

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MANGALARGA MARCHADOR: ESTUDO MORFOMÉTRICO,  
CINEMÁTICO E GENÉTICO DA MARCHA BATIDA E DA  
MARCHA PICADA**

**Mayara Gonçalves Fonseca**

Médica Veterinária

**2018**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MANGALARGA MARCHADOR: ESTUDO MORFOMÉTRICO,  
CINEMÁTICO E GENÉTICO DA MARCHA BATIDA E DA  
MARCHA PICADA**

**Mayara Gonçalves Fonseca**

**Orientador: Prof. Dr. Guilherme de Camargo Ferraz**

**Coorientadora: Profa. Dra. Amanda Piaia Silvatti**

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

**2018**

F676m Fonseca, Mayara Gonçalves  
Mangalarga Marchador : estudo morfométrico, cinemático e genético da marcha batida e da marcha picada / Mayara Gonçalves Fonseca. -- Jaboticabal, 2018  
vii, 73 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018

Orientador: Guilherme de Camargo Ferraz

Coorientador: Amanda Piaia Silvatti

Banca examinadora: Adalgiza Souza Carneiro de Rezende, Rogério Abdallah Curi, Fernanda Nascimento de Godoi, Paulo Aléscio Canola

Bibliografia

1. Andamento. 2. Biomecânica. 3. Biometria. 4. Equino. 5. Gene *DMRT3*. 6. Genoma. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 619:636.082:636.1

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: MANGALARGA MARCHADOR: ESTUDO MORFOMÉTRICO, CINEMÁTICO E GENÉTICO DA MARCHA BATIDA E DA MARCHA PICADA

**AUTORA: MAYARA GONCALVES FONSECA**  
**ORIENTADOR: GUILHERME DE CAMARGO FERRAZ**  
**COORIENTADORA: AMANDA PIAIA SILVATTI**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em MEDICINA VETERINÁRIA, área: CLÍNICA MÉDICA VETERINÁRIA pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GUILHERME DE CAMARGO FERRAZ  
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. ADALGIZA SOUZA CARNEIRO DE REZENDE  
Departamento de Zootecnia / UFMG - Belo Horizonte/MG

Prof. Dr. ROGERIO ABDALLAH CURI  
Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal / FMVZ / UNESP - Botucatu

Prof. Dr. FERNANDA NASCIMENTO DE GODOI  
Instituto de Zootecnia / Rio de Janeiro/ RJ / UFRRJ

Prof. Dr. PAULO ALÉSCIO CANOLA  
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 04 de maio de 2018

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**Mayara Gonçalves Fonseca**, nascida em Belo Horizonte/MG no dia 6 de julho de 1989, filha de Roselaine Gonçalves e José William Fonseca Jardim. Graduiu-se em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Minas Gerais em 2011. Durante a graduação, foi bolsista de Iniciação Científica PROBIC/FAPEMIG por dois anos (2010 e 2011) e desenvolveu projetos na área de Produção Animal com a espécie equina sob a orientação da professora Dra. Adalgiza Souza Carneiro de Rezende. Em 2014, obteve o título de mestre em Zootecnia na área de Produção Animal pela Universidade Federal de Minas Gerais com bolsa do CNPq durante o período. Atualmente é Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, área de Clínica Médica Veterinária da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - Câmpus Jaboticabal sob orientação do Prof. Dr. Guilherme de Camargo Ferraz e coorientação da Profa. Dra. Amanda Piaia Silvatti. Durante o doutorado, foi bolsista CNPq por dois meses e, posteriormente, bolsista da FAPESP (Processo nº 2015/17.155-2).

## DEDICATÓRIA

À memória do meu pai/avô Francisco Estevam Gonçalves, quem sempre foi minha inspiração e participou ativamente para a concretização dessa etapa da minha vida profissional. Muito obrigada, pai!

## **AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de doutorado para execução do projeto de pesquisa (Processo nº 2015/17.155-2, FAPESP).

À Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador – ABCCMM pelo apoio financeiro e logístico para a coleta de dados na 34ª Exposição Nacional do Cavallo Mangalarga Marchador. À Diretoria e aos funcionários da ABCCMM pela importante colaboração, especialmente ao Magdi Shaat, Fábio Vilella, Glaucia Procópio, Cecília Procópio, Flávia Zago, Frederico Campos, Marcos Antônio Augusto Marco Antonio da Cruz e Denis Maia que sempre me receberam com muita gentileza e não pouparam esforços para que tudo saísse perfeito.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho e a todos professores, funcionários e colaboradores que contribuíram com essa etapa profissional.

Ao meu orientador, Prof. Guilherme de Camargo Ferraz por topár o desafio desse projeto, por sempre ser luz e ter paciência nos momentos mais conturbados, por compartilhar seu conhecimento, por me despontar novas visões da pesquisa e da docência e, principalmente, por me mostrar que sempre devo buscar o melhor e que posso ir muito além do que imaginei. Sua orientação durante esses anos me proporcionou um crescimento imensurável. Serei sempre grata!

À minha coorientadora, Profa. Amanda Piaia Silvatti pela oportunidade de convívio e aprendizado no Laboratório de Análises Biomecânicas (Lab) da UFV, pela paciência e dedicação a todos os detalhes e etapas do projeto, pelos ótimos momentos de descontração com a turma do Lab e, principalmente, por me fazer enxergar a pesquisa com outros olhos. Sua forma de conduzir a equipe do Lab é uma inspiração! Muito obrigada!

Ao Dr. Tiago de Garcia Resende por ser o responsável pela inspiração do nascimento do projeto, por não poupar esforços sua para a viabilidade e execução, por estar presente em todas as etapas, pela valiosa contribuição técnica, por ser um grande amigo e sempre ajudar com meu crescimento. Não tenho como te agradecer!

Ao Prof. Rogério Abdallah Curi e ao Dr. Guilherme Luis Pereira pela oportunidade de parceria no projeto enriquecendo-o com a abordagem genética, pelo acolhimento no Laboratório de Genética e Melhoramento Animal e por terem paciência e dedicação em responderem todas minhas inúmeras dúvidas.

À professora Adalgiza Souza de Carneiro de Rezende por ter despertado meu interesse pela pesquisa, pela inspiração de sua dedicação aos equinos, por sempre estar presente e contribuindo muito com meu crescimento profissional, por ser minha eterna orientadora e incentivadora. Agradeço por ter me levado à Jaboticabal e

permitido essa experiência na Unesp que foi valiosa para minha formação. Muito obrigada por tudo professora!

À professora Fernanda Nascimento de Godoi, por ser um exemplo de pessoa e profissional que me inspira em meus passos. Por ser uma grande amiga e sempre estar prontamente disponível para me auxiliar em qualquer momento conturbado. Por ser inspiração a esse projeto! Muito obrigada!

Ao prof. Paulo Alécio Canola pela oportunidade de parceria no projeto de pesquisa da Marina, pelo ensinamento nas excelentes aulas e pelas contribuições à essa tese! Muito obrigada!

À equipe de coleta do Cinemarcha: profa. Amanda Silvatti, prof. André Gustavo, profa Brunna Patricia, prof. Leopoldo Paolucci, Jessica Lage, Consuelo Marelli, Thayne Oliveira, Izabella Marques, Gustavo Gonzalez, Cassio Sales, Samuel Simonato, Gustavo Ramos, Isabella Rodrigues, Leandro Ferreira, Amanda Alcântara e Fabiola Bertu. A ajuda de cada um de vocês antes, durante e após as coletas é impagável!

Aos Lafequianos Maria Luiza (Malu), Juliana Cerqueira, Henriette Moranza, Inaê Regatieri, Walter Feringer, Gabriel Conde, Wilmer Alejandro, Lucas Catananti, Fernanda Pigossi, Naila Osti, Patricia Testa, Patricia Sitta, Carolina Lozana, Julia Carvalho, Manoela Macedo, Marina Lansarini e Stela Montoro (agregada sempre presente). Cada um de vocês participou de forma importante e especial nessa etapa. Agradeço todo o aprendizado profissional e as amizades cultivadas. Os momentos de trabalho, carinho, apoio e comemorações estão eternizados. Tenho muito orgulho de ter feito parte dessa equipe!

À família que ganhei em Jaboticabal: Nara Bernardi, Daniela Junqueira, Amanda Festa, Mariana Cipro, Ana Paula Judice, Caroline Miranda e Helena Brito. Vocês foram sempre uma fonte de amor, carinho, conselhos e ombro amigo nos momentos mais difíceis, e claro, sempre trazendo muitos motivos para festejar!

Aos amigos Ana Claudia, Branca, Nathan, Fausto, Priscila, Maria Eduarda, Paulo Henrique, Rodrigo, Paulo Marcusso, Victor Yunes, Marcela, agradeço todos os momentos de desabafo, descontração e conselhos! Vocês são inesquecíveis e tornaram essa jornada mais alegre!

À Jessica Lage pela parceria, amizade e companheirismo em todos os momentos. Por pensarmos parecido e ao mesmo tempo diferente, você sempre foi uma fonte de apoio e lucidez nos momentos mais difíceis. Além de sempre fazer parte daqueles mais felizes! Sua ajuda no doutorado (e na vida) foi imensurável! Obrigada por poder contar com você!

À Consuelo Marelli, agradeço a prontidão para participar do experimento e sua dedicação para executá-lo. Não teria melhor pessoa para as mensurações morfométricas! Você foi essencial. Sua amizade e parceria são muito importantes para

mim e não tenho como agradecer tudo que você sempre me ajudou e esteve ao meu lado. Muito obrigada!!

À Thayne Oliveira, agradeço a sorte de dividir esse experimento com você e ganhar uma grande amizade. Obrigada pelo acolhimento em Viçosa, Paula Cândido e por sempre poder contar com sua ajuda, carinho e apoio! Agradeço também aos seus pais, Marcondes e Cláudia, quem eu tenho imenso carinho e gratidão! Amo vocês!

Ao Alex Cabral Vieira, meu maior presente do doutorado. Você foi minha fonte de lucidez, serenidade, sabedoria e amor. Não há como agradecer o apoio condicional, os puxões de orelha, os conselhos, o colo, o companheirismo, os cuidados e toda estrutura para que eu vencesse cada etapa com muita segurança por ter você comigo. Agradeço por me dar uma segunda família e novos amigos em Paula Cândido, principalmente pelo acolhimento de sua mãe. Amo vocês!

À minha família que me ensinou a importância da dedicação e da responsabilidade, compreendeu meus momentos de ausência e participou comigo de todas as etapas do doutorado. Também não me deixaram desistir ou fraquejar diante dos inúmeros obstáculos, me aconselharam nos momentos conturbados, me dão toda a estrutura possível para eu alcançar todos os meus objetivos, e principalmente me amparam em orações e em um amor incondicional. Obrigada por acreditarem e apostarem em mim. Vocês são incríveis, amo vocês!

A todos proprietários, apresentadores, treinadores e tratadores que toparam participar do experimento e levaram os cavalos ao galpão B14. Agradeço o respeito e gentileza em que receberam a equipe Cinemarcha! Sem vocês, o trabalho não seria possível!

E, finalmente, a todas pessoas que apoiaram e torceram pela realização desse projeto. Não há como descrever todo carinho e incentivo que recebi!

Muito obrigada!

## SUMÁRIO

	Páginas
CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS.....	iii
RESUMO –.....	iv
ABSTRACT .....	vi
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	1
1. Introdução .....	1
2. Revisão de Literatura .....	2
A raça Mangalarga Marchador .....	2
Cinemática.....	4
Morfometria .....	8
Gene <i>DMRT3</i> : “ <i>doublesex and mab-3 related transcription factor 3</i> ” .....	10
3. Referências .....	12
CAPÍTULO 2 – Cinemática da marcha batida e da marcha picada de equinos da raça Mangalarga Marchador e sua relação com a morfometria .....	17
1. Introdução .....	18
2. Material e Métodos .....	19
3. Resultados e discussão.....	23
4. Conclusões.....	39
5. Referências .....	40
CAPÍTULO 3 – Investigação preliminar da relação entre a cinemática tridimensional do padrão de andamento e os diferentes genótipos do <i>DMRT3</i> na marcha picada de cavalos montados da raça Mangalarga Marchador.....	42
RESUMO – .....	42
Highlights .....	43
1. Introdução .....	43
2. Material e métodos .....	45

3. Resultados e Discussão .....	46
4. Conclusões.....	50
5. Referências .....	50
CAPÍTULO 4 – Estudo de associação ampla do genoma revela diferença no mecanismo de controle genético dos dois padrões de andamento da raça brasileira Mangalarga Marchador .....	53
RESUMO - .....	53
Highlights .....	54
1. Introdução .....	54
2. Material e Métodos.....	56
3. Resultados .....	57
4. Discussão.....	60
5. Conclusão .....	62
Agradecimentos .....	62
6. Referências .....	63
APÊNDICES.....	65
APÊNDICE A – PADRÃO DA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR.....	66
APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DAS MENSURAÇÕES MORFOMÉTRICAS	72

**CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Jaboticabal

**CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS****CERTIFICADO**

Certificamos que o Protocolo nº 12807/15 do trabalho de pesquisa intitulado **"Mangalarga marchador: Estudo morfométrico, cinemático, metabólico e genético da marcha batida e da marcha picada"**, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Guilherme de Camargo Ferraz, está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), em reunião ordinária de 06 de julho de 2015.

Jaboticabal, 06 de julho de 2015.

Profª Drª Paola Castro Moraes  
Coordenadora – CEUA

## MANGALARGA MARCHADOR: ESTUDO MORFOMÉTRICO, CINEMÁTICO E GENÉTICO DA MARCHA BATIDA E DA MARCHA PICADA

**RESUMO** – Considerando a importância nacional da raça Mangalarga Marchador (MM) e sua crescente internacionalização, estudos que avaliam diferentes aspectos de seus andamentos singulares, marcha batida (MB) e marcha picada (MP), são necessários. Os objetivos desse estudo foram descrever e comparar as variáveis cinemáticas (VCine) da MB e da MP e verificar associações entre as medidas morfométricas e as VCine de equinos da raça MM; avaliar a influência do alelo mutante do *DMRT3* em homozigose (AA) ou heterozigose (AC) no padrão de movimento da MP; identificar, por meio de estudo amplo de associação do genoma (GWAS), polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs) e regiões genômicas que contenham possíveis genes responsáveis pelo fenótipo da MB na raça MM. Para análise cinemática, dezoito câmeras optoeletrônicas (240 Hz) foram posicionadas para a aquisição dos dados tridimensionais de três marcadores retrorreflexivos fixados no casco. Determinou-se duração, comprimento, frequência e velocidade de cada passada; dissociação relativa diagonal de decolagem e de apoio; e distribuição do tempo da passada em cada tipo de apoio (quadrupedal, tríplice, bipedal, monopedal e suspensão). Quarenta e oito cavalos pertencentes aos dois grupos de andamentos distintos: MP com genótipo AA e AC do SNP 22999655C>A (n=20) e MB com genótipo CC (n=28) foram analisados por meio do Equine SNP70 BeadChip e em seguida realizado GWAS. Para caracterização cinemática dos andamentos, os dados foram submetidos à análise descritiva. Para comparação entre fêmeas e machos e para comparação entre MB e MP, os tempos de apoio foram comparados pelo teste U de Mann-Whitney e as demais variáveis analisadas pelo teste t de Student ( $P \leq 0,05$ ). A relação entre variáveis morfométricas e cinemáticas foi avaliada por correlação de Pearson. As variáveis cinemáticas temporais dos cavalos de MP de genótipo AA (n=9) e AC (n=9) foram comparadas por ANAVA de dois fatores (genótipo e passada, sendo a última de amostras repetidas) e em seguida teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). MB em velocidade média de 13,22 km/h apresentou maior porcentagem de apoios bipedal diagonal, seguida de monopedal pélvico, tríplice torácico, bipedal lateral e bipedal pélvico. Também foi identificada dissociação de apoio positiva que provavelmente está relacionada à manifestação de apoios monopedais e bipedais pélvicos. A MP na velocidade média de 12,68 km/h apresentou predomínio de apoios laterais seguidos por diagonais, tríplice torácico e monopedal pélvico. Na mesma velocidade, MP apresentou menor duração, comprimento e maior frequência de passadas; maior dissociação e ocorrência de apoios laterais e tríplices; e menor frequência de apoios diagonais, bipedais pélvicos e suspensão em relação à MB. Na amostra estudada, tanto na MB quanto na MP, os exemplares proporcionalmente maiores e com ângulos escapuloumeral, metacarpofalângico, coxofemoral, tibiotarsicometatársico menores apresentaram maior comprimento de passada e melhor distribuição dos tempos de apoio de acordo com Padrão da raça MM. Foi encontrada relação entre o padrão de andamento e os diferentes genótipos do *DMRT3* (AA ou AC) na MP de equinos montados da raça MM. Indivíduos AC tiveram menor dissociação diagonal de decolagem e apresentaram maior proporção de apoio diagonal e, por isso, parecem

apresentar distribuição de tempos de apoio mais próximo ao descrito como ideal no Padrão da raça quando comparados aos indivíduos AA. Os resultados do GWAS revelaram que, ao contrário do fenótipo de MP que é aparentemente determinado por gene único (*DMRT3*), a MB parece ser controlada por maior número de genes. Concluiu-se que morfometria e aspectos genéticos interferem no padrão de andamento de equinos de marcha batida ou picada da raça Mangalarga Marchador.

**Palavras-chave:** andamento, biomecânica, biometria, equino, gene *DMRT3*, genoma

## MANGALARGA MARCHADOR: MORPHOMETRIC, KINEMATIC AND GENETIC STUDY OF MARCHA BATIDA AND MARCHA PICADA GAITS

**ABSTRACT** – Considering the national significance of the Mangalarga Marchador (MM) breed and its increasing internationalization, studies that evaluate different aspects of their singular gaits, marcha batida (MB) and marcha picada (MP) are necessary. The objectives of this study were to describe and compare the kinematic variables (VCine) of MB and MP and to verify associations between the morphometric measurements and the VCine of MM horses; to evaluate the influence of the mutant allele of *DMRT3* on homozygous (AA) or heterozygosis (AC) in the MP movement pattern; to identify, through genome-wide association study (GWAS), single nucleotide polymorphisms (SNPs) and genomic regions containing possible genes responsible for the phenotype of the MB in MM breed. For kinematic analysis, eighteen optoelectronic cameras (240 Hz) were positioned to acquire the three-dimensional data of three retroreflective markers fixed to the hooves. Duration, length, frequency and speed of each stride; diagonal advanced placement and lift-off and support phases (quadrupedal, tripedal, bipedal, Monopedal and suspension) were determined. Forty-eight horses belonging to the two gait groups, MP with AA and AC genotypes of the 22999655C>A SNP (n = 20) and MB with CC genotype (n = 28), were analyzed using the Equine SNP70 BeadChip and then performed GWAS. For kinematic characterization of the gaits, the data were submitted to descriptive analysis. For comparison between females and males, and for comparison between MB and MP, the support phases were compared by the Mann-Whitney U test and the other variables analyzed by Student's t-test ( $P \leq 0.05$ ). The relationship between morphometric and kinematic variables was evaluated by Pearson correlation. The temporal kinematic variables of MP horses of genotype AA (n = 9) and AC (n = 9) were compared by two-way ANOVA (genotype and stride, being the last of repeated samples) and then Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ). MB at the average speed of 13.22 km.h<sup>-1</sup> presented higher percentage of diagonal bipedal support, followed by a single pelvic limb, triple thoracic limb, lateral bipedal and bipedal pelvic limbs. In MB, a positive diagonal advanced placement was also identified that is probably related to the manifestation of single-support and pelvic bipedal supports. MP at the average speed of 12.68 km.h<sup>-1</sup> presented predominance of lateral supports followed by diagonals, triple of thoracic limb and single support of pelvic limb. At the same speed, MP horses presented shorter duration, shorter length and greater frequency of strides, greater dissociation and greater occurrence of lateral and triple supports, and lower frequency of diagonal supports, bipedal pelvic and suspension in relation to MB. In the studied sample, both MB and MP, the proportionally larger horses with smaller scapulohumeral, metacarpophalangeal, coxofemoral and tibiotarsometatarsal angles showed greater stride length and better distribution of support phases according to

breed standard. Was found a relationship between the gait pattern and the different genotypes of *DMRT3* (AA or AC) in the MP of ridden MM horses. AC individuals had lower diagonal advanced at lift-off and presented greater proportion of diagonal supports and therefore appeared to present distribution of support phases closer to that described as ideal in breed standard when compared to AA subjects. The GWAS results revealed that, unlike the MP phenotype that is apparently determined by single gene (*DMRT3*) in which the A allele of g.22999655C> A controls the characteristic, MB seems to be controlled by a greater number of genes. It was concluded that morphometry and genetic aspects interfere with the gait pattern of MB or MP Mangalarga Marchador horses.

**Keywords:** biomechanic, biometry, *DMRT3* gene, equine, gait, genome

## **CAPÍTULO 1 - Considerações gerais**

### **1. Introdução**

Mangalarga Marchador (MM) é a mais numerosa raça de equinos (*Equus caballus*) brasileira. Possui como particularidade seu andamento com velocidade intermediária que difere do trote: a marcha, a qual é subdividida em marcha batida (MB) e marcha picada (MP). Essa característica é o principal diferencial da raça por gerar comodidade ao cavaleiro e, conseqüentemente, justifica a utilização desses exemplares em cavalgadas de longa duração, concursos de marcha, cavalgadas de regularidade guiadas por planilhas, lida com o gado, equoterapia, dentre outras atividades. Apesar da relevância da raça no Brasil, ainda há demanda por estudos científicos que avaliam as particularidades visando melhorar a criação dos exemplares no país, além de fomentar a exportação de animais.

O presente estudo foi realizado com a finalidade de expandir conhecimento científico sobre a possível influência da genética e da morfometria na determinação do padrão de movimento da marcha batida ou da marcha picada da raça MM. Os resultados servirão de base, como orientação técnica, para escolha de animais para competição e seleção genética, além de fornecer informações para futuras pesquisas. Por fim, como a internacionalização da raça já é realidade, e este trabalho fornecerá a descrição quantitativa da movimentação da MB ou da MP para conhecimento e orientação dos usuários e cientistas em abrangência nacional e internacional.

Dentro desse contexto, objetivou-se:

- a) Descrever e comparar as variáveis cinemáticas temporais da marcha batida e da marcha picada de equinos premiados da raça MM;
- b) Verificar associações entre as medidas morfométricas (lineares e angulares) e as variáveis cinemáticas dos andamentos marcha batida e marcha picada de equinos da raça MM;

c) Avaliar a influência do alelo mutante do *DMRT3* em homozigose (AA) ou heterozigose (AC) nas variáveis cinemáticas temporais da marcha picada de equinos da raça MM;

d) Identificar, por meio de estudo amplo de associação do genoma (GWAS), SNPs e regiões genômicas que contenham possíveis genes responsáveis pelo fenótipo da marcha batida na raça MM.

