ e $p < 0,05$, respectivamente) no tempo de suspensão após elevação da pinça, enquanto o equino GF3 também apresentou redução no tempo de suspensão após elevação do talão ($p < 0,05$).

Com relação ao grupo alumínio, o animal GA2 apresentou diminuição no tempo de suspensão na elevação da pinça e na elevação de talão. O animal GA3 apresentou pequena redução no tempo de suspensão na elevação do talão. O animal GA1

novamente não apresentou alterações. As variações individuais com relação ao tempo de suspensão podem ser melhor visualizadas na Figura 25.

Tabela 8: Médias $\pm$ DP dos valores do tempo de suspensão dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

	Tempo de Suspensão			p (Student)		
	basal	pinça	talão	B-P	P-T	B-T
GF1	0,44 $\pm$ 0,03	0,44 $\pm$ 0,03	0,46 $\pm$ 0,03	0,7418	0,0739	0,1065
GF2	0,44 $\pm$ 0,02	0,49 $\pm$ 0,02	0,44 $\pm$ 0,02	0,0000	0,0000	0,5217
GF3	0,38 $\pm$ 0,02	0,39 $\pm$ 0,02	0,36 $\pm$ 0,02	0,0229	0,0000	0,0106
GA1	0,41 $\pm$ 0,02	0,41 $\pm$ 0,03	0,42 $\pm$ 0,02	0,4338	0,4616	0,1023
GA2	0,45 $\pm$ 0,01	0,42 $\pm$ 0,02	0,41 $\pm$ 0,02	0,0001	0,0640	0,0000
GA3	0,46 $\pm$ 0,03	0,47 $\pm$ 0,02	0,45 $\pm$ 0,03	0,9256	0,0266	0,0486

B-P = comparação basal-pinça; P-T = comparação pinça-talão; B-T = comparação basal-talão

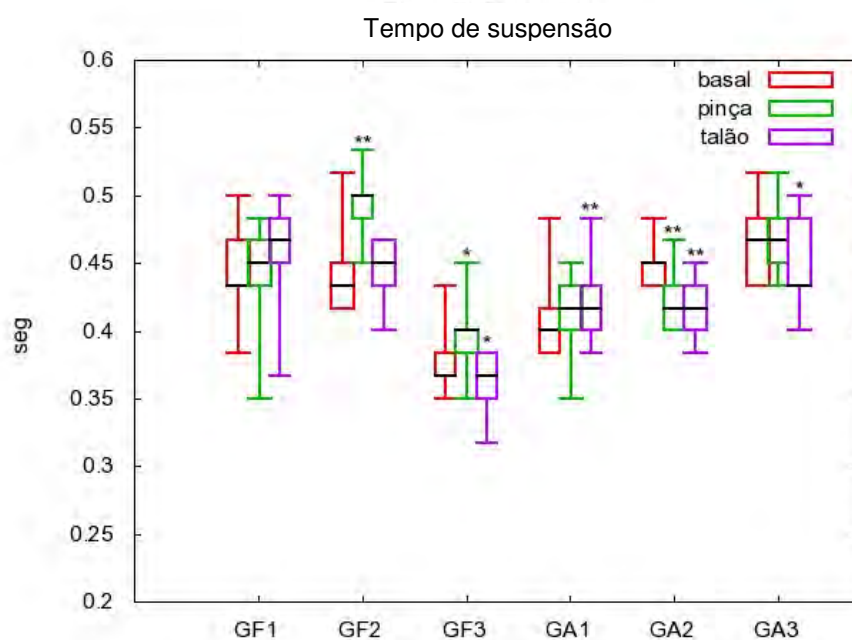


Figura 25: Gráfico ilustrativo da dispersão individual dos valores do tempo de suspensão da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

* diferença menor que 5% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

** diferença menor que 1% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

Os valores da altura da passada (em milímetros) de cada animal encontram-se na Tabela 9.

Com relação ao grupo ferro, houve redução da altura da passada no equino GF1 tanto após elevação de pinça quanto de talão ($p<0,01$) e no equino GF2 após elevação do talão. O equino GF3 apresentou aumento ($p<0,01$) nesta variável após elevação da pinça.

Com relação ao grupo alumínio, houve redução ($p<0,01$) na altura da passada após elevação do talão tanto no equino GA2 quanto no GA3. Esta redução também foi observada no equino GA3 após elevação da pinça. O animal GA1 novamente não apresentou alterações para esta variável. As variações individuais com relação à altura da passada podem ser melhor visualizadas na Figura 26.

Os valores de comprimento da passada (em metros) de cada animal encontram-se na Tabela 10.

Com relação ao grupo ferro, houve aumento do comprimento da passada ($p<0,01$) tanto no equino GF1 quanto no equino GF2. O equino GF3 apresentou discreto aumento ($p<0,05$) apenas após elevação da pinça.

Com relação ao grupo alumínio, houve aumento no comprimento da passada ($p<0,01$) após elevação da pinça tanto no animal GA2 quanto no GA3. O equino GA2 também apresentou aumento no comprimento da passada após elevação do talão. O animal GA1 novamente não apresentou alterações. As variações individuais com relação ao comprimento da passada podem ser melhor visualizadas na Figura 27.

Tabela 9: Médias $\pm$ DP dos valores da altura da passada dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

	Altura do Passo						p (Student)		
	basal		pinça		talão		B-P	P-T	B-T
GF1	121,08 $\pm$ 3,36		107,59 $\pm$ 7,27		98,46 $\pm$ 5,98		0,0000	0,0000	0,0000
GF2	126,69 $\pm$ 7,54		130,53 $\pm$ 10,28		109,15 $\pm$ 14,89		0,1554	0,0000	0,0000
GF3	151,24 $\pm$ 4,57		171,04 $\pm$ 10,83		160,38 $\pm$ 26,76		0,0000	0,0870	0,1197
GA1	135,01 $\pm$ 14,50		136,43 $\pm$ 20,88		137,01 $\pm$ 17,16		0,7907	0,9172	0,6707
GA2	126,92 $\pm$ 4,39		128,75 $\pm$ 3,52		119,65 $\pm$ 4,38		0,1259	0,0000	0,0000
GA3	76,20 $\pm$ 2,56		68,16 $\pm$ 3,19		62,62 $\pm$ 2,76		0,0000	0,0000	0,0000

B-P = comparação basal-pinça; P-T = comparação pinça-talão; B-T = comparação basal-talão

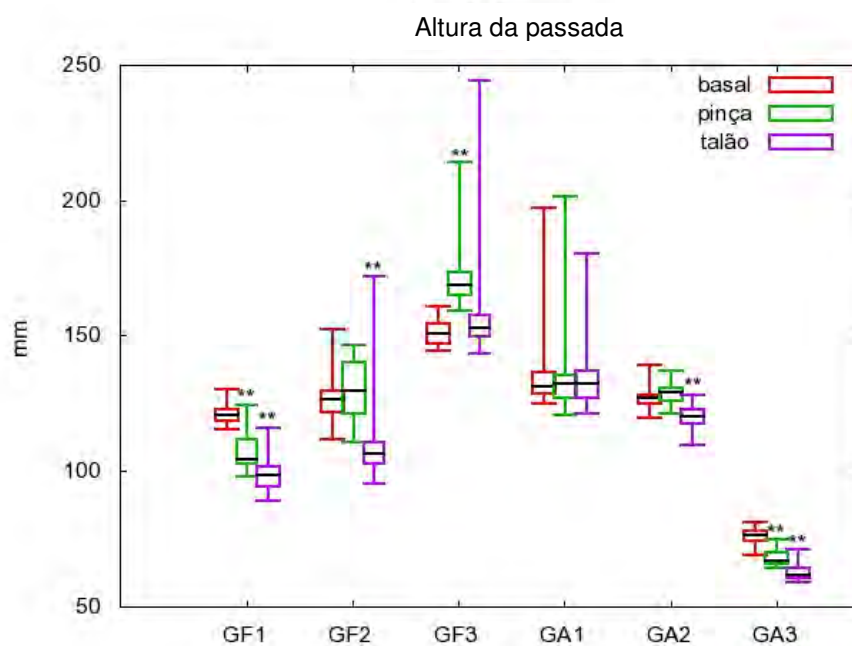


Figura 26: Gráfico ilustrativo da dispersão individual dos valores de altura da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

* diferença menor que 5% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

** diferença menor que 1% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

Tabela 10: Médias $\pm$ DP dos valores do comprimento da passada dos animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

	Comprimento da Passada			p (Student)		
	basal	pinça	talão	B-P	P-T	B-T
GF1	2,12 $\pm$ 0,03	2,26 $\pm$ 0,13	2,24 $\pm$ 0,06	0,0000	0,4638	0,0000
GF2	2,30 $\pm$ 0,05	2,43 $\pm$ 0,06	2,46 $\pm$ 0,06	0,0000	0,1031	0,0000
GF3	2,15 $\pm$ 0,04	2,18 $\pm$ 0,06	2,13 $\pm$ 0,07	0,0498	0,0139	0,2457
GA1	2,18 $\pm$ 0,08	2,18 $\pm$ 0,07	2,19 $\pm$ 0,05	0,9226	0,9042	0,8356
GA2	2,18 $\pm$ 0,04	2,23 $\pm$ 0,03	2,24 $\pm$ 0,04	0,0000	0,2342	0,0000
GA3	2,28 $\pm$ 0,05	2,34 $\pm$ 0,04	2,30 $\pm$ 0,04	0,0000	0,0013	0,1234

B-P = comparação basal-pinça; P-T = comparação pinça-talão; B-T = comparação basal-talão

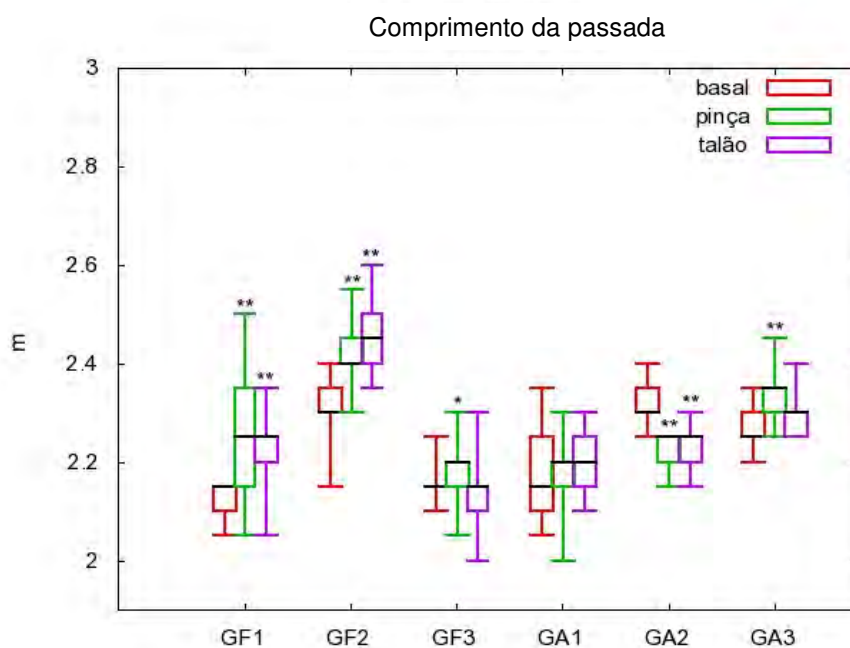


Figura 27: Gráfico ilustrativo da dispersão individual dos valores do comprimento da passada para os animais dos grupos ferro (GF1, GF2 e GF3) e alumínio (GA1, GA2 e GA3). Jaboticabal, 2010.

