



**FELIPE AMORIM CAETANO DE SOUZA**

**PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS  
MORFOFUNCIONAIS E IDENTIFICAÇÃO DE LINHAGENS  
NA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR**

**LAVRAS – MG  
2021**

**FELIPE AMORIM CAETANO DE SOUZA**

**PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS MORFOFUNCIONAIS E  
IDENTIFICAÇÃO DE LINHAGENS NA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção e Nutrição de Não Ruminantes, para a obtenção do título de doutor.

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup> Rilke Tadeu Fonseca de Freitas  
Orientador

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Sarah Laguna Conceição Meirelles  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Raquel Silva de Moura  
Coorientadores

**LAVRAS-MG  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Souza, Felipe Amorim Caetano de.

Parâmetros genéticos de características morfofuncionais e  
identificação de linhagens na raça Mangalarga Marchador / Felipe  
Amorim Caetano de Souza. - 2021.

94 p.

Orientador(a): Rilke Tadeu Fonseca de Freitas.

Coorientador(a): Sarah Laguna Conceição Meirelles, Raquel  
Silva de Moura.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Parâmetros genéticos. 2. Linhagens. 3. Equinos. I. Freitas,  
Rilke Tadeu Fonseca de. II. Meirelles, Sarah Laguna Conceição. III.  
Moura, Raquel Silva de. IV. Título.

**FELIPE AMORIM CAETANO DE SOUZA**

**PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS MORFOFUNCIONAIS E  
IDENTIFICAÇÃO DE LINHAGENS NA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR**

**GENETIC PARAMETERS OF MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTICS AND  
IDENTIFICATION OF LINES IN THE MANGALARGA MARCHADOR BREED**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção e Nutrição de Não Ruminantes, para a obtenção do título de doutor.

Aprovada em 10 de fevereiro de 2021.

Drº Rilke Tadeu Fonseca de Freitas	UFLA
Drª Sarah Laguna Conceição Meirelles	UFLA
Drº Fábio Luiz Buranelo Toral	UFMG
Drº Alessandro Moreira Procópio	UNI/BH
Drº Joel Augusto Muniz	UFLA

Profº. Drº Rilke Tadeu Fonseca de Freitas  
Orientador

Profª. Drª Sarah Laguna Conceição Meirelles  
Profª. Drª Raquel Silva de Moura  
Coorientadores

**LAVRAS-MG  
2021**

*A Deus por sempre me conduzir para o caminho da paz, perseverança e honestidade.*

**DEDICO**

*A minha família, especialmente meus pais João Marcos e Helenice, meus irmãos Diego e Lucas e meu tio Joaquim (Quincas - in memoriam).*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre fortalecer minha fé, ajudando-me a derrubar as muralhas em minha vida;  
A minha família, especialmente meus avós (*in memoriam*) pelos ensinamentos, confiança e respeito em minhas decisões.

A minha noiva Fabiana pelos conselhos, companheirismo, dedicação e amor.

A Universidade Federal de Lavras, Departamento de Zootecnia e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pelo apoio em toda a Pós-Graduação.

Ao Laboratório de Biotecnologia Animal da Universidade Federal de Viçosa pelo auxílio nas análises da pesquisa, especialmente a prof<sup>a</sup> Renata Veroneze e as alunas Eula Carrara e Renata Rocha.

Ao Instituto de Genética Veterinária da Faculdade de Ciências Veterinárias da Universidade Nacional de La Plata, pela colaboração no desenvolvimento desta pesquisa, especialmente Dra. Silvina Diaz e Dr. Herman Oliveira.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio na execução desta pesquisa científica.

Ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) pelo financiamento desta pesquisa.

A Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador (ABCCMM) pela cessão dos dados e financiamento desta pesquisa.

A todos do Núcleo de Estudos em Equideocultura (NEQUI-UFLA) e Grupo de Estudos em Melhoramento Animal e Biotecnologia (GMAB-UFLA) pelas amizades e ajuda na construção do conhecimento.

Ao prof<sup>o</sup> Rilke Freitas, prof<sup>a</sup> Sarah Meirelles, prof<sup>a</sup> Raquel Moura, prof<sup>o</sup> Alessandro Procópio, Prof<sup>o</sup> Tales Fernandes e prof<sup>o</sup> Joel Muniz pelas orientações, oportunidades concedidas e ensinamentos.

A todos os demais professores e técnicos que contribuíram para minha formação.

A todos os criadores e profissionais que contribuíram com a equipe da UFLA para a pesquisa.

A todos os meus amigos e companheiros de trabalho, especialmente Bruno Júnior e Gabriel Lemos, pelos auxílios nas coletas de dados e execução deste trabalho.

A Marielle Baena e ao Caio Perazza pela especial ajuda nas análises de dados neste trabalho.

E a todas as pessoas que de alguma forma ajudaram em minha formação acadêmica.

**Muito Obrigado!**

*Coragem! E sede fortes. Nada vos atemorize, e não os temais, porque é o senhor, vosso Deus, que marcha à vossa frente: ele não vos deixará nem vos abandonará.*

***Deuteronômio 31, 6***

## RESUMO

A raça Mangalarga Marchador (MM) originária na região sul no estado de Minas Gerais é a maior raça de equinos criados no Brasil. Os objetivos deste estudo foram estimar os efeitos de ambiente e os parâmetros genéticos de características lineares e escores de pontuação (andamento, morfologia e total) obtidos no momento do registro definitivo de animais da raça MM, além de também identificar a existência de possíveis linhagens nesta raça, levando em consideração a frequência alélica observada a partir de informações obtidas por genotipagem em marcadores microssatélites utilizando análise discriminante de componentes principais. Para a obtenção dos parâmetros genéticos avaliaram-se 167.764 animais de 14.252 fazendas entre os anos de 1967 a 2016. As características avaliadas foram alturas: de cernelha (AC) e garupa (AG); comprimentos: de cabeça (Ccab), pescoço (CP), espádua (CE), dorso-lombo (CDL), garupa (CG), corporal (CC); larguras: de cabeça (LC) e garupa (LG); perímetros: torácico (PT) e de canela (PC); pontuações: andamento (And), morfologia (Morf) e total (Ptotal). Os componentes de (co)variância, herdabilidade ( $h^2$ ), correlações genéticas e fenotípicas entre as características lineares foram obtidos pelo método da máxima verossimilhança restrita utilizando o programa AIREMLF90. As características obtidas por escore de pontuação foram avaliadas por análise bayesiana, por meio do programa THRGIBBSF90 e aplicativo POSTGIBBSF90. Para a identificação das linhagens foram utilizados dados de 60.795 equinos da raça MM (24.037 machos e 36.758 fêmeas), distribuídos por todo o território nacional e em todos os estados da federação, genotipados em teste de paternidade por exame de DNA para 13 *loci* microssatélites entre os anos de 2005 a 2016. Para verificação da possível existência de linhagens foi realizada a análise discriminante dos componentes principais (DAPC), por meio do programa R. O critério de informação bayesiana (Bayesian Information Criterion – BIC) foi utilizado para identificar o número ótimo de grupos (K) genéticos. Para escolha do número ideal de componentes principais (PCs) a serem retidos na análise, foi calculado o  $\alpha$ -score por meio do pacote adegenet do programa R. As estimativas de  $h^2$  obtidas foram: AC (0,46), AG (0,46), Ccab (0,20), CP (0,21), CDL (0,27), CG (0,23), CE (0,21) e CC (0,35), LC (0,24), LG (0,25), PT (0,22), PC (0,18), And (0,21), Morf (0,22) e Ptotal (0,26). As correlações genéticas variaram de zero, entre CP e And, a 0,96 entre AC e AG. As correlações fenotípicas variaram de zero, entre AG e Morf, a 0,85 entre And e Morf. O número ideal de grupos foi de 300 e de componentes principais retidos na DAPC foram 35, escolhidos a partir do menor valor de BIC (300) e maior valor de  $\alpha$ -score (35 e 0,8), respectivamente. Não foi observada a existência de dispersão dos valores ao longo do gráfico da DAPC, demonstrando a não formação de grupos ou qualquer distanciamento genético entre animais dentro da raça MM. Os efeitos de sexo, fazenda, ano de nascimento e de registro devem ser incluídos no modelo de análise para estimar parâmetros genéticos para as características morfofuncionais da raça MM. As características de altura de cernelha e garupa devem responder a seleção, resultando em progresso genético em animais MM. A seleção para altura de cernelha deve resultar em mudanças correlacionadas na altura da garupa e no comprimento corporal, assim como a seleção para pontuação total poderá levar a melhoria do mérito genético da morfologia de animais da raça MM. Não foi identificada geneticamente a existência de linhagens na raça MM, considerando dados de microssatélites de animais avaliados a partir do ano de 2005.

**Palavras-chave:** *Equus caballus*. Estrutura da população. Herdabilidade. SSR.

## ABSTRACT

The Mangalarga Marchador (MM) breed originating in the southern region in the state of Minas Gerais is the largest breed of horses raised in Brazil. The objectives of this study were to estimate the effects of the environment and the genetic parameters of linear characteristics and score scores (gait, morphology and total) obtained at the time of the definitive registration of MM animals, as well as to identify the existence of possible lines in this breed, taking into account the allele frequency observed from information obtained by genotyping in microsatellite markers using discriminant analysis of principal components. To obtain the genetic parameters, data from 167,764 animals from 14,252 farms between 1967 and 2016 were evaluated. The characteristics evaluated were heights: withers (HW) and croup (HC); lengths: head (LH), neck (LN), shoulder (LS), back-loin (LBL), croup (LC), body (LB); widths: head (WH) and croup (WC); perimeters: thoracic (PT) and cannon (PC); scores: gait (SG), morphology (Morf) and total (Stotal). The components of (co) variance, heritability ( $h^2$ ), genetic and phenotypic correlations between the linear characteristics were obtained using the restricted maximum likelihood method using the AIREMLF90 program. The characteristics obtained by scoring scores were assessed by Bayesian analysis, using the THRGIBBSF90 program and the POSTGIBBSF90 application. For the identification of the lines, data from 60,795 MM horses (24,037 males and 36,758 females) were used, distributed throughout the national territory and in all states of the federation, genotyped in a paternity test by DNA examination for 13 microsatellite loci between years 2005 to 2016. For verification of the possible existence of lines the Discriminant Analysis of the Principal Components (DAPC) was carried out, using the program R. The Bayesian Information Criterion - BIC was used to identify the number optimal number of genetic (K) groups. To choose the ideal number of main components (PCs) to be retained in the analysis, the  $\alpha$ -score was calculated using the adegenet package of the program R. The  $h^2$  obtained were: HW (0.46); HC (0.46); LH (0.20), LN (0.21), LBL (0.27), LC (0.23), LS (0.21); LB (0.35); WH (0.24); WC (0.25); PT (0.22); PC (0.18); SG (0.21), Morf (0.22) and Stotal (0.26). The genetic correlations ranged from zero, between CP and And, to 0.96 between AC and AG. The phenotypic correlations ranged from zero, between AG and Morf, to 0.85 between And and Morf. The ideal number of groups was 300 and the main components retained in the DAPC were 35, chosen from the lowest BIC value (300) and highest  $\alpha$ -score value (35 and 0.8), respectively. Was not observed the existence of dispersion of values along the DAPC graph, demonstrating the non-formation of groups or any genetic distance between animals within the MM breed. The effects of sex, farm, year of birth and registration must be included in the analysis model to estimate genetic parameters for the morphofunctional characteristics of the MM breed. Withers and croup height characteristics must respond to selection, resulting in genetic progress in MM animals. The selection for withers height should result in correlated changes in the height of the croup and in the body length, as well as the selection for total score may lead to the improvement of the genetic merit of the morphology of animals of the MM breed. The existence of lines in the MM breed was not genetically identified, considering data from microsatellites of animals evaluated from the year 2005.

**Keywords:** *Equus caballus*. Population structure. Heritability. SSR.

## SUMÁRIO

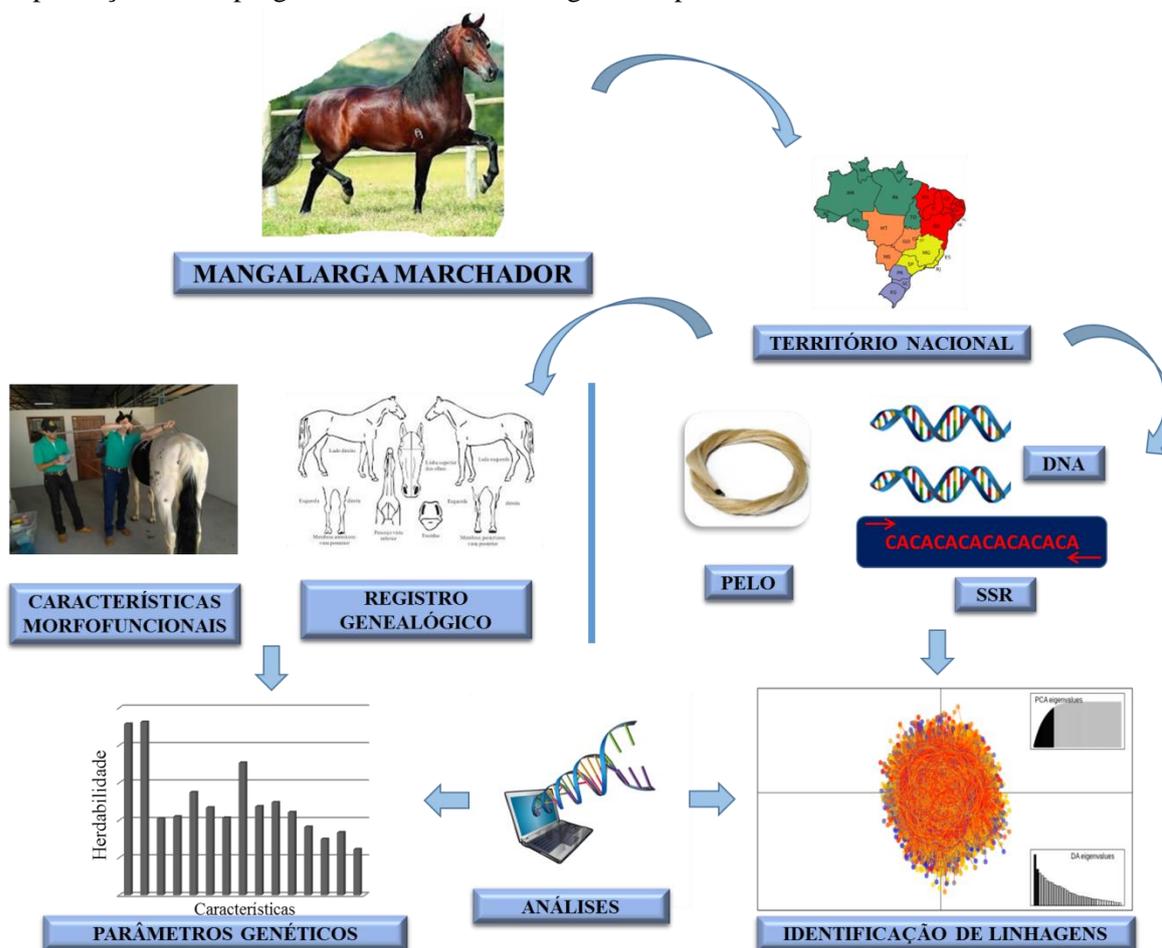
<b>Resumo interpretativo e resumo gráfico .....</b>	<b>11</b>
<b>PRIMEIRA PARTE – REFERÊNCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Importância das características morfofuncionais nos equinos.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Interferência de efeitos não genéticos nas características morfofuncionais.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Estimativas de parâmetros genéticos de características morfofuncionais.....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Linhagens da raça Mangalarga Marchador .....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....</b>	<b>52</b>
<b>ARTIGO I .....</b>	<b>52</b>
<b>PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS MORFOFUNCIONAIS DE EQUINOS DA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR.....</b>	<b>52</b>
<b>ARTIGO II.....</b>	<b>79</b>
<b>IDENTIFICAÇÃO GENÉTICA DE LINHAGENS NA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR.....</b>	<b>79</b>

## Resumo interpretativo e resumo gráfico

### Parâmetros genéticos de características morfofuncionais e identificação de linhagens na raça Mangalarga Marchador.

Elaborado por **Felipe Amorim Caetano de Souza** e orientado por **Rilke Tadeu Fonseca de Freitas**.

A raça Mangalarga Marchador (MM) é considerada patrimônio nacional (Lei nº 12.975/2014), sendo necessário garantir sua preservação e conservação. Neste sentido pesquisas como esta em que são obtidos parâmetros genéticos de características de interesse e é verificada a possível existência de linhagens auxiliam no conhecimento das propriedades genéticas da população na raça MM. Os resultados encontrados a partir deste estudo demonstraram relevantes informações sobre a formação de linhagens na raça MM e quais características morfológicas e de andamento que respondem mais a seleção, podendo ser utilizadas para auxiliar os programas de conservação desta raça, assim como, no estabelecimento de diretrizes para planejamento e implantação de um programa de melhoramento genético para a mesma.



Procedimentos para estimação de parâmetros genéticos de características morfofuncionais e identificação de possíveis linhagens por meio de genotipagem de marcadores moleculares microssatélite (SSR) na raça Mangalarga Marchador.

*Tese de Doutorado em Zootecnia na UFPA, apresentada em 10/02/2021.*

## PRIMEIRA PARTE – REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 1 INTRODUÇÃO

A raça Mangalarga Marchador (MM) originária na região sul no estado de Minas Gerais, possui aproximadamente 645.000 animais registrados, sendo a maior raça de equinos criados no Brasil, o que contribui para o desenvolvimento nacional do agronegócio do cavalo, pois é responsável pela geração de cerca de 40.000 empregos diretos e 200.000 indiretos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DO CAVALO MANGALARGA MARCHADOR - ABCCMM, 2020). Os animais desta raça sempre foram utilizados e valorizados para o trabalho nas propriedades rurais, lazer, caçadas e provas esportivas, como concursos de marcha, visto que, possuem características de qualidade como: comodidade, rusticidade e docilidade, além de seu andamento denominado marcha (ABCCMM, 2020).

A formação da raça Mangalarga Marchador está diretamente relacionada à história do Brasil. A partir da invasão de Napoleão Bonaparte a coroa portuguesa em 1808, a família real foi obrigada a fugir para a colônia brasileira (CASIUCH, 2016). Nesta viagem, comandada pelo rei Dom João VI, vieram em seus navios cavalos da corte portuguesa, animais da raça Puro Sangue Lusitano (PSL), originários da coudelaria de Alter do Chão (ABCCMM, 2020). Acredita-se que um dos animais PSL vindos de Portugal foi doado para Gabriel Francisco Junqueira, importante fazendeiro da época e conhecido como Barão de Alfenas, proprietário da fazenda Campo Alegre em Cruzília, considerada berço da raça (BECK, 1992). Assim, Barão de Alfenas utilizou este cavalo em cruzamentos com suas éguas nativas, cuja origem étnica vinha, assim como o PSL, de cavalos da península Ibérica, germânicos e berberes (Sorraia, Marismeño, Garrano, Bébere ou Barbo) (CASIUCH, 2016). A partir destes acasalamentos originaram animais belos, de temperamento dócil, cômodos, de bom andamento e próprio para montaria, iniciando-se assim a raça Mangalarga Marchador (ABCCMM, 2020).

A partir do patriarca Barão de Alfenas foram se formando outras famílias sul mineiras, que continuaram os trabalhos de criação e seleção de cavalos Mangalarga Marchador, e deste modo começou-se a formação das linhagens desta raça (CASIUCH, 2016). Segundo Beck (1992), todos os fazendeiros selecionavam os animais baseados em

suas preferencias pessoais determinadas por cada família. Assim, sempre preservaram e distinguiram as linhagens de acordo com suas características fenotípicas intrínsecas, que cada família estabelecia em sua seleção, realizando acasalamentos provavelmente na tentativa de buscar maior padronização entre os animais (Costa *et al.* 2005a). Desta maneira para Casiuch (2016) as linhagens da raça Mangalarga Marchador estão divididas em três grupos: linhagens base ou pilares (Favacho, Campo Alegre, Traituba, Narciso, Campo Lindo e Angahy), linhagens de tradição (Abaíba, Aliança, Ara, Bela Cruz, Catuni, F.R., Gironda, Herdade, Itamotinga, Km 47, Passa Tempo, Porto, Tabatinga, Caxambu (Desmembrada em outras duas linhagens que são Caxambuense e Santa Helena) e Água Limpa) e as linhagens extintas (Engenho de Serra, Leme, Juca Carneiro, Criminosos, Silvestre Goiabal).