## **2. Revisão de Literatura**

### **A raça Mangalarga Marchador**

A raça Mangalarga Marchador é responsável pelo maior e mais representativo rebanho equino do Brasil (LIMA; CINTRA, 2016). A raça originou-se na região Sul do estado de Minas Gerais por meio do cruzamento de animais provenientes da Península Ibérica com éguas nativas da região Sul Mineira e possui aproximadamente 200 anos de seleção (CASIUCH, 1997). Em 2017, contabilizou-se 600.000 animais inscritos, 15.000 associados, 70 núcleos de criadores no país e quatro núcleos no exterior (Argentina, Estados Unidos, Alemanha e Itália). Indivíduos dessa raça possuem como andamento natural a marcha, que é conceituada pela Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador (ABCCMM) como um andamento marchado, simétrico, de quatro tempos, com apoio alternado dos bípedes laterais e diagonais, intercalados por momentos de tríplice apoio (ABCCMM, 2007). A sequência de apoios característica da marcha ocorre em consequência da dissociação do avanço do bípode diagonal, permitindo que o equino permaneça constantemente em contato com o solo durante a locomoção. Essa dinâmica de movimentação favorece a manutenção da estabilidade de tronco, o que proporciona maior comodidade ao cavaleiro. São admitidos dois tipos de andamento de velocidade intermediária na raça MM: marcha batida (MB) ou marcha picada (MP), que diferem entre si pela distribuição do tempo dos tipos de apoio no solo. Na MP, há maior proporção de apoios laterais e tríplexes em comparação à MB (PROCÓPIO, 2005).

A principal modalidade de competição da raça é o Campeonato de Marcha, no qual os equinos, conduzidos por seus respectivos cavaleiros ou amazonas, percorrem pista oval ou circular durante 20 a 70 minutos na marcha em velocidade média de 12 km/h e têm o andamento avaliado qualitativamente de forma comparativa por árbitros credenciados pela ABCCMM. São avaliados seis itens em ordem de relevância: 1) Gesto de marcha: coordenação, qualidade de movimento, dissociação e correta distribuição dos tempos de apoio (diagrama da marcha); 2) Conforto: transmissão mínima de impactos ao cavaleiro e manutenção da estabilidade do tronco durante o deslocamento; 3) Estilo: manutenção da postura corporal com atitude (posicionamento de cabeça e pescoço) e engajamento, além de harmonia e elegância dos movimentos; 4) Adestramento: respostas adequadas do cavalo aos comandos do cavaleiro; 5) Rendimento: passadas amplas e elásticas, capacidade de percorrer maior distância com menor número de passadas; 6) Regularidade: manutenção da qualidade dos itens anteriores durante todo o julgamento (ABCCMM, 2009).

Durante o Campeonato de Marcha, os juízes analisam visualmente os cavalos a partir do centro da pista e em seguida montam cada equino para avaliar os itens de conforto e adestramento. Imediatamente após esse momento, o apresentador novamente monta seu cavalo e executa a Prova Funcional do Mangalarga Marchador. Essa prova é constituída por percurso de 10 figuras sequenciais: porteira, baliza, galope, salto, tambores, alto e estação, ladear e recuo, e finaliza com passo livre. Há critérios de pontuação por faltas cometidas em cada figura e o conjunto vencedor da Prova Funcional é aquele que somar o menor número de pontos perdidos no percurso. Caso haja empate nos pontos, o conjunto com menor tempo de execução da Prova Funcional será o vencedor (ABCCMM, 2009).

Além da avaliação do andamento, os animais também são julgados no quesito morfologia. Nessa prova, os cavalos são analisados pela frente, por trás e de perfil durante momentos de análise em estática e em dinâmica, ao passo, sempre de forma comparativa entre os demais competidores com base no padrão racial (Apêndice A). Os animais são avaliados quanto à aparência geral, tipo, expressão e caracterização

raciais, angulações, proporções, harmonia, simetria, qualidade de aprumos e qualidade de passo (ABCCMM, 2009).

Os regulamentos das provas oficiais são os mesmos para os andamentos MB e MP. Em todos os julgamentos, os equinos são distribuídos em categorias por sexo, tipo de andamento e ordem crescente de idade. Dessa forma, fêmeas e machos são julgados em categorias separadas, assim como equinos de marcha batida e picada. Cada prova (Campeonato de Marcha, Prova Funcional e Julgamento de Morfologia) possui classificações independentes, que são somadas para fornecer o resultado final de classificação da Categoria, MP ou MB (ABCCMM, 2009).

Na literatura, há relatos de diferenças entre os andamentos MB e MP com relação às características morfométricas (SANTIAGO et al., 2014a), cinemáticas (NICODEMUS; CLAYTON, 2003; PROCÓPIO, 2005), genéticas (PATTERSON; STAIGER; BROOKS, 2015) e metabólicas (WANDERLEY et al, 2010; LAGE et al., 2017). Recentemente, nosso grupo de pesquisa publicou estudo que avaliou o custo de transporte por unidade de distância percorrida (COT) e a exigência de energia metabólica por quilograma de peso corpóreo (P) das duas modalidades de andamento e encontrou que a MP possui maior demanda energética do que a MB (LAGE et al., 2017). Entretanto, equinos de MB ou MP bem condicionados e que possuíram a mesma capacidade aeróbia se assemelharam quanto às frequências cardíacas relativas à frequência cardíaca máxima (FC<sub>máx</sub>) durante os Concursos de Marcha oficiais, que foram classificados como exercício intermitente de intensidade submáxima (LAGE et al., 2017). Dessa forma, as relações entre as características citadas ainda precisam ser melhor elucidadas na MB e MP para aprimorar os aspectos de manejo, seleção, treinamento e preparação dos animais para as competições.

### **Cinemática**

A cinemática é o ramo da física que descreve os movimentos dos corpos no tempo e no espaço e é fundamental para quantificar as características dos diferentes tipos de andamento. Por meio dessa ferramenta, é possível avaliar o deslocamento de segmentos corporais assim como mensurar ângulos articulares na espécie equina

(BARREY, 1997). Cada tipo de andamento tem a sequência característica que descreve a ordem de contato com o solo durante a passada, assim como o movimento coordenado entre os membros (CLAYTON, 2004). Como quadrúpede, são possíveis os seguintes tipos de apoio nos equinos: apoio quadrupedal (os quatro cascos estão em contato com o solo), tripedal (somente três cascos em contato com o solo), bipedal (somente dois cascos em contato com o solo), monopedal (somente um casco em contato com o solo) ou suspensão (nenhum casco em contato com o solo) (CLAYTON, 2004). As possibilidades de cada tipo de apoio estão ilustradas na Figura 1.

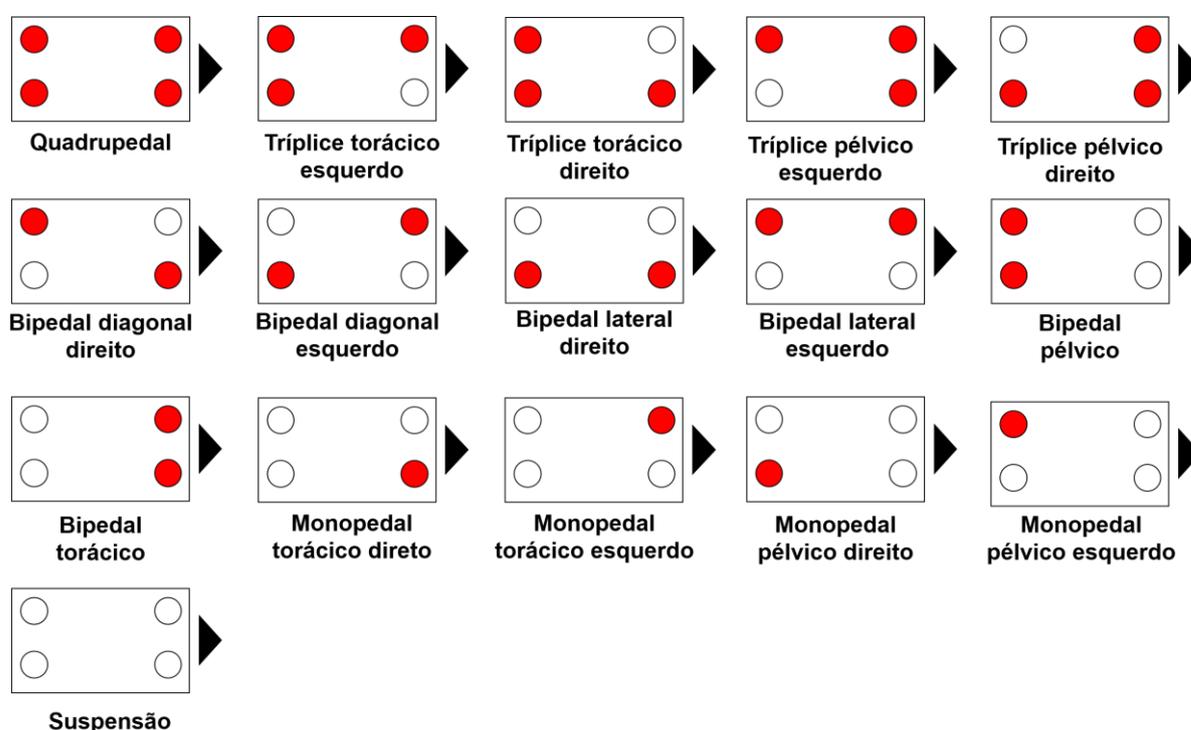


Figura 1. Tipos de apoios possíveis nos andamentos dos equinos.

Além da sequência e dos tipos de apoios, os andamentos também podem ser avaliados quanto às suas características temporais, como por exemplo (NICODEMUS; CLAYTON, 2003; CLAYTON, 2004):

a. Duração da passada: intervalo de tempo entre os apoios sucessivos de um mesmo membro;

- b. Comprimento da passada: distância entre os apoios sucessivos de um mesmo membro;
- c. Frequência da passada: número de passadas por segundo;
- d. Porcentagem de distribuição dos tempos dos apoios: fração de tempo de cada tipo de apoio em relação ao tempo total da passada;
- e. Tempo de elevação de cada membro: fração de tempo em que cada membro está sem contato com o solo em relação ao tempo total da passada;
- f. Dissociação relativa dos pares diagonais: tempo decorrido entre o apoio sucessivo do membro pélvico e do membro torácico contralateral (dissociação de apoio) e tempo decorrido entre a decolagem sucessiva desses membros (dissociação de decolagem) em relação ao tempo total da passada (NICODEMUS; CLAYTON, 2003; CLAYTON, 2004).

No primeiro Padrão da raça MM, de 1951, o item “andamentos” foi referido como “marcha avante, batida ou picada, tanto quanto possível regular” (SANTIAGO, 2013, p. 106). Já no Padrão mais atualizado (APÊNDICE A), de 2003, o item “Andamento” foi descrito como:

Marcha batida ou picada – é o andamento natural, simétrico, a quatro tempos, com apoios alternados dos bípedes laterais e diagonais, intercalados por momentos de tríplice apoio.

Características ideais: regular, elástico, com ocorrência de sobrepegada ou ultrapegada, equilibrado, com avanço sempre em diagonal e tempos de apoio dos bípedes diagonais maiores que laterais, movimento discreto de anteriores, descrevendo semicírculo visto de perfil, boa flexibilidade de articulações. (ABCCMM, 2000, p. 3)

Apesar do padrão atual ser mais detalhado que o primeiro ao descrever a sequência de apoios desejada e as características ideais, as marchas batida e picada foram englobadas em um mesmo grupo, sem definição de suas distinções. Dessa forma, a classificação entre os dois tipos de marcha se torna subjetiva e sujeita à experiência dos avaliadores. Avaliações cinemáticas são necessárias para quantificar essas características descritas no Padrão, facilitando a avaliação zootécnica dos animais da raça.

Hussini, Wissdorf e Nicoletti (1996) avaliaram, por meio de análise cinemática, os momentos de suspensão e a sequência dos momentos de apoio de 104 equinos

da raça MM. Segundo os autores foram identificadas oito variações em relação ao diagrama de marcha ideal descrita pela ABCCMM e as características identificadas variaram entre o trote e a andadura. Nicodemus e Clayton (2003) avaliaram três equinos de cada um de 16 diferentes andamentos marchados a quatro tempos de algumas raças equinas no mundo. Classificaram a marcha picada da raça MM como simétrica, marchada, de ritmo regular a quatro tempos, com diagrama composto por apoios alternados dos bípedes laterais e diagonais intercalados por momentos de tríplice apoio. Já a marcha batida do MM foi classificada por esses autores como simétrica, marchada, de ritmo irregular a quatro tempos, com acoplamento diagonal e diagrama composto por alternância de apoios diagonais e quadrupedal intercalados por momentos de tríplice apoio, sem ocorrência de apoio lateral (NICODEMUS; CLAYTON, 2003).

Inúmeros fatores interferem na cinemática dos diversos andamentos dos equinos. A velocidade é variável crítica e deve ser padronizada durante a avaliação cinemática de andamentos, uma vez que influencia significativamente as variáveis lineares, temporais e até em alguns parâmetros angulares (GALISTEO et al., 1998). Procópio (2005) avaliou sete equinos campeões da raça MM e descreveu que o aumento da velocidade diminuiu gradativamente o tempo de tríplex apoios até sua ausência, aumentou o tempo de apoios bipedais diagonais e aumentou os tempos de apoio monopodal e de suspensão. A presença do cavaleiro também é fator impactante na cinemática por proporcionar peso adicional e deslocamento do centro de gravidade do animal. Morales et al. (1998) identificaram que os equinos com cavaleiro apresentaram maior duração e menor comprimento da passada ao trote em comparação ao momento em que foram conduzidos pelo cabresto. Além disso, os animais montados compensaram o peso adicional do cavaleiro com o aumento da fase de apoio dos membros no solo no intuito de recuperar maior energia para executar a fase de elevação dos membros sem alterações (SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN et al. 1997).

Os estudos cinemáticos temporais dos andamentos da raça MM realizados até o presente momento (HUSSINI; WISSDORF; NICOLETTI, 1996; NICODEMUS;

CLAYTON, 2003; PROCÓPIO, 2005) indicaram a complexidade da sequência de apoios da marcha e sugeriram a atuação de diversos fatores na dinâmica de movimentação. Essa complexidade dos movimentos resulta em variações de diferentes origens no padrão do andamento marchado dentro das duas principais categorias de marcha: MB e MP. Além disso, tanto nas avaliações dentro dos criatórios, quanto na avaliação dos árbitros em concursos de marcha, são observados de forma subjetiva padrões de andamento que são considerados desejáveis ou indesejáveis com base no Padrão da raça ou na preferência pessoal. Nesse contexto, estudos cinemáticos que possam elucidar fatores que interferem no padrão de movimento da raça MM são essenciais.

### **Morfometria**

Ao longo da história da relação homem-cavalo, a conformação é considerada característica importante, em menor ou maior grau, para desempenho e saúde dos equinos. Na maioria das vezes, é avaliada de forma subjetiva e até mesmo empírica (HOLMSTRÖM; BACK, 2013). A morfometria, também conhecida como biometria, é o estudo das mensurações das regiões do corpo dos animais. Tamanho, forma e proporções dos segmentos corpóreos são fundamentais para execução e qualidade dos movimentos e inter-relacionam-se com a aptidão dos equinos (MENZEL, 2005).

A relação entre as angulações articulares do cavalo em estática com a cinemática do trote em cavalos adultos “Ducht Warmbloods” foi estudada por Back, Schamhardt e Barneveld (1996). Menor ângulo da escápula em relação ao solo implicou em maior protração do membro torácico, o que produz movimentos mais elegantes no adestramento e é mais eficiente para cavalos de salto. Articulações escapuloumeral e umerorradial com ângulos mais agudos foram relacionadas a maior duração da fase de apoio e maior facilidade de reunião do membro torácico. No membro pélvico, ângulos pelve em relação ao solo, coxofemoral e femorotibial mais agudos produziram menor retração e maior rotação da pelve permitindo maior reunião do membro pélvico. Articulação tibiotarsometatarsica com ângulos maiores resultou em maior distensão dessa articulação na fase de apoio, o que pode predispor a lesões

e claudicação. Os autores concluíram que há associações significativas entre as angulações em estática e em dinâmica. Porém, não é possível definir uma conformação “ideal”, pois uma característica pode ser vantajosa e prejudicial ao mesmo tempo, já que pode resultar em melhor qualidade de movimento, mas predispor a lesões e menor longevidade do atleta (BACK; SCHAMHARDT; BARNEVELD, 1996).

Além das angulações, as medidas morfométricas lineares também são importantes ao desempenho e à saúde de cavalos de competição. A altura na cernelha foi correlacionada positivamente com o desempenho no salto até o limite de 1,72 m, embora não esteja relacionada ao comprimento da passada em vários andamentos (HOLMSTRÖM; BACK, 2013). O pescoço de cavalos de adestramento é mais curto que os de corrida, e nesses últimos, o comprimento apresentou correlação positiva com altura na cernelha e com desempenho (HOLMSTRÖM; MAGNUSSON; PHILIPSSON, 1990). O comprimento do braço (úmero) teve correlação positiva com a boa qualidade dos andamentos, assim como antebraços (rádio e ulna) longos e canelas (metacarpo) curtas (HOLMSTRÖM; PHILIPSSON, 1993). Já no membro pélvico, fêmur longo é importante para manter o equilíbrio e sustentar mais peso no membro (HOLMSTRÖM; BACK, 2013).

Com relação à avaliação da morfometria de equinos da raça MM, há descrições da variabilidade das medidas lineares de animais adultos (BARBOSA, 1993; e ZAMBORLINI et al., 1996), da avaliação das medidas morfométricas durante o primeiro ano de crescimento de potros (CABRAL et al., 2004; PINTO et al., 2005a; 2005b) e da associação entre as medidas de comprimento, altura, perímetro e as medidas angulares de equinos adultos (LAGE et al., 2009). Também foram comparadas as medidas morfométricas do rebanho de machos (SANTIAGO et al., 2013) e fêmeas (SANTIAGO et al., 2014a) com os campeões da raça, e entre os dois tipos de andamento: marcha batida e marcha picada (SANTIAGO et al., 2014b). A relação entre o ângulo do jarrete e doenças do tarso foram descritas em cavalos de marcha picada (BARCELOS et al., 2016), mas ainda há lacunas na literatura quanto à determinação de quais medidas morfométricas estão diretamente relacionadas ao

padrão de movimento dos equinos dessa raça, o que é essencial para orientar na escolha de exemplares para competição e para seleção genética.

### **Gene *DMRT3*: “*doublesex and mab-3 related transcription factor 3*”**

Três padrões de locomoção ocorrem naturalmente nos equinos em ordem crescente de velocidade: passo, trote e cânter/galope. Alguns cavalos podem alternar o padrão intermediário de velocidade (trote) pelos andamentos marchados a quatro tempos, característica que é selecionada em algumas raças no mundo. Estudo de associação ampla do genoma (GWAS) foi realizado para comparar cavalos da raça Islandesas capazes de executar quatro andamentos (passo, tölt (andamento marchado a quatro tempos), trote e galope) com aqueles de cinco andamentos (acrécimo do “pace” - andamento saltado com movimento sincrônico do bípede lateral) e um marcador molecular foi significativamente associado à habilidade de executar o “pace”. Após sequenciamento da região, foi identificado um polimorfismo de nucleotídeo único (SNP) (g.22999655C>A – chr 23) no gene *DMRT3*, o qual cria “stop códon” prematuro que resulta em proteína inativa com 174 aminoácidos a menos que o tipo selvagem. O gene *DMRT3* (“*doublesex and mab-3 related transcription factor 3*”) codifica importante fator de transcrição envolvido na coordenação do sistema locomotor que controla o movimento dos membros. Desempenha papel crítico tanto na coordenação entre antímeros direito e esquerdo quanto entre membros pélvicos e torácicos (ANDERSSON et al., 2012). Nos equinos, foram identificados os alelos C (selvagem) e A (mutante) do gene *DMRT3* (ANDERSSON et al., 2012).

No primeiro estudo realizado com a espécie equina, a frequência do alelo A foi próxima de 100% em raças de andamento marchado com altas frequências de homozigotos AA e nas raças não marchadoras observou-se 0% de frequência do alelo mutante (ANDERSSON et al., 2012). Acreditou-se, então, que o genótipo AA seria o responsável pelo andamento marchado nos equinos. Entretanto, Promerová et al. (2014) genotiparam 141 raças de cavalos no mundo todo e observaram a presença do alelo A em raças que não apresentam o fenótipo de andamento marchado e também foi encontrado o alelo C em raças marchadoras. Dessa forma, *DMRT3* foi

considerado um dos principais genes responsáveis pela determinação de padrão de movimento nos equinos, porém, sugere-se que há participação de genes adicionais que ainda não foram identificados (PROMEROVÁ et al., 2014; STAIGER et al., 2016).

Entre as raças brasileiras genotipadas por Promerová et al. (2014) está a raça MM. Dos 22 animais avaliados, apenas 5 apresentaram o genótipo AA e 10 apresentaram o genótipo AC. Nesse estudo, porém, não houve distinção entre os animais que apresentavam marcha batida ou marcha picada, sendo considerados um grupo único. A relação do alelo A do gene *DMRT3* com os tipos de marcha (MB e MP) na raça MM foi então descrita por Patterson, Staiger e Brooks (2015), que genotiparam 81 animais (marcha batida n=44 e marcha picada n=37). Os resultados desse trabalho mostraram que os genótipos CC e AA estão associados aos tipos de marcha batida e picada, respectivamente. O genótipo heterozigoto (AC) está presente tanto em animais de marcha batida quanto de marcha picada. Entretanto, equinos de marcha picada apresentaram maior proporção de heterozigotos.

O alelo A do gene *DMRT3* também foi relacionado ao melhor desempenho em corridas de arreio (trotadores e “pacers”) (ANDERSSON et al., 2012) e foi encontrado em alta frequência (>45%) nas raças especializadas nessa modalidade (PROMEROVÁ et al., 2014). O genótipo CC foi relacionado como desfavorável ao desempenho em competições comparados aos genótipos AA e AC (JÄDERKVIST et al., 2014; RICARD, 2015; JÄDERKVIST FEGRAUES et al., 2015a; JÄDERKVIST FEGRAEUS et al., 2017). Nessas modalidades, as corridas são realizadas nos andamentos “pace” ou trote em velocidade elevada e não é permitido executar o galope, que é o andamento naturalmente preferido em alta velocidade pelos equinos. Por esse motivo, acredita-se que a mutação do *DMRT3* atua inibindo a transição dos andamentos trote ou “pace” para o galope (ANDERSSON et al., 2012).

Nas raças “Icelandic horse”, “Finnhorse” e “Standardbred”, os indivíduos heterozigotos (AC) ou homozigotos selvagem (CC) apresentaram qualidade superior dos andamentos passo, trote, cânter, galope e suas transições quando comparados a indivíduos AA (KRISTJANSSON et al., 2014; JÄDERKVIST FEGRAUES et al., 2015 a,b). Na raça Quarto de Milha, o alelo A foi somente identificado no grupo de animais

de corrida com baixo desempenho e no grupo da linhagem de apartação, indicando que essa variante pode ser um fator limitante para o desenvolvimento de velocidades maiores (PEREIRA et al., 2016). A baixa frequência do alelo A e a interferência na qualidade dos três andamentos tradicionais, sugerem que há seleção negativa contra o alelo A em raças usadas para adestramento, salto hípico, concurso completo de equitação e outras modalidades equestres (PROMEROVÁ et al, 2014; JÄDERKVIST FEGRAUES et al., 2015 a,b; PEREIRA et al., 2016). Na raça MM, a qualidade do andamento marchado é o principal objetivo de seleção. Entretanto, ainda não há estudos que avaliam se há diferença na movimentação entre os indivíduos de genótipos AA e AC de marcha picada, o que poderia auxiliar na escolha de animais com qualidade superior.