* diferença menor que 5% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

** diferença menor que 1% em relação ao basal no teste t-Student, dentro de cada indivíduo.

Para tentar compreender melhor as alterações das variáveis e suas possíveis interações, optou-se por descrever essas alterações, demonstradas nos gráficos anteriores, para cada animal.

Para os equinos do grupo ferro, o equino GF1 apresentou, durante a elevação da pinça, redução na frequência da passada e na altura da passada e aumento no tempo de apoio, na porcentagem do tempo de apoio e no comprimento da passada. Durante elevação do talão houve redução na frequência da passada e na altura da passada e aumento no tempo de apoio e no comprimento da passada. Não houve alteração na porcentagem do tempo de apoio (Tab. 11). O equino GF2 demonstrou, durante a elevação da pinça redução na frequência da passada e na porcentagem do tempo de apoio e aumento do tempo de suspensão, no comprimento da passada e na altura da passada. Durante elevação do talão houve redução na frequência da passada e na altura da passada e aumento no tempo de apoio, na porcentagem do tempo de apoio e no comprimento da passada. Ocorreu o inverso na altura da passada e na frequência do tempo de apoio (Tab. 12). O equino GF3 demonstrou, durante a elevação da pinça, aumento no tempo de suspensão e na altura da passada. Durante a elevação do talão redução do tempo de suspensão e aumento no tempo de apoio e porcentagem do tempo de apoio. Ocorreu o inverso no tempo de suspensão.

Para os equinos do grupo alumínio, o equino GA1 não apresentou alterações em nenhum dos parâmetros cinemáticos avaliados em nenhuma elevação. O equino GA2 apresentou, durante a elevação da pinça, redução no tempo de apoio, no tempo de suspensão e no comprimento da passada e aumento na frequência. Durante a elevação do talão houve redução no tempo de suspensão, no comprimento da passada e na altura da passada e aumento na frequência e na porcentagem do tempo de apoio. O equino GA3 demonstrou, durante a elevação da pinça, redução da frequência e da altura da passada e aumento do tempo de apoio e do comprimento da passada. Durante a elevação do talão houve redução da altura da passada e aumento no tempo de apoio, no tempo de suspensão e na porcentagem do tempo de apoio.

Tabela 11: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GF1 do Grupo I (ferro). Jaboticabal, 2010.

	GF1		
	basal	pinça	talão
F (Hz)	1,41 $\pm$ 0,02 ^b	1,33 $\pm$ 0,08 ^a	1,34 $\pm$ 0,04 ^a
T (s)	0,71 $\pm$ 0,01 ^a	0,75 $\pm$ 0,04 ^b	0,75 $\pm$ 0,02 ^b
TA (s)	0,27 $\pm$ 0,03 ^a	0,31 $\pm$ 0,04 ^c	0,29 $\pm$ 0,02 ^b
TS (s)	0,44 $\pm$ 0,03 ^a	0,44 $\pm$ 0,03 ^a	0,46 $\pm$ 0,03 ^a
% TA	37,46% $\pm$ 3,69% ^a	41,57% $\pm$ 4,00% ^b	38,86% $\pm$ 3,18% ^a
AP (mm)	2,12 $\pm$ 0,03 ^c	2,26 $\pm$ 0,13 ^b	2,24 $\pm$ 0,06 ^a
CP (m)	1,21 $\pm$ 0,03 ^a	1,08 $\pm$ 0,07 ^b	0,98 $\pm$ 0,06 ^b

F = frequência da passada; T = Duração da passada; TA = Tempo de Apoio; TS = Tempo de Suspensão; %TA = Percentual do Tempo de Apoio; AP = Altura da passada; CP= Comprimento da Passada.

Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha apresentam diferença no teste t-Student.

Tabela 12: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GF2 do Grupo I (ferro). Jaboticabal, 2010.

	GF2		
	basal	pinça	talão
F (Hz)	1,30 $\pm$ 0,03 ^b	1,23 $\pm$ 0,03 ^a	1,22 $\pm$ 0,03 ^a
T (s)	0,77 $\pm$ 0,02 ^a	0,81 $\pm$ 0,02 ^b	0,82 $\pm$ 0,02 ^b
TA (s)	0,33 $\pm$ 0,02 ^a	0,32 $\pm$ 0,02 ^a	0,38 $\pm$ 0,02 ^b
TS (s)	0,44 $\pm$ 0,02 ^a	0,49 $\pm$ 0,02 ^b	0,44 $\pm$ 0,02 ^a
% TA	42,58% $\pm$ 2,85% ^b	39,41% $\pm$ 2,53% ^a	45,80% $\pm$ 2,44% ^c
AP (mm)	2,30 $\pm$ 0,05 ^b	2,43 $\pm$ 0,06 ^b	2,46 $\pm$ 0,06 ^a
CP (m)	1,27 $\pm$ 0,08 ^a	1,31 $\pm$ 0,10 ^b	1,09 $\pm$ 0,15 ^b

F = frequência da passada; T = Duração da passada; TA = Tempo de Apoio; TS = Tempo de Suspensão; %TA = Percentual do Tempo de Apoio; AP = Altura da passada; CP= Comprimento da Passada.

Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha apresentam diferença no teste t-Student.

Tabela 13: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GF3 do Grupo I (ferro). Jaboticabal, 2010.

	GF3		
	basal	pinça	talão
F (Hz)	1,40 $\pm$ 0,02 ^{ab}	1,38 $\pm$ 0,04 ^a	1,41 $\pm$ 0,05 ^b
T (s)	0,72 $\pm$ 0,01 ^a	0,73 $\pm$ 0,02 ^b	0,71 $\pm$ 0,02 ^a
TA (s)	0,34 $\pm$ 0,02 ^{ab}	0,33 $\pm$ 0,02 ^a	0,35 $\pm$ 0,02 ^b
TS (s)	0,38 $\pm$ 0,02 ^c	0,39 $\pm$ 0,02 ^b	0,36 $\pm$ 0,02 ^a
% TA	47,12% $\pm$ 3,04% ^{ab}	45,67% $\pm$ 2,60% ^a	48,88% $\pm$ 1,55% ^b
AP (mm)	2,15 $\pm$ 0,04 ^a	2,18 $\pm$ 0,06 ^b	2,13 $\pm$ 0,07 ^{ab}
CP (m)	1,51 $\pm$ 0,05 ^a	1,71 $\pm$ 0,11 ^b	1,60 $\pm$ 0,27 ^a

F = frequência da passada; T = Duração da passada; TA = Tempo de Apoio; TS = Tempo de Suspensão; %TA = Percentual do Tempo de Apoio; AP = Altura da passada; CP= Comprimento da Passada.

Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha apresentam diferença no teste t-Student.

Tabela 14: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GA1 do Grupo II (alumínio). Jaboticabal, 2010.

	GA1		
	basal	pinça	talão
F (Hz)	1,38 $\pm$ 0,05 ^a	1,37 $\pm$ 0,04 ^a	1,37 $\pm$ 0,03 ^a
T (s)	0,73 $\pm$ 0,03 ^a	0,73 $\pm$ 0,02 ^a	0,73 $\pm$ 0,02 ^a
TA (s)	0,32 $\pm$ 0,02 ^a	0,32 $\pm$ 0,02 ^a	0,31 $\pm$ 0,02 ^a
TS (s)	0,41 $\pm$ 0,02 ^a	0,41 $\pm$ 0,03 ^a	0,42 $\pm$ 0,02 ^a
% TA	44,23% $\pm$ 2,36% ^a	43,51% $\pm$ 2,57% ^a	42,85% $\pm$ 2,30% ^a
AP (mm)	2,18 $\pm$ 0,08 ^a	2,18 $\pm$ 0,07 ^a	2,19 $\pm$ 0,05 ^a
CP (m)	1,35 $\pm$ 0,14 ^a	1,36 $\pm$ 0,21 ^a	1,30 $\pm$ 0,17 ^a

F = frequência da passada; T = Duração da passada; TA = Tempo de Apoio; TS = Tempo de Suspensão; %TA = Percentual do Tempo de Apoio; AP = Altura da passada; CP= Comprimento da Passada.

Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha apresentam diferença no teste t-Student.

Tabela 15: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GA2 do Grupo II (alumínio). Jaboticabal, 2010.