Como pode ser notado, a maioria das linhagens da raça MM é descrita somente em livros históricos, não existindo base científica que evidencie a existência de todas elas, conforme demonstrado por Costa *et al.* (2005b), que verificaram a existência de somente cinco grupos genéticos distintos na população MM, as linhagens Herdade, Providência, Abaíba, Tabatinga e Angaí. Mas estes estudos foram baseados em informações de pedigree do Stud Book da raça e não em dados genômicos. Neste sentido, Santos *et al.* (2019), também buscaram investigar formação de estruturas familiares na raça MM, principalmente nos dois andamentos existentes na mesma (marcha batida e picada) utilizando genotipagem SNP em larga escala. Mas apesar de encontrarem segregação em grupos na população estudada, não verificaram a existência de linhagens ligadas ao tipo de marcha na raça MM.

A fim de garantir a preservação e verificar a diversidade genética dentro da raça MM, como também quando comparada a outros grupos genéticos formadores ou não da mesma, visto que, esta raça foi considerada patrimônio nacional (Lei nº 12.975/2014), Baena (2019) e Baena *et al.* (2020) realizaram a primeira pré-caraterização genética dos equinos Mangalarga Marchador por meio da genotipagem de SNP em larga escala e microssatélites. Foi verificado por estes autores que as raças brasileiras são pouco definidas, ao contrário das estrangeiras, sendo necessário o monitoramento contínuo da diversidade genética, de modo a garantir uma estruturação genética mais definida desta raça. Assim pesquisas com maiores conjunto de dados genômicos são necessários, de modo a possibilitar resultados mais acurados, conhecer os ancestrais que mais contribuíram geneticamente para raça, compreender o comportamento dos alelos na população e fornecer informações sobre a identificação de possíveis linhagens que realmente existem ou existiram na raça MM e se estas exercem influência sobre ela até dos dias atuais.

Além disso, a estimação de parâmetros genéticos também pode auxiliar na caracterização de grupos genéticos (MOHAMMED, 1997; VALE FILHO *et al.*, 1997). Sendo assim, diante da importância das características morfofuncionais, principalmente na avaliação do exterior dos equinos da raça MM durante os registros genealógicos e nas provas equestres, fazem-se necessários estudos sobre a herdabilidade, correlações genéticas e fenotípicas dessas características, conforme já demonstrado por Maruch (2018), Meira (2010) e Zamborlini *et al.* (1996), visando principalmente à garantia do progresso genético dos equinos desta raça. A partir da estimação destas variáveis consegue-se obter informações sobre a natureza da ação dos genes envolvidos na herança das características e conhecer as propriedades genéticas da população, além de prever respostas diretas e correlacionadas à seleção (FARIA *et al.*, 2007) das características morfológicas e de andamento.

Deste modo os resultados encontrados a partir deste estudo serão uma alternativa para se melhor conhecer as propriedades genéticas da população da raça MM, de modo a auxiliar os programas de conservação desta raça, podendo ser utilizado para estabelecimento de diretrizes para o planejamento e implantação de um programa de melhoramento genético para a mesma, visto que a população da raça MM não está sob programa de melhoramento genético oficial. Assim neste trabalho será apresentada uma revisão literária sobre o tema da pesquisa e artigos científicos (I e II) com objetivos de estimar os parâmetros genéticos de características morfofuncionais e identificar a existência de possíveis de linhagens na raça Mangalarga Marchador, respectivamente.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Importância das características morfofuncionais nos equinos**

Na espécie equina a avaliação morfológica tem grande relevância para escolha de animais para participação em competições esportivas equestres, visto que há relação da morfologia com a locomoção dos animais (CABRAL *et al.*, 2004; SANTIAGO *et al.*, 2016, ZAMBORLINI *et al.*, 1996). O objetivo deste método é a determinação das características mecânicas do corpo, como comprimentos e circunferências de membros, características inerciais como a localização dos centros de gravidade, geometria do aparato locomotor, como articulações, alavancas articulares e comprimento dos segmentos ósseos (LAGE *et al.*, 2009; MENZEL, 2008; PROCÓPIO, 2004). A determinação dos comprimentos e

circunferências do corpo são importantes no contexto da análise de aptidão dos animais, cujo objetivo é a identificação de perfis morfométricos específicos para diferentes modalidades equestres, assim como verificar se os animais estão enquadrados nos padrões exigidos em cada raça para seleção de animais zootecnicamente superiores.

Ao longo do tempo, os equinos têm sido amplamente utilizados pelos homens para diversas atividades, que exigem principalmente força, velocidade, resistência e versatilidade, o que levou a evoluções de diferentes tipos ou biótipos de animais. Como resultado disto, existe uma grande quantidade de raças com características conformacionais próprias que permitem melhores desempenhos em suas funções (HARRIS, 1993, HOLMSTRÖM; BACK, 2013), visto que, a conformação corporal dos equinos é indicador importante para sua função econômica que é baseada no movimento de seus membros. Mas, a boa conformação somente não garante um bom desempenho, pois a locomoção dos mamíferos é coordenada e comandada pelo sistema nervoso central, levando a possibilidades morfofisiológicas e as ações biomecânicas específicas nos diferentes andamentos existentes na espécie equina (NASCIMENTO, 1999). A morfologia dos animais, como, por exemplo, comprimento das regiões corporais, suas proporções e angulações potencializam e otimizam a eficiência dos movimentos, melhorando a qualidade do andamento, mas não somente é o único fator determinante para bons desempenhos (NASCIMENTO, 1999; SANTIAGO, 2013). Assim, influências de outras variáveis como estado nutricional e sanitário, treinamento e habilidades do cavaleiro podem afetar a locomoção e conseqüentemente os resultados das provas equestres (BACK; CLAYTON, 2013; HOLMSTRÖM; BACK, 2013).

As medidas morfológicas geralmente são tomadas diretamente no corpo por palpação de pontos anatômicos e mensuração por meio de equipamentos como hipômetro, artrogoniômetro e fita métricas (BACK; CLAYTON, 2013; FONSECA, 2018). Mas uma das dificuldades de se estudar estas características é o fato destas serem avaliadas de forma subjetiva, baseadas na experiência e expertise de árbitros, técnicos, criadores e profissionais das diferentes raças nacionais e internacionais, que seguem os padrões raciais desenvolvidos por suas associações. Diante disto, diferenças de opiniões sobre a conformação podem existir, principalmente entre os jurados, pois geralmente a análise da conformação é baseada em escore de pontuação, também chamados de sistema de escores lineares, que requerem treinamento dos avaliadores, mas que podem levar a divergências devido à análise relativa da morfofunção do equino (VAN WEEREN; CREVIER-DENOIX, 2006).

Algumas fontes de erro podem existir na avaliação do exterior de equinos ou quando se realiza as mensurações do corpo, e estas devem ser levadas em consideração, pois podem

diminuir a precisão destas medidas. São exemplos destes: a identificação e localização incorreta das bases anatômicas das regiões corporais, mudança na posição/postura do animal no momento da medição e avaliação, erros envolvidos na realização das medições, equipamentos não calibrados e condições subjetivas de avaliação, como escores de pontuação, que se baseiam na experiência e conhecimento do corpo técnico das associações (LAWRENCE; FOWLER, 2002), além de fatores ambientais como: ano, idade à avaliação e sexo que podem ocasionar variações nas medidas corporais dos animais (MISERANI *et al.* 2002). Neste sentido estudos buscando analisar quantitativamente a conformação têm sido conduzidos e métodos computacionais desenvolvidos, principalmente utilizando tecnologias digitais de imagem que permitem a mensuração de um maior número de animais com maior acurácia, mas por vezes o tradicionalismo da avaliação visual e a falta de familiaridade com novos métodos dificulta a análise mais objetiva de características morfofuncionais (BACK & CLAYTON, 2013; HOLMSTRÖM; BACK, 2013).

O corpo dos equinos é dividido em cabeça, pescoço, tronco e membros (CAMARGO; CHIEFFI, 1971; HARRIS, 1993), assim para que se possam selecionar animais para participação em competições esportivas equestres e também para escolha de matrizes e garanhões na reprodução deve-se avaliar separadamente cada uma destas regiões, afim de, identificar características de sua conformação que possuem relação e influenciem a locomoção dos animais (CABRAL *et al.*, 2004; SANTIAGO *et al.*, 2016, ZAMBORLINI *et al.*, 1996).

O comprimento, largura e forma da cabeça conferem expressão racial aos animais, sendo importantes para caracterização racial (BERBARI NETO, 2005; GONÇALVES *et al.*, 2012). O tamanho da cabeça pode influenciar a locomoção dos animais e a qualidade da montaria do cavaleiro. Quando a cabeça tem maior comprimento, há um maior deslocamento do centro de gravidade para frente, o que sobrecarrega os membros torácicos e a mão do cavaleiro, podendo levar o animal a tropeçar com mais facilidade (FONTES, 1954). Já uma cabeça mais curta e proporcional, principalmente quando ligada a um pescoço longo, facilita a condução pelo cavaleiro e a movimentação dos membros torácicos (HOLMSTRÖM; BACK, 2013; NASCIMENTO, 1999; SANTIAGO, 2013;).

A cabeça e o pescoço, reunidos formam o chamado balancim céfalo-cervical, também denominado de contrapeso, que é essencial para o equilíbrio do animal, pois é ele que controla a oscilação do centro de gravidade do tronco, sendo essencial para impulsão do animal durante a locomoção (NASCIMENTO, 1999). Deste modo o comprimento e forma do pescoço também influênciam nas diferentes funções dos equinos, como, por exemplo,

pescoço curto, característica encontrada em animais de tração, que geralmente é acompanhado de espáduas também curtas, resultando em menor deslocamento dos membros anteriores e menor amplitude das passadas (HARRIS, 1993; JONES, 1987). Pescoço demasiadamente comprido pode levar a má distribuição da massa do corpo sobre os membros anteriores, levando a perda de equilíbrio do animal (NASCIMENTO, 1999).

Características do tronco também podem influenciar capacidade atlética dos equinos, onde segundo Fontes (1954) e Thomas (2005) a forma do costado tem influência direta. Quanto mais convexo, ou seja, costelas bem arqueadas, maior o perímetro torácico sendo relacionado à boa capacidade cardiorrespiratória, mas quando o tórax é muito largo pode acarretar afastamento dos membros, prejudicando a coordenação e movimentação dos animais. Para Camargo e Chieffi (1971) a cernelha bem definida, alta, comprida, bem musculada e larga na base conferem encaixe ergométrico à sela, favorecem as ações biomecânicas dos músculos extensores, flexores e eretores do tronco e pescoço, facilita a condição biomecânica do balancim céfalo-cervical, alivia os membros torácicos e favorece o deslocamento do animal, principalmente em animais de sela, como cavalos marchadores.

Animais com cernelhas baixas e curtas tem sua movimentação afetada por uma ação menos eficiente da espádua, além de não dar estabilidade para o cavaleiro, pois a sela se deslocamento para frente (NASCIMENTO, 1999). Além disso, segundo estes autores quando a cernelha é do tipo empastada, ou seja, que não tem boa definição, assim como altura e comprimento, pode estar associada a andamentos com movimentos mais curtos dos membros e menor comodidade, além de trazer dificuldades da sustentação da cabeça pelo ligamento nugal.

A conformação do dorso também se diferencia nos biótipos funcionais dos equinos. Em animais de tração o dorso é de comprimento curto, maior largura e musculado para maior sustentação de peso sobre o corpo (HARRIS, 1993). Em animais de sela o dorso deve ser de comprimento médio, reto e musculado garantindo espaço para encaixe da sela e pleno funcionamento da biomecânica da coluna vertebral (NASCIMENTO, 1999). Dorso mais longo pode conferir maior comprimento dos músculos, resultando em passadas mais amplas durante o cânter e galope, o que é geralmente aceito em raças utilizadas para corrida, cujos andamentos são necessariamente alongados e muito velozes (NASCIMENTO, 1999). Mas dorso excessivamente longo evidencia fraqueza e prejudica o desencadeamento da biomecânica empurrada realizada pela coluna vertebral (CAMARGO; CHIEFFI, 1971; NASCIMENTO, 1999). O lombo deve ser curto independente da raça, pois é susceptível a lesões, por não possuir costelas como suporte e também é fundamental como eixo de

transmissão mecânica das forças de propulsão caudo-cranial geradas pelos membros posteriores (CAMARGO; CHIEFFI, 1971).

A garupa também atua nas diferentes fases da locomoção dos animais, onde quando compridas estão associadas a músculos longos, capazes de amplas contrações, facilitando a propulsão dos membros posteriores, sendo assim desejável em equinos de corrida, salto, adestramento e marcha (SANTIAGO, 2013). Garupas curtas são aceitas em animais de tração, pois o comprimento é compensado pelo grande desenvolvimento muscular (FONTES, 1954; NASCIMENTO, 1999). A maior característica de influência da garupa sobre a locomoção dos equinos e conseqüentemente na aptidão é a sua inclinação. Assim segundo Nascimento (1999) garupa horizontalizada (ângulos entre 12° a 25°) favorecem andamentos velozes, garupa inclinada (ângulos entre 25° a 35°) auxilia na propulsão dos membros posteriores em animais de tração leve, salto e de sela, garupa oblíqua (ângulos entre 35° a 45°) facilita os animais de tração a fazerem força e derreada (ângulos entre 45° e 55°) que é considerada defeito absoluto de conformação, é indesejável em qualquer raça equina, por dificultar o movimento dos posteriores.

Para Jones (1987) os membros torácicos tem papel fundamental no deslocamento dos equinos, principalmente no amortecimento de impacto gerado pelas forças de reação entre o solo e casco. Segundo ele dentre as regiões dos membros anteriores, às espáduas tem influência durante as fases apoio e voo na locomoção, pois se relaciona com as regiões zootécnicas da cernelha, pescoço, tórax e dorso. As espáduas têm como função transformar em velocidade a força propulsora transmitida pelos membros pélvicos (NASCIMENTO, 1999). Assim para Camargo e Chieffi (1971) a inclinação da espádua e seu tamanho determinam a amplitude do movimento, o comprimento da passada e conseqüentemente a melhor absorção do impacto gerado pelo contato do casco com o solo, resultando em maior amortecimento e suavidade durante a locomoção. Correlações positivas têm sido encontradas entre maior inclinação e comprimento da espádua com maior comprimento da passada no passo, além de facilitar também o movimento do membro para frente e para trás na fase de voo no trote (BACK; CLAYTON, 2013). Já espáduas curtas e pouco inclinadas restringem a amplitude do movimento e o comprimento da passada (HARRIS, 1993). Em equinos da raça Mangalarga Marchador estudos verificaram que o ângulo formado entre a espádua e o braço (ângulo escápulo-umeral) foi inversamente correlacionado ao comprimento da passada (FONSECA, 2018) e o maior comprimento da espádua foi associado ao melhor rendimento dos animais (LAGE, 2001).

Os braços assim como as espáduas devem ser longos, musculosos e oblíquos, permitindo movimentos amplos em animais de corrida, salto e sela (FONTES, 1954). Nos equinos de tração o braço é mais curto para oferecer maior base de inserção aos músculos, de modo a auxiliar os exercícios de força e carregamento de peso (NASCIMENTO, 1999). Para Holmstron e Back (2013) maiores comprimento de úmero aumentam o movimento do codilho durante a locomoção, facilitando a flexão e extensão do membro anterior. Segundo estes autores quando o braço é verticalizado e articulado com uma espádua mais oblíqua há um favorecimento da amplitude dos movimentos com menor elevação dos membros, e vice-versa onde um braço mais inclinado e uma espádua menos oblíqua favorecem andamentos menos alongados com maior elevação dos membros, diminuindo o alcance dos membros anteriores e a duração da fase de apoio.

Os antebraços devem ter direção vertical para proporcionar bons aprumos (CAMARGO; CHIEFFI, 1971). Além disso, devem ser longos para que as passadas sejam amplas, com menor frequência e o andamento do equino tenha maior rendimento e conseqüentemente menor fadiga do animal. Quando os antebraços tem menor comprimento, as passadas serão curtas e haverá maior elevação dos membros, aumentado à frequência da passada (NASCIMENTO, 1999). Os joelhos assim como os antebraços devem estar posicionados verticalmente, além de serem amplos para facilitarem a função de tendões que auxiliarão os movimentos de flexão e extensão dos membros anteriores (JONES, 1987). Qualquer desvio nesta região pode implicar em distribuição irregular do peso pelas superfícies ósseas, prejudicando articulações, ligamentos e tendões (CAMARGO; CHIEFFI, 1971).

Os membros pélvicos constituem o “motor” dos equinos, sendo essenciais para geração de forças mecânicas propulsoras nos diferentes exercícios de força e velocidade, e devido a isto, o entendimento de sua conformação se faz necessário (HOLMSTRON; BACK, 2013). Deste modo, o comprimento e a inclinação da coxa têm sido considerados como as características mais importantes dos membros posteriores, pois esta região zootécnica quando bem conformada auxilia no equilíbrio corporal, principalmente quando há deslocamento do centro de gravidade e conseqüentemente do peso corporal para o membro posterior durante os andamentos (HOLMSTRÖM; BACK, 2013). Além disso, coxas compridas e oblíquas geram maiores comprimento da passada (NASCIMENTO, 1999; SANTIAGO, 2013). Quando curtas fazem com que o jarrete fique posicionado mais alto, dificultando passadas amplas e engajamento dos posteriores. Em animais de velocidade a coxas tendem a ser mais verticalizadas, facilitando os galopes, do que animais de

adestramento e sela que precisam, por vezes, fazer mais força e ficam em posição corporal de reunião, sendo necessária que a coxa seja mais oblíqua (NASCIMENTO, 1999). Estes mesmos autores acima relatam a existência de relação entre a inclinação da garupa e da coxa, onde quanto mais oblíqua for à garupa, mais oblíqua será a coxa, o que pode ser evidenciado em animais da raça Puro Sangue Inglês em que coxas menos inclinadas estão associadas às garupas horizontais.

Pernas fortes, longas e bem aprumadas são desejáveis na maioria das raças de modo a permitir passadas amplas (CAMARGO; CHIEFFI, 1971). Em cavalos de tração a perna apresenta comprimento menor, mas deve ser musculada e aprumada. Estas pernas curtas resultam em limitação da velocidade (BACK; CLAYTON, 2013). A inclinação da perna está diretamente relacionada com a inclinação da garupa e inversamente proporcional à abertura do ângulo do jarrete (CAMARGO; CHIEFFI, 1971). Assim perna mais vertical é favorável à velocidade e mais oblíqua à força (NASCIMENTO, 1999).

Os jarretes também devem ser considerados na avaliação da conformação dos membros, pois são constituídos de articulações complexas que auxiliam no mecanismo da locomoção equina, visto que, estão relacionados à propulsão dos membros posteriores (NASCIMENTO, 1999). Os jarretes devem ser retilíneos e aprumados, pois desvios de aprumos localizados neles resultam em uma movimentação oscilatória do membro posterior, dificultando a progressão linear desejada. Para Jones (1987) os jarretes em posição mais alta ou baixa no membro prejudicam o equilíbrio do posterior dos animais.

A canela dos animais deve ser curta, pois assim como o jarrete é uma região com pouca deposição de tecido adiposo, muscular e conectivo, o que a torna susceptível a lesões (CAMARGO; CHIEFFI, 1971). Segundo Berbari Neto (2005) o perímetro da canela está relacionado com a qualidade óssea do esqueleto e capacidade de carga a ser suportada pelo animal.