Com base nas informações apresentadas, o segundo capítulo da presente tese descreve e compara as variáveis cinemáticas temporais da MB e da MP e avalia possíveis relações entre morfometria e movimento, e será enviado ao periódico “Journal of Equine Veterinary Science”. O terceiro capítulo traz as possíveis relações entre variáveis cinemáticas e os genótipos do DMRT3 na MP e será submetido ao periódico “Research in Veterinary Science”. Já o quarto capítulo aborda a identificação de SNPs e regiões genômicas que contenham possíveis genes responsáveis pelo fenótipo da MB na raça MM e foi publicado no periódico “Journal of Equine Veterinary Science”.

### 3. Referências

ABCCMM - Associação Brasileira Dos Criadores Do Cavalo Mangalarga Marchador, **Padrão da raça**. Belo Horizonte: ABCCMM, 2000, 8p.

ABCCMM - Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador. **Regulamento do serviço de registro genealógico do Cavalo Mangalarga Marchador**. Belo Horizonte: ABCCMM, 2007, 36p.

ABCCMM - Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador. **Regulamento Geral para Eventos Oficializados do Cavalo Mangalarga Marchador**. Belo Horizonte: ABCCMM, 2009, 54p.

ANDERSSON, L. S.; LARHAMMAR, M.; MEMIC, F.; WOOTZ, H.; SCHWOCHOW, D.; RUBIN, G.-J.; PATRA, K.; ARNASON, T.; WELBRING, L.; HJÄLM, G.; IMSLAND, F.; PETERSEN, J. L.; MCCUE, M. E.; MICKELSON, J. R.; COTHRAN, G.; AHITUV, N.; ROEPSTORFF, L.; MIKKO, S.; VALLSTEDT, A.; LINDGREN, G.; ANDERSSON, L.; KULLANDER, K. Mutations in DMRT3 affect locomotion in horses and spinal circuit function in mice. **Nature**, v. 488, n. 7413, p. 642-646, 2012.

BACK, W.; SCHAMHARDT, H. C.; BARNEVELD, A. The influence of conformation on fore and hind limb kinematics of the trotting Dutch Warmblood horse. **Pferdeheilkunde**, v. 12, n. 4, p. 647-650, 1996.

BARBOSA, C.G. **Estudo morfométrico na raça Mangalarga Marchador** – Uma abordagem multivariada. 1993. 77f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BARCELOS, K. M. C.; REZENDE, A. S. C.; BIGGI, M.; LANA, A. M. Q.; MARUCH, S.; FALEIROS, R. R. Prevalence of tarsal diseases in champion Mangalarga Marchador horses in the marcha picada modality and its association with tarsal angle. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 47, p. 25-30, 2016.

BARREY, E. Locomotion variables. In: BARREY, E.; FAZIO, E.; FERLAZZO, A.; LINDNER, A.; RIVERO, J. L. L. (Ed.) **Performance diagnosis of horses**. Netherlands: Wageningen Pears, 1997, cap. 5, p. 72- 96.

CABRAL, G. S.; ALMEIDA, F. Q.; QUIRINO, C. R.; PINTO, L. F. B.; SANTOS, E. M.; CORASSA, A. Avaliação Morfométrica de Equinos da Raça Mangalarga Marchador: Medidas Lineares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.4, p.989-1000, 2004.

CASIUCH, R. **O romance da raça: histórias do cavalo Mangalarga Marchador**. São Paulo: Empresa das Artes, 1997, 254p.

CLAYTON, H. **The dynamic horse**. A Biomechanical guide to equine movement and performance. Mason: Sport Horse publications, 2004.

GALISTEO, A. M.; CANO, M.R.; MORALES, J. L.; VIVO, J. MIRÓ, F. The influence of speed and height at the withers on the kinematics of sound horses at the handled trot. **Veterinary Research Communication**, v. 22, p. 415-423, 1998.

HOLMSTRÖM, M.; MAGNUSSON, L. -E.; PHILIPSSON, J. Variation in conformation of Swedish Warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses. **Equine Veterinary Journal**, v. 22, p. 186-193, 1990.

HOLMSTRÖM, M.; PHILIPSSON, J. Relationship between conformation, performance and health in 4-year old Swedish Warmblood Riding Horses. **Livestock Production Science**, v. 33, p. 293-312, 1993.

HOLMSTRÖM, M.; BACK, W. The effects of conformation. In: BACK, W.; CLAYTON, H. M. (Ed.) **Equine locomotion**. London: Elsevier, 2013. p. 229-244.

HUSSINI, C. A.; WISSDORF, H.; NICOLETTI, J. L. M. Variações da marcha em equinos da raça Mangalarga Marchador. **Ciência Rural**, v. 26, n. 1, p. 91-95, 1996.

JÄDERKVIST, K.; KANGAS, N.; ANDERSSON, L. S.; LINDGREN, G. Gaitedness is associated with the DMRT3 'Gait keeper' mutation in Morgan and American Curly horses. **Animal Genetics**, v. 45, p. 908-909, 2014.

JÄDERKVIST FEGRAEUS, K.; JOHANSSON, L.; MÄENPÄÄ, M.; MYKKÄNEN, A.; ANDERSSON, L. S.; VELIE, B. D.; ANDERSSON, L.; ÁRNASON, T.; LINDGREN, G. Different DMRT3 genotypes are best adapted for harness racing and riding in Finnhorses. **Journal of Heredity**, v. 0, p. 1-7, 2015a.

JÄDERKVIST, K.; HOLM, N.; IMSLAND, F.; ÁRNASON, T.; ANDERSSON, L.; ANDERSSON, L. S.; LINDGREN, G. The importance of the DMRT3 'Gait keeper' mutation on riding traits and gaits in Standardbred and Icelandic horses. **Livestock Science**, v. 176, p. 33-39, 2015b.

JÄDERKVIST FEGRAEUS, K.; LAWRENCE, C.; PETÄJISTÖ, K.; JOHANSSON, M. K.; WIKLUND, M.; OLSSON, C.; ANDERSSON, L.; ANDERSSON, L. S.; RØED, K. H.; IHLER, C.-F.; STRAND, E.; LINDGREN, G.; VELIE, B. D. Lack of significant associations with early career performance suggest no link between the DMRT3 "Gait Keeper" mutation and precocity in Coldblooded trotters. **PLoS ONE**, v. 12, n. 5: e0177351, 2017.

KRISTJANSSON, T.; BJORNSDOTTIR, S.; SIGURDSSON, A.; ANDERSSON, L. S.; LINDGREN, G.; HELYAR, S. J.; KLONOWSKI, A. M.; ARNASON, T. The effect of the 'Gait keeper' mutation in the DMRT3 gene on gaiting ability in Icelandic horses. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 131, p. 415-425, 2014.

LAGE, M. C. G. R.; BERGMANN, J. A. G.; PROCÓPIO, A. M.; PEREIRA, J. C. C.; BIONDINI, J. Associação entre medidas lineares e angulares de equinos da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.4, p. 968-979, 2009.

LAGE, J.; FONSECA, M. G.; DE BARROS, G. G. M.; FERINGER-JUNIOR, W. H.; PEREIRA, G. T.; FERRAZ, G. C. Workload of official contests, net cost of transport, and metabolic power of Mangalarga Marchador horses of marcha batida or picada gaits. **Journal of Animal Science**, v. 95, p. 2488-2495, 2017.

LIMA, R. A. S.; CINTRA, A. G. **Revisão do Estudo do Complexo do Agronegócio do Caval**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016, 56 p.

MENZEL, H. J. Áreas de aplicação da Biomecânica para o cavalo atleta. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO CAVALO ATLETA, 2. UFMG, Belo Horizonte, 2005. Anais...:UFMG, p.76-82, 2005.

MORALES, J. L.; MANCHADO, M.; CANO, M. R.; MIRÓ, F.; GALISTEO, A. M. Temporal and linear kinematics in elite and riding horses at the trot. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 18, n. 12, p. 835-839, 1998.

NICODEMUS, M. C.; CLAYTON, H. M. Temporal variables of four-beat, stepping gaits of gaited horses. **Applied Animal Behavior Science**, v. 80, p. 133-142, 2003.

PATTERSON, L.; STAIGER, E. A.; BROOKS, S. A. DMRT3 is associated with gait type in Mangalarga Marchador horses, but does not control gait ability. **Animal Genetics**, v. 46, p. 213-215, 2015.

PINTO, L. F. B.; ALMEIDA, F. Q.; AZEVEDO, P. C. N.; QUIRINO, C. R.; CABRAL, G. C.; SANTOS, E. M. Análise multivariada das medidas morfométricas de potros da raça Mangalarga Marchador: análise fatorial. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 613-626, 2005a.

PINTO, L. F. B.; ALMEIDA, F. Q.; QUIRINO, C. R.; CABRAL, G. C.; AZEVEDO, P. C. N.; SANTOS, E. M. Análise multivariada das medidas morfométricas de potros da raça Mangalarga Marchador: análise discriminante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 600-612, 2005b.

PROCÓPIO, A. M. **Análise cinemática da locomoção de equinos marchadores**. 2005. 69f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PROMEROVÁ, M.; ANDERSSON, L. S.; JURAS, R.; PENEDO, M. C. T.; REISSMANN, M.; TOZAKI, T.; BELLONE, R.; DUNNER, S.; HORÍN, P.; IMSLAND, O.; MIKKO, S.; MODRÝ, D.; ROED, K. H.; SCHWOCHOW, D.; VEGA-PLA, J. L.; MEHRABANI-YEGANEH, H.; YOUSEFI-MASHOUF, N.; COTHRAN, E. G.; LINDGREN, G.; ANDERSSON, L. Worldwide frequency distribution of the 'Gait keeper' mutation in the DMRT3 gene. **Animal Genetics**, v. 45, p. 274-282, 2014.

RICARD, A. Does heterozygosity at the DMRT3 gene make French trotters better racers? **Genetics Selection Evolution**, v. 47, n. 10, p. 1-16, 2015.

SANTIAGO, J. M. **Caracterização morfométrica da raça Mangalarga Marchador**. 2013. 110 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SANTIAGO, J. M.; REZENDE, A.S.C.; FONSECA, M. G.; ABRANTES, R. G. P.; LAGE, J.; LANA, A. M. Q. Comparação entre as medidas morfométricas do rebanho atual de machos Mangalarga Marchador e dos campeões da raça. **Boletim de Indústria Animal**, v. 70, p. 46-52, 2013.

SANTIAGO, J.M.; REZENDE, A.S.C.; LANA, A.M.Q.; FONSECA, M. G.; ABRANTES, R. G. P.; LAGE, J.; ANDRADE, J. M.; RESENDE, T. M. Comparação entre as medidas morfométricas de equinos Mangalarga Marchador de marcha batida e marcha picada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, p. 635-639, 2014a.

SANTIAGO, J. M.; REZENDE, A. S. C.; LANA, A. M. Q.; FONSECA, M. G.; ABRANTES, R. G. P.; LAGE, J.; ANDRADE, J. M.; RESENDE, T. M. Comparação entre as medidas morfométricas de equinos Mangalarga Marchador de marcha batida e marcha picada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, p. 635-639, 2014b.

SLOET VAN OLDRIJTENBORGH-OOSTERBAAN, M. M.; BARNEVELD, A.; SCHAMHARDT, H. C. Effects of treadmill inclination on kinematics of the trot in Dutch Warmblood Horses. **Equine Veterinary Journal**, Supl. 23, p. 71-75, 1997.

STAIGER, E. A.; ABRI, M. A.; SILVA, C. A. S.; BROOKS, S. A. Loci impacting polymorphic gait in the Tennessee Walking Horse. **Journal of Animal Science**, v. 94, p. 1377-1386, 2016.

WANDERLEY, E. K.; MANSO FILHO, H. C.; MANSO, H. E. C. C. C.; SANTIAGO, T. A.; McKEEVER, K. H. Metabolic changes in four beat gaited horses after field marcha simulation. **Equine Veterinary Journal**, Suppl., n. 38, p. 105-109, 2010.

ZAMBORLINI, L. C.; BERGMANN, J. A. G.; PEREIRA, C. S.; FONSECA, C. G.; CARNEIRO, A. S. R. Estudo genético-quantitativo de medidas lineares de equinos da raça Mangalarga Marchador - I. Estimativas dos fatores de ambiente e parâmetros genéticos. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 3, n. 2, p. 33-37, 1996.

## **CAPÍTULO 2 – Cinemática da marcha batida e da marcha picada de equinos da raça Mangalarga Marchador e sua relação com a morfometria<sup>1</sup>**

**RESUMO** - A conformação do sistema locomotor dos equinos é considerada característica importante para saúde e desempenho nas competições. Tamanho, forma e proporções dos segmentos corpóreos associadas às variáveis cinemáticas são fundamentais para execução e qualidade dos movimentos e inter-relacionam-se com a capacidade locomotora dos equinos. Objetivou-se descrever e comparar as variáveis cinemáticas temporais da marcha batida (MB) e da marcha picada (MP) e verificar possíveis correlações entre a cinemática e as medidas morfométricas de equinos da raça Mangalarga Marchador (MM). Avaliaram-se 29 equinos (12 fêmeas e 17 machos) de MB e 17 (10 fêmeas e 7 machos) de MP com idade entre 41 e 11 meses. Realizaram-se 20 mensurações morfométricas lineares e 9 angulares. Os equinos foram montados pelos seus apresentadores e percorreram 26 m na marcha em velocidade média. Dezoito câmeras optoeletrônicas (240 Hz) adquiriram os dados cinemáticos tridimensionais dos marcadores fixados aos cascos dos cavalos. Determinaram-se duração, comprimento, frequência e velocidade das passadas, dissociação diagonal relativa de apoio e decolagem e porcentagem de distribuição do tempo dos apoios. Para avaliação das variáveis morfométricas, comparação entre sexos e entre MB e MP foi realizada pelo teste t de Student ( $P \leq 0,05$ ). Para as variáveis cinemáticas, os dados individuais foram representados pela média de cada variável em quatro passadas sequenciais. A comparação entre sexos e entre MB e MP foi realizada pelo teste U de Mann-Whitney ou pelo teste t de Student ( $P \leq 0,05$ ). A relação entre variáveis morfométricas e cinemáticas foi avaliada por correlação de Pearson. As medidas morfométricas lineares sofreram efeito do dimorfismo sexual, mas este não foi observado nas variáveis morfométricas angulares nem nas cinemáticas. Equinos de MB em velocidade média de 13,22 km/h apresentaram predomínio de apoios bipedal diagonal, seguida de monopedal de membro pélvico,

---

<sup>1</sup>Esse artigo foi escrito nas normas do periódico Journal of Equine Veterinary Science no formato de "Regular Paper".

tríplice de membro torácico, bipedal lateral e bipedal de membros pélvico. A MP na velocidade média de 12,68 km/h apresentou predomínio de apoios laterais seguidos por diagonais, tríplice de torácicos e monopodal de pélvicos. Na mesma velocidade, MP apresentou menor duração, comprimento e maior frequência de passadas, maior ocorrência de apoios laterais e de tríplices, e menor frequência de diagonais, bipedais pélvicos e suspensão em relação à MB. Na amostra estudada, tanto MB quanto MP, exemplares maiores e com ângulos escapuloumeral, metacarpofalângico, coxofemoral, tibiotarsicometatársico menores apresentaram maior comprimento de passada e melhor distribuição dos tempos de apoio de acordo com o Padrão da raça. Concluiu-se que os andamentos MB e MP executados na mesma velocidade (12,88 a 13,11 km/h) diferem entre todas as variáveis cinemáticas temporais, exceto nos apoios quadrupedais e monopedais torácicos e pélvicos. A morfometria influencia a cinemática do andamento de animais de MB e de MP da raça MM.

**Palavras-chave:** andamento, biomecânica, biometria, conformação, equino

## 1. Introdução

Equinos da raça Mangalarga Marchador (MM) são selecionados subjetivamente quanto à qualidade de seus dois possíveis andamentos de velocidade intermediária: marcha batida ou marcha picada. Por essa razão, estudos que possam avaliar de forma objetiva as características desses andamentos e sua relação com a morfometria são importantes para auxiliar na seleção genética e elucidar fatores que possam interferir na qualidade dos andamentos.

Cada tipo de andamento tem a sequência característica que descreve a ordem de contato com o solo durante a passada, assim como o movimento coordenado entre os membros [1,2]. Hussini et al. [3] avaliaram, por meio de análise cinemática, a sequência dos momentos de apoio de 104 equinos da raça MM. Segundo os autores mencionados, foram identificadas oito variações em relação ao diagrama de marcha ideal descrita pela Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador e as características dos andamentos identificados variaram entre o trote e a andadura. Os estudos cinemáticos dos andamentos da raça MM realizados até o

presente momento [3,4,5] indicaram complexidade da sequência de apoios dos dois tipos de marcha e sugeriram a interferência de diversos fatores na dinâmica de movimentação.

Complementando as características cinemáticas, a conformação do sistema locomotor dos equinos é considerada característica importante para saúde e desempenho desses animais nas competições. Entretanto, muitas vezes é avaliada de forma subjetiva e até mesmo empírica [6]. Tamanho, forma e proporções dos segmentos corpóreos são fundamentais para execução e qualidade dos movimentos e inter-relacionam-se com a aptidão dos equinos [6]. Staiger e colaboradores [7] identificaram diferenças morfológicas entre equinos marchadores e não-marchadores. As raças marchadoras apresentaram alturas de cernelha e de garupa menores, canelas (metacarpo ou metatarso) e quartelas (falange proximal e média) mais finas e proporcionalmente maior comprimento dos segmentos ósseos do membro torácico como antebraço (rádio e ulna), canela e quartela. Dessa forma, os autores sugeriram que a proporção dos segmentos ósseos e as angulações podem ser um dos numerosos fatores que interferem na habilidade e qualidade dos andamentos [7]. A raça MM foi incluída neste último estudo no grupo de raças marchadoras [7]. Porém, não é conhecida quais medidas morfométricas podem estar relacionadas às características do padrão de movimento dos equinos dessa raça. Desta maneira, objetivou-se descrever as variáveis cinemáticas temporais da MB e da MP, compará-las entre os tipos de marcha e verificar possíveis correlações entre a cinemática e as medidas morfométricas lineares e angulares de equinos de MB ou MP da raça Mangalarga Marchador.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Ética no uso de animais**

Todos os procedimentos realizados seguiram os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Conselho Nacional de Controle em Experimentação Animal (CONCEA) (Comissão de Ética no uso de animais – CEUA - UNESP, Jaboticabal, Brasil, Protocolo: 12807/15).

## 2.2. Avaliações morfométricas e cinemáticas

Avaliaram-se 29 equinos de marcha batida (17 machos e 12 fêmeas) e 17 de marcha picada (7 machos e 10 fêmeas) com idade entre 41 a 111 meses e inscritos na 34ª Exposição Nacional do Cavallo Mangalarga Marchador, que foram previamente campeões ou reservados campeões das Exposições regionais oficializadas pela Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador (ABCCMM) durante o ano hípico de 2015.

Os equinos foram conduzidos ao estúdio de coleta de dados, onde foram obtidas 20 medidas morfométricas lineares do lado esquerdo do animal com uso de hipômetro e fita métrica conforme descrição de Santiago et al. [8]: A) Altura na cernelha; B) Altura na garupa; C) Altura no dorso; D) Altura do costado; E) Comprimento da cabeça; F) Comprimento do pescoço; G) Comprimento do dorsolombo; H) Comprimento da garupa; I) Largura do peito; J) Largura da garupa; K) Comprimento da espádua (escápula); L) Comprimento do corpo; M) Comprimento do braço (úmero); N) Comprimento do antebraço (rádio e ulna); O) Comprimento da canela torácica (metacarpo); P) Comprimento da quartela torácica (falange proximal e média); Q) Comprimento da coxa (fêmur); R) Comprimento da perna (tíbia e fíbula); S) Comprimento canela pélvica (metatarso); T) Comprimento da quartela pélvica (falange proximal e média) (APÊNDICE B).

Afixaram-se marcadores reflexivos esféricos de 1,6 centímetros de diâmetro por fita adesiva dupla-face em 22 pontos anatômicos em cada lado do equino, conforme descrição adaptada de Godoi et al. [9] e Stark e Clayton [10] (Figura 1), totalizando 44 marcadores:

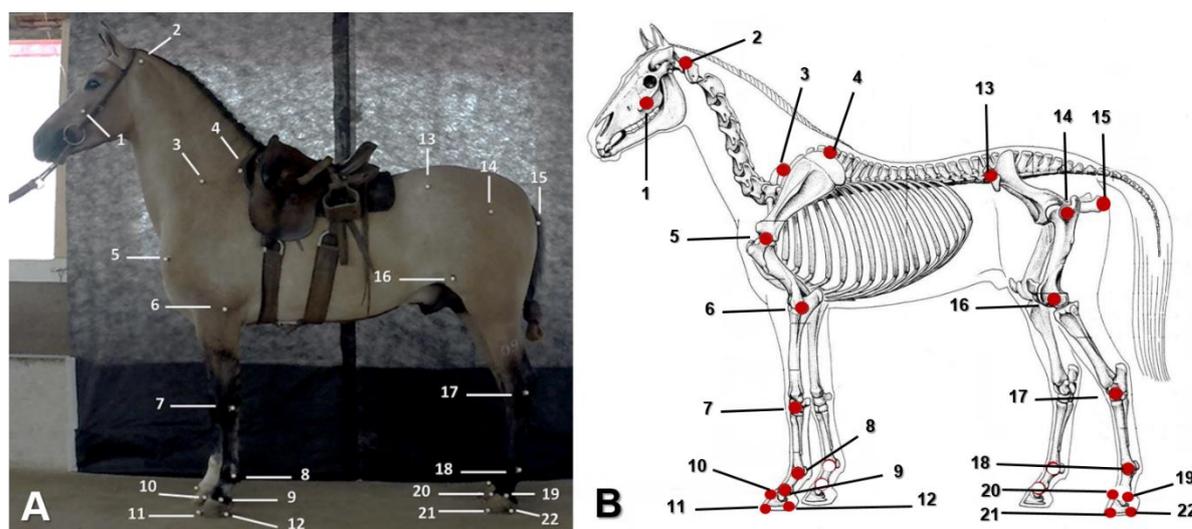


Figura 1. A) Imagem fotográfica. B) Ilustração das estruturas ósseas (figura adaptada de Godoi et al. [9]). Posicionamento anatômico dos marcadores reflexivos: 1. Extremidade rostral da crista facial; 2. Porção cranial da face lateral da asa do atlas; 3. Borda cranial do terço médio do músculo supraespinhoso; 4. Porção dorsal superior da espinha da escápula; 5. Área central da articulação escapuloumeral; 6. Tuberosidade radial logo abaixo da cavidade glenoidea; 7. Terço médio da articulação cárpica; 8. Terço médio da articulação metacarpofalângica; 9. Articulação interfalângica proximal do membro torácico; 10. Porção proximal da parede dorsal do casco torácico; 11. 20 mm deslocado para a lateral da pinça do casco torácico em contato com a ferradura; 12. Extremidade caudal do talão do casco torácico em contato com a ferradura; 13. Face cranial lateral da tuberosidade coxal ilíaca; 14. Trocânter maior do fêmur; 15. Face caudal lateral da tuberosidade isquiática; 16. Epicôndilo lateral do fêmur; 17. Terço médio na articulação társica; 18. Terço médio da articulação metatarsofalângica; 19. Articulação interfalângica proximal do membro pélvico; 20. Porção proximal da parede dorsal do casco pélvico; 21. 20 mm deslocado para a lateral do centro da pinça do casco pélvico em contato com a ferradura; 22. Extremidade caudal do talão do casco pélvico em contato com a ferradura.