	GA2		
	basal	pinça	talão
F (Hz)	1,29 $\pm$ 0,02 ^a	1,35 $\pm$ 0,02 ^b	1,34 $\pm$ 0,02 ^b
T (s)	0,77 $\pm$ 0,01 ^b	0,74 $\pm$ 0,01 ^a	0,75 $\pm$ 0,01 ^a
TA (s)	0,33 $\pm$ 0,01 ^b	0,32 $\pm$ 0,02 ^a	0,33 $\pm$ 0,02 ^b
TS (s)	0,45 $\pm$ 0,01 ^b	0,42 $\pm$ 0,02 ^a	0,41 $\pm$ 0,02 ^a
% TA	42,47% $\pm$ 1,50% ^a	42,87% $\pm$ 2,64% ^a	44,65% $\pm$ 2,38% ^b
AP (mm)	2,32 $\pm$ 0,04 ^b	2,23 $\pm$ 0,03 ^b	2,24 $\pm$ 0,04 ^a
CP (m)	1,27 $\pm$ 0,04 ^b	1,29 $\pm$ 0,04 ^a	1,20 $\pm$ 0,04 ^a

F = frequência da passada; T = Duração da passada; TA = Tempo de Apoio; TS = Tempo de Suspensão; %TA = Percentual do Tempo de Apoio; AP = Altura da passada; CP= Comprimento da Passada.

Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha apresentam diferença no teste t-Student.

Tabela 16: Médias $\pm$ DP dos valores das variáveis para o indivíduo GA3 do Grupo II (alumínio). Jaboticabal, 2010.

	GA3		
	basal	pinça	talão
F (Hz)	1,32 $\pm$ 0,03 ^b	1,28 $\pm$ 0,02 ^a	1,31 $\pm$ 0,02 ^b
T (s)	0,76 $\pm$ 0,02 ^a	0,78 $\pm$ 0,01 ^b	0,77 $\pm$ 0,01 ^a
TA (s)	0,29 $\pm$ 0,03 ^a	0,32 $\pm$ 0,02 ^b	0,32 $\pm$ 0,03 ^b
TS (s)	0,46 $\pm$ 0,03 ^b	0,47 $\pm$ 0,02 ^b	0,45 $\pm$ 0,03 ^a
% TA	38,78% $\pm$ 3,45% ^a	40,39% $\pm$ 2,77% ^a	41,64% $\pm$ 3,57% ^b
AP (mm)	2,28 $\pm$ 0,05 ^c	2,34 $\pm$ 0,04 ^b	2,30 $\pm$ 0,04 ^a
CP (m)	0,76 $\pm$ 0,03 ^a	0,68 $\pm$ 0,03 ^b	0,63 $\pm$ 0,03 ^a

F = frequência da passada; T = Duração da passada; TA = Tempo de Apoio; TS = Tempo de Suspensão; %TA = Percentual do Tempo de Apoio; AP = Altura da passada; CP= Comprimento da Passada.

Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha apresentam diferença no teste t-Student.

Como os cascos antes do experimento foram balanceados por um ferreiro experiente, deixando-os equilibrados, as cunhas das ferraduras causaram um pequeno desalinhamento do eixo das falanges, ou seja, durante a elevação da pinça produziu-se um “eixo quebrado para trás” e durante a elevação do talão um “eixo quebrado para frente” (WILLEMEN et al., 1999). A velocidade constante imposta pela esteira rolante eliminou o efeito da velocidade nas medidas temporais (CLAYTON, 2004b).

WILLEMEN et al. (1999), não encontrou alterações após elevação em 6º do talão no comprimento da passada, na duração da passada e no percentual da fase de apoio. Os animais aqui estudados obtiveram aumento (GF1 e GF2) e redução (GA2) no comprimento da passada, com alterações diretamente proporcionais à duração da passada, já que o comprimento da passada é calculado pela duração da passada multiplicada pela velocidade. Com relação ao percentual da fase de apoio, a única alteração significativa foi com o aumento relativo (GF2, GF3, GA2, GA3) do tempo de apoio.

CHATEAU et al., (2004), avaliando a elevação em 6º do talão, não obtiveram diferença no tempo da fase de apoio, mas identificaram que os tempos relativos dos diferentes eventos dentro desta fase se alteraram, com contato inicial e tempo de apoio médio mais longos e decolagem mais curta. Isso ocorreu devido ao atraso da suspensão do talão após sua suspensão. Nesta pesquisa, todos os animais que apresentaram diferença no tempo de apoio (GF1, GF2 e GA3) apresentaram aumento desta fase. A fase de apoio mais longa associada à menor frequência da passada, observado nos animais GF1 e GF2, pode aumentar a distribuição da força vertical no talão (BARREY, 1990). O único animal que teve aumento da frequência da passada foi GA2, que não apresentou alteração no tempo de apoio.

CLAYTON (1990) associou a angulação aguda do casco, fato aqui induzido pela elevação da pinça, ao maior tempo de decolagem, sem mudanças significativas no comprimento da passada e nas durações das fases de apoio e suspensão. Os animais GF1 e GA3 apresentaram aumento no tempo de apoio, enquanto o equino GA2 apresentou reduções nesta variável e na fase de suspensão. Os animais GF2 e GF3 apresentaram aumento no tempo de suspensão. O tempo prolongado de decolagem

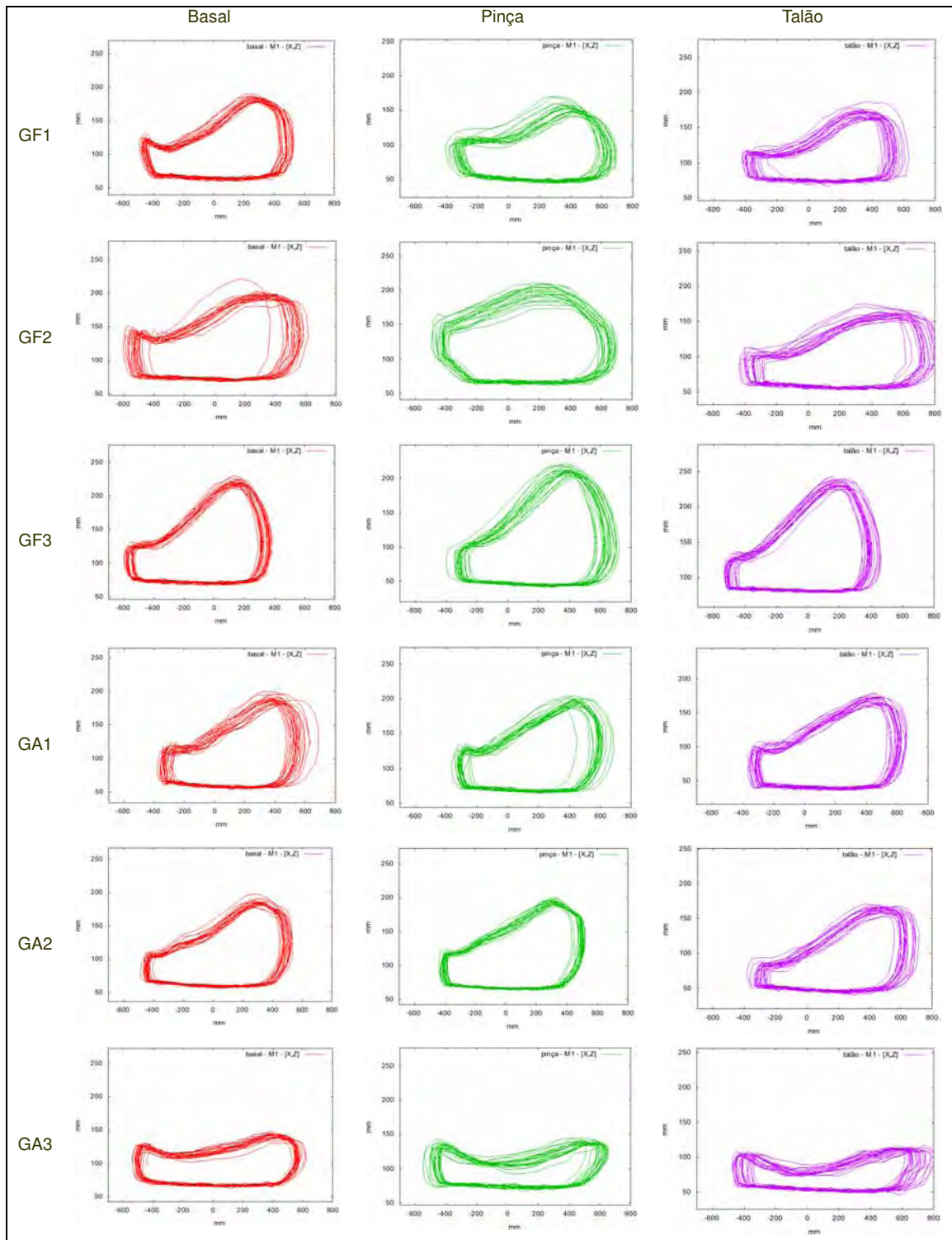
pode reduzir a habilidade do animal em aumentar a frequência da passada (LEACH, 1983; CLAYTON, 1990), importante componente do sucesso na corrida. Este atraso no tempo de decolagem se deve ao aumento da força necessária para a decolagem (LEACH, 1983). Todos os equinos aqui avaliados que tiveram maior tempo de apoio (GF1 e GA3) também apresentaram redução na frequência da passada. Esta maior fase de apoio aumenta a tensão no TFPD e pode afetar as estruturas associadas (O'GRADY & POUPARD, 2003).

CLAYTON (1990) não obteve alterações no comprimento da passada o que, segundo a autora, decorre da velocidade constante da esteira. Apesar desta pesquisa também ter sido realizada a velocidade constante, os equinos GF1, GF2, GF3 e GA3 apresentaram aumento nesta variável, enquanto o animal GA2 redução.