Os boletos dos equinos são uma superfície articular ampla que absorvem melhor o impacto sofrido pelo membro durante a locomoção (BACK; CLAYTON, 2013). Quando os boletos apresentam ângulos mais agudos ou fechados em relação ao solo, os animais tornam-se achinelados e os tendões são forçados, levando ao desgaste da articulação. Já quando os ângulos são mais abertos em relação ao solo os equinos são denominados fincados, diminuindo a ação de amortecimento pela articulação metacarpo-falangeana, e o impacto vertical no cavaleiro é aumentado, prejudicando a comodidade dos animais (CAMARGO; CHIEFFI, 1971).

As quartelas com o seu comprimento e sua direção tem ação direta também no amortecimento dos impactos durante a locomoção, influenciando a qualidade dos andamentos (CAMARGO; CHIEFFI, 1971). Os ângulos das quartelas em relação ao solo determinam a maciez do andamento, onde quartelas longas e oblíquas dispersam mais eficientemente as forças de reação do solo geradas durante a locomoção. Porém, quando excessivamente longas, os animais também podem ficar achinelados, sobrecarregando tendões e ligamentos. Já quartelas muito curtas e verticais tem menor habilidade para absorver os impactos, resultando em andamentos mais ásperos (JONES, 1987).

Dentre os sistemas e aparelhos que formam a estrutura corpórea dos equinos, o aparelho locomotor é um dos de grande importância, por ser responsável pela sustentação e locomoção dos animais. Neste sentido os aprumos também são considerados na avaliação morfofuncionais dos equinos, porque refletem o equilíbrio harmônico da distribuição de forças e do peso para cada um dos membros, podendo ser definidos como a exata direção dos membros do animal em relação ao solo, de modo que o peso corporal seja regularmente distribuído sobre cada um desses membros, e esta distribuição proporcione estabilidade na condução da sustentação e propulsão, permitindo a realização de movimentos com perfeição e segurança (HARRIS, 1993). Desta maneira a existência de desvios totais e parciais de aprumos nos animais, como: equinos com joelhos cambaios, transcurvos, ajoelhados, acampados, sobre si, dentre outros defeitos comprometem a locomoção dos animais, principalmente na configuração do arco do voo durante o avanço na progressão linear dos membros e conseqüentemente a diminuição da eficiência do movimento (BACK; CLAYTON, 2013). Também podem gerar fadiga principalmente das articulações (NASCIMENTO, 1999) e diminuição do potencial atlético para desempenho em provas equestres e por isso devem também ser considerados na avaliação da conformação dos animais.

Diante disto, os trabalhos descritos na literatura demonstram a importância da análise da conformação do corpo dos equinos associada a sua função tornando-se indispensável na avaliação de animais, quer seja nos registros genealógicos ou em julgamentos das raças, na seleção destes para acasalamentos, assim como na compra e venda dos mesmos. Muitas vezes os equinos tem seu valor determinado pela sua condição morfológica, principalmente relacionada aos seus membros, pois é um fator de sanidade que determinará o formato e o desgaste dos cascos, a distribuição do peso e a movimentação do animal, além de interferir na vida útil de um cavalo. Por isso todas as características mencionadas anteriormente são consideradas pelos técnicos das associações no momento do registro definitivo, sejam

mensurando-as ou atribuindo escores de pontuações com diferentes pesos, de acordo com a importância das características e o objetivo de seleção de cada raça. Mas vale ressaltar que há necessidade de estudos não somente a nível fenotípico, mas também genético, para verificação do comportamento destas características ao longo das gerações e se estas respondem à seleção.

## **2.2 Interferência de efeitos não genéticos nas características morfofuncionais**

As fontes de informação relacionadas aos efeitos de condições ambientais, como por exemplo, nutrição, condições ambientais estressantes, idade da mãe, rebanho, fazenda, raça, sexo, clima, ano de nascimento, localização geográfica, treinamento e outros (CAMPOS *et al.*, 2007; GONÇALVES *et al.*, 2012; LAWRENCE; FOWLER, 2002; MISERANI *et al.*, 2002; MOTA *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 1999, 2007), podem influenciar nas medidas corporais e devem sempre ser consideradas para estimação do mérito genético dos animais. Pois as observações fenotípicas são resultados de fatores genéticos e ambientais e, assim, somente parte delas reflete o potencial genético de um indivíduo. Para que se tenha melhoria das próximas gerações de animais, devem-se selecionar os pais com os valores genéticos mais altos, sendo necessário conhecer os efeitos ambientais que influenciam muito ou pouco nas características morfofuncionais (FARIA *et al.*, 2007). Condições ambientais mais variáveis reduzem a herdabilidade das características, enquanto condições uniformes aumentam (FARIA *et al.*, 2007).

Apesar de escassos os estudos relacionados aos efeitos das variáveis ambientais inerentes a vida produtiva dos equinos, na raça Mangalarga Marchador (MM), Zamborlini *et al.* (1996) contribuíram para a identificação dos fatores ambientais que influenciam a conformação da raça. Utilizaram os dados obtidos dos livros dos registros genealógicos da Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador (ABCCMM) referentes a registros realizados de 1967 a 1992, perfazendo um total inicial de 35.599 animais. Por meio destes dados foram estimados os efeitos de ambiente das medidas corporais realizadas no registro definitivo, sendo elas: alturas de cernelha e garupa, largura de cabeça e ancas, comprimentos de cabeça, pescoço, dorso, garupa, espádua e corpo, perímetro torácico e de canela. Os autores encontraram efeitos do sexo, ano e idade à época da avaliação que foram altamente significativos em todas as medidas corporais, exceto para o comprimento da cabeça, quando o efeito da idade à avaliação não mostrou significância.

Comparando machos e fêmeas MM, observaram diferenças entre os dois sexos para medidas corporais, onde os machos possuíam altura na cernelha e na garupa, comprimento da cabeça, pescoço, corpo e garupa maiores que as fêmeas. Eles concluíram que a avaliação e a seleção de animais baseadas nas medidas de conformação devem ser precedidas de correções para estes fatores, levando em consideração essas fontes de variação na estimação do mérito genético aditivo dos animais.

Cabral *et al.* (2004), avaliando o crescimento de 98 potros Mangalarga Marchador, do nascimento aos 12 meses de idade, observaram que as características morfológicas avaliadas não foram influenciadas pelos efeitos de sexo, rebanho, região, manejo nutricional, mês e ano de nascimento. Já Pinto *et al.* (2005) também verificando diferenças morfológicas entre potros e potras MM, do nascimento aos 12 meses de idade, observaram que as medidas relevantes para evidenciar o dimorfismo sexual aos doze meses de idade foram os perímetros do joelho e do tórax, as alturas na cernelha e na garupa, e os ângulos úmero-rádio e coxal-solo. Para estes autores os potros foram maiores que as potras nas medidas lineares, que variam em função do sexo, exceto a medida de perímetro torácico, que apresentou valor médio maior nas potras em decorrência, provavelmente, da seleção nas fêmeas para maior profundidade do corpo e arqueamento de costelas.

Em outros estudos também com a raça Mangalarga Marchador, Santiago *et. al* (2013, 2014, 2016) verificaram se existiam diferenças morfométricas entre os sexo. Foram analisadas 12 medidas lineares que são realizadas no momento do registro definitivo dos equinos, por técnicos credenciados pela ABCCMM. Houve diferença ao longo do período avaliado em todas as medidas lineares dos equinos machos e fêmeas. Os autores também realizaram a comparação do rebanho da raça com os campeões nacionais da mesma, incluindo nas mensurações dos animais, não somente medidas lineares, mas também as mensurações angulares. Foram determinadas as medidas de altura na cernelha e na garupa, comprimento da cabeça, pescoço, dorso-lombo, garupa, espádua e corpo, largura da cabeça e garupa, perímetro torácico e da canela, assim como os ângulos escápulo-solo, escápulo-umeral, úmero-radial, metacarpo-falangeano, pelve-solo, pelve-femoral, fêmur-tíbio-patelar e tíbio-tarso-metatarsiano. Os autores verificaram nestas medidas diferenças entre as éguas campeãs e cavalos campeões em relação ao rebanho da raça, mas embora os equinos campeões MM apresentem maiores medidas lineares, eles foram proporcionalmente semelhantes à população da raça.

Em pesquisas inéditas de crescimento a partir de modelagem estatísticas na raça Mangalarga Marchador, Souza *et al.* (2019) verificou a existência de diferenças no

desenvolvimento das medidas lineares altura de cernelha, comprimento corporal, perímetro torácico e de canela em 218 equinos desta raça. Verificou que os machos possuíam maiores valores adultos em todas as variáveis morfológicas estudadas, mas as fêmeas apresentaram maior precocidade, exceto para perímetro de canela. Segundo o autor esta precocidade encontrada pode estar relacionada a características de dimorfismo sexual, pois mesmo que as fêmeas sejam menores do que os machos, estas atingem a idade adulta com maior rapidez. Outros fatores também podem estar influenciando as diferenças de desenvolvimento entre os sexos, como as condições de manejo que por muitas vezes são diferenciadas entre os animais. Na raça Mangalarga Marchador, há uma tendência nos haras em se fazer uma dieta diferenciada entre machos e fêmeas, o que pode alterar as medidas morfométricas destes animais (SOUZA *et al.*, 2017).

Rezende *et al.* (2000) avaliaram como programas nutricionais diferentes poderiam interferir no desenvolvimento de potros e verificaram a interferência sobre as medidas morfométricas. Testaram dois programas nutricionais potros da raça Mangalarga Marchador, suplementando com concentrado dos dois aos 12 meses de idade e da desmama (6 meses) aos 12 meses de idade. Mensalmente os animais eram pesados e mensurados quanto à altura de cernelha e perímetro torácico. Os resultados demonstraram que os potros que recebiam concentrado desde os dois meses de idade tiveram maior altura e perímetro na época da desmama, e maior perímetro aos 12 meses de idade, demonstrando influência da nutrição sobre o desenvolvimento corporal dos animais.

Outros estudos buscando entender sobre a influência das condições ambientais foram conduzidos em outras raças brasileira como Costa *et al.* (1998) que verificaram se os efeitos de pai, sexo, ano e mês de registro, região de origem e idade ao registro influenciaram nas medidas lineares na raça Pônei Brasileiro. Observaram que as fêmeas se mostraram maiores que os machos. Além disso, o ano de registro foi associado à tendência para redução do porte do animal. Segundo os autores o efeito do sexo é importante de ser averiguado, pois interfere praticamente em todas as características morfológicas dos animais domésticos e reflete principalmente diferenças de manejo e caracteres sexuais secundários.

Campos *et al.* (2007) também avaliaram as influências ambientais na altura e no peso dos cavalos criados pelo Exército Brasileiro. Foram analisados dados de 4.860 animais das raças Hanoveriana, Brasileiro de Hipismo, Puro-Sangue Inglês e SRD (Sem Raça Definida). Foram considerados efeitos de ano e mês de nascimento, idade da mãe, sexo do potro, ano e mês de mensuração e grupo genético. O mês de nascimento não afetou a altura ou o peso na população, exceto nos animais mais velhos. O sexo influenciou a altura, mas não afetou o

peso dos animais de 21 meses e dos adultos e a raça influenciou a altura somente nos animais de 18 a 21 meses de idade e nos adultos.

Berberi Neto (2005) estudando animais da raça Campolina verificaram que as maiores fontes de variação das características morfológicas foram idade à mensuração, ano de registro, sexo, técnico de registro e o estado em que o animal nasceu. Segundo seu estudo os garanhões possuíam altura de cernelha maior do que as éguas, tanto em valores absolutos quanto proporcionalmente, sendo possível observar dimorfismo sexual, onde as fêmeas eram mais baixas, mais pesadas, proporcionalmente mais profundas e mais próximas do chão que os machos. Pimentel *et al.* (2017) também verificou esta hipótese de efeito do sexo sobre altura de cernelha, perímetro de tórax e canela de 75 potros e potras da raça Crioula. Das três características avaliadas, apenas o perímetro de canela diferiu, sendo maior nos machos que em fêmeas.

Em estudos na raça Pantaneira, Miserani *et al.* (2002) avaliaram os efeitos de sexo, sub-região, idade de registro e ano de nascimento sobre 15 medidas lineares (alturas: cernelha, dorso, garupa, costados; comprimentos: cabeça, pescoço, dorso-lombar, garupa, espádua, corpo; larguras: cabeça, peito, ancas; perímetros: do tórax e da canela). Na análise dos resultados, observou-se que os efeitos do sexo, da sub-região, da idade do registro e do ano de nascimento foram causas importantes de variações em todas as medidas lineares. O sexo teve efeito significativo em todas as características estudadas, exceto altura do costado, comprimento do pescoço e garupa, e largura da cabeça e da anca. Os machos apresentaram maior altura de cernelha (141,67) cm do que as fêmeas (136,87 cm), demonstrando dimorfismo sexual na espécie. O ano de registro somente não afetou a altura da cernelha e do dorso. A idade de registro não afetou significativamente as alturas, exceto do costado, e perímetros, bem como comprimento da cabeça e da garupa. Das 15 características estudadas somente para comprimento do corpo e perímetro da canela não houve diferenças entre as sub-regiões estudadas.

Segundo Lawrence e Fowler (2002) influências sobre as medidas morfométricas podem vir também das condições ambientais do útero durante a formação fetal dos animais. Estudos têm revelado que modificações neste local, por exemplo, devido ao estado nutricional da fêmea levam a alterações epigenéticas, ocorrendo uma programação do feto, que pode ter efeito direto sobre características morfológicas dos animais durante a vida produtiva adulta (BARKER; CLARK, 1997; SUGDENE; HOLNESS, 2002). Neste sentido os animais possuem um padrão de desenvolvimento conformacional pré-determinado geneticamente, mas ao longo dos anos, estas características morfofuncionais se alteram não

somente devido aos fatores genéticos, como também aos fatores ambientais (LAWRENCE; FOWLER, 2002).

### **2.3 Estimativas de parâmetros genéticos de características morfofuncionais.**

Diante da importância das características morfofuncionais, estudos têm sido conduzidos, visando principalmente à obtenção de parâmetros genéticos destas características de interesse para garantia do progresso genético dos equinos. Neste sentido, a estimação dos parâmetros genéticos constitui uma ferramenta necessária para determinar quais características respondem mais à seleção e se estas possuem correlações genéticas para que possamos saber se ao selecionar uma haverá resposta à seleção em outra. A partir da estimação destas variáveis consegue-se obter informações sobre a natureza da ação dos genes envolvidos na herança das características e assim conhecer as propriedades genéticas da população, além de prever respostas diretas e correlacionadas à seleção das características morfológicas e de andamento (FARIA *et al.*, 2007). Dentre os principais parâmetros genéticos, pode-se citar a herdabilidade e as correlações genéticas.

A herdabilidade ( $h^2$ ) é a fração da variância fenotípica que é devida à variância genética aditiva (FALCONER; MACKAY, 1996). Deste modo quando a  $h^2$  de uma característica é alta, os fenótipos são bons indicadores dos valores genéticos e assim a seleção fenotípica será efetiva (FARIA *et al.*, 2007). Já a correlação genética é a medida do grau da associação entre duas variáveis, que pode ser positiva ou negativa (FARIA *et al.*, 2007). As correlações genéticas são consequências principalmente dos efeitos da pleiotropia, em que duas características distintas podem ser determinadas pelos mesmos genes, ou ligação gênica, pela ação de genes localizados no mesmo cromossomo (FALCONER; MACKAY, 1996).

Pioneiros em pesquisas sobre parâmetros genéticos em raças brasileiras, Costa *et al.* (1998) realizaram seus estudos na raça pônei Brasileira. Os dados foram obtidos a partir do arquivo zootécnico da Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Pônei, relativos aos registros de animais no livro aberto (sem genealogia conhecida) e livro fechado (com genealogia conhecida), desde a fundação da associação, em 1971, até o início de 1996. As características avaliadas por estes autores foram: alturas de cernelha e garupa; comprimentos da cabeça, pescoço, dorso-lombo, garupa, do corpo; larguras da cabeça, peito e garupa. Análises com uma e duas características foram efetuadas utilizando-se o modelo animal e a

metodologia da máxima verossimilhança restrita livre de derivadas. As médias das estimativas de herdabilidade ( $h^2$ ) nas análises com duas características variaram de 0,22, para comprimento do pescoço, a 0,53, para altura na cernelha e na garupa. As estimativas de  $h^2$  encontradas a partir de modelos com uma característica variaram de 0,24 a 0,52, sendo que a menor estimativa foi para o comprimento do pescoço e a maior para altura na cernelha e na garupa. As características altura na cernelha e na garupa apresentaram as mesmas estimativas de  $h^2$  (0,52). As correlações genéticas neste estudo variaram de 0,47, entre o comprimento do dorso-lombo e da garupa, a 0,99, entre a altura na cernelha e na garupa. Segundo os autores as estimativas de  $h^2$  encontradas (moderadas a altas), evidenciam a possibilidade de resposta direta à seleção massal, principalmente para as características altura na cernelha e na garupa, comprimento da cabeça e do corpo e largura da garupa. Já as correlações genéticas evidenciam que as duas características de altura (garupa e cernelha) e de comprimento (pescoço e corpo) são governadas pelos mesmos genes. Assim a seleção para redução de uma das características de fácil e mais precisa mensuração, como altura na cernelha, levaria a reduções concomitantes em outras medidas lineares dos animais.

Miserani *et al.* (2002) também buscaram estudar os parâmetros genéticos de medidas biométricas tomadas em outra raça Brasileira, os cavalos pantaneiros, no momento do registro definitivo. Este trabalho fez as primeiras estimativas de herdabilidades e correlações genéticas nestes animais utilizando dados de 2035 animais, registrados no livro de registro genealógico Associação Brasileiras de Criadores do Cavallo Pantaneiro (ABCCP), no período de 1972 a 2000. Quinze medidas lineares (alturas na cernelha, dorso, garupa, costado; Comprimentos da cabeça, do pescoço, dorso/lombo, garupa, espádua; Larguras da cabeça, peito, ancas; Perímetros de canela e torácico) foram analisados utilizando o programa MTDFREML para estimar os parâmetros genéticos. As estimativas de  $h^2$  encontradas pelos pesquisadores foram de moderadas a altas, variando de 0,27 a 0,83, o que significa que as características em estudo podem responder à seleção. A maioria das correlações genéticas foi alta, exceto para correlações com o perímetro torácico, significando que a seleção para uma medida morfométrica deve resultar em um aumento nas outras características de interesse. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza (2016) ao estudar animais da raça Crioula participantes das competições de Freio de Ouro, mas além de verificarem as  $h^2$  de 0,42; 0,39 e 0,55 para altura de cernelha, perímetro torácico e de canela, respectivamente, também estimaram  $h^2$  de 0,37 para o andamento dos animais.

Já Zamborlini *et al.* (1996) realizaram pesquisas visando não somente a obtenção de parâmetros genéticos, mas também a realização de uma caracterização racial, baseados em

dados biométricos de conformação da raça Mangalarga Marchador. Os dados foram obtidos dos Livros dos Registros Genealógicos mantidos pela ABCCMM (Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador) referentes a registros realizados de 1967 a 1992, por técnicos credenciados da associação, perfazendo um total inicial de 35.599 animais. Foram utilizados dados das 12 medidas morfométricas realizadas no momento do registro definitivo dos animais, sendo estas: Alturas de cernelha e garupa, larguras da cabeça e das ancas, perímetros torácico e de canela, comprimentos de cabeça, pescoço, dorso, garupa, espádua e corpo. As estimativas de herdabilidade das características de conformação encontrada pelos autores apresentaram valores de moderados (0,40 para o perímetro torácico) a altos (0,80 para o comprimento do dorso). As correlações genéticas entre características variaram de 0,09 (perímetro da canela e o comprimento do dorso) a 0,96 (alturas na cernelha e na garupa). De todas as 66 correlações possíveis, 63 (95,5%) apresentaram sinal positivo e, destas, 40 (60,6%) apresentaram valor igual ou superior a 0,30. Os pesquisadores verificaram que a maioria das características morfológicas avaliadas respondeu à seleção, indicando que as mesmas são importantes por estarem intrinsecamente relacionadas à sua funcionalidade e aptidão da raça.