Após a afixação dos marcadores, uma câmera GoPro® HERO3+ Black Edition foi posicionada em tripé a um metro de altura do solo e a cinco metros de distância do cavalo. Foi capturada imagem do equino em posição quadrupedal (Figura 1) para posterior avaliação utilizando a ferramenta de transferidor do programa Tracker® versão 4.11.0. Avaliaram-se os seguintes variáveis morfométricas angulares, conforme descrição de Santiago et al. [11]: I) Escápulo-solo (marcadores 4 e 5 em relação à horizontal); II) Escapuloumeral (marcadores 4, 5 e 6); III) Umerorradial

(marcadores 5, 6 e 7); IV) Metacarpofalângico (marcadores 7, 8 e 9); V) Pelve-solo (marcadores 13 e 15 em relação à horizontal); VI) Coxofemoral (marcadores 13, 14 e 16); VII) Femorotibial (marcadores 14, 16 e 17); VIII) Tibiotarsicometatársico (marcadores 16, 17 e 18); IX) Metatarsofalângico (marcadores 17, 18 e 19).

Em sequência, os equinos foram montados pelos seus apresentadores e foi solicitado que percorressem 26 m na “marcha de velocidade média” em galpão de alvenaria. Durante os julgamentos oficiais de marcha, os apresentadores são solicitados a executarem “marcha de baixa velocidade” e “marcha de velocidade média”, porém a velocidade não é controlada de forma objetiva e depende da experiência do cavaleiro. Dessa forma, cada apresentador executou a “marcha de velocidade média” conforme sua percepção durante as provas. Dezoito câmeras optoeletrônicas PRIME 17w do sistema Optitrack® (Natural Point, Corvallis, Oregon – USA) focalizaram os 16 m centrais do percurso e adquiriram os dados cinemáticos tridimensionais dos marcadores na frequência de 240 Hz (Figura 2).

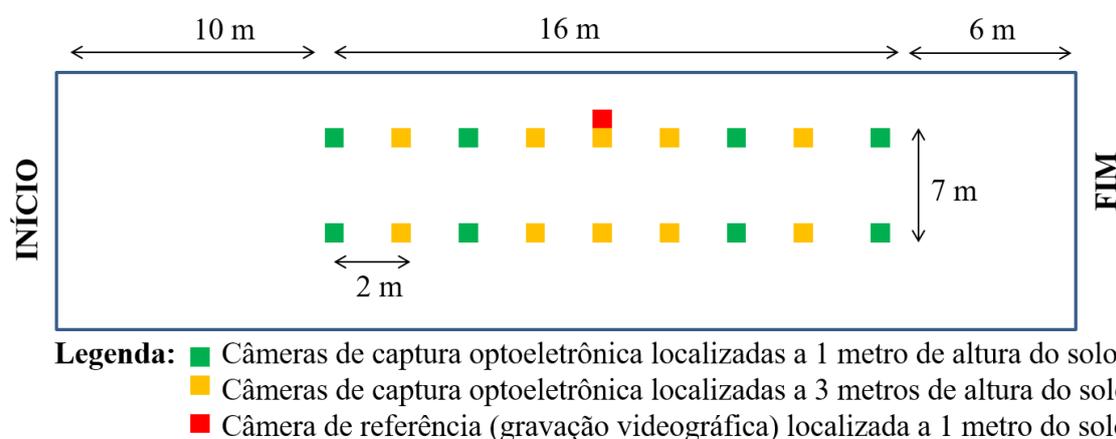


Figura 2. Disposição das câmeras em galpão de alvenaria de 32 metros de comprimento, 12 metros de largura e 5 metros de pé direito.

As coordenadas tridimensionais (X, Y e Z) e os quadros dos eventos de apoio e decolagem de cada casco foram obtidos de forma visual dos marcadores 10, 11, 12, 20, 21 e 22, utilizando o Motive MTV-BDY. A fase de apoio de cada membro foi considerada desde o primeiro contato do casco com o solo (pinça, talão ou sola) até o último contato da pinça com o solo no momento da decolagem. Duração,

comprimento, frequência e velocidade das passadas, dissociação diagonal relativa (DDR) de apoio e de decolagem, e porcentagem de distribuição do tempo dos apoios (quadrupedal, diagonal, lateral, bipedais, tripedais, monopedais e suspensão) foram calculadas segundo Nicodemus e Clayton [5]. A dissociação relativa do par diagonal compreendeu o tempo decorrido entre a decolagem sucessiva do membro pélvico e do membro torácico contralateral (dissociação de decolagem) e o tempo decorrido entre o apoio sucessivo desses membros (dissociação de apoio) em relação ao tempo total da passada. Quando o membro torácico decolou ou apoiou antes do membro pélvico, a dissociação recebeu valor negativo.

### **2.3. Análises estatísticas**

Cada uma das variáveis foi submetida ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e em seguida à análise descritiva no STATISTICA® 7.0. Para caracterização das variáveis morfométricas foram determinadas a média e o erro padrão da média. A comparação entre sexos e entre andamentos (MB e MP) foi realizada pelo teste t de Student para amostras não pareadas ( $P \leq 0,05$ ). Para as variáveis cinemáticas, os dados individuais foram representados pela média de cada variável em quatro passadas. Para comparação entre sexos e entre MB e MP, as distribuições dos tempos em cada tipo de apoio foram comparadas pelo teste U de Mann-Whitney e as demais variáveis cinemáticas e morfométricas analisadas pelo teste t de Student para amostras não pareadas ( $P \leq 0,05$ ). A relação entre as variáveis morfométricas e cinemáticas foi avaliada por meio de correlação de Pearson ( $P \leq 0,05$ ), em que o sexo não foi considerado, pois nenhuma variável cinemática sofreu influência do sexo.

## **3. Resultados e discussão**

### **3.1. Medidas morfométricas**

Os resultados das medidas morfométricas lineares de machos ou fêmeas dos andamentos de marcha batida ou picada estão apresentados na Tabela 1, enquanto as medidas morfométricas angulares estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1. Média  $\pm$  erro padrão da média das mensurações morfométricas lineares de fêmeas ou machos de marcha batida ou picada da raça Mangalarga Marchador

Característica linear	Marcha Batida		Marcha Picada	
	Fêmeas (n=12)	Machos (n=17)	Fêmeas (n=10)	Machos (n=7)
Altura na cernelha	148,71 $\pm$ 0,99	149,00 $\pm$ 0,69	147,25 $\pm$ 0,99	147,50 $\pm$ 1,04
Altura no dorso	140,63 $\pm$ 0,69	141,35 $\pm$ 0,59 <sup>#</sup>	139,30 $\pm$ 0,69	138,42 $\pm$ 1,17 <sup>#</sup>
Altura na garupa	148,96 $\pm$ 0,64 <sup>#</sup>	149,00 $\pm$ 0,73 <sup>#</sup>	146,65 $\pm$ 0,64 <sup>#</sup>	145,86 $\pm$ 1,47 <sup>#</sup>
Altura do costado	60,46 $\pm$ 0,55	59,56 $\pm$ 0,54	58,55 $\pm$ 0,55	57,64 $\pm$ 0,84
Comprimento do corpo	149,33 $\pm$ 1,73	146,65 $\pm$ 1,12	148,25 $\pm$ 1,73	142,79 $\pm$ 1,17
Comprimento de cabeça	55,08 $\pm$ 0,54	54,91 $\pm$ 0,36	54,20 $\pm$ 0,49	53,64 $\pm$ 0,99
Comprimento de pescoço	66,17 $\pm$ 1,07	66,59 $\pm$ 0,76	66,15 $\pm$ 1,06	66,93 $\pm$ 1,01
Largura de peito	36,17 $\pm$ 0,42	37,18 $\pm$ 0,56 <sup>#</sup>	36,40 $\pm$ 0,42	34,43 $\pm$ 0,85 <sup>#</sup>
Comprimento de dorso-lombo	59,21 $\pm$ 0,38 <sup>*</sup>	57,35 $\pm$ 0,70 <sup>*</sup>	58,75 $\pm$ 0,38 <sup>*</sup>	55,64 $\pm$ 0,78 <sup>*</sup>
Comprimento de espádua	48,13 $\pm$ 0,57	48,53 $\pm$ 0,84	49,35 $\pm$ 0,57	47,50 $\pm$ 0,60
Comprimento de braço	26,17 $\pm$ 0,55	26,35 $\pm$ 0,47	25,50 $\pm$ 0,55	26,71 $\pm$ 0,29
Comprimento de antebraço	40,50 $\pm$ 0,79	40,35 $\pm$ 0,43	40,40 $\pm$ 0,79	40,71 $\pm$ 0,47
Comprimento de canela torácica	26,17 $\pm$ 0,21 <sup>*</sup>	28,06 $\pm$ 0,74 <sup>*#</sup>	25,70 $\pm$ 0,21	25,29 $\pm$ 0,47 <sup>#</sup>
Comprimento de quartela torácica	13,00 $\pm$ 0,12	13,29 $\pm$ 0,14	12,90 $\pm$ 0,12	12,86 $\pm$ 0,14
Largura de garupa	50,88 $\pm$ 0,53 <sup>*#</sup>	47,97 $\pm$ 0,50 <sup>*</sup>	48,95 $\pm$ 0,53 <sup>#</sup>	46,71 $\pm$ 0,92
Comprimento de garupa	52,42 $\pm$ 0,92	51,74 $\pm$ 0,60	51,60 $\pm$ 0,92	49,43 $\pm$ 0,85
Comprimento de coxa	40,67 $\pm$ 0,79	40,53 $\pm$ 0,76	40,20 $\pm$ 0,79	41,00 $\pm$ 0,65
Comprimento de perna	50,83 $\pm$ 1,01	50,53 $\pm$ 0,80	50,40 $\pm$ 1,01	50,14 $\pm$ 0,74
Comprimento de canela pélvica	34,58 $\pm$ 0,56	34,94 $\pm$ 0,42	33,90 $\pm$ 0,56	34,14 $\pm$ 0,51
Comprimento de quartela pélvica	13,08 $\pm$ 0,08	13,29 $\pm$ 0,14	12,90 $\pm$ 0,08	13,00 $\pm$ 0,22

\*Difere entre sexos dentro do mesmo andamento pelo teste t de Student ( $P \leq 0,05$ ).

#Difere entre andamentos dentro do mesmo sexo pelo teste t de Student ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 2. Média  $\pm$  erro padrão da média das mensurações morfométricas angulares de fêmeas ou machos de marcha batida ou picada da raça Mangalarga Marchador.

Ângulo	Marcha Batida		Marcha Picada	
	Fêmeas (n=12)	Machos (n=18)	Fêmeas (n=10)	Machos (n=7)
Escápula-solo	56,70 $\pm$ 0,45	57,18 $\pm$ 0,97	56,99 $\pm$ 0,96	58,64 $\pm$ 1,08
Escapuloumeral	102,09 $\pm$ 1,31	100,45 $\pm$ 1,39	102,77 $\pm$ 2,06	101,00 $\pm$ 2,19
Umerorradial	141,02 $\pm$ 1,60	138,76 $\pm$ 1,56	139,98 $\pm$ 2,25	134,97 $\pm$ 2,40
Metacarpofalângico	139,65 $\pm$ 1,32	143,63 $\pm$ 1,34	142,93 $\pm$ 1,10	144,49 $\pm$ 1,83
Pelve-solo	18,25 $\pm$ 1,35	18,80 $\pm$ 0,81	18,76 $\pm$ 1,39	21,50 $\pm$ 1,63
Coxofemoral	87,66 $\pm$ 1,82	84,49 $\pm$ 2,00	86,92 $\pm$ 2,24	81,49 $\pm$ 2,19
Femorotibial	121,30 $\pm$ 1,67	118,44 $\pm$ 1,72	105,4 $\pm$ 2,15	112,06 $\pm$ 1,38
Tibiotarsicometatársico	144,65 $\pm$ 1,30	145,59 $\pm$ 1,19	144,49 $\pm$ 1,26	142,96 $\pm$ 1,11
Metatarsofalângico	151,60 $\pm$ 1,28	154,86 $\pm$ 1,34	151,08 $\pm$ 1,98	153,00 $\pm$ 2,02

Nenhuma variável diferiu entre macho e fêmea ou entre marcha batida e picada pelo teste t de Student ( $P > 0,05$ ).

Nos animais de MB, as fêmeas apresentaram maior comprimento dorso-lombar ( $P = 0,05$ ), maior largura de garupa ( $P < 0,001$ ) e menor comprimento de canela torácica que os machos ( $P = 0,04$ ). Já na MP, as fêmeas apresentaram maior comprimento dorso-lombar ( $P = 0,03$ ) quando comparadas com machos de mesmo andamento. Pinto e colaboradores [12] realizaram análise discriminante para identificar dimorfismo sexual de medidas morfométricas na raça MM. Além da diferença das medidas lineares encontradas no presente estudo, também foi relatado dimorfismo sexual na largura do peito, comprimento de cabeça, comprimento de espádua e comprimento do corpo, os quais foram maiores nos machos. Com relação às medidas angulares, os autores mencionados relataram que os ângulos escapuloumeral e coxofemoral foram maiores nas fêmeas e os ângulos metacarpofalângico e femorotibial foram maiores nos machos, diferindo do presente estudo em que não houve diferença entre sexos em nenhuma das variáveis morfométricas angulares ( $P > 0,05$ ). O estudo de Pinto e colaboradores [12] não

considerou o tipo de andamento como fator e foi publicado há mais de 10 anos, período em que podem ter ocorrido mudanças importantes na morfometria que justifiquem as diferenças dos resultados encontrados nos dois estudos. Entretanto, o dimorfismo sexual em medidas morfométricas encontrado em ambos estudos justifica a realização de julgamentos oficiais de morfologia em categorias separadas de machos e fêmeas e deve sempre ser considerado nos estudos científicos.

Com relação às diferenças morfológicas encontradas entre andamentos, observou-se que fêmeas de MB apresentaram maior altura ( $P = 0,05$ ) e largura ( $P = 0,04$ ) da garupa em relação às de MP. Já nos machos, altura do dorso ( $P = 0,03$ ), altura da garupa ( $P = 0,01$ ), largura do peito ( $P = 0,01$ ) e comprimento da canela torácica ( $P = 0,04$ ) foram maiores naqueles de andamento MB. Em estudo anterior, Santiago e colaboradores [11] realizaram mensurações de animais competidores de Exposições Nacionais da raça MM e sugeriram que há uniformidade do rebanho, independente do andamento, com relação à maioria das medidas lineares. Porém, houve diferenças em medidas lineares e angulares que, segundo os autores supracitados, podem estar relacionadas à flexão dos membros, comprimento e frequência de passadas. Dentre essas medidas, destacaram-se maior comprimento da garupa em equinos de MB, maior comprimento de coxa e espádua nas fêmeas de MB, espádua e pelve mais horizontais na MB, e menor ângulo escapuloumeral e maior umerorradial nos machos de MB. No presente estudo, apesar de poucas variáveis morfométricas terem diferido entre sexo e entre andamento, esses foram considerados fatores para formar grupos nas comparações entre variáveis cinemáticas.

### **3.2. Variáveis cinemáticas temporais da marcha batida**

Os resultados de estatística descritiva dos dados cinemáticos da marcha batida de distribuição normal ( $P > 0,05$ ) estão demonstrados na tabela 3 e dos dados de distribuição não-normal ( $P \leq 0,05$ ) estão apresentados na tabela 4.

Tabela 3. Duração, comprimento, frequência e velocidade das passadas, dissociação diagonal relativa de decolagem e de apoio da marcha batida de fêmeas ou machos da raça Mangalarga Marchador

Sexo	Variável	Mínimo	Média	IC 95% Limite Inferior	IC 95% Limite superior	Máximo	Erro padrão
Fêmeas (n = 12)	Duração (s)	0,50	0,52	0,51	0,53	0,57	0,0054
	Comprimento (m)	1,68	1,89	1,81	1,98	2,07	0,0402
	Frequência (passadas/s)	1,77	1,92	1,87	1,96	2,02	0,0198
	Velocidade (km/h)	11,99	13,22	12,61	13,10	14,71	0,2773
	Dissociação relativa de decolagem (%)	-10,70	-5,49	-7,31	-3,66	-0,84	0,8291
	Dissociação relativa de apoio (%)	-2,01	0,27	-0,81	1,35	3,69	0,4915
	Machos (n = 17)	Duração (s)	0,47	0,52	0,51	0,54	0,57
Comprimento (m)		1,74	1,88	1,83	1,92	2,04	0,0203
Frequência (passadas/s)		1,76	1,92	1,86	1,98	2,13	0,0282
Velocidade (km/h)		11,48	13,04	12,62	13,46	14,76	0,1982
Dissociação relativa de decolagem (%)		-8,19	-3,83	-5,14	-2,53	2,03	0,6144
Dissociação relativa de apoio (%)		-4,61	-0,23	-1,50	1,05	3,68	0,6000

IC=intervalo de confiança. Nenhuma variável diferiu entre fêmeas e machos pelo teste t de Student ( $P > 0,05$ ).

Tabela 4. Distribuição do tempo em cada tipo de apoio em relação ao tempo total da passada (%) na marcha batida média de fêmeas ou machos da raça Mangalarga Marchador

Sexo	Tipo de apoio		Mínimo	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	Máximo	Erro padrão
Fêmeas (n = 12)	Tríplice apoio	Quadrupedal	0,00	0,00	0,00	0,10	1,93	0,1864
		Torácico	0,20	4,18	1,05	7,87	9,42	0,9836
		Pélvico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,0333
	Apoio bipedal	Diagonal	80,67	88,20	84,94	90,18	95,08	1,1543
		Lateral	0,00	0,82	0,10	1,83	3,81	0,3463
		Pélvico	0,00	0,58	0,10	0,93	1,38	0,1400
	Apoio monopedal	Torácico	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	0,1348
		Pélvico	0,00	4,39	2,64	9,58	13,16	1,2429
		Suspensão	0,00	0,00	0,00	0,09	1,01	0,0932
		Quadrupedal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,0254
Macho (n = 17)	Tríplice apoio	Torácico	0,00	2,51	1,13	3,02	4,30	0,3142
		Pélvico	0,00	0,00	0,00	0,00	2,64	0,1551
	Apoio bipedal	Diagonal	82,18	90,72	87,04	92,14	94,95	0,8945
		Lateral	0,00	0,21	0,00	2,22	7,91	0,5255
		Pélvico	0,00	1,11	0,00	1,83	3,57	0,2648
	Apoio monopedal	Torácico	0,00	0,00	0,00	1,33	3,31	0,2325
		Pélvico	0,40	4,51	2,58	6,40	12,91	0,9180
		Suspensão	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68	0,1199

Nenhuma variável diferiu entre fêmeas e machos pelo teste U de Mann-Whitney ( $P > 0,05$ ).

A maioria das passadas foi realizada abaixo da velocidade crítica de 14 km/h para manutenção do andamento marchado (sem momento de suspensão), porém acima de 11 km/h para a preservação dos tríplexes apoios [4]. Sendo assim, os apresentadores desenvolveram a MB média entre 12,61 e 13,64 km/h. Comprimento, duração e frequência de passadas apresentaram pouca variação.

Na dissociação relativa dos pares diagonais, a maior parte dos equinos apresentou dissociação de decolagem negativa, ou seja, o membro torácico deixou o solo antes do membro pélvico contralateral. Por outro lado, a dissociação de apoio apresentou alguns valores positivos. Pode-se inferir que, em alguns casos, embora o membro torácico deixe o solo primeiro, menor duração da fase de elevação do membro pélvico comparada à do membro torácico permite que o membro pélvico toque o solo antes do membro torácico. Essa inversão altera a sequência de apoios

descrita no padrão da raça e, portanto, a caracterização do andamento. Esses resultados diferem do relatado por Nicodemus e Clayton [5], em que o tempo da fase de apoio dos membros torácicos foi igual à dos membros pélvicos e correspondeu a 60% da passada na MB de equinos MM.

Com relação à distribuição do tempo de apoios, os apoios quadrupedais, tríplice de membro pélvico, monopodal de membro torácico e suspensão ocorreram em no máximo 1,93% do tempo da passada, enquanto não houve nenhuma ocorrência de bipedal de membros torácicos. A maior porcentagem do tempo da passada foi de apoios bipedal diagonal, seguida de monopodal de membro pélvico, tríplice de membro torácico, bipedal lateral e bipedal de membros pélvicos. Monopodal e bipedal de membros pélvicos são apoios que não estão presentes no padrão da raça e podem ocorrer devido à diferença da duração da fase de apoio dos membros torácicos em relação aos membros pélvicos. O mesmo foi relatado no estudo de Nicodemus e Clayton [5], em que “Paso corto”, “Paso largo”, “Style rack” e “Running walk” apresentaram maior duração da fase de apoio dos membros pélvicos quando comparado aos membros torácicos e foram os únicos andamentos que tiveram ocorrência de apoios monopodais.

Criadores e profissionais sugerem, por meio de observação empírica, que existe diferença no padrão do andamento de machos ou fêmeas. Porém, ao contrário das variáveis morfométricas, não foi encontrado dimorfismo sexual da cinemática temporal na MB. A ausência de normalidade dos dados de distribuição do tempo dos apoios sugeriu que, embora tenham sido avaliados exemplares da mais importante competição da raça e o número da amostra seja adequado para experimentos com a espécie equina, houve heterogeneidade das características dos equinos, o que pode ter influenciado os resultados. Por outro lado, a avaliação foi realizada em condições próximas à competição com os animais montados por seus apresentadores. Dessa forma, diferenças morfométricas entre machos e fêmeas [11] parecem não estar diretamente relacionadas à cinemática temporal dos andamentos em animais montados, uma vez que existe importante influência de fatores ambientais como treinamento e cavaleiro [13]. Outra possibilidade consiste na provável uniformidade

de padrão de andamento entre machos e fêmeas dos exemplares do estudo, pois todos estavam competindo em Exposição Nacional, e portanto, foram previamente selecionados como campeões ou reservados campeões em competições regionais no ano hípico de 2015. Entretanto, enfatiza-se a necessidade de avaliação de aspectos como coordenação e ângulos articulares em movimento, para verificar a hipótese de diferença entre os sexos relatada empiricamente.

### 3.3. Variáveis cinemáticas temporais da marcha picada

Os resultados de estatística descritiva dos dados cinemáticos da marcha picada de distribuição normal ( $P > 0,05$ ) estão demonstrados na tabela 5 e dos dados de distribuição não-normal ( $P \leq 0,05$ ) estão apresentados na tabela 6.