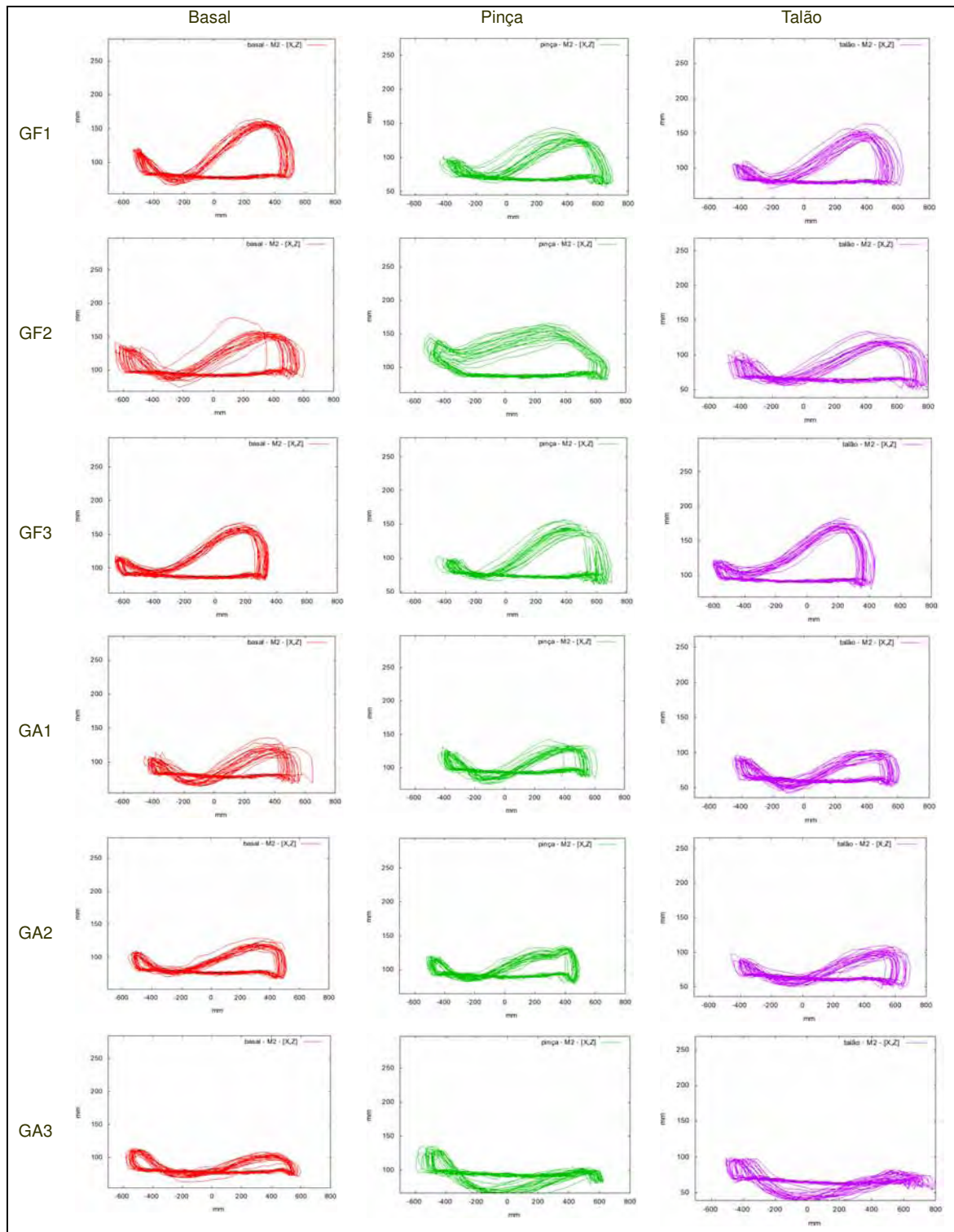
De acordo com CREVIER-DENOIX et al. (2001), embora haja diferenças individuais, a resposta dos cavalos à manipulação da posição do talão e da pinça é basicamente a mesma, indicando que, se algum efeito terapêutico pode ser esperado de alguma técnica de ferrajamento, este efeito será similar para todos os indivíduos e não dependerá da conformação individual do casco. Isso não pode ser confirmado neste estudo, já que as respostas de cada animal às diferentes elevações impostas foram, muitas vezes, semelhantes para os dois tipos de elevação e opostas entre animais à mesma inclinação.

4.2. Avaliação do movimento

Os marcadores 1 e 2 descrevem curvas no espaço, aqui denominadas órbita do marcador. As Pranchas 1 e 2 ilustram as projeções das órbitas do marcador 1 e 2, respectivamente, no plano XZ das 23 passadas dos animais dos grupos I (ferro) e II (alumínio), com as diferentes inclinações de cada animal na mesma linha.



Prancha 1: Representação gráfica da projeção no plano XZ do marcador 1 nas passadas completas dos animais dos grupos GI (ferro) e GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.



Prancha 2: Representação gráfica da projeção no plano XZ do marcador 2 nas passadas completas dos animais dos grupos GI (ferro) e GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.

Eliminando-se o tempo, é possível ilustrar os arcos das passadas realizados pelos marcadores M1 e M2. A Figura 28 ilustra o traço, ou arco da passada, realizado pelo marcador 2 em duas passadas consecutivas em um animal.

Os traços realizados pelos marcadores M1 e M2 em uma passada de cada animal para cada semana encontram-se na Prancha 3 e 4, respectivamente.

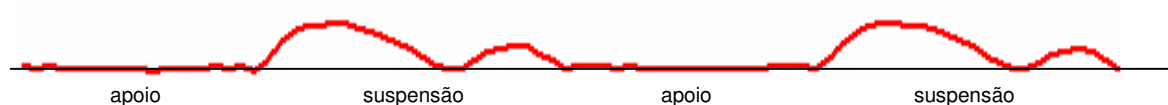
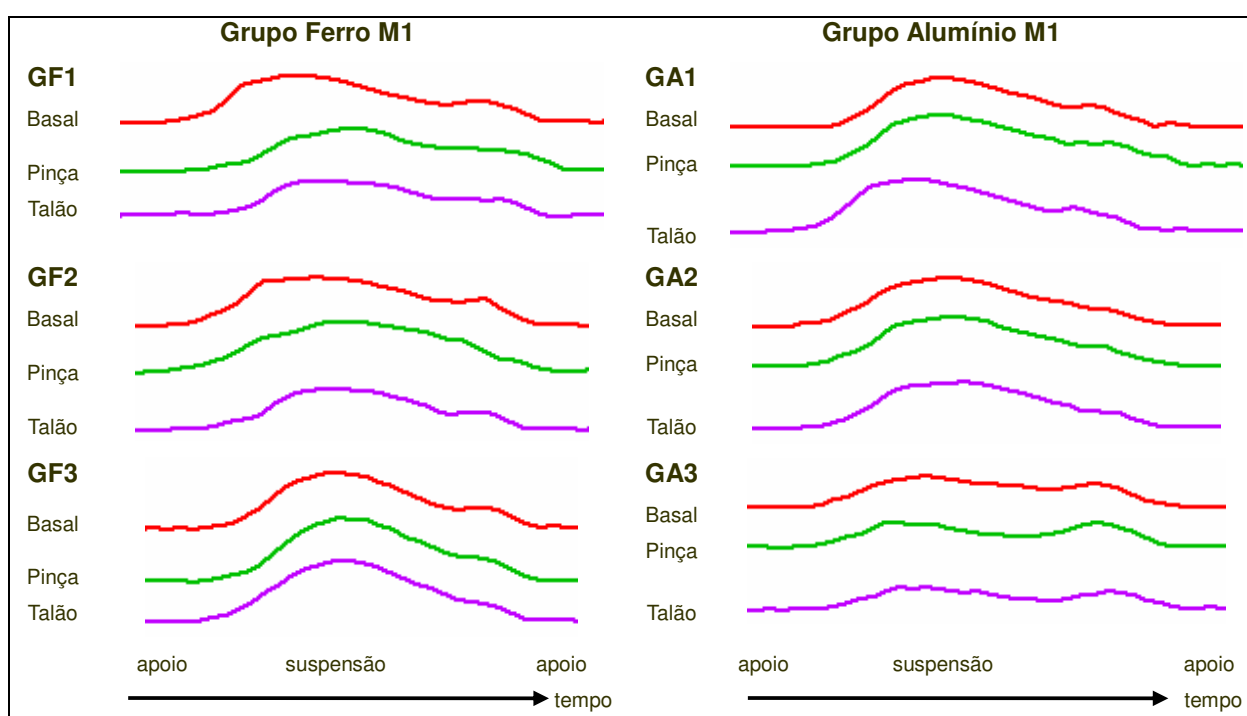
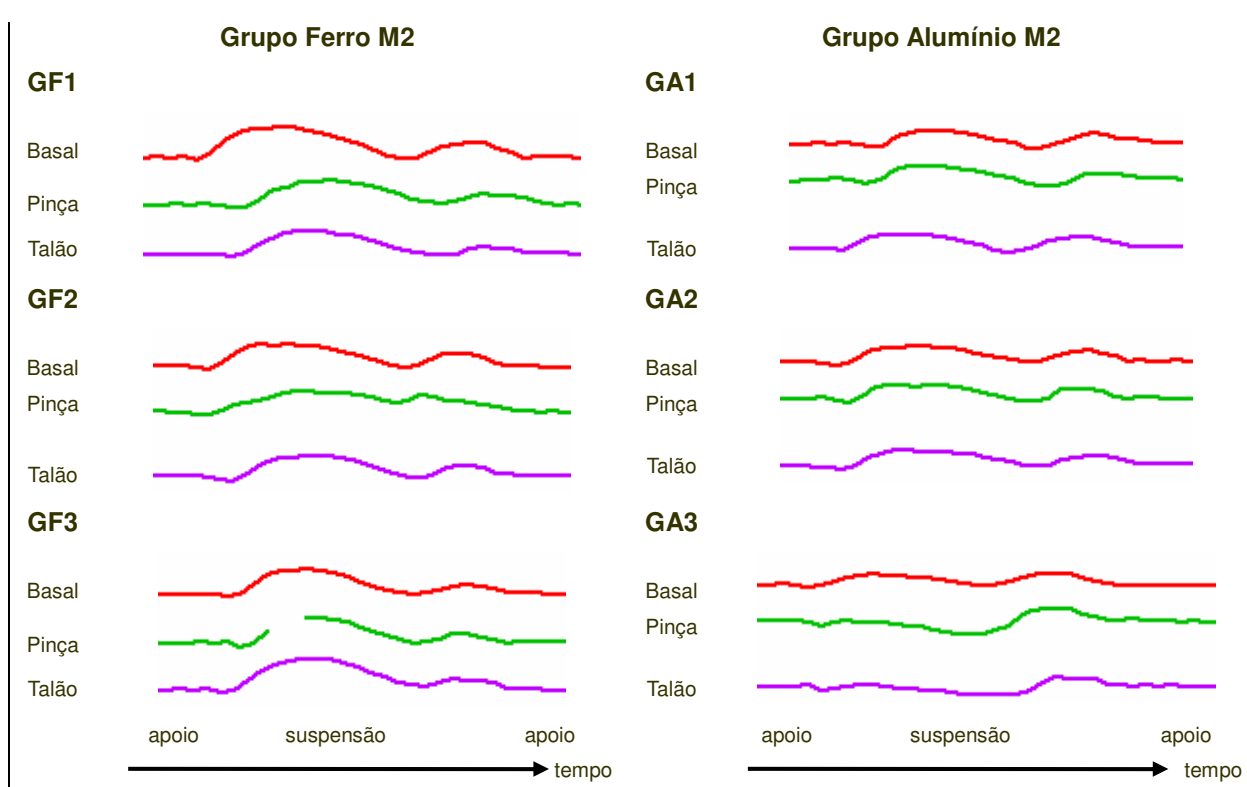


Figura 28: Ilustração do arco da passada do marcador M2. Jaboticabal, 2010.