A raça Mangalarga Marchador é maior raça nacional em número de animais, com cerca de 600.000 equinos registrados na ABCCMM, mas mesmo diante disso são escassas as pesquisas relacionadas aos parâmetros genéticos nesta raça. Estudos relacionados à mesma foram conduzidos por Meira (2010) que estimou os parâmetros genéticos, das seguintes características morfofuncionais: pontuação da marcha, altura na garupa, comprimento do dorso, comprimento da garupa, largura da cabeça e perímetro da canela. Um diferencial evidenciado deste trabalho quando comparado ao de Zamborlini *et al.* (1996), nesta mesma raça, foi a avaliação do andamento por meio de escores de pontuação, haja visto, que o andamento também é considerado na seleção dos animais. As  $h^2$  para altura da garupa, comprimento do dorso, comprimento da garupa, largura da cabeça e perímetro de canela foram respectivamente 0,70; 0,94; 0,72; 0,81 e 0,68. A maior correlação genética encontrada foi entre perímetro da canela e comprimento da garupa (0,40). Foi observada correlação negativa entre largura da cabeça e comprimento da garupa e próxima de zero entre comprimento do dorso e comprimento da garupa. Já as correlações entre a pontuação da marcha e as medidas lineares foram baixas. Quanto às correlações fenotípicas, o maior valor foi entre a pontuação da marcha e o comprimento da garupa (0,15). As estimativas de  $h^2$  apresentaram valores altos, indicando maior variabilidade genética aditiva e a existência de um potencial de melhoramento da morfologia e do andamento da raça. No entanto, o

autor relata que a estimativa de  $h^2$  alta da pontuação da marcha (0,66), deve ser vista com cautela, pois vem de uma avaliação qualitativa, ou seja, subjetiva dos animais.

Geralmente os estudos relacionados à estimação de parâmetros genéticos levam em consideração somente dados morfológicos, visto que, há maior quantidade destes nos registros dos Studbooks das associações de raça. Além disso, as medidas de regiões corporais são teoricamente mais acuradas, pois os técnicos utilizam equipamentos para mensurá-las, quando comparada as notas subjetivas que são atribuídas à qualidade dos andamentos dos animais. Diante deste fato, Prado *et al.* (2008a) estimaram as correlações entre qualidade do deslocamento e características de conformação em equinos da raça Mangalarga, visando entender o grau de associação entre estas características e se estas são herdáveis ou não. Mas diferentemente de outras pesquisas analisaram seis características de conformação avaliadas subjetivamente (escores de pontuação) com o animal estático (cabeça, pescoço, tronco, espádua, garupa e membros), e uma relacionada à qualidade do deslocamento, examinada com o cavalo em movimento. As  $h^2$  encontradas foram: cabeça (0,24), pescoço (0,31), tronco (0,23), espáduas (0,22), garupa (0,24), membros (0,29), deslocamento (0,26). Estas estimativas de  $h^2$  para todos os caracteres foram de média magnitude, indicando à possibilidade de resposta a seleção baseada no desempenho fenotípico dos animais. As correlações genéticas entre deslocamento e caracteres de conformação foram todas positivas e de moderada intensidade (média igual a 0,55), demonstrando que animais geneticamente superiores para deslocamento tendem a ser geneticamente superiores também para as características de conformação, e que a seleção aplicada a cada um dos aspectos conformacionais poderia levar a mudanças genéticas favoráveis no deslocamento. Mas segundo os autores faz-se necessário a atribuição da mesma escala de pontuação para todos os caracteres desejados e posteriormente ponderá-los de acordo com sua importância, além de utilizar de metodologias de menor subjetividade.

Outros trabalhos também foram conduzidos buscando estimar parâmetros genéticos na raça Mangalarga. Os mesmos autores citados anteriormente, Prado *et al.* (2008b) avaliaram características biométricas que foram mensuradas e registradas na raça Mangalarga, para uma melhor determinação de estratégias de avaliação para programas de seleção. As herdabilidades médias encontradas variaram de 0,41 (perímetro de canela) a 0,70 (perímetro torácico) e as correlações genéticas e fenotípicas foram todas positivas e variaram de 0,28 a 0,47 e de 0,19 a 0,35 respectivamente. Oliveira *et al.* (2004) estimaram a  $h^2$  para altura da cernelha dos equinos desta mesma raça encontrando valores de 0,63, que segundo os autores é considerada alta para esta característica, onde a seleção para a mesma

poder auxiliar na escolha e na concessão de registro definitivo de animais nesta raça. Mota *et al.* (2005) também estudaram a raça Mangalarga, mas com intuito de calcular as estimativas de  $h^2$  para pontuação total dos animais no momento do registro definitivo que é de 100 pontos. Estes observaram que as  $h^2$  variaram de 0,34 a 0,50, com média e moda iguais a 0,42, e coeficiente de variação de 4,98%. Os pesquisadores concluíram que embora as estimativas de  $h^2$  para a pontuação total possibilitem a promoção de melhoria genética na raça e conseqüentemente facilite o seu uso na seleção dos animais pelos criadores e profissionais da raça, a aplicabilidade desta avaliação por escore de pontuação é limitada, devido a sua subjetividade.

Na avaliação de caracteres morfofuncionais no momento do registro definitivo são atribuídas notas a conformação, componentes corporais e às suas proporções, levando-se em consideração o comprimento, a profundidade, o balanço, a harmonia e a simetria de desenvolvimento de todas as regiões do animal de acordo com a observação visual dos técnicos (ZAMBORLINI *et al.*, 1996). As características de andamento, também são avaliadas, principalmente por meio de escores de pontuação de acordo com a observação zootécnica de profissionais previamente treinados e capacitados pelas associações de raças. Mas são escassos os trabalhos que buscam avaliar simultaneamente a morfologia e andamento, principalmente em raças brasileiras.

Neste sentido, Bussiman *et al.* (2018) objetivaram estimar os parâmetros genéticos (herdabilidades e correlações genéticas) de características morfológicas e funcionais em cavalos da raça Campolina, que assim como a raça Mangalarga Marchador possui o andamento denominado marcha, de complexidade quanto a sua avaliação. Os conjuntos de dados utilizados neste estudo foram cedido pela ABCCampolina (Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Campolina), sendo 43.159 registros para 16 características morfológica e uma funcional. Os dados genealógicos foram compostos por 107.951 animais nascidos entre 1960 e 2014, constituindo um total de 14 gerações. Os fenótipos registrados foram: alturas de cernelha, dorso, garupa, costado; larguras da cabeça, do peito, das ancas; comprimentos da cabeça, da perna, do pescoço, do dorso-lombo, da garupa, da espádua, do corpo; perímetros torácico e de canela. Os animais Campolinas foram categorizados de acordo com o padrão de andamento diferindo na proporção lateral ou diagonal de apoio, sendo classificados de acordo com o andamento marcha batida ou marcha picada. Cada animal foi avaliado visualmente de forma qualitativa no momento do registro definitivo e recebeu pontuação de acordo com os seguintes quesitos: dissociação, estilo, regularidade, desenvolvimento e conforto. Para cada quesito deste avaliado os animais receberam um

escore que foi somado obtendo-se um escore funcional final, que foi utilizado na pesquisa. As médias para a  $h^2$  foram de moderada a alta para as características relacionadas à altura de cernelha, de dorso, garupa e costado, variando de 0,19 para costado a 0,43 para de cernelha e de dorso. Características relacionadas ao comprimento apresentaram  $h^2$  que variam de 0,15 (comprimento da garupa) a 0,34 (comprimento do corpo) e para comprimento da espádua, pescoço e cabeça foram: 0,16, 0,20 e 0,30, respectivamente. As características relacionadas à largura e ao perímetro tiveram  $h^2$  baixa a moderada, variando de 0,11 (largura da cabeça e perímetro de canela) para 0,21 para largura das ancas. A  $h^2$  encontrada para o escore de andamento foi baixa, com valor de 0,07. As correlações genéticas entre todas as características estudadas variaram de -0,44 a 0,98. As correlações genéticas mais fortes foram observadas entre características morfológicas, principalmente nas alturas, variando de 0,74 a 0,98. Segundo os autores os resultados relatados no presente estudo sugerem a existência de variância genética aditiva subjacente às características investigadas, indicando a possibilidade de implementação de um programa de seleção. Mas caracteres morfológicos foram associados negativamente ao escore total de andamentos, sendo necessário o desenvolvimento de novas estratégias de fenotipagem para andamentos.

Como pode ser observado os valores de estimativa de herdabilidades das características morfofuncionais nas raças brasileiras possuem variação (TABELA 1), isto pode ser explicado devido ao fato de existir grande heterogeneidade nos rebanhos das raças haja visto, que a maioria delas está em formação e cuja seleção teve início a menos de 200 anos (SANTIAGO *et al.*, 2016). Além disso, a avaliação morfofuncional é aplicada de forma subjetiva nas raças brasileiras tanto a realizada no momento do registro definitivo como também a aplicada nas exposições oficiais das raças, principalmente Mangalarga Marchador e Campolina e por isso tem sido objeto de estudo por vários pesquisadores, que buscam entender principalmente o relacionamento entre as características morfológicas e do andamento.

Tabela 1 - Estimativas de herdabilidade para características morfofuncionais em raças brasileiras.

Características Morfofuncionais	Raças Nacionais					
	Mangalarga Marchador <sup>a</sup>	Campolina <sup>b</sup>	Pantaneira <sup>c</sup>	Pônei Brasileira <sup>d</sup>	Mangalarga <sup>e</sup>	Crioula <sup>f</sup>
Altura de Cernelha	0,49	0,43	0,61	0,52	0,68	0,42
Altura de Garupa	0,48	0,43	0,52	0,52	-	-
Altura do Dorso	-	0,41	0,67	-	-	-
Altura do Costado	-	-	0,50	-	-	-
Comprimento da Cabeça	0,60	0,30	0,55	0,45	-	-
Comprimento do Pescoço	0,56	0,20	0,38	0,24	-	-
Comprimento Dorso-lombo	0,80	0,23	0,61	0,34	-	-
Comprimento da Garupa	0,61	0,15	0,68	0,33	-	-
Comprimento da Espádua	0,78	0,16	0,69	-	-	-
Comprimento do Corpo	0,52	0,34	0,72	0,43	-	-
Largura da Cabeça	0,52	0,11	0,27	0,33	-	-
Largura do Peito	-	0,16	0,51	0,28	-	-
Largura da Garupa	0,52	0,21	0,59	0,41	-	-
Perímetro Torácico	0,40	0,17	0,83	-	0,74	0,39
Perímetro de Canela	0,43	0,11	0,53	-	0,27	0,55
Escores de Andamento	0,66 <sup>g</sup>	0,07	-	-	0,27 <sup>h</sup>	0,37

Legenda: <sup>a</sup> = Zamborlini et al. (1996), <sup>b</sup> = Bussiman et al. (2018), <sup>c</sup> = Miserani et al. (2002), <sup>d</sup> = Costa et al. (1998), <sup>e</sup> = Prado et al. (2008a e 2008b), <sup>f</sup> = Souza (2016), <sup>g</sup> = Meira (2010) e <sup>h</sup> = Mota et al. (2006).

Fonte: Do autor (2020)

Assim, estudos conduzidos por Santos *et al.* (2018) verificaram se o critério de concurso de exposições adotado as raças Campolina e Mangalarga Marchador têm sido bem sucedidos nos últimos anos, ou seja, se as gerações subsequentes têm a morfologia recomendada pelo padrão da raça e se está associada à marcha de alta qualidade. Estes autores encontraram baixa porcentagem de correlação entre as classificações de morfologia e marcha para Mangalarga Marchador (19%) e Campolina (12%), o que pode estar intrinsecamente relacionados aos critérios adotados julgamento morfológico e de andamento

desses animais. Segundo os autores um dos motivos dessa baixa correlação entre as características é a metodologia empregada pelos juízes ao avaliar os animais, que além de atribuem uma pontuação a cada região do corpo, analisam também questões relacionadas à caracterização racial dos animais. Segundo eles, por exemplo, na raça Campolina, mais de 40% da pontuação é atribuída a regiões do corpo e características morfológicas que dificilmente impactam na marcha, como forma da cabeça e o perfil, orelhas, fronte, mandíbula, olhos, dentre outras características. Estes fatores relacionados às metodologias qualitativas de avaliação de morfologia e andamento nas raças fazem com que os parâmetros genéticos fiquem comprometidos quanto a sua aplicabilidade, além de promover dificuldades no planejamento de programas de melhoramento genético na espécie equina.

Pesquisadores de outras raças equinas também tem se preocupado em analisar simultaneamente características morfológicas e de andamento, visto que, a forma do corpo dos equinos prediz sobre sua função (NASCIMENTO, 1999). Neste sentido, Vicente *et al.* (2014) fizeram a primeira avaliação da variabilidade genética existente e sua relação com a morfologia e funcionalidade da raça Puro Sangue Lusitano. Para isso, estimaram os parâmetros genéticos para características morfológicas, andamentos, desempenho em adestramento e equitação de trabalho. As características avaliadas foram: altura na cernelha, cabeça e pescoço, espádua e cernelha, peito e tórax, dorso e lombo, garupa, membros, impressão geral e andamento. Juízes treinados foram os responsáveis por dar notas às características avaliadas subjetivamente. Os dados morfológicos originais incluíram 18.892 animais no período de 1967–2009. Características funcionais também foram avaliadas como: avaliação de adestramento e maneabilidade na equitação de trabalho e adestramento clássico. As  $h^2$  encontradas para as características foram: altura na cernelha (0,61), cabeça e pescoço (0,18), espádua e cernelha (0,13), peito e tórax (0,12), dorso e lombo (0,16), garupa (0,15), membros (0,07), impressão geral (0,14), andamento (0,17) e escore final (0,18). A estimativa  $h^2$  foi semelhante para o julgamento de adestramento de equitação de trabalho e para adestramento clássico (0,32), e a repetibilidade estimada não diferiu muito para as avaliações equestres (0,67 e 0,60, respectivamente). Para a avaliação de maneabilidade, no entanto, a  $h^2$  estimada foi menor (0,18), principalmente devido à grande variância fenotípica para essa característica. As correlações fenotípicas entre o escore final e os escores parciais das demais características foram positivas e altas, variando de 0,56 para espádua e cernelha a 0,80 para impressão geral. Para altura na cernelha, houve correlação genética moderada (0,40) com desempenho em adestramento clássico, mas as correlações genéticas com os ensaios de equitação de trabalho foram muito pequenas (0,06 e 0,10).

Neste estudo, com a exceção da altura na cernelha, todas as características morfológicas tiveram fortes correlações genéticas com o julgamento de adestramento de equitação de trabalho (entre 0,36 e 0,80). As correlações genéticas estimadas entre morfologia/andamentos e características funcionais indicaram segundo os autores que há uma relação mais forte entre as características morfológicas e o desempenho na avaliação de adestramento de equitação de trabalho quando em comparação com o desempenho no julgamento de maneabilidade ou adestramento clássico. Segundo eles em geral, não há um antagonismo entre a conformação e desempenho, mas a natureza do sistema de classificação atual (escores subjetivos) utilizado para avaliar a morfologia e os andamentos dos cavalos Lusitanos podem levar ao aumento da variabilidade ambiental, dado as dificuldades inerentes ao julgamento de um indivíduo, mesmo os juízes sendo treinados e experientes. Resultados semelhantes foram observados por Carolino *et al.* (2011) na raça Garrana, importante formadora da raça Lusitana, com a finalidade de também de permitir uma seleção mais objetiva e eficaz dos futuros reprodutores.

Diante disso, como a qualidade das avaliações genéticas depende largamente da exatidão da informação colhida, Sánchez *et al.* (2013) buscaram obter dados principalmente relacionados a andamento a fim de estudar os parâmetros genéticos para as características lineares de conformação em animais da raça Puro Sangue Espanhol. Além disso, também verificaram se a qualidade da informação obtida pelos avaliadores estava adequada para a avaliação genética desta raça. A base de dados utilizada incluiu um total de 4158 registros entre 2008 e 2011, em 51 eventos oficiais da raça (47,1% machos e 52,9% fêmeas). Um total de 31 diferentes características foram avaliadas. A avaliação foi realizada por 12 técnicos, usando uma planilha de pontuação. A informação de pedigree para avaliação genética foi retirada do livro oficial da raça e os parâmetros genéticos (herdabilidade e correlação genética) foram estimados. A avaliação da sistemática utilizada pelos avaliadores foi realizada utilizando os parâmetros de repetibilidade (probabilidade de conceder a mesma classificação para o mesmo atributo e o mesmo cavalo em duas avaliações do mesmo avaliador) e reprodutibilidade (probabilidade de que dois avaliadores tenham produzido a mesma avaliação para a mesma característica e o mesmo cavalo). As  $h^2$  variaram de baixo a moderado, como por exemplo: de 0,06 (ângulo de espádua); 0,35 (comprimento da cabeça); 0,08 (ângulo frontal do joelho); 0,14 (junção cabeça-pescoço); 0,01 (ângulo da espádua); 0,04 (ângulo lateral do jarrete); 0,30 (perímetro de canela); 0,15 (garupa); 0,17 (comprimento da garupa); 0,20 (harmonia) e 0,17 (qualidade da raça). As características mais precisamente correlacionadas do ponto de vista genético foram comprimento da garupa

e perímetro de canela (com correlação genética de 0,70) e qualidade e harmonia da raça (0,91 e 0,92, respectivamente). Em geral, os coeficientes de variação foram elevados neste estudo, onde um total de 41,9% das características analisadas produziram coeficientes de variação entre 10% e 20%, 38,7% entre 20% e 40% e 19,4% acima de 30%. As estimativas da capacidade de repetição dos avaliadores variaram entre 0,61 e 1,00. As 31 características analisadas também mostraram um alto valor de reprodutibilidade ( $\geq 0,90$ ). Estas avaliações mostraram que o procedimento de pontuação nesta raça foi adequado. No entanto, foi notado pelos autores que as características lineares com maiores coeficientes de variação produziram os menores valores de reprodutibilidade, o que tornou altamente recomendável a harmonização da definição das características para evitar diferenças de interpretação entre avaliadores. Desta forma, os resultados sugerem que os avaliadores devem ser treinados por meio de cursos regulares de atualização, para assegurar a informação fenotípica apropriada e garantir a qualidade da avaliação genética dos animais.

A avaliação da conformação difere entre Stud Books das diversas associações de raça nos diferentes países, pois objetivos de seleção pelos criadores e profissionais são diferentes de acordo com aptidão dos animais, além das diferenças genéticas que podem existir entre as populações, que juntamente com fatores ambientais levam a diferentes padrões de conformação da espécie. O peso que os criadores devem colocar na conformação depende em parte da melhoria genética esperada, que por sua vez depende da capacidade de transmissão dessa característica à sua progênie, ou seja, a herdabilidade da característica de interesse (FALCONER; MACKAY, 1996).

Deste modo, Schroderus *et al.* (2010) estimaram parâmetros para medidas de conformação e pontuações em potros Finnhorse e Standardbred para avaliar a utilidade do potro em resultados na seleção para melhor conformação. Os dados utilizados foram de 54% potros de Finnhorse e 55% de potros Standardbred. Os potros foram divididos em classes de idade (Finnhorse – 1, 2 e 3 anos de idade e Standardbred 1 e 2 anos de idade). As características estudadas incluíram medidas de altura na cernelha e na garupa, tipo, conformação corporal, aprumos, cascos e movimentos ao passo e no trote. Uma equipe de juízes deu uma pontuação conjunta para cada característica. Estimativas de  $h^2$  foram altas para características medidas (altura de cernelha e de garupa (0,88 e 0,90)) e tipo (0,47) em ambas as raças. Já para cascos e membros foram baixas (0,06 e 0,24) e para os movimentos variaram de 0,08 a 0,18. Estimativas de  $h^2$  para movimentos diferiram com tipos de andamento e raças, sendo para movimento no trote maior que ao passo em ambas as raças. As maiores correlações genéticas foram encontradas entre altura na cernelha e tipo e as

menores entre tipo e movimentos ao passo, nas duas raças. Segundo os autores, as estimativas de  $h^2$  para características de movimento foram mais baixas devido a grande variação existente no comportamento e treinamento dos animais, especialmente nos potros. Em geral, as correlações genéticas devem ter sido afetadas pelas notas dos juízes, assim uma opção seria dividir avaliação em itens menores, mas devido ao grande número de animais que são avaliados, segundo os mesmos torna-se difícil a aplicação prática.