Tabela 5. Duração, comprimento, frequência e velocidade das passadas, dissociação diagonal relativa de decolagem e de apoio da marcha picada de fêmeas ou machos da raça Mangalarga Marchador

Sexo	Variável	Mínimo	Média	IC 95% Limite Inferior	IC 95% Limite superior	Máximo	Erro padrão
Fêmeas (n = 10)	Duração (s)	0,48	0,51	0,50	0,52	0,54	0,0059
	Comprimento (m)	1,69	1,78	1,73	1,83	1,89	0,0237
	Frequência (passadas/s)	1,84	1,96	1,91	2,02	2,08	0,0239
	Velocidade (km/h)	11,53	12,68	12,03	13,32	13,83	0,2847
	Dissociação relativa de decolagem (%)	-34,60	-30,09	-31,76	-28,43	-26,21	0,7367
	Dissociação relativa de apoio (%)	-30,05	-24,65	-27,35	-21,95	-18,73	1,1950
Machos (n = 7)	Duração (s)	0,44	0,50	0,47	0,53	0,53	0,0108
	Comprimento (m)	1,62	1,82	1,70	1,93	2,03	0,0478
	Frequência (passadas/s)	1,89	2,01	1,89	2,12	2,25	0,0468
	Velocidade (km/h)	11,29	13,17	12,17	14,17	14,57	0,4074
	Dissociação relativa de decolagem (%)	-34,63	-30,50	-33,94	-27,06	-24,84	1,4053
	Dissociação relativa de apoio (%)	-30,22	-23,41	-26,74	-20,07	-18,85	1,3638

IC=intervalo de confiança. Nenhuma variável diferiu entre fêmeas e machos pelo teste t de Student ( $P > 0,05$ ).

Tabela 6. Distribuição do tempo em cada tipo de apoio em relação ao tempo total da passada (%) na marcha picada de fêmeas ou machos da raça Mangalarga Marchador

Sexo	Tipo de apoio		Mínimo	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	Máximo	Erro padrão
Fêmeas (n = 10)	Tríplice apoio	Torácico	1,27	5,96	3,29	9,09	10,24	1,0420
		Pélvico	0,00	0,00	0,00	0,19	2,45	0,2565
	Apoio bipedal	Diagonal	30,37	38,52	35,64	40,36	45,92	1,3623
		Lateral	35,38	48,77	43,13	53,42	60,29	2,3978
	Apoio monopedal	Torácico	0,00	0,10	0,00	0,22	2,09	0,2090
		Pélvico	1,74	4,67	2,80	10,26	15,35	1,4332
Macho (n = 7)	Tríplice apoio	Torácico	2,10	8,10	4,97	12,58	14,82	1,6394
		Pélvico	0,00	0,00	0,00	1,84	3,01	0,4580
	Apoio bipedal	Diagonal	30,76	34,45	31,47	44,25	50,56	2,8778
		Lateral	36,97	48,03	40,33	48,35	55,70	2,4150
	Apoio monopedal	Torácico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,0305
		Pélvico	0,20	3,74	2,63	13,38	16,52	2,3274

Nenhuma variável diferiu entre fêmeas e machos pelo teste U de Mann-Whitney ( $P > 0,05$ ).

A marcha picada média foi executada entre 12,5 e 13 km/h, e o comprimento, a duração e a frequência de passadas foram semelhantes à marcha picada de equinos Pampa [4]. Na dissociação relativa dos pares diagonais, a dissociação de decolagem foi maior que a de apoio. Diferentemente do relatado por Nicodemus e Clayton [5], em que ambos valores de dissociação foram -28%, e a fase de apoio de membros torácicos e membros pélvicos teve a mesma duração e representou 65% da passada. Pode-se supor que houve diferença nos tempos de apoio e elevação entre membros torácicos e membros pélvicos no presente estudo, o que implicou em dissociações distintas de decolagem e apoio.

Não ocorreram apoios quadrupedal, bipedal de membros torácicos ou de membros pélvicos, nem suspensão. Monopedal de membro torácico e tríplice de membro pélvico ocorreram em no máximo 0,21 e 2,45% do tempo total da passada, respectivamente. A maior porcentagem do tempo da passada foi de apoios laterais seguida por diagonais, tríplice de membro torácico e monopedal de membro pélvico. Esses resultados diferem de Nicodemus e Clayton [5], que relataram 15% de diagonal, 25% de lateral, 31% de tríplice de membro torácico, 30% de tríplice de membro pélvico

e ausência de monopédais. Os autores não informaram a velocidade do andamento avaliado, o que pode ser o principal fator de contraste ao presente estudo, pois Procópio [4] relatou que velocidades menores que 11 km/h garantem maior porcentagem de tríplexes apoios na marcha. Outro fator importante a se considerar são os mais de 10 anos decorridos entre o estudo de Nicodemus e Clayton [5] e o presente estudo, sugerindo possível mudança no padrão de andamento dos animais nesse período. Assim como na MB, não houve dimorfismo sexual nas variáveis cinemáticas temporais na MP, e esse fator não foi levado em consideração nas avaliações objetivas de andamento previamente realizadas por outros autores [3, 4, 5].

### 3.4. Comparação das variáveis cinemáticas lineares e temporais entre as marchas batida e picada

Os resultados da comparação entre marcha batida e marcha picada de distribuição normal ( $P > 0,05$ ) estão demonstrados na tabela 7 e dos dados de distribuição não-normal ( $P \leq 0,05$ ) estão apresentados na tabela 8.

Tabela 7. Duração, comprimento, frequência e velocidade das passadas, dissociação relativa de decolagem e de apoio dos pares diagonais da marcha batida e da marcha picada de equinos da raça Mangalarga Marchador

Variável	Marcha Batida (n=29)		Marcha Picada (n=17)		P		
	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão			
Duração (s)	0,52	0,0049	0,51	0,0055	< 0,05	*	
Comprimento (m)	1,88	0,0201	1,80	0,0236	< 0,01	*	
Frequência (passadas/s)	1,92	0,0182	1,98	0,0236	< 0,05	*	
Velocidade (km/h)	13,11	0,1611	12,88	0,2369	0,4055	n.s.	
Dissociação diagonal relativa	Decolagem (%)	-4,52	0,5117	-30,26	0,6978	< 0,001	*
	Apoio (%)	-0,02	0,4025	-24,14	0,8849	< 0,001	*

\* = significativo pelo teste t de Student para amostras independentes ( $P \leq 0,05$ )

Tabela 8. Distribuição do tempo em cada tipo de apoio em relação ao tempo total da passada (%) na marcha batida e da marcha picada média de equinos da raça Mangalarga Marchador

Tipo de apoio	Marcha Batida (n=29)		Marcha Picada (n=17)		P		
	Mediana	Erro padrão	Mediana	Erro padrão			
Tríplice apoio	Quadrupedal	0,00	0,0802	0,00	0,0000	0,0735	n.s.
	Torácico	2,60	0,4880	7,51	0,9296	<0,001	*
	Pélvico	0,00	0,0915	0,00	0,2365	0,0175	*
Apoio bipedal	Diagonal	89,36	0,7154	38,35	1,3762	<0,001	*
	Lateral	0,63	0,3359	48,15	1,7103	<0,001	*
	Pélvico	0,77	0,1711	0,00	0,0000	<0,001	*
Apoio monopedal	Torácico	0,00	0,1507	0,00	0,1272	0,9673	n.s.
	Pélvico	4,51	0,7328	3,74	1,2337	0,4191	n.s.
	Suspensão	0,00	0,0791	0,00	0,0000	0,0303	*

\* = significativo pelo teste U de Mann-Whitney ( $P \leq 0,05$ ); n.s. = não significativo

Apesar de apresentados na mesma velocidade ( $P > 0,05$ ), animais de MB exibiram maior duração, maior comprimento e menor frequência de passadas que os animais de MP ( $P \leq 0,05$ ). Esses resultados corroboram os achados de Lage e colaboradores [14], que verificaram que a MP possui maior demanda energética do que a MB, uma vez que os equinos precisam realizar maior número de passadas para percorrerem a mesma distância na mesma velocidade que equinos de MB.

Em ambas as marchas, a média de dissociação foi negativa, ou seja, na maioria dos animais o casco torácico saiu e chegou ao solo previamente ao casco pélvico. Na MP, houve maior dissociação de decolagem e de apoio ( $P \leq 0,05$ ) do que na MB. A diferença de dissociação entre os andamentos implicou em distintas distribuições do tempo em cada tipo de apoio, exceto para a porcentagem de apoios quadrupedais e monopedais de torácicos e pélvicos ( $P > 0,05$ ). Dessa forma, a MP apresentou maior ocorrência de apoios laterais e de apoios tríplices, e menor frequência de apoios diagonais, bipedais pélvicos e suspensão em relação à MB.

No atual Padrão da raça MM, o item “Andamento” descreve as marchas batida e picada de forma única, sem definição de suas distinções: “Marcha batida ou picada – é o andamento natural, simétrico, a quatro tempos, com apoios alternados dos bípedes laterais e diagonais, intercalados por momentos de tríplice apoio [15]. De acordo com os resultados encontrados, MB e MP diferem entre todas as variáveis cinemáticas temporais, exceto nos apoios quadrupedais e monopedais torácicos e pélvicos. É importante que essas diferenças sejam melhor descritas no Padrão para que a classificação entre os dois tipos de marcha não seja subjetiva nem sujeita à experiência dos avaliadores.

### **3.5. Correlação entre variáveis morfométricas e variáveis cinemáticas temporais na marcha batida e na marcha picada**

Uma vez que o dimorfismo sexual foi encontrado em algumas variáveis morfométricas, mas não foi evidenciado em nenhuma variável cinemática, machos e fêmeas foram agrupados para avaliação da relação entre morfometria e movimento.

Os coeficientes de correlação entre variáveis morfométricas e variáveis cinemáticas de equinos de marcha batida estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9. Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis morfométricas e cinemáticas de equinos de marcha batida da raça Mangalarga marchador (n=29)

	VEL	FREQ	COMP	DUR	DID	DIAP	QUA	TRIT	TRIP	DIAG	LAT	BI-P	M-T	M-P	SUS
ACER	0,15	-0,04	0,17	0,05	-0,01	0,14	-0,18	-0,16	<b>0,52*</b>	-0,17	0,19	-0,32	0,15	0,19	0,03
ADOR	0,09	-0,11	0,14	0,13	-0,13	0,04	-0,12	-0,16	<b>0,50*</b>	-0,21	0,22	-0,32	0,29	0,16	0,18
AGAR	-0,17	-0,23	-0,02	0,25	0,02	0,27	0,03	0,13	<b>0,61*</b>	-0,16	0,35	-0,27	0,04	-0,11	-0,09
LPEI	-0,30	<b>-0,38*</b>	0,01	<b>0,37*</b>	-0,02	0,24	-0,05	-0,02	0,13	0,06	0,30	0,09	0,03	-0,17	-0,48
LGAR	0,03	-0,30	0,25	0,28	0,10	0,00	0,31	0,31	0,10	-0,16	0,18	-0,09	-0,22	-0,09	-0,21
CCAB	0,20	-0,20	0,34	0,19	0,06	0,05	0,28	0,11	0,19	-0,29	0,23	-0,26	-0,11	0,12	0,11
CPES	0,01	-0,25	0,24	0,26	0,11	0,25	-0,02	-0,18	0,09	-0,35	0,36	-0,29	0,34	0,27	0,08
CESP	-0,05	-0,05	0,02	0,05	-0,21	0,01	-0,23	-0,09	<b>0,47*</b>	0,14	0,12	-0,06	0,14	-0,17	-0,09
CDOR	-0,18	-0,13	-0,14	0,11	-0,01	0,04	0,20	0,30	0,36	0,08	-0,11	-0,37	-0,23	-0,14	-0,14
CGAR	-0,23	-0,18	-0,12	0,16	0,33	0,23	0,27	<b>0,46*</b>	<b>0,37*</b>	-0,17	0,21	0,08	-0,36	-0,23	-0,28
CCOR	-0,29	-0,10	-0,24	0,10	-0,08	-0,06	0,05	0,20	0,11	0,06	0,16	0,11	-0,29	-0,22	-0,21
CBRA	-0,10	-0,07	-0,07	0,08	-0,10	0,10	<b>0,45*</b>	0,22	<b>0,39*</b>	0,07	0,09	-0,02	-0,12	-0,33	0,03
CANT	0,36	0,01	0,36	0,00	-0,25	0,03	-0,09	-0,34	0,25	0,21	-0,04	-0,11	0,11	0,02	0,04
CCAT	-0,19	-0,20	-0,09	0,19	<b>-0,44*</b>	-0,26	-0,04	-0,28	0,03	0,10	-0,12	-0,02	<b>0,54*</b>	0,04	-0,05
CQT	-0,28	-0,11	-0,19	0,11	-0,02	0,18	-0,22	-0,02	0,34	0,15	0,17	0,18	-0,02	-0,25	-0,18
CCOX	-0,03	0,05	-0,06	-0,05	-0,05	0,05	-0,03	-0,10	-0,02	-0,15	0,09	-0,29	<b>0,49*</b>	0,15	-0,07
CPER	-0,03	0,13	-0,17	-0,12	0,06	0,13	<b>-0,42*</b>	-0,21	0,22	-0,02	0,07	-0,16	0,12	0,16	0,04
CCAP	0,02	-0,04	0,06	0,04	0,09	0,01	0,21	0,31	0,36	-0,31	0,06	-0,20	-0,10	0,04	0,25
CQP	<b>-0,40*</b>	-0,17	-0,30	0,18	-0,03	0,16	-0,04	0,16	0,36	0,16	0,13	0,19	-0,06	<b>-0,37*</b>	-0,23
ÂESC	0,10	0,24	-0,11	-0,26	-0,20	-0,29	-0,06	-0,05	0,20	0,10	<b>-0,53*</b>	0,01	0,24	0,09	0,10
ÂEU	-0,22	0,14	<b>-0,37*</b>	-0,14	-0,29	<b>-0,46*</b>	0,07	0,15	-0,22	0,32	<b>-0,63*</b>	0,19	0,18	-0,19	0,01
ÂUR	-0,17	0,16	-0,33	-0,17	-0,20	-0,24	0,13	0,32	<b>-0,45*</b>	0,24	-0,27	0,12	0,16	-0,34	-0,05
ÂMCF	-0,35	-0,21	-0,18	0,24	0,20	0,03	-0,36	-0,20	0,05	-0,14	0,22	<b>0,43*</b>	-0,13	0,12	0,06
ÂPEL	0,20	0,00	0,18	-0,01	-0,27	-0,31	0,31	0,05	0,03	0,11	-0,15	0,03	-0,18	-0,11	0,28
ÂCF	-0,01	-0,02	0,05	0,03	0,11	0,00	0,27	0,16	-0,13	-0,03	-0,01	0,14	-0,09	-0,09	-0,11
ÂFT	-0,05	-0,04	0,02	0,05	0,23	0,13	0,26	0,16	-0,18	-0,11	0,14	0,07	-0,13	-0,06	0,01
ÂTT	-0,06	-0,20	0,17	0,20	-0,26	-0,23	-0,24	-0,15	-0,12	<b>0,37*</b>	-0,14	0,20	-0,23	-0,16	-0,03
ÂMTF	0,04	0,17	-0,14	-0,16	0,31	0,29	-0,22	0,01	0,28	-0,35	0,19	-0,02	0,04	0,20	0,25

Características das passadas: VEL = velocidade, FREQ = frequência, COMP = comprimento, DUR = duração, DID = dissociação diagonal de decolagem, DIAP = dissociação diagonal de apoio; Tipos de apoio: QUA= quadrupedal, TRIT = tríplice torácico, TRIP = tríplice pélvico, DIAG = diagonal, LAT = lateral, BI-P = bipedal pélvico, M-T = monopedal torácico, M-P = monopedal pélvico, SUS = suspensão. Alturas: ACER = na cernelha, ADOR = no dorso, AGAR = na garupa, ACOS = de costado; Larguras: LPEI = de peito, LGAR = de garupa; Comprimentos: CCAB = de cabeça, CPES = de pescoço, CESP = de espádua, CDOR = de dorsolombo, CGAR = de garupa, CCOR = de corpo, CBRA = de braço, CANT = de antebraço, CCAT = de canela torácica, CQT de quartela torácica, CCOX = de coxa, CPER = de perna, CCAP = de canela pélvica, CQP = de quartela pélvica; Ângulos: ÂESC = escápula-solo, ÂEU = escapuloumeral, ÂUR = umerorradial, ÂMCF = metacarpofalângico, ÂPEL = pelve-solo, ÂCF = coxofemoral, ÂFT – femorotibial, ÂTT = tibiotarsicometatársico, ÂMTF = metatarsofalângico. \* P ≤ 0,05.

Na marcha batida, de 300 correlações avaliadas entre as medidas morfométricas lineares e as variáveis cinemáticas, 16 (5,33%) foram significativas. Destas, houve correlação positiva entre tríplexes apoios pélvicos e alturas de cernelha, dorso e garupa e comprimentos de espádua (escápula), garupa e braço (úmero). Dessa forma, os equinos que apresentaram maior porcentagem de tríplexes apoios pélvicos foram aqueles proporcionalmente maiores que os demais. Os apoios quadrupedais foram correlacionados positivamente com o comprimento do braço (úmero) e inversamente com o comprimento da perna (tíbia e fíbula). Já apoio monopodal torácico teve correlação positiva com comprimentos da canela torácica (metacarpo) e da coxa (fêmur). Embora outros autores tenham sugerido relação positiva entre tamanho de segmentos dos membros e amplitude horizontal da passada [11,16], nenhuma variável morfométrica linear foi correlacionada com o comprimento da passada da marcha batida no presente estudo. Entretanto, como os animais avaliados estavam montados, os comandos do cavaleiro podem ter influenciado tanto comprimento quanto velocidade e frequência de passadas [4].

Das 135 correlações avaliadas entre morfometria angular e cinemática, sete (5,19%) foram significativas. O ângulo escapuloumeral foi o que obteve o maior número de relações, sendo inversamente correlacionado ao comprimento da passada, à dissociação diagonal de apoio e à proporção de apoios laterais. O ângulo umerorradial também foi correlacionado inversamente com a proporção de tríplexes apoios pélvicos. Já os ângulos metacarpofalângico e tibiotarsicometatársico tiveram correlação positiva com apoios bipedais pélvicos e diagonais, respectivamente. Uma vez que o excesso de apoios diagonais e a presença de apoios bipedais pélvicos na marcha batida não é desejável, os exemplares do presente estudo que apresentaram ângulos citados maiores, poderiam exibir distribuição de apoios menos adequada ao Padrão da raça [15].

Os coeficientes de correlação entre variáveis morfométricas e variáveis cinemáticas de equinos de marcha picada estão descritos na tabela 10.

Tabela 10. Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis morfométricas e cinemáticas de equinos de marcha picada da raça Mangalarga marchador (n=17)

	VEL	FREQ	COMP	DUR	DID	DIAP	TRIT	TRIP	DIAG	LAT	M-T	M-P
ACER	-0,01	0,26	-0,36	-0,25	-0,05	0,20	0,46	-0,11	-0,04	-0,16	-0,11	-0,05
ADOR	0,11	0,30	-0,21	-0,27	-0,11	0,28	0,46	-0,20	-0,08	-0,23	-0,15	0,12
AGAR	-0,33	0,01	<b>-0,60*</b>	0,04	-0,12	0,07	<b>0,57*</b>	0,06	-0,20	-0,07	-0,12	-0,12
ACOS	0,48	0,49	0,20	-0,49	-0,15	0,19	0,05	-0,20	-0,07	-0,14	0,05	0,28
LPEI	-0,23	-0,03	-0,36	0,00	-0,33	<b>-0,58*</b>	-0,12	0,36	-0,43	<b>0,54*</b>	0,03	-0,24
LGAR	0,01	0,14	-0,23	-0,12	<b>-0,59*</b>	-0,29	0,22	-0,14	<b>-0,56*</b>	0,38	-0,33	0,01
CCAB	-0,04	0,09	-0,17	-0,01	-0,35	0,05	0,49	-0,32	-0,37	0,04	-0,45	0,10
CPES	-0,39	-0,29	-0,32	0,33	0,06	0,12	0,46	0,29	0,02	-0,14	-0,12	-0,23
CESP	0,00	0,10	-0,14	-0,10	-0,29	-0,07	0,04	-0,03	-0,24	0,10	-0,07	0,12
CDOR	-0,49	-0,33	-0,41	0,35	-0,04	-0,26	0,14	0,09	-0,19	0,23	0,10	-0,24
CGAR	0,03	0,10	-0,02	-0,12	<b>-0,54*</b>	-0,49	-0,29	0,18	<b>-0,55*</b>	<b>0,52*</b>	-0,05	0,11
CCOR	-0,05	0,18	-0,33	-0,17	-0,16	-0,07	0,19	-0,24	-0,13	0,14	-0,24	-0,11
CBRA	0,07	0,21	-0,09	-0,25	-0,01	0,14	0,05	-0,21	0,06	-0,10	0,03	0,06
CANT	-0,08	-0,03	-0,06	0,06	-0,22	0,02	0,33	0,03	-0,31	-0,03	-0,03	0,14
CCAT	-0,19	-0,26	-0,11	0,30	0,31	0,35	0,28	-0,28	0,29	-0,33	0,02	-0,03
CQT	-0,32	-0,18	-0,45	0,21	0,47	0,33	0,44	0,21	0,43	-0,41	0,09	-0,32
CCOX	-0,16	-0,33	0,22	0,36	-0,17	-0,41	-0,45	0,24	-0,16	0,37	-0,13	-0,02
CPER	0,02	0,09	-0,07	-0,11	0,23	0,01	-0,04	-0,08	0,18	-0,02	0,30	-0,16
CCAP	0,11	0,16	-0,03	-0,14	0,15	<b>0,59*</b>	0,45	-0,16	0,20	<b>-0,56*</b>	-0,06	0,22
CQP	-0,33	-0,20	-0,43	0,21	<b>0,51*</b>	0,37	<b>0,55*</b>	0,36	0,44	-0,45	0,00	-0,38
ÂESC	-0,22	-0,22	-0,09	0,24	0,38	0,15	0,35	0,27	0,24	-0,23	-0,04	-0,28
ÂEU	-0,23	0,18	<b>-0,50*</b>	-0,17	0,09	0,06	0,38	-0,21	0,06	-0,02	-0,25	-0,28
ÂUR	-0,15	0,14	-0,37	-0,13	-0,08	-0,08	0,19	-0,30	-0,05	0,17	-0,32	-0,23
ÂMCF	0,06	0,14	-0,03	-0,15	<b>-0,69*</b>	-0,45	-0,10	0,08	<b>-0,68*</b>	0,45	-0,17	0,23
ÂPEL	-0,14	0,09	-0,39	-0,12	-0,30	-0,23	0,49	0,14	-0,34	0,22	-0,31	-0,30
ÂCF	-0,02	0,00	-0,09	-0,04	0,25	0,09	-0,20	-0,10	0,24	-0,13	<b>0,67*</b>	0,00
ÂFT	0,21	0,16	0,12	-0,20	-0,04	-0,26	-0,14	0,14	-0,09	0,23	0,23	-0,15
ÂTT	-0,03	0,00	-0,05	-0,03	0,23	0,01	-0,24	0,18	0,10	-0,11	<b>0,62*</b>	0,12
ÂMTF	-0,12	0,05	-0,30	-0,06	-0,11	-0,29	0,13	0,41	-0,01	0,26	-0,46	-0,49

Características das passadas: VEL = velocidade, FREQ = frequência, COMP = comprimento, DUR = duração, DID = dissociação diagonal de decolagem, DIAP = dissociação diagonal de apoio; Tipos de apoio: TRIT = tríplice torácico, TRIP = tríplice pélvico, DIAG = diagonal, LAT = lateral, M-T = monopedal torácico, M-P = monopedal pélvico. Alturas: ACER = na cernelha, ADOR = no dorso, AGAR = na garupa, ACOS = de costado; Larguras: LPEI = de peito, LGAR = de garupa; Comprimentos: CCAB = de cabeça, CPES = de pescoço, CESP = de espádua, CDOR = de dorsolombo, CGAR = de garupa, CCOR = de corpo, CBRA = de braço, CANT = de antebraço, CCAT = de canela torácica, CQT = de quartela torácica, CCOX = de coxa, CPER = de perna, CCAP = de canela pélvica, CQP = de quartela pélvica; Ângulos: ÂESC = escápula-solo, ÂEU = escapuloumeral, ÂUR = umerorrádial, ÂMCF = metacarpofalângico, ÂPEL = pelve-solo, ÂCF = coxofemoral, ÂFT = femorotibial, ÂTT = tibiotarsicometatársico, ÂMTF = metatarsofalângico. \* P ≤ 0,05.