Prancha 3: Representação gráfica do traço dos marcadores M1 e M2 nas passadas dos animais dos grupos GI (ferro) e GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça e Talão. Jaboticabal, 2010.



Prancha 4: Representação gráfica do traço dos marcadores M1 e M2 nas passadas dos animais dos grupos GI (ferro) e GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça e Talão. Jaboticabal, 2010.

O gráfico dessas órbitas, superpondo 23 passadas projetadas no plano [X,Z], indica alterações no andamento, resultantes da adaptação individual à diferença de elevação. Embora esta adaptação não seja uniforme para todos os cavalos, é possível notar algumas características comuns, que são mais pronunciadas no grupo I, ferro. Nestas imagens o impacto foi desenhado à esquerda, e a decolagem à direita.

Observando a órbita do marcador 1, nota-se que para todos os cavalos há uma alteração perceptível no padrão da decolagem e do impacto, havendo pouca alteração no terço médio da fase de suspensão. A órbita do marcador 2 é mais irregular, e é mais difícil encontrar características comuns. É digno de nota verificar pelo marcador 2 que o casco faz um “mergulho rasante” muito próximo ao solo antes de subir para a preparação ao impacto. Pode-se verificar que as órbitas tanto do marcador M1 quanto

do marcador M2 são muito estáveis, considerando-se haver 23 passadas completas superpostas.

CLAYTON (1990), avaliando as alterações cinemáticas induzidas pelo aumento da pinça em equinos ao trote, encontrou algumas alterações no arco da passada semelhantes aos aqui identificados. A diferença mais nítida obtida pela pesquisadora ocorreu no fim da fase de suspensão, onde o período que antecede o contato inicial apresentou aproximação mais gradual nos animais com pinça mais compridas. Segundo a autora, isto se deve ao fato dos animais com angulação normal realizarem elevação marcada antes do contato inicial com o talão, enquanto os animais com angulação mais aguda apresentaram contato inicial com a pinça. Essa decolagem mais gradual pode ser vista após a elevação da pinça nos equinos GF1, GF2 e GA1, mas o animal GF1 também apresentou esse padrão após elevação do talão. Pelas angulações sugeridas pelas Pranchas 7 e 8, apenas o animal GF1 aparenta ter feito contato inicial com a pinça, em ambas as elevações. Os outros animais parecem ter tido contato inicial com o talão (GF2) ou com toda a sola (GA1). Já que a definição das imagens e o número de quadros impediram uma identificação precisa do tipo de contato inicial através dos filmes, estas suposições devem ser melhor investigadas em pesquisas futuras.

Os reflexos proprioceptivos envolvidos no posicionamento do casco podem estar relacionados à orientação da FD em relação à superfície do membro que suporta o peso. O ângulo mais agudo da parede dorsal do casco ocasiona redução entre a superfície solear da FD e a superfície de apoio do casco. O posicionamento pinça primeiro pode refletir uma tentativa do cavalo em atingir a orientação ótima da falange distal em relação ao solo no impacto. Uma explicação alternativa para a ocorrência de impacto pinça primeiro é que as modificações na angulação do casco causam dor na região do talão, resultando em reflexos protetores envolvendo mudanças na tensão nos flexores digitais e nos músculos extensores (CLAYTON, 1990).

CLAYTON (1990) também identificou um pico no arco da passada mais precoce, com consequente movimento de pêndulo mais longo. Este pico mais precoce somente foi identificado no equino GF3, mas esta alteração também ocorreu após a elevação da

pinça quanto do talão. Os animais GF1 e GF2 apresentaram o arco inicial da passada com inclinação mais suave após a elevação da pinça. Como a decolagem contribui para a trajetória do vôo do membro e a trajetória do vôo do casco contribui para a maneira como o casco aterrissa (PARKS, 2003), qualquer alteração no início do arco da passada, como identificado em todos os animais deste estudo, induzirá alterações no restante do arco da passada.

Segundo O'GRADY & POUPARD (2003), as alterações que ocorrerão na decolagem, como resposta a uma modificação particular induzida pelo casqueamento, podem não ser prognosticados, assim como não necessariamente ocorrerão em todos os andamentos. Assim, as alterações encontradas nesta pesquisa devem ser aplicadas com cautela com relação a outros andamentos.

Os animais do grupo ferro apresentaram arcos da passada mais expressivos com o uso da ferradura plana, com tendência a maior aplainamento após as alterações de elevação. Já os animais do grupo alumínio tinham arcos da passada mais suaves que os dos animais do grupo ferro, mas tenderam a incrementar a porção final do arco da passada após as elevações.

De acordo com WILLEMEN et al. (1999), a causa provável do aumento da animação da passada é a flexão das articulações distais durante a fase de suspensão, em que pese a probabilidade do peso da ferradura influir nos padrões da passada. Apesar da ausência de significância estatística, pode-se notar que a animação, ou amplitude de movimentação, dos arcos das passadas do grupo ferro é maior que a dos animais do grupo alumínio. Talvez neste caso o peso da ferradura tenha influenciado no movimento durante a fase de suspensão. Apesar de CLAYTON (1990) encontrar desenhos do contorno do movimento e arcos de vôos dos cascos similares para todos os animais após elevação da pinça, os arcos das passadas aqui identificados foram amplamente variáveis entre os equinos.

WILLEMEN et al. (1999) não encontraram influência no arco descrito pelo casco após elevação do talão. Isto não foi observado neste experimento, já que o vôo do casco sofreu alterações visíveis após a elevação do talão, como bem identificado nos equinos GF1, GA1, GA2 e GA3.

Quando a decolagem é facilitada, os cavalos aumentam a fase caudal e assim realizam passos mais compridos (MORRISON, 2007). Este aumento na fase caudal pode ser verificado após a elevação da pinça nos equinos GF1, GF2 e GA1 e após a elevação do talão nos animais GA1 e GA2. No entanto, quando o corpo se move relativamente mais à frente do membro na decolagem há a impressão de um amplo arco da passada, mas isto limita a utilização dos membros pélvicos, sendo uma alteração indesejável no adestramento e no salto (CLAYTON, 1990).

Como o período anterior ao experimento foi igual para todos os animais, já que estes foram criados nesta instituição, e os animais eram da mesma raça, semelhantes com relação à idade e peso e submetidos ao mesmo manejo, estas variações de resposta podem ser decorrentes da conformação individual.

4.3. Análise dos eventos “apoio” e “decolagem”

Das coordenadas bidimensionais podem-se também deduzir alterações no andamento decorrentes da adaptação às diferentes elevações. As Pranchas 5 a 8 mostram trechos superpostos das curvas dos parâmetros das 23 passadas, o que mostra que os cavalos executam movimentos extremamente regulares tanto no impacto quanto na decolagem. A curva do ângulo formado pelos marcadores 1 e 2 com a horizontal, medido como positivo quando o marcador 2 está acima do marcador 1 e negativo caso contrário, foi denominada “inclinação (CAM2) em graus” (ou “inclinação em graus”); a curva das diferenças das coordenadas x do marcador 1 na câmera 2 entre um quadro e o quadro anterior denominada “dxM1(CAM2) mm” e do marcador 2 na câmera 2 “dxM2(CAM2) mm”. A curva das diferenças das coordenadas y do marcador 1 na câmera 1 entre um quadro e o quadro anterior foi denominada “dyM1(CAM1) mm” e do marcador 2 na câmera 1 “dyM2(CAM1) mm”. A coordenada tri-dimensional Z do marcador 1, alterada para caber na escala do gráfico, utilizando-se a transformação $Z' = 60 \cdot (Z - 40) / 210 - 30$ foi denominada “Z'M1(3D) mm” e a do marcador 2 “Z'M2(3D) mm”.

Os gráficos das Pranchas 5 e 6 estão centrados no instante em que a coordenada x do marcador 1 na câmera 2 muda de direção. Neste instante é patente que a decolagem já ocorreu, pois o casco, que estava apoiado na esteira e sendo levado passivamente para trás, está elevado e sendo trazido voluntariamente para frente. Este instante foi escolhido, inicialmente, para ser possível estudar quais variações de quais parâmetros seriam convenientes para determinar o instante de decolagem, e os gráficos não foram refeitos para serem centralizados no instante de decolagem. O instante de decolagem assumido ocorre dois quadros depois do instante em que o ângulo entre os marcadores começa a aumentar, o que coloca a decolagem dois ou três quadros antes do ponto zero dos gráficos das Pranchas 7 e 8.

Os gráficos das Pranchas 7 e 8 estão centrados no instante do impacto, como determinado pelo evento mudança de sinal das diferenças da coordenada y do marcador 2 na câmera 1. Como a precisão do filme é de um quadro apenas, não julgamos conveniente fazer a interpolação para determinar o instante em que a derivada (ajustada à curva) tenha valor zero, pois trabalharíamos com frações de quadro, o que daria uma sensação enganosa de precisão. Assim, para cada passada, o instante zero é o instante em que a diferença se torna negativa e assim permanece. Este instante é tomado como o ponto de apoio em sola inteira.

As Figuras 29 e 30 exemplificam estes eventos associados à decolagem e ao impacto, respectivamente.