Como pode ser notado, diante da diversidade dos trabalhos encontrados na literatura, os parâmetros genéticos vem sendo estudados não somente em raças originalmente brasileiras, mas como também em várias raças estrangeiras, visto que há uma busca por parte dos pesquisadores em otimizar os programas de seleção e desenvolver estratégias de melhoramento genético de maior aplicabilidade na espécie equina. Assim, Druml *et al.* (2008) objetivaram descrever o estado atual do melhoramento genético dos cavalos austríacos de tração Noriker em termos de morfologia, pois a seleção nesta raça é quase exclusivamente em características de conformação. Foram calculados os parâmetros genéticos, das estruturas morfológicas da raça para mostrar os efeitos causados pela atual seleção. Um total de 497 indivíduos (105 garanhões e 392 éguas) foram medidos por uma única pessoa. 31 medidas lineares e angulares foram tomadas e seis índices corporais foram calculados. As análises também incluíram outro conjunto de dados compreendendo características de conformação de 2376 cavalos (avaliações de cabeça, pescoço, tipo, tronco, membros anteriores e posteriores, correção do andamento e qualidade de movimento) rotineiramente pontuados por comissões aos três anos de idade dos animais, ao entrar no Stud Book da raça. Para estas características foram dadas pontuação de 0 a 10, com exceção da pontuação total, que foi a soma de todas as pontuações individuais que varia de 1 a 100. Segundo os autores neste sistema de pontuação a importância de andamentos é de apenas 20%, assim morfologia tem um alto impacto para os criadores desta raça. As estimativas de herdabilidade encontradas foram consideradas de baixa a média, onde variaram de zero para altura do dorso a  $0,67 \pm 0,02$  para altura na cernelha. A  $h^2$  das características de conformação foram de  $0,08 \pm 0,02$  para os membros anteriores e  $0,37 \pm 0,03$  para o tipo. Segundo os autores as  $h^2$  para características morfológicas e do andamento foram baixas devido ao sistema de pontuação utilizado na avaliação dos animais, que segundo eles não é baseado em uma escala biológica.

Estudos conduzidos por Vostrý *et al.* (2011) buscaram estudar detalhadamente 22 características morfofuncionais em cavalos checos, subdivididas em 5 grupos, sendo estas: 1- caracteres abrangentes: tipo, formato do corpo e nobreza; 2- antemão: comprimento do

pescoço, forma do pescoço, comprimento da cernelha e espádua; 3- tronco: comprimento da linha superior, forma da linha superior, comprimento do lombo, forma do lombo, largura do corpo, comprimento da garupa, inclinação da garupa, forma da garupa; 4- membros: aprumos dos membros posteriores, quartela e casco; 5- movimento: comprimento do passo, comprimento do trote. Algumas medidas corporais também foram incluídas na análise: altura da cernelha, perímetro torácico e de canela. Os autores relataram valores mais altos de coeficiente de  $h^2$  foram determinados para as características das medidas de conformação corporal, como altura de cernelha e perímetro de canela (0,55 para ambas as características), sendo as demais de baixa a moderada  $h^2$ . Segundo eles isso ilustra que as características de mensurações não são passíveis de transformação para escala descritiva, como as notas atribuídas aos demais quesitos avaliados e assim se reduz a influência do impacto ambiental e consequentemente as estimativas de herdabilidades são maiores.

Se a herdabilidade para a característica de interesse é alta significa que o valor fenotípico é um bom indicador do valor genético do animal (FALCONER; MACKAY, 1996). Assim com intuito de verificar se as características fenotípicas podem ser herdáveis vários estudos tem buscado avaliar medidas de desempenho dos equinos, como Medeiros (2014) que estimou os parâmetros genéticos para medidas de desempenho esportivo na modalidade de salto de cavalos da raça Brasileiro de Hipismo, buscando características de salto que possam ser avaliadas precocemente e que apresentem correlações genéticas com a funcionalidade da raça. Verificou-se que a atribuição de uma única nota para salto se mostrou altamente herdável, mas as avaliações subjetivas do passo e trote apresentaram correlações genéticas, fenotípicas e ambientais com classificação no evento e pontuação final, próximas de zero. Já Pereira *et al.* (2014) com o mesmo objetivo de avaliar a influência morfométrica sobre o desempenho de animais, estimaram, por meio de inferência Bayesiana, as co-variâncias e parâmetros genéticos de características morfométricas em equinos de corrida da raça Quarto de Milha. Segundo os autores os parâmetros genéticos estimados indicaram que as características morfométricas apresentam variabilidade genética na raça Quarto de Milha, podendo responder à seleção individual e assim serem incluídas em programas de melhoramento genético.

Quando se fala em correlações entre as características o conhecimento da direção (positiva ou negativa) e da magnitude de tais correlações é fundamental para os programas de melhoramento genético. Além disso, a correlação genética é o parâmetro que permite prever como um caráter deverá comportar em consequência da seleção de parâmetros obtidos para outro caráter (FALCONER; MACKAY, 1996). Desde modo, Rustin *et al.*

(2009) buscaram estimar parâmetros (herdabilidades e correlações genéticas) para característica de tipo linear e andamento na população de cavalos Belga e assim desenvolver um sistema avaliação genética. As herdabilidade e correlações genéticas foram calculadas de 34 características sendo: a mensuração da altura na cernelha e 33 características (17 referem-se ao tipo, 10 a membros e cascos e seis a andamentos, pontuadas com escores entre -20 e 20). As  $h^2$  variaram de 0,15 a 0,55 com uma média de 0,32. Estes resultados mostraram que muitas características lineares foram moderadamente hereditárias. As maiores correlações genéticas, de 0,88 a 0,98, foram encontrados entre o comprimento da passada, flexibilidade e impulsão dentro do passo e trote. Correlações positivas altas também foram observadas entre passo e trote. Os andamentos foram altamente correlacionados com a altura na cernelha e o formato do corpo. O comprimento da passada no trote também foi moderadamente correlacionado com o comprimento do dorso. Os parâmetros genéticos obtidos neste estudo indicaram que a seleção é viável nestes animais, mas pode ser melhorada por meio da formação de avaliadores visando à uniformidade da coleta de dados.

Embora existam trabalhos estimando parâmetros genéticos na espécie equina, visando melhorias genéticas nas raças, percebe-se um número reduzido quando comparados a outras espécies. Este fato demonstra principalmente uma limitação por parte dos pesquisadores e dos profissionais atuantes na área de equideocultura em estabelecer objetivos de seleção claros e direcionados, visto que o produto econômico destes animais é o movimento e que apesar do desenvolvimento de metodologias objetivas para avaliação dos andamentos a partir do século XXI, tem-se dificuldade de aplicação destas nas práticas no registro definitivo e na avaliação dos animais em competições. Mas apesar disto, a aplicação do melhoramento genético na espécie equina, grandemente reduzido pelo longo intervalo de geração, tem alcançado perspectivas futuras por meio dos avanços biotecnológicos, que nos últimos anos possibilitaram o sequenciamento do genoma equino (EquCab2.0) em 2007, consequentemente a genotipagem por marcadores microssatélites e por milhares de SNPs (polimorfismo de único nucleotídeo). Este último permite o desenvolvimento de estudos de associação genômica ampla (GWAS), em que as características de interesse (morfológicas e de andamento) podem ser associadas a regiões do genoma equino.

## 2.4 Linhagens da raça Mangalarga Marchador

Segundo vários historiadores e pesquisadores, como Bortoni (1991), Casiuch (1997 e 2016), existem linhagens na raça Mangalarga Marchador, sendo estas denominadas pilares ou base da raça, que surgiram por volta do início do século XIX. Estas são baseadas nas linhagens masculinas que estão reunidas em apenas seis genearcas, sendo estes denominados: Fortuna, Joia da Chamusca, Sublime, Gregório, Telegrama e Rosilho (ou Abismo) que foram responsáveis pelo estabelecimento e expansão da raça Mangalarga e Mangalarga Marchador nos séculos XIX e XX, visto que ambas as raças tiveram a mesma origem no Sul de Minas Gerais.

Para os autores estes reprodutores se tornaram “chefes de linhagens”, pois possuíam características próprias, indo de encontro com a definição de linhagem, que são grupos de indivíduos de uma mesma raça que possuem características em comum. Desta maneira estes caracteres quando reunidos, proporcionavam um conjunto de qualidades inerentes à formação de uma raça nacional. Estes patriarcas descenderam de diferentes reprodutores, que pertenceram à coudelaria Real de Cachoeira do Campo, localizada próxima a Ouro Preto – MG, onde coexistiram animais das raças Alter, Puro Sangue inglês, Árabe, além outras raças de animais provenientes da França, Alemanha e do Cabo da Boa Esperança na África do Sul, que juntamente com as éguas nativas ou denominadas “crioulas” da região sul de Minas Gerais, que eram descendente de raças da Península Ibérica (Bérbere, Marismenho, Garrana, Sorraia), influenciaram na formação das linhagens da raça Mangalarga Marchador.

Dentre estes seis genearcas influentes na raça Mangalarga Marchador, três grandes troncos consolidaram significativamente a base raça, sendo estes os animais Fortuna e seus descendentes, Telegrama e seus descendentes e o Abismo (ou Rosilho) e seus descendentes, sendo este último o de maior influência na raça ao longo do século XX, cujo nascimento se deu por volta de 1870 na antiga Fazenda Narciso em Cruzília – MG (CASIUCH, 2016). Este reprodutor gerou um cavalo chamado The Money que foi pai de outro influente cavalo desta raça que foi Bellini JB, de onde descende a maioria dos representantes da raça Mangalarga Marchador, que por meio de acasalamentos endogâmicos, principalmente para fixação de características de andamento, contribuíram para a formação das diversas linhagens possivelmente existentes na raça.

Casiuch (2016) dividiu as linhagens da raça Mangalarga Marchador em três grupos, o primeiro grupo é chamado de “linhagens base”, o segundo de “linhagens de tradição” e o

terceiro de “linhagens extintas”. As linhagens base, também chamadas de pilares, tiveram origem nos criatórios onde se iniciou o trabalho de seleção dos animais da raça e estas fazendas foram consideradas “núcleos de criação”, sendo elas: Favacho, Campo Alegre, Traituba, Narciso, Campo Lindo e Angahy. É interessante ressaltar que a formação das famílias sul mineiras, especialmente a Junqueira a partir de seu patriarca Gabriel Francisco Junqueira (Barão de Alfenas), influenciou diretamente a formação das linhagens da raça. Isto é descrito por Beck (1992), onde segundo ele, todos os “Junqueiras” eram fazendeiros e selecionavam os animais baseados nas caçadas a veados, na lida no campo e para o lazer, dando início à seleção de animais de acordo com as preferências pessoais determinadas por cada família na região do sul de Minas Gerais. Sendo assim, sempre preservaram e distinguiram as linhagens de acordo com suas características intrínsecas que cada família estabelecia em sua seleção de animais, realizando acasalamentos provavelmente na tentativa de buscar maior padronização com animais considerados mais próximos do ideal (Costa *et al.* 2005a).

As linhagens de tradição foram aquelas que tiveram sua origem em animais oriundos das linhagens base submetidos à seleção artificial visando à fixação de características como o andamento, a docilidade, a conformação e a caracterização racial, e serviram como fornecedoras de reprodutores para novas criações que surgiram posteriormente (Casiuch, 2016). São consideradas como linhagens de tradição as que tiveram origem nas fazendas: Abaíba, Aliança, Ara, Bela Cruz, Catuni, F.R., Gironda, Herdade, Itamotinga, Km 47, Passa Tempo, Porto, Tabatinga, Caxambu (Desmembrada em outras duas linhagens que são Caxambuense e Santa Helena) e Água Limpa. Já as linhagens extintas são aquelas que contribuíram por um período para a raça Mangalarga Marchador, mas os criadores pararam de criar ao longo dos anos e estas acabaram desaparecendo, são elas: Engenho de Serra, Leme, Juca Carneiro, Criminosos, Silvestre Goiabal. Ainda segundo Casiuch (2016) as linhagens Engenho de Serra, Criminosos e Silvestre Goiabal estão em trabalho de recuperação por familiares que descendem dos proprietários destes criatórios.

Na raça Mangalarga Marchador, Costa *et al.* (2005b) buscaram agrupar os animais geneticamente semelhantes, baseado em análises de componentes principais do pedigree do Stud Book da raça, a fim de verificar a existência de uma possível subdivisão da raça em famílias ou grupos genéticos distintos, ou seja, linhagens. Eles encontraram a existência de cinco grupos genéticos distintos na população, associados aos descendentes: Herdade Alteza e Seta Caxias, Providência Itu e Tabatinga Predileto, Abaíba Marengo, Tabatinga Cossaco e

Angaí Miron, nessa ordem de importância, sendo o principal animal considerado formador da raça a égua Herdade Alteza.

Apesar das descrições históricas da raça Mangalarga Marchador evidenciarem na maioria das vezes somente os garanhões de maior importância na mesma, segundo Casiuch (2016) um exemplo de seleção com base em linhas maternas é a linhagem Herdade, como exemplo da égua Herdade Alteza, também encontrada por Costa *et al.* (2005b) como a maior contribuinte para a raça. Estes autores verificaram que os animais podem ser subdivididos em grupos familiares, mas mesmo diante das diversas linhagens que são citadas na literatura, somente foram encontrados como representantes da raça Mangalarga Marchador as linhagens Herdade, Providência, Abaíba, Tabatinga e Angaí. Estudos conduzidos por Santos *et al.* (2019), também buscaram investigar formação de estruturas familiares na raça MM, por meio de genotipagem em SNP, na tentativa de identificar linhagens de acordo com o tipo de andamento dos animais. Mas apesar de encontrarem formação de grupos na população estudada, não verificaram a existência de linhagens ligadas ao tipo de marcha (batida e picada) nesta raça. Neste sentido, pesquisas são necessárias com maiores conjunto de dados, juntamente com utilização de informações genômicas dos animais visando resultados mais acurados que possibilitem a verificação de quais linhagens realmente existem ou existiram na raça Mangalarga Marchador e se exercem influência sobre ela até dos dias atuais.

Marchiori *et al.* (2019) buscaram aplicar as metodologias de linkage disequilibrium (LD) e análise de componentes principais para separar geneticamente a linhagens de corrida e de trabalho da raça Quarto de Milha. Segundo os autores o desequilíbrio de ligação (LD) é definido como uma associação ou ligação originada da proximidade física existente entre dois locos que podem revelar informações sobre o histórico da estrutura populacional e desenvolvimento de raças. Assim o LD médio será calculado para cada cromossomo e para o genoma como um todo, e para os intervalos de diferentes distâncias físicas entre os marcadores. Para esta análise são necessários que a amostragem total do grupo genético seja estabelecida de forma a representar a diversidade da população. Para tanto estes pesquisadores realizaram os cálculos do desequilíbrio de ligação pela estatística  $r^2$  para todos os pares de SNP em cada cromossomo utilizando o programa estatístico PLINK 1.9 (PURCELL *et al.*, 2007). Estes autores encontraram diferenças genéticas entre as linhagens de trabalho e de corrida de cavalos da raça Quarto de Milha, pois subestruturas da formação de famílias que descendem de diferentes reprodutores foram encontradas, demonstrando que

estas análises de LD juntamente com os dados de pedigree podem levar a determinação das linhagens.

Outra maneira de verificar as linhagens existentes é utilizar a análise de componentes principais para agrupar animais geneticamente semelhantes e avaliar subdivisões dentro a raça, como proposto no estudo de Costa *et al.* (2005b) e Santos *et al.* (2019) na raça Mangalarga Marchador, Marchiori *et al.* (2019) no Quarto de Milha e Miserani *et al.* (2002) na raça Pantaneira. Mas os cálculos dos componentes principais podem ser realizados utilizando não somente informações de pedigree contidas no Stud Book da raça, como também dados fenotípicos ou por meio marcadores moleculares, como SNP's e microssatélites que trazem maior confiabilidade, pois os dados obtidos provêm do genoma equino.

Para análise de componentes principais (*Principal Component Analysis – PCA*) e assim verificar a estratificação dentro da raça, utiliza-se o programa PLINK 1.9. Os resultados gerados podem ser analisados de maneira facilitada por gráficos gerados pelo pacote “ggplot2” no Software R. Para o maior entendimento da estrutura populacional da raça, os dados genômicos são verificados posteriormente por análise discriminante dos componentes principais (*Discriminant Analysis of Principal Component – DAPC*), implementada por rotina no software R pelo pacote “adegenet”. A partir da análise de DAPC é possível encontrar as distâncias genéticas entre as linhagens podendo demonstrar, possivelmente, a existências das mesmas graficamente.

Além destas metodologias para determinação de linhagens, outros programas possibilitam a determinação destas por meio de marcadores microssatélites como a última versão (4.7.0) do software GENEPOP implementada em um pacote do software R. Por meio deste calculam-se testes exatos para diferenciação populacional e para desequilíbrio genotípico entre pares de loci além do cálculo das estimativas de estatísticas F. Outro exemplo seria utilização do Software Structure que realiza análise grupamento também por meio das estatísticas F, como  $F_{st}$ , utilizando os dados dos SNP's. Assim podem ser demonstradas subestruturas decorrentes da formação de famílias que descendem de diferentes e importantes reprodutores na raça, que foram provenientes muitas vezes de acasalamentos endogâmicos na formação histórica da raça.

Desta maneira, como podem ser notados, apesar de limitados os estudos de identificação de linhagens equinas, principalmente em raças brasileiras como a Mangalarga Marchador, faz-se necessário utilizar os conhecimentos biotecnológicos na área da genômica associados com dados de pedigree ou até mesmo dados morfofuncionais obtidos no

momento de registro genealógico para verificação da existência das mesmas. Sendo assim o estudo da estrutura populacional da raça, utilização da genotipagem de SNP em larga escala ou uso de marcadores microssatélites podem ser ferramentas necessárias para auxiliar na possível determinação e caracterização das linhagens desta raça.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DO CAVALO MANGALARGA MARCHADOR. **História da ABCCMM.** Disponível em: <http://www.abccmm.org.br/quemsomos>. Acesso em: 10 jul. 2020.

BACK, Willem; CLAYTON, Hilary. **Equine locomotion**, Saunders Elsevier, 2ª edition, 2013.

BAENA, Mariele Moura. **Population structure and genetic characterization of the Mangalarga Marchador horse breed.** 2019. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/33454>. Acesso em: 17 dez. 2019.

BAENA, M. M. et al. Genetic characterization of Mangalarga Marchador breed horses based on microsatellite molecular markers. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 95, 103231, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103231>. Acesso em: 02 out. 2020.

BAKHTIARI, J., HESHMAT, G. Estimation of genetic parameters of conformation traits in Iranian Thoroughbred horses. **Livestock Science** v. 123, p. 116-120, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.10.014>. Acesso em: 07 out. 2019.

BARKER, D.J.P.; CLARK, P. M. Fetal undernutrition and disease in later life. **Reviews of Reproduction**. v. 2, n. 2, p. 105–112, 1997. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9414472/>. Acesso em: 11 set. 2018.

BECK, Sérgio Lima. **Mangalarga Marchador: caracterização, história e seleção** - Brasília: Edição dos autores, 1992.

BERBARI NETO, Felipe. **Evolução de Medidas Lineares e Avaliação de Índices Morfométricos em Garanhões da Raça Campolina**. 2005. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) –Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes. 2005. Disponível em:

[http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/PGANIMAL\\_3896\\_1164631679.pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/PGANIMAL_3896_1164631679.pdf). Acesso em: 20 abr. 2019.

BORTONI, Rosalbo. **O Mangalarga Marchador e os outros cavalos de sela no Brasil**. Uberaba: Grupo Rotal Ltda, 1991.