Na marcha picada, de 240 relações avaliadas entre medidas lineares e variáveis cinemáticas, 13 (5,42%) apresentaram correlação significativa. A dissociação diagonal de decolagem apresentou o maior número de relações, tendo correlação negativa com comprimento e largura de garupa e correlação positiva com comprimento da quartela pélvica. Como em todos os animais de marcha picada o membro torácico saiu e chegou ao solo antes do membro pélvico, as dissociações de apoio e de decolagem tiveram valor negativo. Sendo assim, animais mais dissociados na decolagem (desconsiderando o valor negativo) foram aqueles que apresentaram maior comprimento e largura de garupa e menor comprimento de quartela pélvica. Já os animais mais dissociados no momento de apoio foram os que apresentaram maior largura de peito e menor comprimento de cabeça. Porcentagem de tríplices apoios torácicos teve correlação positiva com altura de garupa e comprimento de quartela, enquanto apoios diagonais apresentaram correlação negativa com comprimento e largura de garupa. Apoios laterais tiveram correlação positiva com largura de peito e comprimento de garupa e correlação negativa com comprimento da cabeça.

De 108 possíveis relações entre cinemática e morfometria angular, 5 (4,63%) foram significativas. Assim como na MB, ângulo escapuloumeral teve correlação negativa com comprimento de passada. Ângulo metacarpofalângico teve correlação negativa com dissociação de decolagem e proporção de apoios diagonais. O padrão da raça MM preconiza que a proporção de apoios diagonais seja maior do que de apoios laterais na marcha picada [16]. Dessa forma, os exemplares do presente estudo com menor ângulo metacarpofalângico apresentaram maior proporção de apoios diagonais do que os exemplares de ângulo maior. Ângulos coxofemoral e tibiotarsicometatársico tiveram correlação positiva com apoio monopodal torácico. Como esse tipo de apoio não está descrito no padrão da raça, sua ocorrência não é desejável [15].

Segundo Nascimento [17], na raça MM, espáduas mais inclinadas (mais horizontais) permitem movimentos mais amplos e avante, e braço verticalizado resulta em movimentos restritos e pouca elevação dos membros. Os resultados do presente estudo corroboram as informações do autor, pois em ambos os andamentos, marcha

batida ou marcha picada, os equinos com ângulo escapuloumeral menor (composto por espádua e braço mais horizontais) tiveram passadas mais compridas. Essa angulação, portanto, parece importante para o desempenho dos equinos dessa raça quanto ao rendimento do andamento.

Na raça “Icelandic horse”, equinos com qualidade superior de andamento apresentaram menor angulação coxofemoral, o que facilitaria posicionar o membro pélvico mais adiante sob o cavalo, resultando em passadas amplas e melhorando o equilíbrio. Esses cavalos também apresentaram menor angulação metacarpofalângica, ou seja, articulação do boleto mais estendida, levando a maior extensão máxima e maior protração do membro torácico [18]. No presente estudo, os resultados encontrados sugerem que, quando os ângulos articulares citados acima apresentaram valores menores, foram associados à melhor distribuição dos tempos de apoio de acordo com o Padrão da raça MM [15]. Dessa forma, a relação mecânica desses ângulos com a capacidade de extensão e protração relatada pelos autores citados podem justificar a possível interferência na distribuição dos tempos de apoio nas marchas batida ou picada. Por outro lado, os padrões básicos de coordenação de membros são governados por geradores de padrão central na medula espinhal que regulam a coordenação intra- e inter-membros que dão origem aos andamentos reconhecíveis [13]. Portanto, além da possível relação mecânica da conformação, fatores como genética, velocidade, técnica de equitação, treinamento, tipo e inclinação de terreno também interferem no padrão de coordenação dos membros [4,13]. Finalmente, as relações entre morfometria e cinemática encontradas sugerem que algumas medidas de conformação podem ser indicadoras de boa qualidade da marcha, porém, provavelmente não são as únicas responsáveis pelas características dos andamentos.

#### **4. Conclusões**

A cinemática da MB em velocidade média de 13,22 km/h apresentou predomínio de apoios bipedal diagonal, seguida de monopedal pélvico, tríplice torácico, bipedal lateral e bipedal pélvico. A MP na velocidade média de 12,68 km/h

apresentou predomínio de apoios laterais seguidos por diagonais, tríplice torácico e monopodal pélvico. Os andamentos MB e MP executados na mesma velocidade diferem entre todas as variáveis cinemáticas temporais, exceto nos apoios quadrupedais e monopodais torácicos e pélvicos.

A morfometria influencia a cinemática do andamento de animais de MB e de MP da raça MM. Na amostra estudada, tanto na MB quanto na MP, os exemplares maiores e com ângulos escapuloumeral, metacarpofalângico, coxofemoral, tibiotarsicometaársico menores apresentaram maior comprimento de passada e melhor distribuição dos tempos de apoio de acordo com o Padrão da raça MM.

## 5. Referências

- [1] Clayton H. The dynamic horse. A Biomechanical guide to equine movement and performance, 1st ed. Mason: Sport Horse publications; 2004.
- [2] Back W. Intra-limb Coordination. In: BACK W, CLAYTON H, editors. Equine locomotion. London: W. B. Saunders;2001, p.95-134.
- [3] Hussini CA, Wissdorf H, Nicoletti JLM. Variações da marcha em equinos da raça Mangalarga Marchador. Ciênc Rural 1996;26:91-5.
- [4] Procópio AM. 2005. Análise cinemática da locomoção de equinos marchadores (Ph.D.thesis). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- [5] Nicodemus MC, Clayton HM. Temporal variables of four-beat, stepping gaits of gaited horses. Appl Anim Behav Sci 2003;80:133-42.
- [6] Holmström M, Back W. The effects of conformation. In: Back W, Clayton HM. (Ed.) Equine locomotion. London: Elsevier;2013. p. 229-44.
- [7] Staiger EA, Bellone RR, Sutter NB, Brooks SA. Morphological variation in gaited horse breeds. J Equine Vet Sci 2016;43:55-6.
- [8] Santiago JM, Rezende ASC, Fonseca MG, Abrantes RGP, Lage J, Lana AMQ. Comparação entre as medidas morfométricas do rebanho atual de machos Mangalarga Marchador e dos campeões da raça. Bol Ind Anim 2013;70:46-52.
- [9] Godoi FN, Almeida FQ, Toral FLB, Miranda ALS, Kaipper RR, Bergmann JAG. Repeatability of kinematics traits of free jumping in Brazilian sport horses. Livestock Sci 2014;168:1-8.

- [10] Starke SD, Clayton HM. A universal approach to determine footfall timings from kinematics of a single foot marker in hoofed animals. *Peer J* 2015; 3:e783; DOI 10.7717/peerj.783.
- [11] Santiago JM, Rezende ASC, Lana AMQ, Fonseca MG, Abrantes RGP, Lage J, Andrade JM, Resende TM. Comparação entre as medidas morfométricas de equinos Mangalarga Marchador de marcha batida e marcha picada. *Arq Bra Med Vet Zootec* 2014;66:2:635-9.
- [12] Pinto LFB, de Almeida FQ, Quirino CR, de Azevedo PCN, Cabral GC, Santos EM, Corassa A. Evaluation of the sexual dimorphism in Mangalarga Marchador horses using discriminant analysis. *Livestock Sci* 2008;119:161-6.
- [13] Clayton HM, van Weeren PR. Performance in equestrian sports. In: Back W, Clayton HM, editors. *Equine Locomotion*, London: W. B. Saunders; 2001, p. 305-40.
- [14] Lage J, Fonseca MG, de Barros GGM, Feringer-Junior WH, Pereira GT, Ferraz GC. Workload of official contests, net cost of transport, and metabolic power of Mangalarga Marchador horses of marcha batida or picada gaits. *J Animal Sci* 2017;95:2488-95.
- [15] ABCCMM - Associação Brasileira Dos Criadores Do Cavalo Mangalarga Marchador. Padrão da raça, Belo Horizonte: ABCCMM; 2000.
- [16] Lage MCGR. 2001. Caracterização morfométrica, dos aprumos e do padrão de deslocamento de equinos da raça Mangalarga Marchador e suas associações com a qualidade da marcha (Ph.D.thesis). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- [17] Nascimento JF. Mangalarga marchador: tratado morfofuncional. Belo Horizonte: ABCCMM;1999.
- [18] Kristjansson T, Bjornsdottir S, Albertsdóttir E, Sigurdsson A, Pourcelot P, Crevier-Denoix N, et al. Association of conformation and riding ability in Icelandic horses. *Livestock Sci* 2016;189:91-101.

### **CAPÍTULO 3 – Investigação preliminar da relação entre a cinemática tridimensional do padrão de andamento e os diferentes genótipos do *DMRT3* na marcha picada de cavalos montados da raça Mangalarga Marchador<sup>2</sup>**

**RESUMO** – A análise cinemática 3D possibilita a descrição quantitativa dos andamentos. Dessa forma, é essencial que esta técnica seja utilizada para caracterizar os efeitos do gene *DMRT3*, pois este é fator que pode influenciar o padrão de locomoção em algumas raças equinas. Objetivou-se avaliar a possível relação entre o padrão de andamento e os diferentes genótipos do *DMRT3* na marcha picada de equinos montados da raça Mangalarga Marchador (MM). Para análise cinemática tridimensional, dezoito câmeras optoeletrônicas (240 Hz) foram posicionadas para rastrear o movimento dos marcadores fixados nos cascos de 18 equinos de marcha picada (10 fêmeas e 8 machos). Para avaliação do padrão de andamento foram determinados duração, comprimento, frequência e velocidade das passadas, dissociação diagonal relativa de decolagem e de apoio e porcentagem de distribuição do tempo de apoios de quatro passadas (P1, P2, P3 e P4) por equino. O SNP g.22999655C>A do gene *DMRT3* foi analisado por meio de protocolo de genotipagem pela técnica de PCR-RFLP e os animais foram então distribuídos em dois grupos de genótipos: AA (n=9) e AC (n=9). Os dados foram transformados ( $\sin^{-1} \sqrt{x}/100$ ) e o efeito dos genótipos e da repetibilidade das passadas foram avaliados por ANAVA de dois fatores (genótipo e passada) seguida de teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). O grupo AC apresentou menor dissociação de decolagem e maior porcentagem de apoio diagonal que o AA ( $P \leq 0,05$ ). Somente o grupo AC apresentou diferença entre as passadas: a P2 apresentou maior apoio diagonal que a P4 e a fase de apoio do membro pélvico foi maior na P1 em relação às demais. Os resultados sugerem que há relação entre o padrão de andamento e os diferentes genótipos do *DMRT3* na marcha picada de equinos montados da raça MM.

---

<sup>2</sup> Esse artigo foi escrito nas normas do periódico Research in Veterinary Science no formato “Short Communication”.

**Palavras-chave:** biomecânica, genética, genotipagem, locomoção, movimento

### Highlights

- Há relação entre o padrão de andamento e os genótipos do *DMRT3* na marcha picada
- Cavalos AC possuem menor dissociação e maior tempo de apoio diagonal que cavalos AA
- Distribuição de tempos de apoio parece ser mais próxima ao padrão da raça em AC do que AA

### 1. Introdução

A espécie equina tem capacidade de executar grande variedade de andamentos a partir da coordenação dos quatro membros em relação ao tempo e espaço em velocidades distintas (Hildebrand, 1985). Avaliações subjetivas dos andamentos são, por vezes, limitadas quanto aos detalhes do movimento equino e dependem da habilidade e experiência do observador. Por isso, o uso de tecnologias para avaliações quantitativas é essencial, como os sistemas de captura de movimento para análises cinemáticas (Clayton, 2013). Esses sistemas são precisos e possibilitam o rastreamento do movimento tridimensional de marcadores, que são fixados em regiões anatômicas específicas, permitindo o cálculo de variáveis de deslocamentos lineares e angulares, velocidades e acelerações (Clayton, 2013).

O gene *DMRT3* (“doublesex and mab-3 related transcription factor 3”) é um dos principais fatores genéticos relacionados ao padrão de locomoção dos equinos. Recentemente, alguns estudos tentaram associá-lo a características biomecânicas, determinadas por meio de inspeções visuais ou por classificações realizadas pelas associações de raças. Tais estudos mostram que o alelo mutante (A) está presente em frequência maior nas raças marchadoras (ou “gaited”) e naquelas selecionadas para corridas de arreio (trotadores ou “pacers”), embora não seja o único responsável

pela determinação dessas características (Andersson et al., 2012; Promerová et al., 2014; Staiger et al., 2016; Jäderkvist Fegraeus et al., 2017).

Outros estudos relacionaram o *DMRT3* com avaliação subjetiva da qualidade de movimentação. Na raça “Icelandic horse”, o genótipo AA foi associado à capacidade de executar o “pace” (andamento saltado com movimento sincrônico do bípede lateral) e melhor qualidade do “tölt” (andamento marchado a quatro tempos), enquanto o genótipo AC favoreceu o melhor desempenho de passo, trote, cânter e galope em relação ao AA (Kristjansson et al., 2014). Na raça “Finnhorse”, o genótipo AA foi identificado como favorável para habilidade de corridas de arreo, enquanto AC e CC foram mais adaptados para modalidades clássicas de sela e apresentaram melhor qualidade de passo e trote (Jäderkvist Fegraeus et al., 2015a). Além disso, “Standardbred” heterozigotos apresentaram qualidade superior de cânter reunido e alongado e nas transições entre os andamentos quando comparados a indivíduos AA (Jäderkvist Fegraeus et al., 2015b). Em estudo que avaliou a frequência genotípica do *DMRT3* em diferentes linhagens na raça Quarto de Milha, a maioria dos exemplares apresentou genótipo CC, porém dois animais AC foram identificados no grupo de corrida com baixo desempenho e um animal no grupo de apartação, indicando que essa variante pode ser um fator limitante para o desenvolvimento de velocidades maiores (Pereira et al., 2016). Dessa forma, o alelo A e principalmente o genótipo AA parece ser propício para corridas de arreo (trotadores e “pacers”), mas pode ter efeito negativo na qualidade dos andamentos clássicos (passo, trote, cânter e galope) e no desempenho em corridas de quarto-de-milha (no galope).

Na raça brasileira Mangalarga Marchador (MM), há dois tipos de andamentos com velocidade intermediária: marcha batida e marcha picada. O fenótipo de marcha picada é aparentemente determinado por gene único (*DMRT3*), enquanto a marcha batida parece ser controlada por maior número de genes (Fonseca et al., 2017). Com relação ao *DMRT3*, a marcha batida está associada ao genótipo CC e apresenta poucos indivíduos AC, enquanto os cavalos de marcha picada apresentam genótipo AA ou AC (Manso Filho et al., 2015; Patterson et al., 2015; Fonseca et al., 2017). Desta maneira, objetivou-se avaliar se há relação entre padrão de andamento e os

diferentes genótipos do *DMRT3* (AA ou AC) na marcha picada de equinos montados da raça MM.

## 2. Material e métodos

Avaliaram-se 18 equinos adultos (10 fêmeas e 8 machos), com idade entre 41 e 105 meses, competidores da 34<sup>a</sup> Exposição Nacional do Cavalos Mangalarga Marchador classificados pela Associação Brasileira dos Criadores do Cavalos Mangalarga Marchador (ABCCMM) para o andamento marcha picada. Para avaliação cinemática tridimensional foram utilizadas 18 câmeras PRIME 17w (240 Hz) do sistema Optitrack® de captura optoeletrônica posicionadas para focar 16 m de comprimento e 7 m de largura dentro de um galpão de alvenaria. Cada equino, equitado por seu apresentador, passou pelo percurso com total de 26 m de comprimento na marcha média. Foram selecionados quatro ciclos de passada completa por equino no meio do percurso. Três marcadores retrorreflexivos esféricos de 1,6 cm de diâmetro foram afixados na extremidade cranial da pinça, na extremidade caudal do talão lateral e na porção proximal da parede dorsal dos cascos. As coordenadas tridimensionais (X, Y e Z) e os quadros dos eventos de apoio e decolagem de cada casco foram obtidos de forma visual utilizando o programa Motive MTV-BDY. Para avaliação do padrão de andamento, foram calculados os valores mínimos, medianas e máximos das seguintes variáveis cinemáticas em cada ciclo de passada segundo Nicodemus e Clayton (2003): 1) Duração, 2) Comprimento, 3) Frequência, e 4) Velocidade das passadas; 5) Porcentagem de duração da fase de apoio dos membros torácicos e 6) pélvicos; 7) Dissociação diagonal relativa de apoio e 8) de decolagem; Porcentagem de distribuição do tempo dos apoios 10) tripedal, 11) diagonal, 12) lateral e 13) monopedal.

Amostras de 5,0 mL de sangue de cada equino foram obtidas por venopunção jugular em tubos com EDTA e congeladas a -20° C. Após descongelamento, o processo de extração de DNA foi realizado por meio do Pure Link® Genomic DNA Mini Kit (Invitrogen/Life Technologies, EUA) de acordo com as instruções do fabricante. O SNP g.22999655C>A do gene *DMRT3* equino foi analisado por meio de

protocolo de genotipagem pela técnica de Reação em cadeia da polimerase – Polimorfismo de comprimento de fragmento de restrição (PCR-RFLP) de acordo com Pereira et al. (2016), na qual fragmento gênico com 470 pb foi amplificado e digerido utilizando a endonuclease *DdeI* (New England BioLabs, EUA). Dessa forma, os 18 equinos foram distribuídos em dois grupos conforme o genótipo: AA (n=9) e AC (n=9).

Todos os dados cinemáticos foram transformados ( $\sin^{-1}\sqrt{x}/100$ ) para se ajustarem à distribuição normal (teste de Shapiro-Wilk). Para comparação entre genótipos, avaliação da repetibilidade das passadas e possíveis interações, cada variável cinemática foi submetida à ANOVA de dois fatores (genótipo (AC e AA) e passada (1, 2, 3 e 4), sendo a última de amostras repetidas) e em seguida ao teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

### 3. Resultados e Discussão

Os quatro ciclos de passada e os dois genótipos (AC e AA) não diferiram ( $P > 0,05$ ) quanto à duração, comprimento, frequência e velocidade da passada. Os valores de mediana (mínimo – máximo) gerais (considerando os quatro ciclos de passadas e os dois genótipos) foram de 0,5057 (0,4406 – 0,5448) s, 1,79 (1,61 – 2,33) m, 1,97 (1,80 – 2,29) passadas por segundo e 13,12 (10,85 – 14,71) km.h<sup>-1</sup>, respectivamente. Os resultados da porcentagem de distribuição do tempo dos apoios podem ser visualizados na Tabela 1, e as dissociações diagonais relativas de apoio e de decolagem e duração da fase de apoio são mostradas na Tabela 2.

Tabela 1. Porcentagem de distribuição do tempo dos apoios em cada ciclo de passada (1,2,3 e 4) de cada grupo de genótipo (AA e AC do *DMRT3*) expressos em mediana (mínimo – máximo).

Passada	Gen.	Tríplice		Bipedal		Monopedal	
		Torácico (%)	Pélvico (%)	Diagonal (%)	Lateral (%)	Torácico (%)	Pélvico (%)
1	AA	7,940 (1,68 – 12,80)	0,00 (0,00 – 4,00)	32,20 (28,80 – 45,53)*	48,31 (39,02 – 60,22)	0,00 (0,00 – 1,61)	6,35 (0,80 – 15,13)
	AC	6,02 (0,84 – 15,45)	0,00 (0,00 – 6,56)	40,65 (28,70 – 51,26)*	41,74 (32,77 – 60,00)	0,00 (0,00 – 0,87)	6,50 (0,00 – 15,13)
2	AA	8,57 (0,55 – 13,33)	0,00 (0,00 – 2,50)	34,38 (29,67 – 42,50)*	47,97 (37,50 – 64,29)	0,00 (0,00 – 0,00)	5,49 (0,00 – 17,07)
	AC	3,94 (0,00 – 14,29)	0,00 (0,00 – 1,59)	45,11 (31,30 – 51,30)*‡	42,02 (33,08 – 59,13)	0,00 (0,00 – 2,54)	6,96 (0,84 – 15,25)
3	AA	7,94 (2,65 – 12,10)	0,00 (0,00 – 4,00)	34,17 (31,13 – 43,55)	49,06 (42,74 – 60,32)	0,00 (0,00 – 0,00)	5,82 (0,00 – 15,83)
	AC	6,14 (0,76 – 14,05)	0,00 (0,00 – 1,65)	40,98 (31,58 – 52,63)	41,23 (33,88 – 62,73)	0,00 (0,00 – 1,75)	4,58 (0,00 – 12,82)
4	AA	8,26 (1,56 – 12,70)	0,00 (0,00 – 2,44)	35,94 (28,97 – 45,45)	49,15 (42,06 – 55,21)	0,00 (0,00 – 0,52)	6,77 (0,00 – 18,03)
	AC	4,58 (0,83 – 15,52)	0,00 (0,00 – 0,86)	40,50 (29,66 – 50,43)‡	44,92 (35,54 – 59,32)	0,00 (0,00 – 4,96)	7,94 (2,36 – 18,18)

\*Difere entre os grupos AC e AA na mesma passada pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

‡Difere entre as passadas no mesmo grupo pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Gen. = genótipo.

Tabela 2. Dissociação diagonal relativa de apoio e de decolagem, e porcentagem de duração da fase de apoio dos membros torácicos e pélvicos em cada passada (1, 2, 3 e 4) de cada grupo de genótipo (AA e AC do *DMRT3*) expressos em mediana (mínimo – máximo).