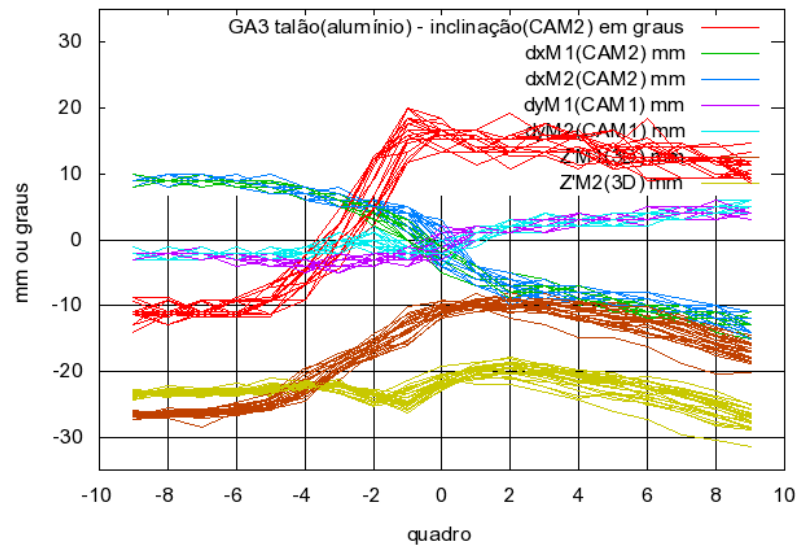


Figura 29: Representação gráfica dos eventos em torno da decolagem, superposição das 23 passadas de um animal. Jaboticabal, 2010.

Inclinação (CAM2) em graus - curva do ângulo formado pelos marcadores 1 e 2 com a horizontal; dxM1(CAM2) mm - diferenças das coordenadas x de M1 na câmera 2; dxM2(CAM2) mm - diferenças das coordenadas x de M2 na câmera 2; dyM1(CAM1) mm - diferenças das coordenadas y de M1 na câmera 1; dyM2(CAM1) mm - diferenças das coordenadas y de M2 na câmera 1; Z'M1(3D) mm - coordenada tri-dimensional Z do marcador 1; Z'M2(3D) mm - coordenada tri-dimensional Z do marcador 2.

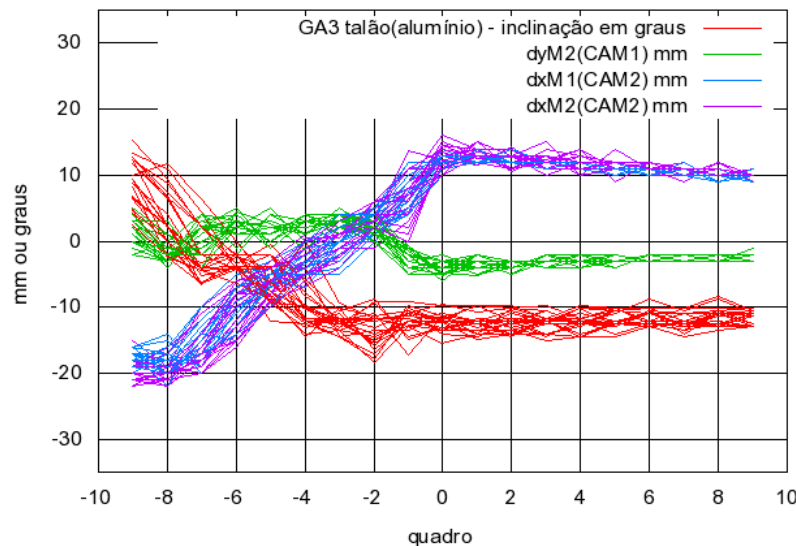
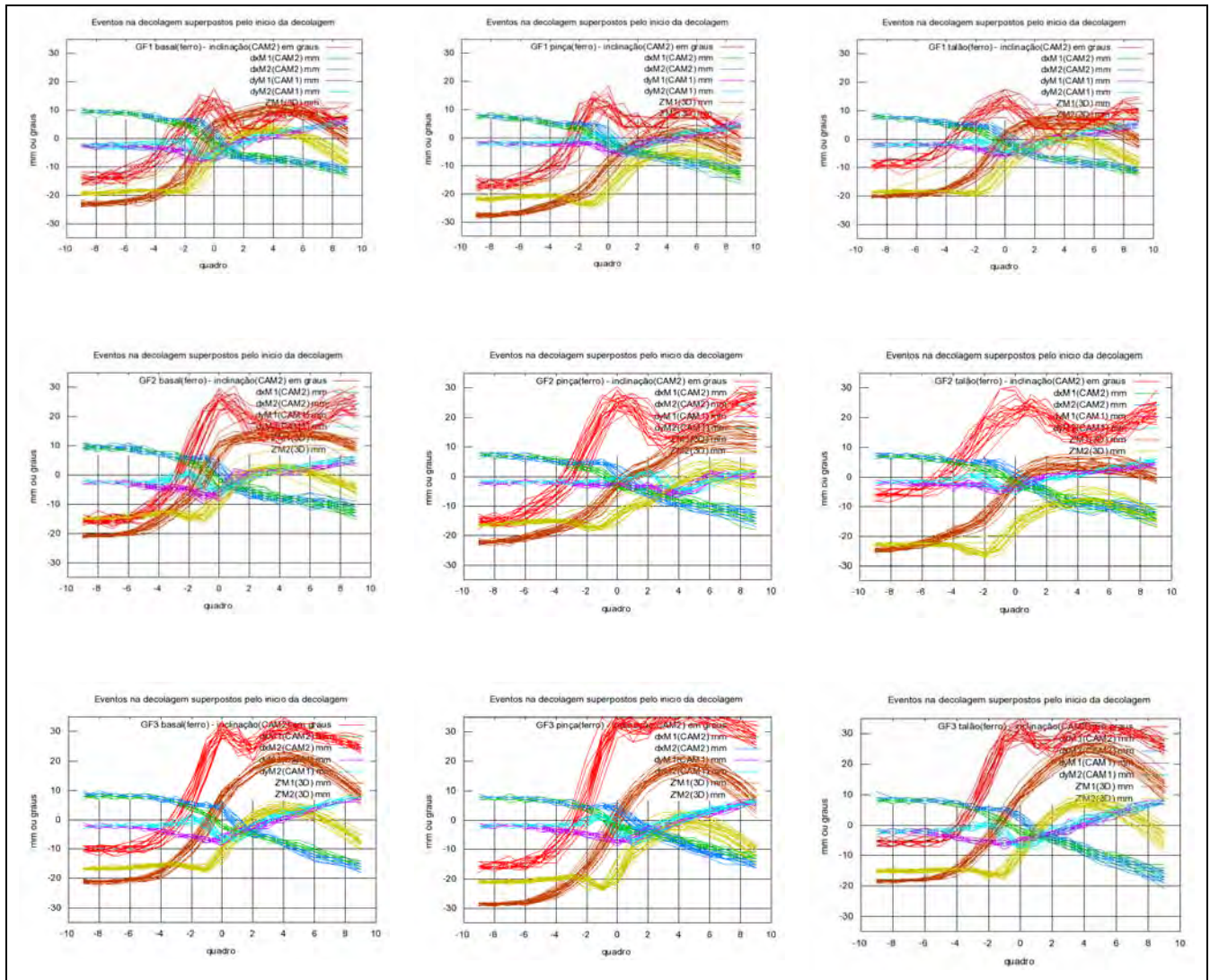
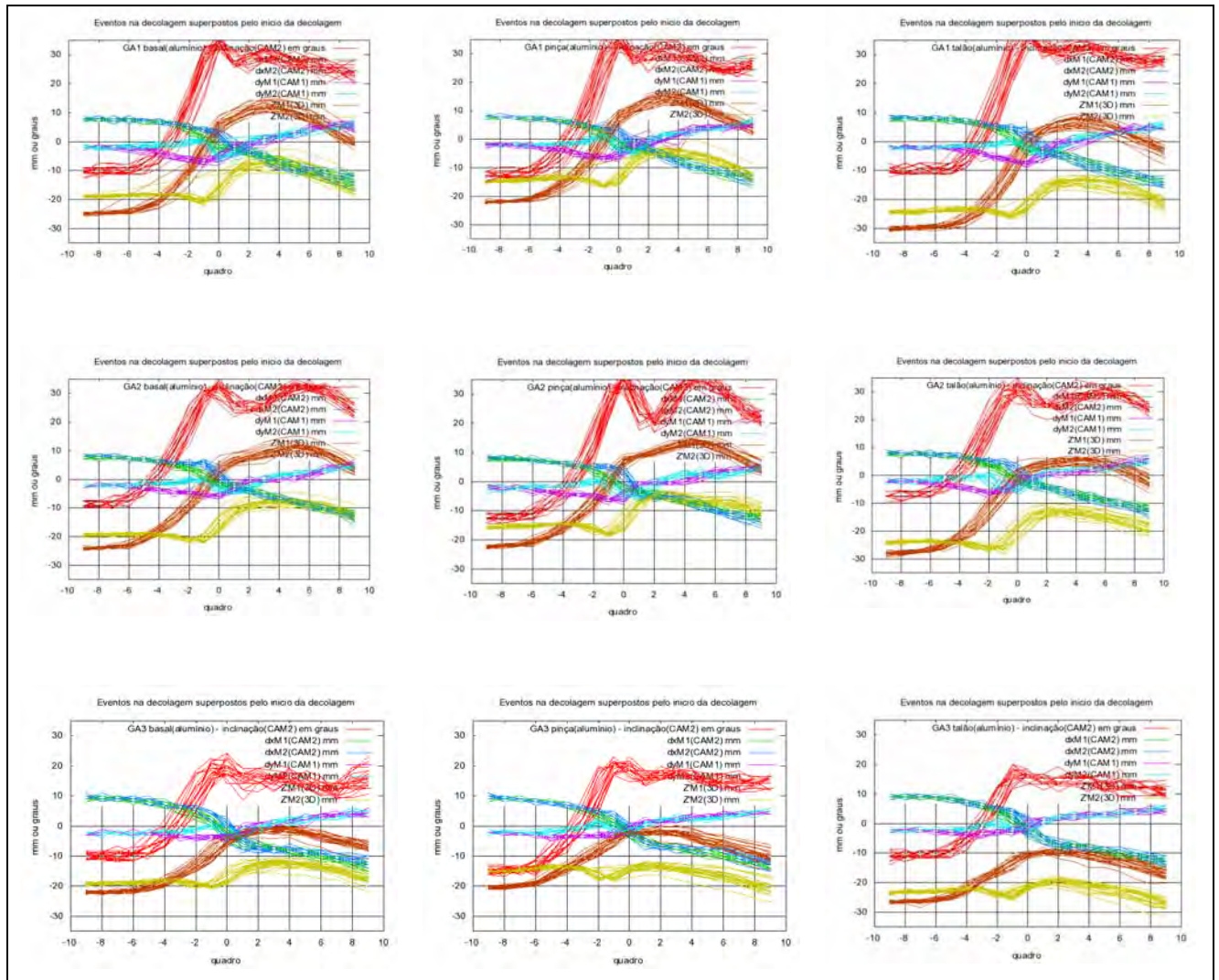


Figura 30: Representação gráfica dos eventos em torno do impacto, superposição das 23 passadas de um animal. Jaboticabal, 2010.