BUSSIMAN, F. O. et al. Genetic analysis of morphological and functional traits in Campolina horses using Bayesian multi-trait model. **Livestock Science**, v. 216, p. 119-129, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.002>. Acesso em: 04 fev. 2019.

CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Medidas Lineares. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1790-1797, 2004. <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v33n4/22095.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2016.

CAMARGO, Manoel Xavier de; CHIEFFI, Armando. **Ezoognózia**. São Paulo: Instituto de Zootecnia, 1971.

CAMPOS, V. A. L. et al. Influência de fatores genéticos e ambientais sobre as características produtivas no rebanho equino do Exército Brasileiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 23-31, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000100004>. Acesso em: 10 dez. 2018.

CAROLINO, N. et al. Raça equina Garrana: parâmetros genéticos para características morfo-funcionais. **Actas Iberoamericanas de Conservación Animal**, v. 1, p. 445-448, 2011. <https://www.researchgate.net/publication/265612306>. Acesso em: 11 nov. 2017.

CASIUCH, Ricardo Luís. **O Romance da raça: Histórias do cavalo Mangalarga Marchador**. São Paulo: Empresa das Artes, 1997.

CASIUCH, Ricardo Luís. **As costelas do abismo: Os mais influentes gananhões do século XX na raça Mangalarga Marchador**. São Paulo: Essential Idea, 2016.

COSTA, M. D. et al. Estimativas de parâmetros genéticos das medidas lineares dos Pôneis da Raça Brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 498-503, 1998. <http://sbz.org.br/revista/artigos/2116.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2018.

COSTA, M. D. et al. Análise temporal da endogamia e do tamanho efetivo da população de equinos da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 57, n. 1, p. 112-119, 2005a. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352005000100015>. Acesso em: 01 mai. 2018.

COSTA, M. D. et al. Estudo da subdivisão genética da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 57, n. 2, p. 272-280, 2005b. [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010209352005000200021&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010209352005000200021&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 06 fev. 2017.

DRUML, T. et al. Morphological analysis and effect of selection for conformation in the Noriker draught horse population. **Livestock Science**, v. 115, n. 2 p. 118-128, 2008. <https://www.researchgate.net/publication/248565566>. Acesso em: 10 jan. 2019.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4 ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1996.

FARIA, C.U. et al. Inferência bayesiana e sua aplicação na avaliação genética de bovinos da raça nelore: revisão bibliográfica. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 8, n. 1, p. 75-86, 2007. <https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/1161>. Acesso em: 22 mar. 2018.

FONSECA, Mayara Gonçalves. **Mangalarga Marchador: estudo morfométrico, cinemático e genético da marcha batida e da marcha picada**. 2018. Tese (Doutorado em medicina veterinária). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/154263>. Acesso em: 22 mar. 2018.

FONTES, L.R. **Exterior, raças e julgamento dos animais domésticos**. Belo Horizonte: Universidade Rural do Estado de Minas Gerais, 1954.

GONÇALVES, R. W. et al. Efeito da endogamia sobre características morfométricas em cavalos da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.64, n.2, p.419-426, 2012. <https://www.scielo.br/pdf/abmvz/v64n2/a23v64n2.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2018. Acesso em: 24 fev. 2017.

HOLMSTRÖM, M.; BACK, W. The effects of conformation. In: BACK, Willem; CLAYTON Hilary. **Equine Locomotion**. 2013, p. 229-244.

HARRIS, Susan. **Horse gaits, balance and movement**. New York: Howell Book House, 1993, 178p.

JONES, W.E. **Genética e Criação de Cavalos**. São Paulo: Roca, 1987.

LAGE, Maria Coeli Gomes Reis. **Caracterização morfométrica, dos aprumos e do padrão de deslocamento de equinos da raça Mangalarga Marchador e suas associações com a qualidade da marcha**. 2001. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

LAGE, M. C. G. R. et al. Associação entre medidas lineares e angulares de equinos da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 4, p. 968-979, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000400027>. Acesso em: 01 mai. 2018.

LAWRENCE, T. L. J; FLOWLER, V. R. **Growth of farms animals**. New York: CABI Publishing 2002.

MARCHIORI, C. M. et al. Linkage disequilibrium and population structure characterization in the cutting and racing lines of Quarter Horses bred in Brazil. **Livestock Science**, v. 219, p. 45-51, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.013>. Acesso em: 07 jul. 2020.

MARUCH, Suzana. **Estudo de características morfométricas em equinos Mangalarga Marchador por meio de modelo animal e componentes principais**. 2018. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/31898>. Acesso em: 19 jul. 2018.

MEDEIROS, B. R. et al. Brazilian Sport Horse:pedigree analysis of the Brasileiro de Hipismo breed. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, n. 3146, p. 657-664 2014. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4081/ijas.2014.3146>. Acesso em: 30 jun. 2019.

MEIRA, Camila Tângari. **Avaliação de características morfofuncionais de cavalos da raça Mangalarga Marchador**. 2010. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2010. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/724>. Acesso em: 14 abr. 2018.

MENZEL, Hans Joachim. **Biomecânica do esporte**. Belo Horizonte:UFMG, 2008.

MISERANI, M. G. et al. Heritability estimates for biometric measures of the Pantaneiro horse. **Archivos de Zootecnia**, v. 51, n. 194, p. 107-112, 2002. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/174388/heritability-estimates-for-biometric-measures-of-the-pantaneiro-horse>. Acesso em: 25 março. 2018.

MOHAMMED, T. A. Phenotypic characterization of the Saudi Arabian Hassawi cattle breed. **Anim. Genet. Res. Inf.** 21. p. 35-42, 1997. <https://doi.org/10.1017/S1014233900000900>. Acesso em: 28 jan. 2020.

MOTA, M. D. S., PRADO, R. S. A. Estudo genético da pontuação total em equinos Mangalarga. **Archivos de Zootecnia**, v. 54, n. 205, p. 25-30, 2005. [https://Dialnet-GeneticStudyOfTheTotalScoreInMangalargaHorses-1427404%20\(1\).pdf](https://Dialnet-GeneticStudyOfTheTotalScoreInMangalargaHorses-1427404%20(1).pdf). Acesso em: 19 jan. 2017.

MOTA, M. D. S., et al. Estimativa de parâmetros genéticos para o deslocamento em cavalos da raça Mangalarga. **Archivos de Zootecnia**, v. 55, n. 210, p. 207-210, 2006. <https://www.researchgate.net/publication/288193971>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MOTA, M. D. S et al. Avaliação do crescimento em potros da raça Quarto de milha. **Revista electrónica de Veterinaria**, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/41055072>. Acesso em: 12 mai. 2018.

NASCIMENTO, Jair Ferreira do. **Mangalarga Marchador: Tratado Morfofuncional**. Belo Horizonte: ABCCMM, 1999.

OLIVEIRA, S. C. et al. Estimativas de herdabilidade para a altura à cernelha em equinos da raça Mangalarga. In: V Simpósio da Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal. 2004. **Anais...** Pirassununga, 2004, p. 1-3.

PEREIRA, G. L et al. Estimativas de parâmetros genéticos para características morfométricas em cavalos Quarto de Milha de corrida. **Ciência & Tecnologia: Fatec-JB**, Jaboticabal, v. 6, p. 44-48, 2014. <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/137062/ISSN2178-9476-2014-06-44-48.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 jul. 2018.

PIMENTEL et al. Gender on the growth of Criollo foals from birth to three years of age. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 1, p. 1-7, 2017. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150989>. Acesso em: 25 jul. 2020.

PINTO, L. F. B. et al. Análise multivariada das medidas morfométricas de potros da raça Mangalarga Marchador: Análise Discriminate. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 600-612, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000200030>. Acesso em: 15 ago. 2017.

PRADO, R. S. A., MOTA, M. D. S. Correlações entre deslocamento e conformação em equinos Mangalarga. **Archivos de Zootecnia**, v. 57, n. 218, p. 165-169, 2008a. <https://www.researchgate.net/publication/28317613>. Acesso em: 12 ago. 2018.

PRADO, R. S. A., MOTA, M. D. S. Genetic parameters for biometric traits in Mangalarga horses. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 9, n. 12, p. 1-15, 2008b. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63617117017.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2018.

PROCÓPIO, A.M. **Análise cinemática da locomoção de equinos marchadores**. 2004. 69f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

PURCELL, S. et al. PLINK: A tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. **The American Journal of Human Genetics**, v. 81, n. 3, p. 559-575, 2007. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1950838/>. Acesso em: 11 set. 2018.

REZENDE, A. S. C. et al. Efeito de Dois Diferentes Programas Nutricionais sobre o Desenvolvimento Corporal de Potros Mangalarga Marchador. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 495-501, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000200024>. Acesso em: 10 set. 2016.

RUSTIN, M. et al. Multi-trait animal model estimation of genetic parameters for linear type and gait traits in the Belgian warmblood horse. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 126, n. 5, p. 378-386, 2009. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19765164/>. Acesso em: 01 jun. 2018.

SÁNCHEZ, M. J. et al. Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses. **Livestock Science**, v. 157, n.1, p. 57-64, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.07.010>. Acesso em: 07 jun. 2018.

SANTIAGO, Juliano Martins. **Caracterização morfométrica da raça Mangalarga Marchador**. 2013. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD65KJJ/1/tese\\_juliano\\_martins\\_santiago.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD65KJJ/1/tese_juliano_martins_santiago.pdf) Acesso em: 09 jun. 2016.

SANTIAGO, J. M. et al. Comparação entre as medidas morfométricas do rebanho atual de machos Mangalarga Marchador e das campeãs da raça. **Revista Brasileira Saúde e Produção animal**, Ondina, v. 15, n. 1, p. 141-148, 2014. <http://www.iz.sp.gov.br/bia/index.php/bia/article/view/1011>. Acesso em: 15 mar. 2016.

SANTIAGO, J. M. et al. Evolution of morphometric measures in the Mangalarga Marchador breed. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 1, p. 191-199, 2016. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n122rc>. Acesso em: 20 mai. 2017.

SANTOS, S.A. et al. Using nonlinear models to describe height growth curves in pantaneiro horses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.7, p.1133-1138, 1999. [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X1999000700003&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X1999000700003&script=sci_abstract). Acesso em: 19 out. 2018.

SANTOS, S. A. et al. Monitoramento do desenvolvimento de cavalos pantaneiros por meio de curvas de crescimento. **Archivos de Zootecnia**, vol. 56, Sup. 1, p.648, 2007. <https://www.researchgate.net/publication/28258375>. Acesso em: 05 set. 2018.

SANTOS et al. Effectiveness of the morphofunctional evaluation method of Campolina and Mangalarga Marchador breeds. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, e20170280, 2018. <https://doi.org/10.1590/rbz4720170280>. Acesso em: 05 set. 2018.

SCHRODERUS, E., OJALA, M. Estimates of genetic parameters for conformation measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 127, n. 5, p. 395-403, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/46218068>. Acesso em: 12 out. 2019.

SOUZA, Diego Costa. **Parâmetros e tendências genéticas para características morfofuncionais em equinos da raça Crioula participantes da competição Freio de Ouro**. 2016. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/10927>. Acesso em: 17 abr. 2019.

SOUZA, F. A. C. et al. Nonlinear modeling growth body weight of Mangalarga Marchador horses. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.47, n.4, p. 1-6, 2017. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160636>. Acesso em: 15 fev. 2018.

SOUZA, F. A. C. et al. Morphometric characteristics of Mangalarga Marchador horses determined by non-linear models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 54,

e01145, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.01145>. Acesso em: 17 dez. 2019.

SUGDEN, M. C.; HOLNESS, M. J. Gender-specific programming of insulin secretion and action. **Journal Endocrinology**, v. 175, n.3, p. 757–767, 2002. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12475386/>. Acesso em: 18 set. 2017.

THOMAS, Heather Smith. **The Horse Conformation**. New York: Storey Publishing, 2005.

VALE FILHO, V. R. et al. Andrologic characterization of Nelore bulls, selected for the first breed season. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 21, n. 2, p. 42 - 44, 1997. <https://eurekamag.com/research/008/161/008161256.php>. Acesso em: 17 out. 2017.

VAN WEEREN, P. R.; CREVIER-DENOIX, N. Equine conformation: clues to performance and soundness? **Equine Veterinary Journal**. v. 38, n. 7, p. 591-596, 2006. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17228571/>. Acesso em: 07 ago. 2018.

VICENTE, A. A. et al. Selection for morphology, gaits and functional traits in Lusitano horses: I. Genetic parameter estimates. **Livestock Science**, v. 164, p. 1-12, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.020>. Acesso em: 07 ago. 2018.

VOSTRÝ, L. et al. Analysis of Czech cold-blooded horses: genetic parameters, breeding value and the influence of inbreeding depression on linear description of conformation and type characters. **Czech Journal of Animal Science**, v. 56, n. 5, p. 217-230, 2011. <https://www.researchgate.net/publication/286036360>. Acesso em: 14 fev. 2019.

ZAMBORLINI, L. C. et al. 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. <https://periodicos.uff.br/rbcv/article/view/7365>. Acesso em: 11 jan. 2019.

1 **SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

2

3

**ARTIGO I**

4

5

6 **PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS MORFOFUNCIONAIS**

7

**DE EQUINOS DA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR**

8

9

10 Formatado de acordo com a norma do periódico *Livestock Science*.

11

12

13 Felipe Amorim Caetano de Souza<sup>a</sup>, Marielle Moura Baena<sup>a</sup>, Renata de Fátima Bretanha  
14 Rocha<sup>b</sup>, Eula Regina Carrara<sup>b</sup>, Renata Veroneze<sup>b</sup>, Rilke Tadeu Fonseca de Freitas<sup>a</sup>, Raquel  
15 Silva de Moura<sup>a</sup> e Sarah Laguna Conceição Meirelles<sup>a\*</sup>.

16

17 <sup>a</sup>Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, CEP 37200-000, Lavras, Minas  
18 Gerais, Brasil.

19 <sup>b</sup>Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-900, Viçosa, Minas  
20 Gerais, Brasil.

21 \*autor correspondente, e-mail: sarah@ufla.br

## 22 **Resumo**

23 A estimação dos parâmetros genéticos constitui uma ferramenta necessária para determinar  
24 quais características respondem mais à seleção. Os objetivos deste estudo foram estimar os  
25 efeitos de ambiente e os parâmetros genéticos de características lineares e escores de  
26 pontuação (andamento, morfologia e total) obtidos no momento do registro definitivo de  
27 animais da raça Mangalarga Marchador (MM). Avaliaram-se dados de 167.764 animais MM  
28 (121.642 fêmeas e 46.122 machos) de 14.252 fazendas entre os anos de 1967 a 2016. As  
29 características avaliadas foram alturas: de cernelha (AC) e garupa (AG); comprimentos: de  
30 cabeça (Ccab), pescoço (CP), espádua (CE), dorso-lombo (CDL), garupa (CG), corporal  
31 (CC); larguras: de cabeça (LC) e garupa (LG); perímetros: torácico (PT) e de canela (PC);  
32 pontuações: andamento (And), morfologia (Morf) e total (Ptotal). Os efeitos ambientais  
33 foram avaliados por análise de variância utilizando metodologia dos mínimos quadrados. Os  
34 componentes de (co)variância, herdabilidade ( $h^2$ ), correlações genéticas e fenotípicas entre  
35 as características lineares foram obtidos pelo método da máxima verossimilhança restrita  
36 utilizando o programa AIREMLF90. As características obtidas por escore de pontuação  
37 foram avaliadas por análise bayesiana, por meio do programa THRGIBBSF90 e aplicativo  
38 POSTGIBBSF90. As estimativas de  $h^2$  obtidas foram: AC (0,46), AG (0,46), Ccab (0,20),  
39 CP (0,21), CDL (0,27), CG (0,23), CE (0,21) e CC (0,35), LC (0,24), LG (0,25), PT (0,22),  
40 PC (0,18), And (0,21), Morf (0,22) e Ptotal (0,26). As correlações genéticas variaram de  
41 zero, entre CP e And, a 0,96 entre AC e AG. As correlações fenotípicas variaram de zero,  
42 entre AG e Morf, a 0,85 entre And e Morf. As características de AC e AG devem responder  
43 a seleção, resultando em progresso genético em animais MM. A seleção para AC deve  
44 resultar em mudanças correlacionadas na AG e no CC, assim como a seleção para pontuação  
45 total poderá levar a melhoria do mérito genético da morfologia de animais da raça MM.

46 **Palavras-chave:** Equídeos; Herdabilidade; Correlação genética; Medidas morfométricas.

## 47 **1. Introdução**

48 As características morfofuncionais são amplamente valorizadas pelos profissionais e  
49 criadores das diferentes raças equinas, pois é por meio da avaliação destas, que são  
50 implementados os critérios zootécnicos para seleção dos animais, visto que há relação entre  
51 a morfologia e a locomoção e conseqüentemente com a funcionalidade da espécie (Back;  
52 Clayton, 2013; Cabral et al., 2004; Santiago et al. 2016, Zamborlini et al., 1996). Deste  
53 modo, as informações fenotípicas coletadas, juntamente com informações de pedigree dos  
54 equinos, são utilizadas diretamente na escolha de matrizes e garanhões para reprodução,  
55 como também dos animais para participação nas provas equestres.

56 Neste contexto, as mensurações morfométricas, que englobam as medidas lineares e  
57 angulares, são usualmente utilizadas como metodologia para avaliação da conformação,  
58 como no momento do registro definitivo, a fim de, se obter características compatíveis com  
59 o padrão racial determinado pelas associações de raça. A morfometria também auxilia no  
60 estabelecimento das proporções entre as regiões corporais, definição de biótipos e aptidão  
61 dos animais (Camargo; Chieffi, 1971; Nascimento, 1999). Além disso, a maior parte das  
62 medições refletem principalmente os comprimentos e raios ósseos dos equinos, e estão  
63 diretamente relacionadas a características fisiológicas como: capacidade cardiorrespiratória e  
64 de carga durante os trabalhos de treinamento e qualidade óssea do esqueleto (Berbari Neto,  
65 2005).

66 A avaliação do exterior dos animais difere nos criatórios de raça nacionais e  
67 internacionais, pois os objetivos de seleção preconizados por cada criador são escolhidos de  
68 acordo com as características específicas de cada raça. Desta maneira o peso que os  
69 criadores, técnicos e juizes colocam em cada característica depende em parte da melhoria  
70 genética esperada. Mas a maior valorização de características raciais do que as funcionais  
71 têm sido atribuídas ao empirismo e a influência do mercado sobre a seleção de animais

72 (Lucena et al., 2016). Diante disso, tem se procurado entender o comportamento da  
73 transmissão dessas características de interesse econômico às progênies, ou seja, a sua  
74 herdabilidade (Falconer; Mackay, 1996). Assim, a estimação dos parâmetros genéticos  
75 constitui uma ferramenta necessária para verificar informações sobre a natureza da ação dos  
76 genes envolvidos na herança das características, conhecer as propriedades genéticas da  
77 população, além de prever respostas diretas e correlacionadas à seleção das características  
78 morfológicas e de andamento (Faria et al., 2007).

79       Embora existam trabalhos relacionados a parâmetros genéticos em equinos, percebe-  
80 se um número reduzido em raças brasileiras, como na Mangalarga Marchador,  
81 principalmente considerando características obtidas por escores de pontuação e efeitos  
82 ambientais importantes como a fazenda de criação dos animais. Alguns autores realizaram  
83 pesquisas visando a obtenção de parâmetros desta raça, como Zamborlini et al. (1996) que  
84 verificaram estimativas de herdabilidade das características obtidas no momento do registro  
85 definitivos dos animais entre moderadas (0,40 para o perímetro torácico) a altas (0,80 para o  
86 comprimento do dorso). De todas as correlações encontradas por eles, 95,5% apresentaram  
87 sinal positivo e, destas, 60,6% apresentaram valor igual ou superior a 0,30. Os pesquisadores  
88 verificaram que a maioria das características morfológicas avaliadas podem responder à  
89 seleção. Resultados semelhantes foram também encontrados por Maruch (2018) com as  
90 herdabilidades variando de 0,48 a 0,65. Já Meira (2010) estimou os parâmetros genéticos  
91 com um diferencial, que foi incluir a pontuação da marcha, haja visto, que o andamento  
92 também é considerado na seleção dos animais. No entanto, o autor relata que a estimativa de  
93 herdabilidade alta para pontuação da marcha (0,66), deve ser vista com cautela, pois vem de  
94 uma avaliação subjetiva por escores de pontuação.