Passada	Gen.	Dissociação diagonal relativa		Porcentagem da fase de apoio	
		Decolagem (%)	Apoio (%)	Membros torácicos (%)	Membros pélvicos (%)
1	AA	32,94 (26,02 – 34,41)*	25,21 (21,14 – 30,91)	47,04 (42,08 – 52,80)	54,10 (49,99 – 55,61)
	AC	29,27 (24,79 – 35,22)*	21,43 (16,39 – 30,43)	47,15 (43,14 – 50,00)	53,35 (50,21 – 57,01)‡
2	AA	31,71 (27,50 – 35,71)*	23,95 (20,83 – 32,14)	46,74 (41,97 – 50,40)	54,40 (50,56 – 56,08)
	AC	26,89 (25,22 – 34,35)*	20,73 (18,64 – 29,57)	47,83 (42,72 – 49,42)	51,74 (49,60 – 57,51)
3	AA	33,60 (27,42 – 35,85)*	24,53 (20,97 – 30,16)	46,97 (41,73 – 51,62)	53,51 (51,07 – 56,15)
	AC	28,02 (24,44 – 34,96)*	21,05 (17,62 – 30,53)	47,41 (43,06 – 49,57)	52,17 (49,99 – 57,32)
4	AA	31,78 (26,45 – 34,58)	24,58 (21,43 – 29,60)	47,86 (40,98 – 51,99)	53,71 (50,40 – 56,18)
	AC	29,13 (23,50 – 36,40)	21,79 (18,10 – 29,66)	47,49 (41,57 – 49,85)	52,49 (48,49 – 56,91)

\*Difere entre os grupos AC e AA na mesma passada pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

‡No grupo AC, a passada 1 difere das passadas 2, 3 e 4 pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Gen. = genótipo.

Como supramencionado, estudos prévios relataram que a qualidade dos andamentos dos equinos foi influenciada pelo *DMRT3*. Entretanto, os andamentos foram avaliados de forma subjetiva (Kristjansson et al., 2014; Jäderkvist Fegraues et al., 2015a,b). O presente estudo foi o primeiro a realizar avaliação quantitativa do padrão de andamento por meio de análise cinemática e verificou diferenças entre os genótipos do *DMRT3*. Essas diferenças podem ser imperceptíveis visualmente por criadores e juizes, o que tornaria a genotipagem do *DMRT3* importante na seleção dos equinos para características de andamento na raça Mangalarga Marchador.

Nos andamentos marchados a quatro tempos, maior dissociação diagonal de decolagem ou de apoio resulta em maior proporção de apoios laterais e menor proporção de diagonais (Nicodemus e Clayton, 2003). No presente estudo, indivíduos AA tiveram maior dissociação de decolagem e, por isso, apresentaram menor proporção de apoio diagonal que indivíduos AC. Apesar de não haver diferença significativa, maior dissociação também poderia resultar em aumento dos apoios

laterais. Isso seria indesejável ao andamento marcha picada, pois os apoios diagonais devem ser maiores que os laterais (ABCCMM, 2000). Dessa forma, indivíduos AC parecem apresentar distribuição de tempos de apoio mais próximo ao descrito como ideal no padrão da raça quando comparados aos indivíduos AA. Sendo assim, pode ser estratégico selecionar o genótipo AC em cavalos de marcha picada para competição e reprodução. Esses resultados são similares a outros estudos, em que o genótipo AA foi associado à qualidade inferior subjetiva dos andamentos passo, trote, cânter e galope (Kristjansson et al., 2014; Jäderkvist Fegraues et al., 2015a,b).

Como no presente estudo, Kristjansson et al. (2014) relataram que “Icelandic horses” AA apresentaram pares diagonais menos sincronizados que animais AC. Isso pode ser explicado pela atuação do *DMRT3* tanto na coordenação entre antímeros direito e esquerdo quanto entre membros pélvicos e torácicos (Andersson et al., 2012). Entretanto, em vários estudos as variações de fenótipos dos andamentos não são unicamente explicadas pelo *DMRT3* (Promerová et al., 2013; Patterson et al., 2015; Jäderkvist et al., 2014; Regatieri et al., 2016; Staiger et al., 2016; Fonseca et al., 2017), sugerindo que genes adicionais determinam o padrão de movimento dos equinos e/ou interferem na atuação do *DMRT3* (interações epistáticas), além de sofrerem importante influência dos fatores ambientais como, por exemplo, o treinamento e a equitação.

O presente estudo foi realizado na mais importante competição da raça MM e os cavalos foram montados pelos seus apresentadores. Sendo assim, o movimento avaliado foi semelhante àquele apresentado nos concursos de marcha e utilizado como referência fenotípica de seleção de reprodutores. Entretanto, as diferenças entre os genótipos não foram encontradas em todas as passadas. Além disso, somente o grupo AC apresentou diferença entre passadas em duas variáveis cinemáticas. Esses resultados podem sugerir menor capacidade de repetibilidade do padrão de andamento do genótipo AC, ou o que os autores consideram mais provável, houve importante influência do cavaleiro na condução dos cavalos (Clayton e Hobbs, 2017). Sendo assim, mais estudos cinemáticos com maior número de animais, com e sem

influência do cavaleiro, devem ser realizados para comprovar ou refutar a importância do *DMRT3* no padrão de movimento na marcha picada.

#### 4. Conclusões

Os resultados sugeriram que há relação entre o padrão de andamento e os diferentes genótipos do *DMRT3* (AA ou AC) na marcha picada de equinos montados da raça Mangalarga Marchador. Indivíduos AC tiveram menor dissociação diagonal de decolagem e apresentaram maior proporção de apoio diagonal e, por isso, parecem apresentar distribuição de tempos de apoio mais próximo ao descrito como ideal no padrão da raça quando comparados aos indivíduos AA.

#### 5. Referências

ANDERSSON, L.S., LARHAMMAR, M., MEMIC, F., WOOTZ, H., SCHWOCHOW, D., RUBIN, G-J., PATRA, K., ARNASON, T., WELBRING, L., HJÄLM, G., IMSLAND, F., PETERSEN, J. L. MCCUE, M.E., MICKELSON, J.R., COTHRAN, G., AHITUV, N., ROEPSTORFF, L., MIKKO, S., VALLSTEDT, A., LINDGREN, G., ANDERSSON, L., KULLANDER, K., 2012. Mutations in *DMRT3* affect locomotion in horses and spinal circuit function in mice. *Nature* 488 (7413), 642-646.

ABCCMM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DO CAVALO MANGALARGA MARCHADOR, 2000. Padrão da raça, ABCCMM, Belo Horizonte.

CLAYTON, H.M., 2013. Measurement techniques for gait analysis, in: Back, W., Clayton, H.M. (Eds.), *Equine Locomotion*, second edition, Elsevier B.V., London, pp. 31-60.

CLAYTON, H.M., HOBBS, S-J., 2017. The role of biomechanical analysis of horse and rider in equitation science. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 190, 123-132.

FONSECA, M.G., DE CAMARGO FERRAZ, G., PEREIRA, G.L., CURI, R.A., 2017. A genome-wide association study reveals differences in the genetic mechanism of control of the two gait patterns of the Brazilian Mangalarga Marchador breed. *J. Equine Vet. Sci.* 53, 64-67.

HILDEBRAND, M., 1985. Walking and running, in: HILDEBRAND, M., BRAMBLE, D.M., LIEM, K.F., WAKE, D.B. (Eds.), *Functional Vertebrate Morphology*. Belknap Harvard, Cambridge, London, pp. 38–57.

JÄDERKVIST, K., KANGAS, N., ANDERSSON, L.S., LINDGREN, G., 2014. The DMRT3 'Gait keeper' mutation affects performance of Nordic and Standardbred trotters. *J. Anim. Sci.* 92, 4279-4286.

JÄDERKVIST FEGRAEUS, K., JOHANSSON, L., MÄENPÄÄ, M., MYKKÄNEN, A., ANDERSSON, L.S., VELIE, B.D., ANDERSSON, L., ÁRNASON, T., LINDGREN, G., 2015a. Different DMRT3 genotypes are best adapted for harness racing and riding in Finnhorses. *J. Heredity.* 1-7.

JÄDERKVIST FEGRAEUS, K., HOLM, N., IMSLAND, F., ÁRNASON, T., ANDERSSON, L., ANDERSSON, L.S., LINDGREN, G., 2015b. The importance of the DMRT3 'Gait keeper' mutation on riding traits and gaits in Standardbred and Icelandic horses. *Livestock Sci.* 176, 33-39.

JÄDERKVIST FEGRAEUS, K., HIRSCHBERG, I., ARNASON, T., ANDERSSON, L., VELIE, B.D., ANDERSSON, L.S., LINDGREN, G., 2017. To pace or not to pace: a pilot study of four- and five-gaited Icelandic horses homozygous for the DMRT3 'Gait Keeper' mutation. *Anim. Genet.* 48, 694-697.

KRISTJANSSON, T., BJORNSDOTTIR, S., SIGURDSSON, A., ANDERSSON, L.S., LINDGREN, G., HELYAR, S.J., KLONOWSKI, A.M., ARNASON, T., 2014. The effect of the 'Gait keeper' mutation in the DMRT3 gene on gaiting ability in Icelandic horses. *J. Anim. Breed. Genet.* 131, 415-425.

MANSO FILHO, H.C., COTHRAN, E.G., JURAS, R., GOMES FILHO, M.A., SILVA, N.M.V., SILVA, G.B., FERREIRA, L.M.C., ABREU, J.M.G., MANSO, H.E.C.C.C., 2015. Alelo DMRT3 mutante em equinos de marcha batida e picada das raças Campolina e Mangalarga Marchador. *Ciênc. Vet. Tróp.* 18 (1), 6-11.

NICODEMUS, M.C., CLAYTON, H.M., 2003. Temporal variables of four-beat, stepping gaits of gaited horses. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 80, 133-142.

PATTERSON, L., STAIGER, E.A., BROOKS, S.A., 2015. DMRT3 is associated with gait type in Mangalarga Marchador horses, but does not control gait ability. *Anim. Genet.* 46, 213-215.

PEREIRA, G. L., DE MATTEIS, R., REGITANO, L.C.A., CHARDULO, L.A.L., CURI, R.A., 2016. MSTN, CKM and DMRT3 gene variants in different lines of Quarter Horses. *J. Equine Vet. Sci.* 39, 33-37.

PROMEROVÁ, M., ANDERSSON, L.S., JURAS, R., PENEDO, M.C.T., REISSMANN, M., TOZAKI, T., BELLONE, R., DUNNER, S., HORÍN, P., IMSLAND, O., MIKKO, S., MODRÝ, D.; ROED, K. H.; SCHWOCHOW, D.; VEGA-PLA, J. L.; MEHRABANI-YEGANEH, H., YOUSEFI-MASHOUF, N., COTHRAN, E.G., LINDGREN, G., ANDERSSON, L., 2014. Worldwide frequency distribution of the 'Gait keeper' mutation in the DMRT3 gene. *Anim. Genet.* 45, 274-282.

REGATIERI, I.C., EBERTH, J.E., SARVER, F., LEAR, T.L., BAILEY, E., 2016. Comparison of DMRT3 genotypes among American Saddlebred horses with reference to gait. *Anim. Genet.* 47, 603-605.

STAIGER, E.A., ABRI, M.A., SILVA, C.A.S., BROOKS, S.A., 2016. Loci impacting polymorphic gait in the Tennessee Walking Horse. *J. Anim. Sci.* 94, 1377-1386.

## **CAPÍTULO 4 – Estudo de associação ampla do genoma revela diferença no mecanismo de controle genético dos dois padrões de andamento da raça brasileira Mangalarga Marchador<sup>3</sup>**

**RESUMO** - O gene *DMRT3* é descrito como o principal gene a atuar na determinação do fenótipo do andamento marchado em diversas raças equinas, em que o alelo A do polimorfismo de nucleotídeo único (SNP) 22999655C>A foi apontado como responsável por essa característica. Na raça brasileira Mangalarga Marchador (MM), que apresenta dois padrões de marcha com características bem definidas, os genótipos AA e AC foram associados à marcha picada e o genótipo CC à marcha batida. Portanto, nessa raça o alelo A do gene *DMRT3* foi relacionado somente a um tipo de marcha: a picada. Objetivou-se identificar a forma de controle do andamento de marcha batida e investigar SNPs e regiões genômicas responsáveis por esse fenótipo na raça Mangalarga Marchador. Quarenta e oito cavalos campeões em provas oficiais da raça MM pertencentes aos dois grupos de andamentos distintos: marcha picada com genótipo AA e AC do SNP 22999655C>A (n=20) e marcha batida com genótipo CC (n=28) foram analisados por meio do Equine SNP70 BeadChip. Os resultados do estudo amplo de associação do genoma (GWAS) revelaram pela primeira vez que, ao contrário do fenótipo de marcha picada que é aparentemente determinado por gene único (*DMRT3*) em que o alelo A da variação g.22999655C>A controla a característica, a marcha batida parece ser controlada por maior número de genes. Devido ao pequeno número de animais utilizados nos dois grupos, as regiões genômicas associadas a efeitos menores na marcha batida não puderam ser identificadas.

**Palavras-chave:** andamento, equino, gene *DMRT3*, genotipagem

---

<sup>3</sup> Esse artigo foi escrito nas normas do periódico Journal of Equine Veterinary Science no formato de “Short Communication”.

## Highlights

- A raça equina brasileira Mangalarga Marchador apresenta dois padrões de andamento com características distintas: marcha picada e marcha batida.
- Ao contrário da marcha picada, a marcha batida não é controlada pelo gene *DMRT3*.
- A marcha batida do Mangalarga Marchador parece ter controle poligênico.

## 1. Introdução

A raça Mangalarga Marchador (MM) foi oficialmente declarada como raça nacional brasileira de equinos e é a mais numerosa no país. A raça surgiu há cerca de 200 anos no sudeste do Brasil a partir do cruzamento dos cavalos Alter da Coudelaria de Alter do Chão, situada em Portugal, com outros cavalos nativos selecionados por criadores locais. A raça Alter tem raízes no Andaluz Espanhol, cuja origem étnica vem dos cavalos nativos da Península Berbere, Germânica e Ibérica [1]. Em dezembro de 2015, a Associação Brasileira dos Criadores de Mangalarga Marchador (ABCCMM) contabilizou 11.400 associados, mais de 600.000 cavalos registrados, 67 núcleos regionais de criadores no Brasil e 4 no exterior (Alemanha, Itália, Argentina e EUA). Exemplares dessa raça já foram exportados para a Bélgica, Holanda, Portugal, Israel, Canadá, Uruguai, Peru, EUA, Alemanha, Congo, Argentina, França, Áustria e Itália.

Equinos da raça MM possuem andamento típico marchado a quatro tempos denominado “marcha”, com apoios alternados dos bípedes laterais e diagonais, intercalados por momentos de tríplex apoio [2]. A ausência de momento de suspensão favorece a estabilidade do tronco do cavalo, o que provê maior conforto ao cavaleiro e é favorável para atividades como lida com o gado, cavalgadas, equitação de trabalho, equoterapia e Concursos de Marcha. Marcha batida e marcha picada são os únicos andamentos de velocidade intermediária permitidos e os cavalos são classificados de acordo com o andamento por inspeção visual de técnicos oficiais da ABCCMM no momento de registro dos animais na raça [2]. Marcha picada possui

maior proporção de apoios laterais e tríplices e menor proporção de apoios diagonais comparados à marcha batida [3].

O gene *DMRT3* é descrito como o principal na determinação do fenótipo de andamentos em diversas raças equinas. O SNP 22999655C>A desse gene, que é responsável pela alteração nos padrões de locomoção em equinos, foi descrito por Andersson et al. [4], após estudos envolvendo raças marchadoras e não marchadoras. O alelo recessivo A dessa variação foi apresentado como responsável pelo andamento marchado em cavalos de raça Islandesa. Em estudo posterior, incluindo diversas raças originárias de vários países, foi confirmada a ação majoritária desse gene sobre o fenótipo dos andamentos marchados. Todavia, algumas raças marchadoras apresentaram altas frequências do alelo C, incluindo a raça brasileira Mangalarga Marchador (MM), que apresentou frequência elevada do alelo C e dos genótipos AC e CC [5].

A relação do alelo A do gene *DMRT3* com os tipos de marcha da raça Mangalarga Marchador foi descrita por Patterson et al. [6]. Os genótipos CC e AA foram associados à marcha batida e à marcha picada, respectivamente. O genótipo heterozigoto (AC) esteve presente tanto em indivíduos de marcha batida quanto picada. Entretanto, animais de marcha picada apresentaram proporção maior de heterozigotos (43,3% *versus* 6%). Dessa forma, os resultados encontrados por Patterson e colaboradores mostraram que o gene *DMRT3* pode não ser o único responsável pelo fenótipo do andamento marchado na raça brasileira Mangalarga Marchador, o qual está relacionado somente à marcha picada.

Considerando o exposto, os objetivos do presente estudo foram identificar, por meio de estudo amplo de associação do genoma (GWAS), a forma de controle do fenótipo de andamento (monogênica ou poligênica) e realizar a prospecção de SNPs e regiões genômicas que contenham possíveis genes responsáveis pelo fenótipo da marcha batida na raça brasileira Mangalarga Marchador.

## 2. Material e Métodos

O estudo seguiu os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Conselho Nacional de Controle em Experimentação Animal (CONCEA) (Comissão de Ética no uso de animais – CEUA - UNESP, Jaboticabal, Brasil, Protocolo: 12807/15).

Amostras de sangue foram coletadas de 55 equinos (34 de marcha batida e 21 de marcha picada) competidores da 34ª Exposição Nacional do Caval Mangalarga Marchador, que foram previamente campeões ou reservados campeões das Exposições regionais oficializadas pela Associação Brasileira dos Criadores do Caval Mangalarga Marchador (ABCCMM) durante o ano hípico de 2015. Os animais utilizados nesse estudo foram separados em dois grupos conforme a apresentação natural de seu andamento de velocidade intermediária: marcha batida ou marcha picada.

Após o processo de extração de DNA, o SNP g.22999655C>A do gene *DMRT3* equino foi analisado por meio de protocolo de genotipagem pela técnica de Reação em cadeia da polimerase – Polimorfismo de comprimento de fragmento de restrição (PCR-RFLP) de acordo com Pereira et al. [7], na qual o fragmento gênico com 470 pb foi amplificado e digerido utilizando a endonuclease *DdeI* (New England BioLabs, EUA). A partir do total de 55 animais, foram formados dois grupos com 28 e 20 amostras cada, perfazendo o total de 48 indivíduos. O primeiro grupo foi constituído de animais de marcha batida com genótipo CC e o segundo de animais de marcha picada com genótipos AA (n=11) e CA (n=9). As amostras de DNA de cada indivíduo foram genotipadas com o “Equine SNP70 BeadChip” (Illumina, Inc., EUA).

O controle de qualidade das informações de genotipagem, para indivíduos e SNPs, foi realizado por meio dos programas Genome Studio versão 2011.1 (Illumina Inc., EUA) e PLINK v1.07 [8]. Animais com “call rate” abaixo de 0,95 ou com erro na estimacão do gênero foram excluídos do conjunto amostral. No que diz respeito aos SNPs, foram excluídos os localizados no cromossomo X, os com baixa qualidade de genotipagem (“cluster separation” inferior a 0,3), os com “call frequency” inferior a 0,9, os com menor frequência alélica (MAF) inferior a 0,1 (incluindo os fixados), e os com  $P < 1 \times 10^{-4}$  para o equilíbrio de Hardy-Weinberg (HWE).

Para ajuste da inflação devido à estratificação da população (fator de inflação genômica = 1,12488), associação estruturada de casos e controles usando similaridades “identity-by-state” (IBS) geneticamente correspondentes foi implementada em Plink v1.07 [8]. Análises de associação de caso-controle estratificada foram realizadas por meio de testes de Cochran-Mantel-Haenszel ( $2 \times 2 \times K$ ,  $K = 4$ ), ajustados para a subestrutura populacional pela inclusão das informações de “clusters” IBS [8]. Os testes múltiplos foram corrigidos pela FDR-BH (taxa de detecção falsa - Benjamini Hochberg) [9]. Escalonamento métrico multidimensional (MDS) foi realizado por meio da matriz de  $N \times N$  de distâncias emparelhadas IBS do genoma amplo [8].

### 3. Resultados

Para os 55 animais analisados por meio de protocolo PCR-RFLP para o SNP g.22999655C>A do gene *DMRT3* foram observadas as seguintes frequências genotípicas:  $f(CC) = 0,94/ 0,05$ ,  $f(CA) = 0,06/ 0,43$  e  $f(AA) 0/ 0,52$  nos grupos de marcha batida ( $n=34$ ) e marcha picada ( $n=21$ ), respectivamente.

Como não houve indivíduos com frequência de declaração de genótipo abaixo de 0,95 e com erro na estimação do gênero, nenhum animal foi excluído da amostra. Após a aplicação de filtros de controle de qualidade para marcadores, dos 65.157 SNPs presentes no Equine SNP70 BeadChip, 25.252 SNPs foram excluídos. Desse modo, foram considerados para as análises posteriores 48 indivíduos e 39.905 SNPs.

Subestruturas foram observadas nas amostras, mas os agrupamentos não foram associados a indivíduos com diferentes tipos de andamento, demonstrando que os grupos marcha picada e marcha batida são partes de uma mesma população (Figura 1A). Apesar do pequeno tamanho da amostra utilizada nesse estudo, o gráfico QQ (Figura 1B) mostrou distribuição de frequência satisfatória dos dados e uma distribuição normal.

Os resultados do GWAS podem ser visualizados por meio de gráfico “Manhattan plot” (Figura 1C) em que os marcadores associados de forma significativa encontram-se situados acima da linha preta. Foram encontrados quatro marcadores

associados significativamente ( $P < 10^{-5}$ ) entre os grupos de marcha batida e marcha picada, todos contidos no “*Equus caballus* autossomal chromossome” (ECA 23) (Tabela 1). Todos os marcadores localizados no ECA 23 foram mapeados na região do gene *DMRT3*. É notável que o SNP BIEC2\_620109 de associação significativa ( $P = 2,3 \times 10^{-7}$ ) está ligado ao SNP g.22999655C>A.