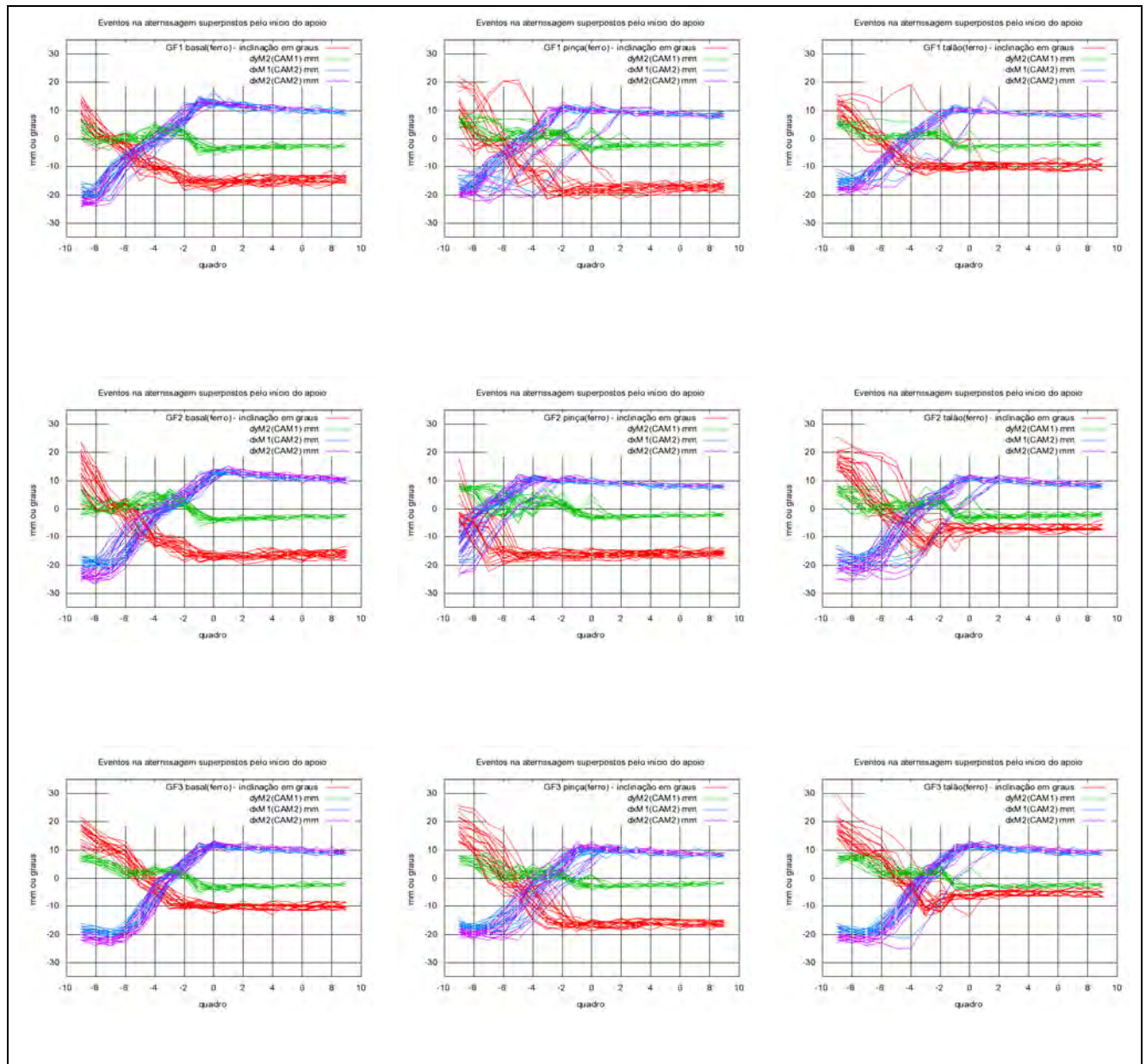
Inclinação (CAM2) em graus - curva do ângulo formado pelos marcadores 1 e 2 com a horizontal; dxM1(CAM2) mm - diferenças das coordenadas x de M1 na câmera 2; dxM2(CAM2) mm - diferenças das coordenadas x de M2 na câmera 2; dyM2(CAM1) mm - diferenças das coordenadas y de M2 na câmera 1.



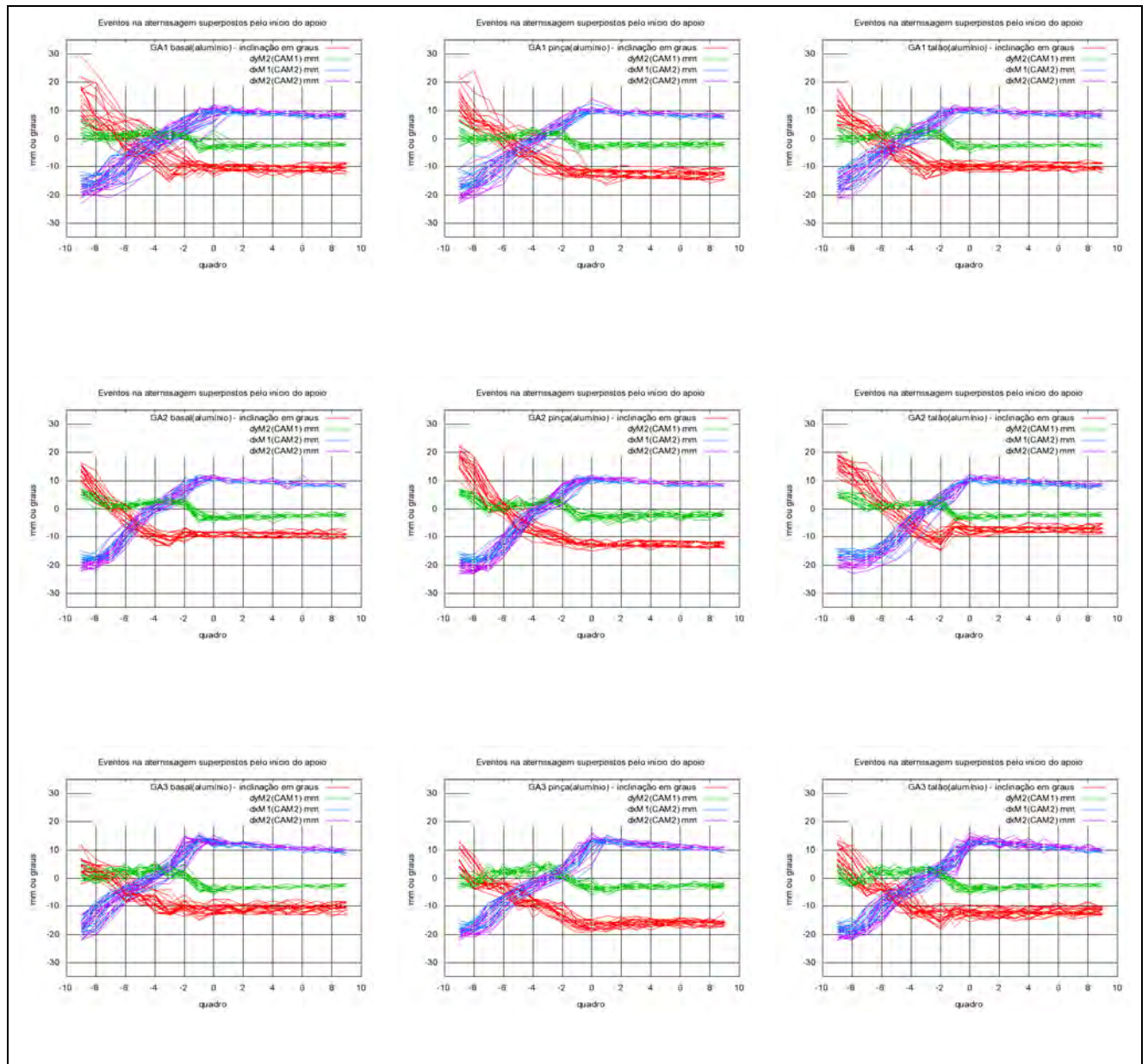
Prancha 5: Representação gráfica dos eventos em torno da decolagem dos animais do grupo GI (ferro) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.



Prancha 6: Representação gráfica dos eventos em torno da decolagem dos animais do grupo GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.



Prancha 7: Representação gráfica dos eventos em torno do impacto nos animais do grupo GI (ferro) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.



Prancha 8: Representação gráfica dos eventos em torno do impacto nos animais do grupo GII (alumínio) nos momentos Basal e após elevação da Pinça ou Talão. Jaboticabal, 2010.

Os gráficos do ângulo formado pelos marcadores, na visão da câmera 2, indicam variações significativas no instante da decolagem do grupo ferro e pouca alteração no grupo alumínio. No grupo ferro a inclinação da curva do ângulo entre marcadores é mais suave na elevação do talão em relação ao gráfico basal, e é mais inclinado na elevação da pinça, talvez devido a um aumento na tensão no TFPD. O segundo pico da inclinação CAM2 se deve a uma rápida oscilação na articulação metacarpofalangiana, semelhante a um ricochete acompanhado de pequena rotação medial, cuja explicação não foi possível determinar com nossas avaliações; esse segundo pico é retardado na elevação do talão.

Os gráficos dos eventos em torno do instante de impacto, que foram utilizados para determinação do início de cada passo, podem sugerir a tendência a pisar talão-primeiro pela presença de picos mais negativos pouco antes do impacto. Notadamente a presença desses picos negativos desaparece no Grupo II (alumínio) quando há elevação da pinça, e são detectáveis no grupo I (ferro) na elevação da pinça. Uma possível explicação para este efeito pode ser o maior peso da ferradura de ferro.