95       Tal fato demonstra principalmente uma limitação por parte dos pesquisadores e dos  
96 profissionais atuantes na área de equideocultura em estabelecer objetivos de seleção claros e

97 direcionados, visto que o produto econômico destes animais é o movimento e que apesar do  
98 desenvolvimento de metodologias objetivas para avaliação dos andamentos a partir do  
99 século XXI, tem-se dificuldade de aplicação destas nas práticas no registro definitivo e na  
100 avaliação dos animais em competições. Vale salientar também que a população da raça  
101 Mangalarga Marchador nunca esteve sob programa de melhoramento genético oficial,  
102 portanto a seleção realizada é fenotípica, baseado na maioria das vezes em resultados  
103 obtidos competições equestres desta raça. Desta maneira o conhecimento das relações  
104 genéticas entre as características por meio dos parâmetros genéticos para esta raça facilitará  
105 a correta utilização das mesmas no processo de seleção dos melhores animais.

106 Deste modo, o objetivo deste trabalho foi estimar os efeitos de ambiente,  
107 principalmente o efeito fazenda, e os parâmetros genéticos de características lineares e  
108 escores de pontuação (andamento, morfologia e total) obtidos no momento do registro  
109 definitivo de animais da raça Mangalarga Marchador (MM).

110

## 111 **2. Material e Métodos**

112 As informações utilizadas neste estudo foram cedidas pela Associação Brasileira dos  
113 Criadores do Cavallo MM (ABCCMM), provenientes de seu arquivo de dados dos animais  
114 entre os anos de 1967 a 2016. Foram avaliados 167.764 animais (121.642 fêmeas e 46.122  
115 machos) de 14.252 fazendas distribuídas por todo o território nacional em todos os estados  
116 da federação. O arquivo zootécnico continha informação das 15 características  
117 morfofuncionais obtidas no momento do registro definitivo, sendo estas, alturas: de cernelha  
118 (AC) e garupa (AG); comprimentos: de cabeça (Ccab), pescoço (CP), espádua (CE), dorso-  
119 lombo (CDL), garupa (CG), corporal (CC); larguras: de cabeça (LC) e garupa (LG);  
120 perímetros: torácico (PT) e de canela (PC); pontuações: andamento (And), morfologia

121 (Morf) e total (Ptotal). Os dados de pedigree utilizados eram compostos de 110.565 animais,  
122 sendo 22.938 machos e 87.627 fêmeas.

123 Todas estas variáveis foram mensuradas por técnicos credenciados e treinados pela  
124 ABCCMM, onde para medidas morfométricas utiliza-se hipômetro e fita métrica e para os  
125 escores de pontuação são dadas notas com pesos e valores diferentes entre as regiões  
126 corporais, assim como também para o andamento dos animais, conforme descrito na tabela  
127 de pontuação do padrão da raça Mangalarga Marchador (ABCCMM, 2000). Vale ressaltar  
128 que existem alguns pré-requisitos para que o animal seja registrado, sendo alguns deles: ter  
129 no mínimo 36 meses de idade, altura de cernelha de 1,40 a 1,54 m para fêmeas e 1,47 a 1,57  
130 m para machos, mínimo de 50% dos pontos para caracterização/expressão racial e  
131 andamento, pontuação total mínima de 140 pontos para registro de garanhões, 60 pontos  
132 para machos castrados e 120 pontos para fêmeas (ABCCMM, 2000).

133 As informações de genealogia, data de nascimento, grupo de contemporâneo, data do  
134 registro genealógico e fazenda foram consideradas na estimação da herdabilidade, e  
135 correlações genéticas das características morfofuncionais. Os efeitos ambientais foram  
136 avaliados pela metodologia dos quadrados mínimos, utilizando o procedimento GLM  
137 (*General Linear Model*) do software SAS (Sas, 2011), que incluiu os efeitos de ano de  
138 nascimento, ano de registro, sexo e fazenda, além da covariável idade do animal no  
139 momento de sua avaliação para obtenção de registro definitivo.

140 Foram realizadas análises uni e bicaracterísticas para a obtenção dos componentes de  
141 (co)variância, herdabilidade, correlações genéticas e fenotípicas entre as características.  
142 Utilizou-se um modelo animal com os efeitos fixos de grupo de contemporâneos, fazenda e  
143 da covariável idade do animal na data da realização das mensurações (efeito linear), além  
144 dos efeitos aleatórios genéticos aditivos diretos e residuais. O grupo de contemporâneos  
145 (CG) foi formado pelas variáveis: ano de nascimento, sexo e ano de registro do animal. Os

146 GC com menos de dois animais foram excluídos. Nas análises bicaracterísticas,  
147 consideraram-se observações que possuíam as medidas nas duas características.

148 As análises nas características lineares de alturas (AC e AG), comprimentos (Ccab,  
149 CP, CE, CDL, CG e CC), larguras (LC e LG) e perímetros (PT, e PC) foram realizadas pelo  
150 método da máxima verossimilhança restrita, utilizando-se o programa AIREML90 (Misztal  
151 et al., 2015). As características obtidas por escore de pontuação (And, Morf e Ptotal) foram  
152 avaliadas por análise bayesiana, por meio do programa computacional THRGIBBSF90 e  
153 posteriormente com a utilização do aplicativo POSTGIBBSF90 (Misztal et al., 2015). Os  
154 componentes de (co)variância foram obtidas na análise Bayesiana com cadeias de um  
155 milhão de iterações, em que as 100.000 iterações iniciais foram descartadas (burn-in) e as  
156 amostras foram retiradas a cada 5 ciclos (thinning interval). Para realizar os testes de  
157 convergência foram utilizados os métodos Geweke, Heidel & Ralftery e Ralftery & Lewis  
158 utilizando o pacote “boa” do programa R (R Core Team, 2018).

159 O modelo estatístico utilizado, na forma matricial, é descrito abaixo:

$$160 \quad y = X\beta + Z\alpha + e,$$

161 em que:  $y$  = vetor das variáveis dependentes;  $\beta$  = vetor de efeitos fixos (grupo de  
162 contemporâneos, fazenda e covariável idade);  $\alpha$  = vetor de efeitos genéticos aditivos diretos;  
163  $e$  = vetor de erros aleatórios residuais associados às observações; e  $X$  e  $Z$  = são as  
164 respectivas matrizes de incidência para cada efeito.

165 Todas as análises dos parâmetros genéticos foram realizadas no laboratório de  
166 Biotecnologia Animal da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

167

168

169

170

### 171 3. Resultados e Discussão

172 Todos os efeitos incluídos nos modelos foram significativos ( $P < 0,05$ ) para todas as  
173 características. A estatística descritiva dos dados morfofuncionais para machos (Tabela 1) e  
174 fêmeas (Tabela 2) estão de acordo com o padrão da raça Mangalarga Marchador  
175 (ABCCMM, 2000), com valores mínimos de 50 pontos para o andamento, pontuação total  
176 mínima 120 para fêmeas e de 60 pontos para machos castrados, visto que, na tabela 1 estão  
177 compilados os dados de machos castrados e garanhões da raça. A altura na cernelha  
178 encontrada variou de 1,40 a 1,54 m para fêmeas e 1,40 a 1,57 m para machos, dentro do  
179 recomendado pela raça. Para os machos inteiros a altura mínima é de 1,47 m, mas como os  
180 castrados podem ser registrados com 1,40 m, este valor mínimo é encontrado na tabela 1.

181 As demais variáveis (Tabela 1 e 2) também estão de acordo com o descrito na  
182 literatura por vários autores como Cabral et al. (2004) que verificaram em animais adultos  
183 desta mesma raça valores em machos e fêmeas, respectivamente de AC (151,5 e 151,6 cm);  
184 AG (150,1 e 150,1 cm); Ccab (57,7 e 56,7 cm); CP (66,9 e 63,3 cm); CE (54,1 e 50,8 cm);  
185 CDL (44,2 e 47,0 cm); CG (54,6 e 52,8 cm); CC (157,6 e 149,4 cm); LC (21,3 e 21,9 cm);  
186 LG (50,7 e 49,4 cm); PT (180,8 e 175,7 cm) e PC (19,7 e 19,0 cm). Para escores de  
187 pontuação Meira (2010) encontrou valores médios de 70,27 para machos e fêmeas MM. Já  
188 Mota et al. (2005) estudaram a raça Mangalarga e encontraram valores médios de pontuação  
189 total maiores do encontrado neste estudo (83,09 pontos). Ambas as raças possuem a mesma  
190 origem, na região sul de Minas Gerais, e com proximidade genética confirmada por Baena  
191 (2020a), que observou também em seus estudos genômicos o compartilhamento de alelos  
192 entre estas duas raças, mas tais diferenças podem vir das metodologias aplicadas no  
193 momento do registro definitivo. Valores de pontuação para morfologia foram verificados  
194 por Prado et al. (2008a) na raça Mangalarga, mas diferentemente desta pesquisa avaliaram

195 seis características de conformação pontuadas separadamente diferindo da metodologia  
196 utilizada na raça MM.

197

198 Tabela 1. Estrutura dos dados e estatística descritiva das características morfofuncionais de  
199 machos da raça Mangalarga Marchador.

Características	N <sup>1</sup>	Média ± Desvio padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo
AC	46121	1,49±0,03	1,99	1,40	1,57
AG	46119	1,47±0,03	2,04	1,35	1,67
Ccab	46109	0,57±0,02	3,61	0,42	0,69
CP	46120	0,62±0,03	4,73	0,43	0,80
CDL	46116	0,48±0,04	7,79	0,35	0,73
CG	46119	0,51±0,03	5,41	0,38	0,66
CE	46120	0,52±0,02	4,66	0,32	0,76
CC	46112	1,51±0,04	2,50	1,33	1,79
LC	46103	0,20±0,01	5,82	0,15	0,25
LG	46113	0,49±0,02	4,16	0,39	0,63
PT	46115	1,72±0,05	3,08	1,43	1,96
PC	34364	0,18±0,01	4,62	0,11	0,23
And <sup>2</sup>	34364	67,86±17,84	26,29	50,00	100,00
Morf <sup>2</sup>	34364	71,912±9,22	12,82	38,50	98,00
Ptotal <sup>3</sup>	34364	139,78±25,98	18,58	60,00	196,00

200 <sup>1</sup>= Número de animais (N), coeficiente de variação (CV), Características (m): alturas de cernelha (AC) e  
201 garupa (AG); comprimentos de cabeça (Ccab), pescoço (CP), espádua (CE), dorso-lombo (CDL), garupa (CG),  
202 corporal (CC); larguras de cabeça (LC) e garupa (LG); perímetro torácico (PT) e de canela (PC); pontuações de  
203 andamento (And), morfologia (Morf) e total (Ptotal). <sup>2</sup>= Valores que variam de 0 a 100 pontos baseados em  
204 escores de pontuação de acordo com padrão da raça Mangalarga Marchador. <sup>3</sup>= Valores que variam de 0 a 200  
205 pontos, sendo composto pelo somatório entre as pontuações morfológicas e de andamento, conforme padrão da  
206 raça Mangalarga Marchador.

207

208 Coeficientes de variação com valores mais altos foram observados nas características  
209 obtidas por pontos em machos e fêmeas (Tabela 1 e 2). Isto tem sido explicado pela grande  
210 quantidade de avaliadores, ou seja, técnicos de registro que avaliam os animais durante os  
211 registros, que apesar de previamente treinados para seguirem os padrões raciais das  
212 associações das diferentes raças nacionais e internacionais, suas notas são baseadas na  
213 experiência e expertise dos mesmos (Van Weeren; Crevier-Denoix, 2006). Estas maiores  
214 variações encontradas podem produzir estimativas de variância genética sujeitas a maiores

215 imprecisões fazendo com que a estimação dos parâmetros genéticos fique comprometida  
 216 quanto a sua aplicabilidade. Deste modo a herdabilidade das características obtidas por  
 217 escores de pontuação podem ficar mais baixas, além de promover dificuldades no  
 218 planejamento de programas de melhoramento genético na espécie equina (Koenen et al.,  
 219 1995; Costa et al., 1998).

220

221 Tabela 2. Estrutura dos dados e estatística descritiva das características morfofuncionais de  
 222 fêmeas da raça Mangalarga Marchador.

Características	N <sup>1</sup>	Média ± Desvio padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo
AC	121641	1,46±0,03	2,23	1,40	1,54
AG	121631	1,45±0,03	2,24	1,35	1,59
Ccab	121622	0,56±0,02	3,45	0,42	0,68
CP	121636	0,61±0,03	4,67	0,40	0,76
CDL	121635	0,49±0,04	7,60	0,31	0,75
CG	121632	0,50±0,03	5,31	0,36	0,66
CE	121635	0,51±0,02	4,52	0,40	0,79
CC	121622	1,49±0,04	2,72	1,33	1,95
LC	121588	0,20±0,01	5,94	0,12	0,25
LG	121621	0,50±0,02	4,26	0,35	0,69
PT	121624	1,71±0,06	3,46	1,20	2,00
PC	121623	0,18±0,01	4,32	0,14	0,26
And <sup>2</sup>	85152	64,50±19,25	29,85	50,00	100,00
Morf <sup>2</sup>	85153	69,15±10,15	14,68	37,50	100,00
Ptotal <sup>3</sup>	85153	133,65±28,40	21,25	120,00	190,00

223 <sup>1</sup>= Número de animais (N), coeficiente de variação (CV), Características (m): alturas de cernelha (AC) e  
 224 garupa (AG); comprimentos de cabeça (Ccab), pescoço (CP), espádua (CE), dorso-lombo (CDL), garupa (CG),  
 225 corporal (CC); larguras de cabeça (LC) e garupa (LG); perímetro torácico (PT) e de canela (PC); pontuações de  
 226 andamento (And), morfologia (Morf) e total (Ptotal). <sup>2</sup>= Valores que variam de 0 a 100 pontos baseados em  
 227 escores de pontuação de acordo com padrão da raça Mangalarga Marchador. <sup>3</sup>= Valores que variam de 0 a 200  
 228 pontos, sendo composto pelo somatório entre as pontuações morfológicas e de andamento, conforme padrão da  
 229 raça Mangalarga Marchador.

230

231

232 Houve maior variabilidade genética e fenotípica nas características de altura na  
 233 cernelha e na garupa, no comprimento corporal e também nas pontuações de morfologia,  
 234 andamento e total, verificada pelos valores de variância genética aditiva, residual e  
 235 fenotípica (Tabela 3). Por a raça MM ser considerada nova, ainda em formação, com menos

236 de 200 anos de seleção (Santiago et al., 2016), pode-se explicar a maior heterogeneidade dos  
237 animais levando a maiores variâncias nestas características. A contínua migração de animais  
238 de outras raças ao longo de sua formação também tem sido atribuída ao aumento da  
239 variabilidade (Baena et al., 2020a). Outro fator é o efeito ambiental que estes animais foram  
240 submetidos ao longo de sua vida produtiva como: nutrição e alimentação, condições  
241 ambientais estressantes, idade da mãe, clima, localização geográfica e treinamento. (Campos  
242 et al. 2007; Gonçalves et al., 2012; Lawrence; Fowler, 2002; Miserani et al., 2002; Mota et  
243 al., 2010; Santos et al., 1999 e 2007).

244 Vale ressaltar também que o banco de dados utilizado neste estudo é composto por  
245 animais que obtiveram registro genealógico na raça MM, desta forma já houve uma pré-  
246 seleção dos equinos, podendo isto levar a alterações nos componentes de variância e  
247 consequentemente na variabilidade genética das características. Além disso, a identificação  
248 e localização incorreta das bases anatômicas das regiões corporais, mudança na  
249 posição/postura do animal no momento da medição e avaliação, erros envolvidos na  
250 realização das medições, equipamentos não calibrados e condições subjetivas de avaliação,  
251 como escores de pontuação, que se baseiam na experiência e conhecimento do corpo técnico  
252 das associações podem contribuir para estes achados (Lawrence; Fowler, 2002). Para Costa  
253 et al. (1998) se os avaliadores realizassem as avaliações mais acuradas, a variância genética  
254 ficaria com valores adequados, reduzindo a variância residual e assim as estimativas de  
255 herdabilidade aumentariam consequentemente.

256

257

258

259

260

261 Tabela 3. Estimativas dos componentes de variância (genética aditiva ( $\sigma^2_a$ ), residual ( $\sigma^2_e$ ) e  
 262 ambiental ( $\sigma^2_p$ )) e herdabilidade ( $h^2$ ) para características morfofuncionais da raça MM.

Características	Componentes de Variância			$h^2$
	$\sigma^2_a$	$\sigma^2_e$	$\sigma^2_p$	
Altura de cernelha	0,00041	0,00048	0,00089	0,46
Altura de garupa	0,00041	0,00048	0,00089	0,46
Comprimento de cabeça	0,00006	0,00025	0,00031	0,20
Comprimento de pescoço	0,00014	0,00052	0,00066	0,21
Comprimento dorso-lombo	0,00025	0,00067	0,00092	0,27
Comprimento de Garupa	0,00013	0,00044	0,00057	0,23
Comprimento de espádua	0,00009	0,00048	0,00059	0,21
Comprimento corporal	0,00035	0,00087	0,00122	0,35
Largura de cabeça	0,00002	0,00007	0,00009	0,24
Largura de garupa	0,00008	0,00027	0,00035	0,25
Perímetro torácico	0,00060	0,00212	0,00272	0,22
Perímetro de canela	0,00000	0,00004	0,00004	0,18
Pontuação andamento	0,01797	0,06780	0,08577	0,21
Pontuação morfologia	0,01440	0,04967	0,06407	0,22
Pontuação total	0,00913	0,02581	0,03494	0,26

263

264 A herdabilidade das características foi de baixa a alta magnitude com valores  
 265 variando de 0,18 a 0,46 (Tabela 3), sendo a menor para perímetro de canela e maior para  
 266 alturas na cernelha e garupa. Estudos semelhantes conduzidos por Zamborlini et al. (1996),  
 267 com um banco de dados aproximadamente cinco vezes menor do que a presente pesquisa e  
 268 sem considerar o efeito de fazenda para o cálculo dos parâmetros genéticos, estimaram a  
 269 herdabilidade das características de conformação para a raça Mangalarga Marchador  
 270 encontrado valores de moderados (0,40 para o perímetro torácico) a altos (0,80 para o  
 271 comprimento do dorso), contrariando a presente pesquisa que verificou valores mais baixos  
 272 de  $h^2$  para estas características.

273 No presente estudo o efeito de fazenda foi verificado, conforme tabela 4, e dessa  
 274 forma foram calculadas  $h^2$  com e sem este efeito, visto que o mesmo é considerado de  
 275 grande importância, pois nele estão incluídas diversas variáveis ambientais como nutrição,  
 276 clima, manejo nutricional e sanitário, avaliador (técnico de registro de cada região onde se

277 localiza a fazenda). Foi observado que quando se utilizou a fazenda no modelo houve uma  
 278 diminuição da  $h^2$  em todas as características. Já quando não se considerou tal efeito houve  
 279 um aumento de  $h^2$ . Isto não era esperado, visto que, teoricamente o efeito de fazenda levaria  
 280 ao aumento na variância ambiental, diminuição na variância genética aditiva, e  
 281 consequentemente diminuição das estimativas de  $h^2$ , mas os resultados obtidos foram ao  
 282 contrário, podendo tal situação estar associada às possíveis interações que podem ocorrer  
 283 entre os efeitos utilizados no modelo para os cálculos de  $h^2$ . No mesmo sentido, Maruch  
 284 (2018) também na raça MM incluiu o efeito de fazenda em suas análises e encontrou valores  
 285 de  $h^2$  variando de 0,48 (largura de garupa) a 0,65 (largura de cabeça), mas assim como  
 286 Zamborlini et al. (1996) o número de animais utilizados na análise foi consideravelmente  
 287 menor, confirmando assim que as estimativas dos parâmetros genéticos são para cada  
 288 população considerada.