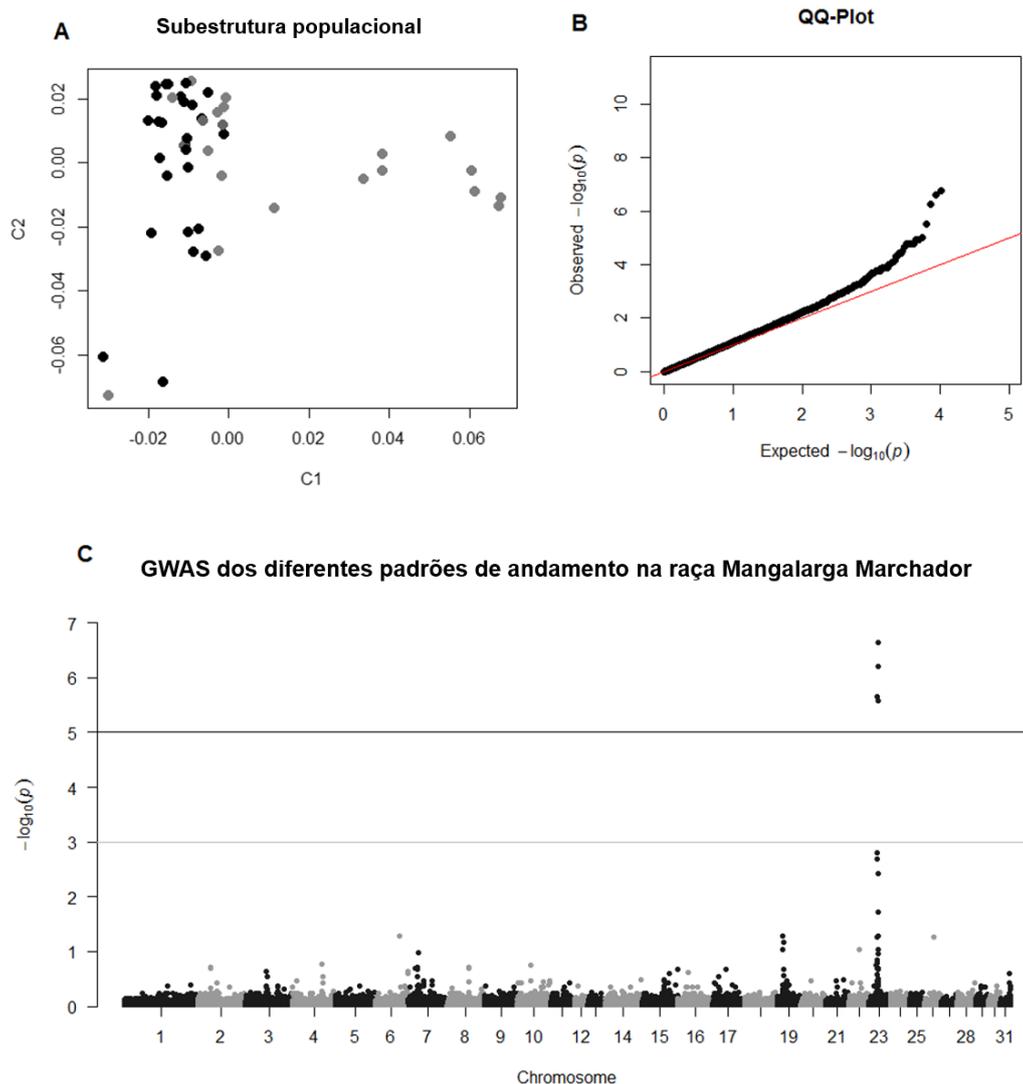


Figura 1. (A) Gráfico de escalonamento métrico multidimensional (MDS) de todas as amostras (grupos marcha batida e marcha picada). Cada ponto do gráfico MDS corresponde a um indivíduo e diferentes tons de escala de cinza indicam a qual agrupamento ( $k=4$ ) o indivíduo pertence. A posição no plano Cartesiano demonstra a distância genética entre os indivíduos estudados. (B) Gráfico Q-Q indica o ajuste da frequência de distribuição dos dados à probabilidade de distribuição. (C) Gráfico “Manhattan plot” de todos os polimorfismos de nucleotídeo único (SNP) para tipo de andamento na raça Mangalarga Marchador. Valores de log inverso de P estimados para cada polimorfismo estão plotados no eixo y. O número dos cromossomos está plotado no eixo x. A linha preta indica o limiar de significância ( $P < 10^{-5}$ ). Figura adaptada de Fonseca et al. [10].

Tabela 1. Frequências alélicas ( $A_1/A_2$ ) e genóticas ( $A_1A_1/A_1A_2/A_2A_2$ ) dos SNPs com associação significativa aos grupos de marcha batida e marcha picada da raça Mangalarga Marchador.

Cro.	SNP_ID	Posição (pb)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>		Marcha picada	Marcha batida	P
ECA 23	BIEC2_620109	22.967.656	A	G	Alel.	0,78/0,22	1/0	2,31 $\times 10^{-7}$
					Geno.	0,55/0,45/0	0/0/1	
ECA 23	BIEC2_651731	22.866.017	A	G	Alel.	0,80/0,20	0,96/0,04	6,29 $\times 10^{-7}$
					Geno.	0,60/0,40/0	0/0,07/0,93	
ECA 23	BIEC2_619750	22.464.604	G	A	Alel.	0,85/0,15	0,91/0,09	2,24 $\times 10^{-6}$
					Geno.	0,70/0,30/0	0/0,18/0,82	
ECA 23	BIEC2_651671	22.756.820	A	G	Alel.	0,83/0,18	0,91/0,09	2,62 $\times 10^{-6}$
					Geno.	0,65/0,35/0	0/0,18/0,82	

Cro. = cromossomo equino em que o marcador foi mapeado; SNP\_ID = identificação do SNP; P = valor de P corrigido. Tabela adaptada de Fonseca et al. [10].

#### 4. Discussão

Com base nos resultados de genotipagem do SNP g.22999655C>A do gene *DMRT3* por meio de PCR-RFLP, confirmou-se que a marcha batida está relacionada a cavalos de genótipos CC, e a marcha picada a animais com genótipos AA e AC.

No entanto, de forma inédita, foi encontrado um animal de marcha picada com genótipo CC. Isso pode ser explicado primeiramente pela possível influência do treinamento no padrão de movimento e conseqüentemente na alteração do tipo da marcha. Em estudo piloto, o exercício de adestramento “lowering the neck” produziu efeitos diferentes nas marchas batida e picada da raça Mangalarga Marchador. Na marcha picada, o exercício aumentou a lateralidade do andamento aproximando suas características à andadura, o que é indesejado na raça [11]. Dessa forma, cavalos que apresentam fenótipos de marcha não acentuados, ou seja, com padrão de movimento intermediário entre marcha batida e picada, podem, supostamente por meio de condicionamento, alterar o tipo de marcha naturalmente apresentado. Esse fato pode levar a outras implicações importantes, tendo em vista que a classificação de cavalos dessa raça quanto ao tipo de marcha é dada de forma empírica por meio de avaliação visual. Um equívoco inadvertido na classificação do tipo de marcha poderia levar animais com genótipos relacionados à marcha batida a serem categorizados como animais de marcha picada e vice-versa.

Os resultados das análises de estratificação mostraram que indivíduos com padrão de andamento diferentes não são de populações distintas. É na verdade uma população única em que os animais podem nascer com um ou o outro fenótipo de andamento (marcha batida ou marcha picada). Esses resultados estão de acordo com as informações de registro da ABCCMM.

Ao contrário do que ocorre com a marcha picada na raça Mangalarga Marchador, que aparentemente é determinada por variação (g.22999655C>A) em gene único (*DMRT3*), os resultados aqui obtidos por meio de GWAS sugeriram que a marcha batida é controlada por maior número de genes. Assim como SPNs na região do gene *DMRT3* foram significativamente associados com o andamento marcha picada, situação similar seria esperada para o outro fenótipo (isto é, associações significativas de outros marcadores com o andamento marcha batida) se essa característica fosse governada por um gene com grande influência. Entretanto, devido ao pequeno número de animais utilizados nos dois grupos comparados, não foi possível identificar SNPs e regiões genômicas associadas com menores efeitos do

andamento marcha batida. Estudos futuros com maior amostragem de animais e ressequenciamento de pontos de interesse do genoma mostrarão regiões cromossômicas relacionadas a esse tipo de andamento.

Outro achado interessante desse estudo foi que o genótipo GG do SNP BIEC2\_690834 (ECA 26) do Equine SNP70 BeadChip somente foi detectado no grupo de marcha batida, em 100% desses indivíduos. Esse marcador apresentou tendência de significância associada com marcha picada e marcha batida ( $P = 0,054$ ) e foi encontrado muito próximo (somente 71.06 kb considerando a montagem do genoma equino EquCab2.0) ao gene precursor da proteína amiloide beta (A4), cujo produto proteico desempenha papel importante em funções neurológicas e locomotoras [12,13]. Esse foi o único gene encontrado em uma janela de 400 kb ao redor do SNP BIEC2\_690834.

## **5. Conclusão**

Ao contrário do que ocorre com o fenótipo da marcha picada, aparentemente controlada por somente um gene (*DMRT3*), os resultados do presente trabalho mostraram que a marcha batida da raça brasileira Mangalarga Marchador pode ser controlada por mais genes. Devido ao pequeno número de animais utilizados nos dois grupos comparados (marcha batida e marcha picada), SNPs e regiões genômicas associados com efeitos menores no andamento de marcha batida não puderam ser identificados.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) (Processo nº 2015/17155-2 e processo nº 2014/20207-1) pelas bolsas de estudo e auxílio de pesquisa, à Associação Brasileira de Criadores de Mangalarga Marchador (ABCCMM) pelo financiamento da pesquisa e apoio logístico, e a todos os criadores de cavalos que ofereceram seus animais para este estudo.

## 6. Referências

- [1] Casiuch R. O romance da raça: histórias do cavalo Mangalarga Marchador. São Paulo: Empresa das Artes; 1997.
- [2] ABCCMM 2007. Associação Brasileira Dos Criadores Do Cavalo Mangalarga Marchador. Regulamento do serviço de registro genealógico do Cavalo Mangalarga Marchador, Belo Horizonte.
- [3] Procópio AM. 2005. Análise cinemática da locomoção de equinos marchadores (Ph.D.thesis). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- [4] Andersson LS, Larhammar M, Memic F, Wootz H, Schwochow D, Rubin G-J, et al. Mutations in DMRT3 affect locomotion in horses and spinal circuit function in mice. *Nature* 2012;488:642–6.
- [5] Promerová M, Andersson LS, Juras R, Penedo MCT, Reissmann M, Tozaki T, et al. Worldwide frequency distribution of the ‘Gait keeper’ mutation in the DMRT3 gene. *Anim Genet* 2014;45:274–82.
- [6] Patterson L, Staiger EA, Brooks SA. DMRT3 is associated with gait type in Mangalarga Marchador horses, but does not control gait ability. *Anim Genet* 2015;46:213–5.
- [7] Pereira GL, de Matteis R, Regitano LCA, Chardulo LAL, Curi RA. MSTN, CKM and DMRT3 gene variants in different lines of Quarter Horses. *J Equine Vet Sci* 2016;39:33–7.
- [8] Purcell S, Neale B, Todd-Brown K, Thomas L, Ferreira MA, Bender D, et al. PLINK: a tool set for whole-genome association and population based linkage analyses. *Am J Hum Genet* 2007;81:559–75.
- [9] Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J Roy Statist Soc Ser B* 1995;57:289–300.

- [10] Fonseca MG, Ferraz GC, Lage J, Pereira GL, Curi RA. A genome-wide association study reveals differences in the genetic mechanism of control of the two gait patterns of the Brazilian Mangalarga Marchador breed. *J Equine Vet Sci* 2017;53:64–67.
- [11] Barcelos KMC, Weller R, Rezende ASC. Effect of “lowering of the neck” exercises on gait in Mangalarga Marchador horses pilot study. In: Heleski C, Merkies K, editors. 11th International society for equitation science conference. University of British Columbia 2015: Proceedings of the 11th International society for equitation science conference; 2015 Aug 5-8; Vancouver, Canada. p. 57, 2015.
- [12] Kögel D, Deller T, Behl C. Roles of amyloid precursor protein family members in neuroprotection, stress signaling and aging. *Exp Brain Res* 2012;217:471–9.
- [13] Ring S, Weyer SW, Kilian SB, Waldron E, Pietrzik CU, Filippov MA, et al. The secreted b-amyloid precursor protein ectodomain APP<sub>s</sub> is sufficient to rescue the anatomical, behavioral, and electrophysiological abnormalities of APP-deficient mice. *J Neurosci* 2007;27: 7817–26.

## APÉNDICES

## **APÊNDICE A – PADRÃO DA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR**

**Aprovado pelo CDT – Conselho Deliberativo Técnico da ABCCMM em 24/06/98**

**Aprovado pelo MAPA em 05/07/2000**

### **I - APARÊNCIA GERAL:**

1 - Porte médio, ágil, estrutura forte e bem proporcionada, expressão vigorosa e sadia, visualmente leve na aparência, pele fina e lisa, pelos finos, lisos e sedosos, temperamento ativo e dócil.

2 - Altura: Para machos a ideal é de 1,52m, admitindo-se para o registro definitivo a mínima de 1,47m e a máxima de 1,57m.

Para fêmeas a ideal é de 1,46m, admitindo-se para o registro definitivo a mínima de 1,40m e a máxima de 1,54m.

### **II - CABEÇA:**

1 - Forma: triangular, bem delineada, média e harmoniosa, fronte larga e plana;

2 - Perfil: retilíneo na fronte e de retilíneo a sub-côncavo no chanfro;

3 - Olhos: afastados e expressivos, grandes, salientes, escuros e vivos, pálpebras finas e flexíveis;

4 - Orelhas: médias, móveis, paralelas, bem implantadas, dirigidas para cima, de preferência com as pontas ligeiramente voltadas para dentro;

5 - Garganta: larga e bem definida;

6 - Boca: de abertura média, lábios finos, móveis e firmes;

7 - Narinas: grandes, bem abertas e flexíveis;

8 - Ganachas: afastadas e descarnadas.

### **III- EXPRESSÃO E CARACTERIZAÇÃO:**

O que exprime e caracteriza a raça em sua cabeça, aparência geral e conformação.

**IV - PESCOÇO:**

De forma piramidal, leve em sua aparência geral, proporcional, oblíquo, de musculatura forte, apresentando equilíbrio e flexibilidade, com inserções harmoniosas, sendo a do tronco no terço superior do peito, admitindo-se, nos machos, ligeira convexidade na borda dorsal - como expressão de caráter sexual secundário - crinas ralas, finas e sedosas.

**V - TRONCO:**

- 1 - Cernelha: bem definida, longa, proporcionando boa direção à borda dorsal do pescoço;
- 2 - Peito: profundo, largo, musculoso e não saliente;
- 3 - Costelas: longas, arqueadas, possibilitando boa amplitude torácica;
- 4 - Dorso: de comprimento médio, reto, musculado, proporcional, harmoniosamente ligado à cernelha e ao lombo;
- 5 - Lombo: curto, reto, proporcional, harmoniosamente ligado ao dorso e à garupa, coberto por forte massa muscular;
- 6 - Ancas: simétricas, proporcionais e bem musculadas;
- 7 - Garupa: longa, proporcional, musculosa, levemente inclinada, com a tuberosidade sacral pouco saliente e de altura não superior à da cernelha;
- 8 - Cauda: de inserção média, bem implantada, sabugo curto, firme, dirigido para baixo, de preferência com a ponta ligeiramente voltada para cima quando o animal se movimenta. Cerdas finas, ralas e sedosas.

**VI - MEMBROS ANTERIORES:**

- 1 - Espáduas: longas, largas, oblíquas, musculadas, bem implantadas, apresentando amplitude de movimentos;
- 2 - Braços: longos, musculosos, bem articulados e oblíquos;
- 3 - Antebraços: longos, musculosos, bem articulados, retos e verticais;
- 4 - Joelhos: largos, bem articulados e na mesma vertical do antebraço;

- 5 - Canelas: retas, curtas, descarnadas, verticais, com tendões fortes e bem delineados;
- 6 - Boletos: definidos e bem articulados;
- 7 - Quartelas: de comprimento médio, fortes, oblíquas e bem articuladas;
- 8 - Cascos: médios, sólidos, escuros e arredondados.
- 9 - Aprumos: corretos.

### **VII - MEMBROS POSTERIORES:**

- 1 - Coxas: musculosas e bem inseridas;
- 2 - Pernas: fortes, longas, bem articuladas e aprumadas;
- 3 - Jarretes: descarnados, firmes, bem articulados e aprumados;
- 4 - Canelas: retas, curtas, descarnadas, verticais, com tendões fortes e bem delineados;
- 5 - Boletos: definidos e bem articulados;
- 6 - Quartelas: de comprimento médio, fortes, oblíquas e bem articuladas;
- 7 - Cascos: médios, escuros e arredondados;
- 8 - Aprumos: corretos.

### **VIII - AÇÃO:**

1 - Passo: andamento marchado, simétrico, de baixa velocidade, a quatro tempos, com apoio alternado dos bípedes laterais e diagonais, sempre intercalados por tempo de tríplice apoio.

Características ideais: regular, elástico, com ocorrência de sobrepegada; equilibrado, com avanço sempre em diagonal e tempos de apoio dos bípedes diagonais pouco maiores que laterais; suave movimento de báscula com o pescoço; boa flexibilidade de articulações.

2 - Galope: andamento saltado, de velocidade média, assimétrico, a três tempos, cuja sequência de apoios se inicia com um posterior, seguido do bípede diagonal colateral (apoio simultâneo) e se completa com o anterior oposto.

Características ideais: regular, justo, com boa impulsão, equilibrado, com nítido tempo de suspensão, discreto movimento de báscula com o pescoço, boa flexibilidade de articulações.

#### **IX – ANDAMENTO:**

Marcha batida ou picada – é o andamento natural, simétrico, a quatro tempos, com apoios alternados dos bípedes laterais e diagonais, intercalados por momentos de tríplice apoio.

Características ideais: regular, elástico, com ocorrência de sobrepegada ou ultrapegada, equilibrado, com avanço sempre em diagonal e tempos de apoio dos bípedes diagonais maiores que laterais, movimento discreto de anteriores, descrevendo semicírculo visto de perfil, boa flexibilidade de articulações.

**Aprovado pelo CDT – Conselho Deliberativo Técnico da ABCCMM em 11/02/2003**

**Aprovado pelo MAPA em 08/12/2003**

#### **X - PONTOS DE DESCLASSIFICAÇÃO:**

##### **1 - EXPRESSÃO E CARACTERIZAÇÃO:**

Quando se distingue da raça.

##### **2 - DESPIGMENTAÇÃO:**

2.1 - Pele (Albinismo)

2.2 - Íris (Albinóide)

##### **3 - TEMPERAMENTO:**

Vícios considerados graves e transmissíveis.

##### **4 - ORELHAS:**

Mal dirigidas (Acabanadas)

##### **5 - PERFIL DA FRONTE:**

Convexilíneo

##### **6 - PERFIL DO CHANFRO:**

Convexilíneo ou concavilíneo

#### **7 - LÁBIOS:**

Com relaxamento das comissuras (belfo)

#### **8 - ASSIMETRIA DA ARCADA DENTÁRIA:**

(Prognatismo)

#### **9 - PESCOÇO:**

Cangado, invertido (de cervo) e rodado

#### **10 - LINHA DORSO-LOMBAR:**

Cifose (de carpa), lordose (selado) e escoliose (desvio lateral da coluna)

#### **11 - GARUPA:**

Demasiadamente inclinada (derreada), de altura superior à da cernelha, tolerando-se, neste caso, nas fêmeas, diferença de até 2 centímetros.

#### **12 - MEMBROS:**

Taras ósseas congênitas e defeitos graves de aprumos.

#### **13 - APARELHO GENITAL:**

13.1- Anorquidia (ausência congênita dos testículos)

13.2- Monorquidia (roncolho)

13.3- Criptorquidia (1 ou 2 testículos na cavidade abdominal)

13.4- Assimetria testicular acentuada

13.5- Anomalias congênitas do sistema genital feminino

#### **14 - ANDAMENTO:**

14.1- Andadura

14.2- Trote

14.3- Marcha trotada

**XI - PONTOS PARA REGISTRO DEFINITIVO**

<b>ESPECIFICAÇÃO</b>	<b>VALORES</b>
<b>I - APARÊNCIA GERAL</b>	<b>04 pontos</b>
<b>II – CABEÇA</b>	<b>05 pontos</b>
<b>III - CARACTERIZAÇÃO/EXPRESSÃO</b>	<b>10 pontos</b>
<b>IV – PESCOÇO</b>	<b>04 pontos</b>
<b>V – TRONCO</b>	<b>23 pontos</b>
CERNELHA	03 pontos
PEITO	02 pontos
TÓRAX	03 pontos
DORSO-LOMBO	07 pontos
ANCAS	02 pontos
GARUPA	05 pontos
CAUDA	01 ponto
<b>VI - MEMBROS ANTERIORES</b>	<b>24 pontos</b>
ESPÁDUA	04 pontos
ANTEBRAÇO / BRAÇO	04 pontos
JOELHOS	03 pontos
CANELAS	02 pontos
BOLETOS	03 pontos
QUARTELAS	02 pontos
CASCOS	02 pontos
APRUMOS	04 pontos
<b>VII - MEMBROS POSTERIORES</b>	<b>20 pontos</b>
COXA/PERNA	04 pontos
JARRETES	03 pontos
CANELAS	02 pontos
BOLETOS	03 pontos
QUARTELAS	02 pontos
CASCOS	02 pontos
APRUMOS	04 pontos
<b>VIII - AÇÃO</b>	<b>10 pontos</b>
PASSO	05 pontos
GALOPE	05 pontos
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>100 pontos</b>
<b>IX – ANDAMENTO</b>	<b>100 pontos</b>
<b>TOTAL</b>	<b>200 pontos</b>

**OBSERVAÇÕES:**

- 1 - Para fins de Registro Definitivo, o animal deverá obter, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) dos pontos de EXPRESSÃO/CARACTERIZAÇÃO E DE ANDAMENTO.
- 2 - Para o Registro Definitivo, deverá o animal ter obtido, no mínimo:
  - a) Machos - 140 (cento e quarenta) pontos.
  - b) Fêmeas - 120 (cento e vinte) pontos.

## APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DAS MENSURAÇÕES MORFOMÉTRICAS

Adaptado de Santiago, 2013.

### Mensurações com hipômetro

**A. Altura na cernelha:** foi tomada colocando-se as extremidades do bastão no solo, perpendicular ao plano horizontal, e o braço da haste metálica horizontalmente sobre a cernelha, no ponto mais alto desta;

**B. Altura na garupa:** obtida colocando-se o bastão no solo, perpendicular ao plano horizontal, e o braço da haste metálica sobre a parte central e mais alta da região sacra;

**C. Altura do dorso:** distância vertical entre o final da cernelha (processo espinhoso T8) e o solo;

**D. Altura do costado:** distância vertical entre o final da cernelha (processo espinhoso T8) e o esterno;

**E. Comprimento da cabeça:** distância entre a extremidade proximal da cabeça, crista nugal, e a parte medial ou central da arcada incisiva superior (ponta do focinho);

**F. Comprimento do pescoço:** distância entre a extremidade cranial do arco dorsal do atlas e o terço médio da borda cranial da escápula;

**G. Comprimento do dorso-lombo:** distância entre o final da cernelha, processo espinhoso da 8ª vértebra torácica, e a tuberosidade ilíaca;

**H. Comprimento da garupa:** distância que vai do ângulo externo do íleo ou ponta da anca ao ângulo posterior ou externo do ísquio;

**I. Largura do peito:** distância entre as bordas laterais das articulações escapuloumeral direita e esquerda;

**J. Largura da garupa:** distância entre as extremidades laterais das tuberosidades ilíacas direita e esquerda;

**K. Comprimento da espádua:** distância entre a borda dorsal da cartilagem escapular e o centro da articulação escapuloumeral;

**L. Comprimento do corpo:** distância entre a ponta da espádua e a ponta da nádega, tomada fixando-se o braço da haste metálica na articulação escapuloumeral e fazendo-se correr a da outra extremidade do bastão até tocar a ponta da nádega (ângulo posterior ou externo do íleo).

### **Mensurações com fita métrica**

**M. Comprimento do braço:** distância entre as articulações escapuloumeral e umerorradial;

**N. Comprimento do antebraço:** distância entre as articulações umerorradial e radiocarpometacárpica;

**O. Comprimento da canela torácica:** distância entre as articulações radiocarpometacárpica e metacarpofalângica;

**P. Comprimento da quartela torácica:** distância entre a articulação metacarpofalângica e a coroa do casco;

**Q. Comprimento da coxa:** distância entre a articulação coxofemoral e a patela;

**R. Comprimento da perna:** distância entre a patela e a articulação tibiotarsometatársica;

**S. Comprimento da canela pélvica:** distância entre as articulações tibiotarsometatársica e metatarsofalângica;

**T. Comprimento da quartela pélvica:** distância entre a articulação metatarsofalângica e a coroa do casco.