Estes eventos não foram suficientemente avaliados neste trabalho, e são deixados como sugestão para uma pesquisa futura.

V. CONCLUSÕES

Este estudo confirmou que, tanto a elevação em 6º da pinça quanto a elevação em 6º do talão de equinos ao trote em esteira rolante induziram mudanças cinemáticas no andamento.

Devido à grande variabilidade individual com relação ao tipo de alteração induzida após elevação da pinça ou do talão, não é possível, com base nos resultados deste trabalho, determinar uma possível indicação clínica geral para cada uma destas técnicas de ferrajamento, assim como inferir sobre as alterações induzidas pelos diferentes materiais de ferradura aqui avaliados.

A complementação da análise cinemática com a análise dinâmica poderia auxiliar na explicação destas variações de resposta nos animais.

A análise dos dados das coordenadas bidimensionais de rastreamento dos filmes, sem a realização da reconstrução 3D, forneceu informações bastante precisas para determinar a maioria das variáveis desta pesquisa, o que permite obter dados automaticamente e, portanto, mais rapidamente.

VI. REFERÊNCIAS

ALVES, A.L.G. Semiologia do sistema locomotor de equinos. In: FEITOSA, F.L.F. **Semiologia Veterinária: a arte do diagnóstico**. 2004. São Paulo: Roca. p.569-609.

BACK, W. The role of the hoof and shoeing. In: BACK, W.; CLAYTON, H.M. *Equine Locomotion*. London: W.B. Saunders. 2001. p.135-166.

BACK, W.; CLAYTON, H. *Equine Locomotion*. London: W. B. Saunders, 2001. p.57.

BACK, W.B.; McALLISTER, C.; VAN HEL, M.C.V.; POLLMEIER, M.; HANSON, P.D. Vertical frontlimb ground reaction forces of sound and lame Warmbloods differ from those in Quarter horses. In: International Conference on Equine Exercise Physiology, 7, 2006, France. **Proceedings ...**, Fontainebleau: Ashford, UK: Geerings of Ashford, 2006, p.116.

BAREFOOTHORSE. Heel-First Landing: A Good Indicator of A Balanced Trim. Disponível em: <http://www.barefoothorse.com/barefoot_Breakover.html>. Acesso em: 03 jan 2010.

BARREY, E. Investigation of the vertical hoof force distribution in the equine forelimb with an instrumented horseboot. Exercise physiology, p.35-38, EVJ, suplem.9, 1990.

BARREY, E. Biomechanics of locomotion in the athletic horse. In: HINCHCLIFF, K.W.; KANEPS, A.J.; GEOR, R.J. **Equine Sports Medicine and Surgery**: basic and clinical sciences of the equine athlete, London: W. B. Saunders, 2004, p.210-229.

BARROS, R.M.L.; BRENZIKOFER, R.; LEITE, N.J.; FIGUEROA, P.J. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v.15, n.1-2, p.79-86, jan/ago 1999.

BUDRAS, K.D.; KÖNIG, H.E. Casco (úngula) do cavalo. In: KÖNIG, H.E.; LIEBICH, H-G. **Anatomia dos animais domésticos**: texto e atlas colorido, v.2. Porto Alegre:

Artmed, 2004. p.-364372.

BUDRAS, K.D.; MÜLLING, Chr.; REESE, S. Órgão digital. In: KÖNIG, H.E.; LIEBICH, H-G. **Anatomia dos animais domésticos: texto e atlas colorido**, v.2. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.344.

CHATEAU, H.; DEGUEURCE, C.; DENOIX, J.M. Effects of 6° elevation of the heels on 3D kinematics of the distal portion of the forelimb in the walking horse. **Equine Veterinary Journal**, Ashford, UK: Geerings of Ashford, v.36, n.8, p.649-654. 2004.

CHATEAU, H.; DEGUEURCE, C.; DENOIX, J.M. Effect of egg-bar shoes on the three-dimensional kinematics of the distal forelimb in horses walking on a sand track. In: International Conference on Equine Exercise Physiology, 7, 2006, France. **Proceedings...**, Fontainebleau: Ashford, UK: Geerings of Ashford, 2006.

CHRISTOVÃO, F.G.; BARROS, R.M.L.; FREITAS, E.V.V.; LACERDA-NETO, J.C.; QUEIROZ-NETO, A. Análise cinemática tridimensional do movimento de equinos em esteira rolante. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, v.59, n.4, p.862-868. 2007.

CLAYTON, H.M. The effect of an acute hoof wall angulation on the stride kinematics of trotting horses. **Equine Vet. J.**, Ashford, UK: Geerings of Ashford, n.supl.9, p.86-90, 1990.

CLAYTON, H.M. The language of biomechanics. In: **The Dynamic Horse**: a biomechanical guide to equine movement and performance. Mason, USA: Sport Horse Publications. 2004a. p.9.

CLAYTON, H.M. Temporal kinematics. In: **The Dynamic Horse**: a biomechanical guide to equine movement and performance. Mason, USA: Sport Horse Publications. 2004b. p.19-32.

CLAYTON, H.M.; SCHAMHARDT, H.C. Measurement techniques for gait analysis. In: CLAYTON, H.M.; BACK, W. **Equine locomotion**. London: Saunders.2001. p.55-76.

CREVIER-DENOIX, N.; ROOSEN, C.; DARDILLAT, C.; POURCELOT, P.; JERBI, H.; SANAA, M.; DENOIX, J.M. Effects of heel and toe elevation upon the digital joint angles in the standing horse. **Equine vet. J.**, Ashford, UK: Geerings of Ashford, n.33, p.74-78, 2001.

CURTIS, S. Foot balance and corrective shoeing. In: International Congress of World Equine Veterinary Association, 10, 2008, Moscou, Russia, **Proceedings...**, Moscou, Russia, 2008. p.151-153.

DAVIES, H.M.S. No hoof, no horse! The clinical implications of modelling the hoof capsule. **Equine Vet. J.**, Ashford, UK: Geerings of Ashford, n.34(7), p.646-647. 2002.

DEGUEURCE, C.; CHATEAU, H.; JERBI, H.; CREVIER-DENOIX, N.; POURCELOT, P.;

AUDIGIÉ, F.; PASQUI-BOUTARD, V.; GEIGER, D.; DENOIX, J.M. Three-dimensional kinematics of the proximal interphalangeal joint: effects of raising the heels or the toe. **Equine Vet. J.**, Ashford, UK: Geerings of Ashford, n.33, p.79-83, 2001.

GETTY, R. Osteologia equina. In: _____ SISSON/GROSMAN **Anatomia dos animais domésticos** 5a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 1986. p.267-273.

KAINER, R.A. Functional anatomy of equine locomotor organs. In: STASHAK., T.S. **Adam's lameness in horses**. 5th ed.2002. p.1-23.

KRAMER, J.; KEEGAN, K.G. Kinematics of lameness. In: HINCHCLIFF, K.W.; KANEPS, A.J.; GEOR, R.J. **Equine Sports Medicine and Surgery**: basic and clinical sciences of the equine athlete. London: W. B. Saunders, 2004, p.231-246.

LEACH, D. Biomechanical considerations in raising and lowering the heel. In: American Association of Equine Practitioners, 26, 1983. **Proceedings...**, Las Vegas: F. J. Milne, 1983, p. 333- 342.

LELEUA, C.; COTRELA, C.; BARREY, E. Relationships between biomechanical variables and race performance in French Standardbred trotters. **Livestock Production Science**, v.92, p.39-46, 2005.

LIEBICH, H-G.; KÖNIG, H.E. Membro anterior ou membro torácico (*Membra thoracica*). In: KÖNIG, H.E.; LIEBICH, H-G. **Anatomia dos animais domésticos**: texto e atlas

colorido, v.2. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.147-170

MORRISON, S. Practical Approaches to Heel Pain. In: American Association of Equine Practitioners, 53, 2007. **Proceedings...**, Colorado, USA, 2007, p.88-92..

O'GRADY, S.E. Basic Farriery for the Performance Horse. **Vet. Clin. Equine**, v. 24, p.203-218, 2008.

O'GRADY, S.E.; POUPARD, D.A. Proper physiologic horseshoeing. **Vet. Clin. Equine**, v.19, p.333-351, 2003.

PARKS, A. Form and function of the equine digit. **Vet. Clin. Equine**, v.19, p.285-307, 2003.

PILLINER, S.; ELMHURST, S.; DAVIES, Z. Movement and action. In: _____ **The Horse in Motion**: the anatomy and physiology of equine locomotion, Oxford: Blackwell Science, 2004a. p.79-81.

PILLINER, S.; ELMHURST, S.; DAVIES, Z. Trotting. In: _____ **The Horse in Motion**: the anatomy and physiology of equine locomotion. Oxford: Blackwell Science, 2004b. p.99-120

SCHALLER, O. **Nomenclatura anatômica veterinária ilustrada**. São Paulo: Manole Ltda. 1999. 614p.

SISSON, S. Articulações do equino. In: GETTY, R. SISSON/GROSMAN **Anatomia dos animais domésticos** 5a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 1986 a. p.332-336.

SISSON, S. Tegumento comum. In: GETTY, R. SISSON/GROSMAN **Anatomia dos animais domésticos** 5a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 1986 b. p.681-687

STASHAK, T.S. Methods of corrective trimming or shoeing. In: **Adams 'Lameness in Horses**. Lea & Febiger, Philadelphia.p.813-833, 2002.

TREDoux, C.; DURRHEIM, K. **Numbers, Hypotheses & Conclusions**: a course in statistics for the social sciences. Lansdowne: UCT Press. 2002. 542 p.

TURNER, T.A.; STORK, C. Hoof abnormalities and their relation to lameness. In: American Association of Equine Practitioners,32. **Proceedings...**, 1988, p. 293-297.

WILLEMEN, M.A.; SABELBERG, H.H.C.M.; BARNEVELD, A. The effect of orthopedic shoeing on the force exerted by the deep digital flexor tendon on the navicular bone in horses. **Equine Vet. J.**, Ashford, UK: Geerings of Ashford,n.31, p. 25-30, 1999.