289

290 Tabela 4. Estimativas de herdabilidade ( $h^2$ ) considerando ou não o efeito ambiental de  
 291 fazenda para características morfofuncionais da raça Mangalarga Marchador.

Características	$h^2$ com efeito fazenda	$h^2$ sem efeito fazenda
Altura de cernelha	0,46	0,63
Altura de garupa	0,46	0,63
Comprimento de cabeça	0,20	0,45
Comprimento de pescoço	0,21	0,46
Comprimento dorso-lombo	0,27	0,56
Comprimento de garupa	0,23	0,48
Comprimento de espádua	0,21	0,43
Comprimento corporal	0,35	0,55
Largura de cabeça	0,24	0,61
Largura de garupa	0,25	0,43
Perímetro torácico	0,22	0,45
Perímetro de canela	0,18	0,46
Pontuação andamento	0,21	0,46
Pontuação morfologia	0,22	0,50
Pontuação total	0,26	0,56

292

293 Outras pesquisas com raças brasileira tem encontrado valores diferentes para  $h^2$   
294 como Miserani et al. (2002) com  $h^2$  variando de 0,27 (largura da cabeça) a 0,83 (perímetro  
295 torácico) para cavalos pantaneiros; Souza (2016) em animais da raça Crioula participantes  
296 das competições de Freio de Ouro, com  $h^2$  de 0,42; 0,39 e 0,55 para altura de cernelha,  
297 perímetro torácico e de canela, respectivamente; Prado et al. (2008b) ao avaliarem  
298 características biométricas na raça Mangalarga encontraram  $h^2$  médias que variaram de 0,41  
299 (perímetro de canela) a 0,70 (perímetro torácico); já Bussiman et al. (2018) que ao estudar a  
300 raça Campolina encontraram médias para  $h^2$  mais semelhantes a este estudo com  
301 Mangalarga Marchador, sendo  $h^2$  de baixa a alta para as características relacionadas à altura  
302 de cernelha, de dorso, garupa e costado (0,19 para costado a 0,43 para de cernelha e de  
303 dorso). Para as características relacionadas ao comprimento estudadas por Bussiman et al.  
304 (2018), os valores de  $h^2$  foram 0,15 (garupa), 0,34 (corpo), 0,16 (espádua), 0,20 (pescoço) e  
305 (0,30) cabeça. As características relacionadas à largura e ao perímetro tiveram herdabilidade  
306 baixa a moderada, variando de 0,11 (largura da cabeça e perímetro de canela) a 0,21 para  
307 largura das ancas. Apesar das diferenças entre critérios de seleção e a base genética de dados  
308 utilizados nos estudos de Bussiman et al. (2018) com a raça Campolina, houve semelhança  
309 com os resultados de herdabilidade obtidos para a raça MM.

310 Observa-se que as características de altura na cernelha e garupa tiveram o mesmo  
311 valor de herdabilidade (0,46), assim como valores iguais para os componentes de variância  
312 (genética, residual e fenotípica) (Tabela 3). Isto demonstra que estas características se  
313 comportam como se fossem uma única característica, o que já é esperado, haja visto, que  
314 características relacionadas a dimensão do esqueleto (tamanho estrutural) são as mais  
315 herdáveis (Hasler et al., 2012). Pesquisadores também tem encontrado valores semelhantes  
316 ao estudar dados obtidos no momento do registro genealógico, como Costa et al. (1998), que  
317 ao estudarem a raça Pônei Brasileira, verificaram valores de  $h^2$  variando de 0,24 a 0,52,

318 sendo altura de cernelha e garupa com mesmos valores de herdabilidade (0,52) e segundo os  
319 autores podendo ser consideradas por tal fato uma única característica.

320 Vale ressaltar que apesar de características, como AC e AG, apresentarem valores de  
321  $h^2$  altos, a resposta à seleção de determinada característica também depende de outros fatores  
322 e estes devem ser levados em consideração como, por exemplo, a intensidade de seleção e o  
323 intervalo de gerações. Sendo este último de relativa importância, pois é considerado longo  
324 na espécie equina, conforme demonstrado por Baena et al. (2020b) na raça MM, em que o  
325 intervalo de geração encontrado foi de aproximadamente nove anos. Maruch (2018) também  
326 verificou em seus estudos com a raça MM que as herdabilidades para as características  
327 morfológicas eram altas, mas a variabilidade e as tendências genéticas baixas, indicando que  
328 os ganhos efetivos com a seleção ao longo dos anos são baixos. Para Hansen et al. (2003)  
329 altos valores de herdabilidade indicam somente alta variabilidade genética, podendo não  
330 representar a resposta a seleção desejada.

331 As estimativas de herdabilidade e os valores dos intervalos de credibilidade para as  
332 características de pontuação de andamento, morfologia e total foram moderadas, 0,21; 0,22;  
333 0,26, respectivamente (Tabela 5). Com a raça MM, Meira (2010) relatou a estimativa de  $h^2$   
334 alta para pontuação da marcha (0,66), diferindo destes resultados, mas segundo o autor isto  
335 deve ser visto com cautela, pois vem de uma avaliação qualitativa. Já nos animais  
336 Campolina pesquisados por Bussiman et al. (2018) o valor de  $h^2$  para andamento foi muito  
337 baixo (0,07). Pôde ser notado também que o valor de  $h^2$  da pontuação total encontrado foi o  
338 mais baixo em relação a outros trabalhos científicos, como demonstrado por Mota et al.  
339 (2005) na raça Mangalarga, que verificaram  $h^2$  de 0,42 com coeficiente de variação de  
340 somente 4,98%. Estes pesquisadores relataram que as estimativas de herdabilidade para a  
341 pontuação podem possibilitar a promoção de melhoria genética nas raças e  
342 consequentemente facilitar o seu uso na seleção dos animais pelos criadores e profissionais,

343 mas tal aplicabilidade desta avaliação por escore de pontuação deve analisada  
 344 cuidadosamente, devido a sua subjetividade. Sendo assim, fazem-se necessários mais  
 345 estudos buscando o desenvolvimento de novas estratégias para padronização de coleta de  
 346 dados fenotípicos de equinos associados à estimação de parâmetros genéticos.

347

348 Tabela 5. Intervalos de credibilidade (95%) e Critério de Geweke das estimativas de  
 349 herdabilidade estimadas para as características obtidas por escore de pontuação.

Características	$h^2$	Intervalo de credibilidade	Critério de Geweke
Andamento	0,21	0,1867 a 0,2336	-0,04
Morfologia	0,22	0,1983 a 0,2506	- 0,06
Pontuação total	0,26	0,2177 a 0,3081	- 0,02

350

351 Na raça Mangalarga Marchador, Zamborlini et al. (1996) encontraram valores de  
 352 0,62 para  $h^2$  utilizando tabela de pontos, não especificando se a mesma era somente para  
 353 análise morfológica ou pontuação total. Por sua vez Prado et al. (2008a) estimaram  $h^2$  para  
 354 características avaliadas separadamente por escore de pontuação na raça Mangalarga, sendo  
 355 0,24; 0,31; 0,23; 0,22; 0,24; 0,29; 0,26 para cabeça, pescoço, tronco, espádua, garupa,  
 356 membros e deslocamento, respectivamente. Em raças estrangeiras Schroderus et al. (2010)  
 357 estimaram parâmetros genéticos para pontuações em conformação corporal de potros  
 358 Finnhorse e Standardbred para avaliar a utilidade destes nos resultados do processo de  
 359 seleção, obtendo valores de  $h^2$  de 0,30 para esta característica. Os citados trabalhos  
 360 obtiveram valores superiores ao encontrado para a raça MM ( $h^2$  de 0,22), demonstrando que  
 361 diferentes formas e pesos de avaliação da morfologia para cada região corporal podem levar  
 362 a valores maiores ou menores  $h^2$ , sendo necessários mais estudos com esta raça brasileira.  
 363 Ainda segundo Schroderus et al. (2010) a divisão da avaliação morfológica em itens

364 menores é uma opção, mas o grande número de animais que são avaliados durante a coleta  
365 de dados torna difícil a aplicação prática.

366 As correlações genéticas variaram de zero entre comprimento do pescoço e  
367 pontuação do andamento, a 0,96 entre as alturas de cernelha e de garupa (Tabela 6). As  
368 maiores correlações genéticas encontradas foram entre altura de cernelha e garupa (0,96),  
369 entre a altura de cernelha e garupa com comprimento corporal (0,79) e entre as pontuações  
370 de morfologia e total (0,84). De todas as possibilidades de correlações calculadas 3,8 %  
371 foram altas, 43,8% foram médias e 52,4% foram baixas, sendo todas positivas, exceto entre  
372 os comprimentos de pescoço e dorso-lombo com pontuação total e andamento,  
373 respectivamente.

374

375 Tabela 6. Correlações genéticas (acima da diagonal), fenotípicas (abaixo da diagonal) e  
376 herdabilidade (diagonal) para características morfofuncionais de equinos MM.

Características	AC <sup>1</sup>	AG	Ccab	CP	CDL	CG	CE	CC	LC	LG	PT	PC	And	Morf	Ptotal
AC	<b>0,46</b>	0,96	0,57	0,59	0,28	0,46	0,60	0,79	0,25	0,51	0,62	0,48	0,09	0,25	0,19
AG	0,84	<b>0,46</b>	0,56	0,57	0,31	0,45	0,58	0,79	0,24	0,50	0,57	0,48	0,06	0,16	0,11
Ccab	0,34	0,32	<b>0,20</b>	0,41	0,29	0,43	0,50	0,51	0,30	0,45	0,42	0,24	0,08	0,16	0,10
CP	0,45	0,38	0,29	<b>0,21</b>	0,09	0,40	0,46	0,57	0,05	0,44	0,38	0,30	0,00	0,05	-0,02
CDL	0,10	0,19	0,22	-0,03	<b>0,27</b>	0,19	0,19	0,40	0,24	0,25	0,22	0,23	-0,02	0,02	0,04
CG	0,36	0,33	0,37	0,33	0,23	<b>0,23</b>	0,51	0,54	0,16	0,48	0,39	0,39	0,12	0,17	0,12
CE	0,47	0,42	0,37	0,31	0,17	0,51	<b>0,21</b>	0,58	0,13	0,48	0,52	0,38	0,15	0,29	0,25
CC	0,63	0,56	0,28	0,36	0,18	0,38	0,41	<b>0,35</b>	0,27	0,59	0,64	0,55	0,10	0,29	0,23
LC	0,18	0,17	0,27	0,01	0,12	0,15	0,16	0,14	<b>0,24</b>	0,27	0,27	0,19	0,05	0,14	0,12
LG	0,35	0,35	0,28	0,30	0,22	0,43	0,41	0,39	0,16	<b>0,25</b>	0,56	0,38	0,05	0,15	0,12
PT	0,44	0,39	0,20	0,20	0,18	0,34	0,39	0,43	0,14	0,44	<b>0,22</b>	0,52	0,18	0,37	0,33
PC	0,38	0,32	0,08	0,17	0,09	0,25	0,27	0,34	0,10	0,21	0,39	<b>0,18</b>	0,07	0,20	0,17
And	0,04	-0,07	-0,09	-0,05	-0,28	-0,09	-0,06	0,04	0,00	-0,14	-0,03	0,03	<b>0,21</b>	0,42	0,58
Morf	0,10	0,00	-0,04	-0,02	-0,24	-0,04	0,02	0,08	0,03	-0,06	0,05	0,07	0,85	<b>0,22</b>	0,84
Ptotal	0,05	-0,05	-0,09	-0,09	-0,25	-0,08	-0,04	0,05	0,00	-0,10	0,00	0,04	0,75	0,70	<b>0,26</b>

377 <sup>1</sup>=alturas: de cernelha (AC) e garupa (AG); comprimentos: de cabeça (Ccab), pescoço (CP), espádua (CE),  
378 dorso-lombo (CDL), garupa (CG), corporal (CC); larguras: de cabeça (LC) e garupa (LG); perímetros: torácico  
379 (PT) e de canela (PC); pontuações: andamento (And), morfologia (Morf) e total (Ptotal).

380

381           Pioneiros no estudo de parâmetros genéticos na raça MM, Zamborlini et al. (1996)  
382 verificaram correlações genéticas com variação de 0,09 (perímetro da canela e o  
383 comprimento do dorso) a 0,96 (alturas na cernelha e na garupa). Semelhantes a eles os  
384 resultados de correlações positivas e altas foram encontrados entre as características de  
385 altura na cernelha, garupa e comprimento corporal indicando que a seleção em uma dessas  
386 características implicará na elevação do mérito genético da outra. Além disso, estes achados  
387 indicam que estas características podem estar sendo governadas basicamente pelos mesmos  
388 genes, conforme já descrito por Costa et al. (1998). Estudos de associação genômica ampla  
389 também tem verificado esta afirmação em que estas características podem estar associadas  
390 aos genes LCORL, NCAPG e ZFAT, como descrito por Hasler et al. (2016) em 1151  
391 cavalos Montanheses franceses, Metzger et al. (2013) em 1851 animais de 42 grupos  
392 genéticos diferentes; Tetens et al. (2013) em 782 garanhões de raças alemãs e Nejad et al.  
393 (2012) em 96 equinos de 17 raças e com biótipos diferentes.

394           Os resultados de correlações genéticas entre as pontuações de morfologia e total,  
395 também foram elevados indicando que a seleção para a pontuação total pode levar a  
396 melhorias na morfologia dos animais. Isto já era esperado visto que a pontuação total é em  
397 parte composta pela pontuação morfológica, que é realizada de forma detalhada para cada  
398 região corporal dos animais da raça MM por técnicos previamente treinados, conforme  
399 descrito no padrão da raça MM (ABCCMM, 2000).

400           As correlações fenotípicas variaram de zero entre altura na garupa e pontuação da  
401 morfologia, a 0,85 entre pontuações de andamento e de morfologia (Tabela 6). Dentre todas  
402 as correlações encontradas 3,8 % foram altas; 31,4% foram médias e 64,8% foram baixas.  
403 As maiores correlações encontradas foram entre pontuações do andamento e morfologia  
404 (0,85), altura de cernelha e garupa (0,84), pontuação total com a pontuação do andamento  
405 (0,75) e da morfologia (0,70). Meira (2010) por sua vez encontrou maior correlação

406 fenotípica entre a pontuação da marcha e o comprimento da garupa (0,15) nesta mesma raça.  
407 Já Vicente et al. (2014) avaliando características de conformação de animais Puro Sangue  
408 Lusitanos encontraram estimativas de correlação fenotípica maiores para características  
409 conformacionais obtidas por pontos, sendo 0,56 para espádua e cernelha a 0,80 para o  
410 impressão morfológica geral, quando correlacionados a pontuação final.

411 A maioria das correlações fenotípicas das características mensuradas foram  
412 correlacionadas negativamente com as obtidas por pontuação, demonstrando a influência da  
413 subjetividade nas avaliações, principalmente por escores de pontos. Estudos tem  
414 comprovado esta afirmação, como os achados de Santos et al. (2018) que verificaram se os  
415 critérios utilizados na avaliação de animais em provas equestres adotados na raça  
416 Mangalarga Marchador ao longo dos anos tem feito com que as gerações subsequentes  
417 tenham a morfologia recomendada pelo padrão da raça. Estes autores encontraram baixa  
418 porcentagem de correlação entre as classificações de morfologia e marcha para Mangalarga  
419 Marchador (19%) o que pode segundo eles estar intrinsicamente associados à metodologia  
420 qualitativa/subjetiva adotada pelos avaliadores ao analisar os animais nos julgamento.

421

#### 422 **4. Conclusão**

423 Em plantéis de animais da raça Mangalarga Marchador, os efeitos de sexo, fazenda,  
424 ano de nascimento e de registro devem ser incluídos no modelo de análise para estimar  
425 parâmetros genéticos para as características morfofuncionais da raça Mangalarga  
426 Marchador.

427 As características de altura de cernelha e garupa devem responder a seleção,  
428 resultando em progresso genético em animais da raça Mangalarga Marchador.

429 A seleção para altura de cernelha deve resultar em mudanças correlacionadas na  
430 altura da garupa e no comprimento corporal, assim como a seleção para pontuação total

431 poderá levar a melhoria do mérito genético da morfologia de animais da raça Mangalarga  
432 Marchador.

433

#### 434 **5. Agradecimentos**

435 Agradecemos, ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFLA, ao Núcleo de  
436 Estudos em Equideocultura (NEQUI) e Grupo de melhoramento Animal e Biotecnologia  
437 (GMAB) da UFLA, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES),  
438 Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo  
439 Mangalarga Marchador (ABCCMM) e ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
440 (MAPA) pelo apoio prestado a este estudo.

441

#### 442 **6. Referências**

443 Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador, 2000. Padrão  
444 Racial. <http://leia.abccmm.org.br/portal/regulamentos/padraodaraca.pdf> (Accessed 07  
445 July 2015).

446

447 Back, W., Clayton, H., 2013. Equine locomotion, second ed. Saunders Ltd., Philadelphia.

448

449 Baena, M.M., Diaz, S., Moura, R.S., Meirelles, S.L.C. 2020a. Genetic characterization of  
450 Mangalarga Marchador breed horses based on microsatellite molecular markers. Journal  
451 of Equine Veterinary Science, 103231. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103231>.

452

453 Baena, M.M., Gervásio, I.C., Rocha, R.F.B., Procópio, A.M., Moura, R.S., Meirelles,  
454 S.L.C., 2020b. Population structure and diversity of Mangalarga Marchador horses.  
455 Livestock Science, 239, 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104109>.

456

- 457 Berbari Neto, F., 2005. Evolução de Medidas Lineares e Avaliação de Índices  
458 Morfométricos em Garanhões da Raça Campolina.  
459 [http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/PGANIMAL\\_3896\\_1164631679.pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/PGANIMAL_3896_1164631679.pdf). (Accessed  
460 15 February 2015).
- 461
- 462 Bussiman, F.O., Perez, B.C., Ventura, R.V., Silva, F.F., Peixoto, M.G.C.D., Vizoná, R.G.,  
463 Mattos, E.C., Ferraz, J.B.S., Eler, J.P., Curi, R.A., Balieiro, J.C.C., 2018. Genetic  
464 analysis of morphological and functional traits in Campolina horses using Bayesian  
465 multi-trait model. *Livestock Science*, 2016, 119-129.  
466 <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.002>.
- 467
- 468 Cabral, G.C., Almeida, F.Q. Quirino, C.R., Pinto, L.B., Santos, E.M., Corassa, A., 2004.  
469 Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Medidas Lineares.  
470 *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33, 1790-1797.  
471 <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v33n4/22095.pdf>
- 472
- 473 Camargo, M.X.; Chieffi, A., 1971. Ezoognózia. Primeira ed. Instituto de Zootecnia, São  
474 Paulo.
- 475
- 476 Campos, V.A.L., McManus, C., Fuck, B.H., Cassiano, L., Pinto, B.F., Braga, A.  
477 Louvandini, H. Dias, L.T., Teixeira, R.A., 2007. Influência de fatores genéticos e  
478 ambientais sobre as características produtivas no rebanho equino do Exército Brasileiro.  
479 *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36, 23-31. [https://doi.org/10.1590/S1516-](https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000100004)  
480 [35982007000100004](https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000100004).
- 481

- 482 Costa, M.D., Bergmann, J.A.G., Pereira, C.S., Fonseca, C.G., Pereira, J.C.C, 1998.  
483 Estimativas de parâmetros genéticos das medidas lineares dos Pôneis da Raça  
484 Brasileira. Revista Brasileira de Zootecnia. 27, 498-503.  
485 <http://sbz.org.br/revista/artigos/2116.pdf>.
- 486
- 487 Falconer, D. S.; Mackay, T. F. C., 1996. Introduction to quantitative genetics. Fourth ed.  
488 Longman Scientific&Technical, New York.
- 489
- 490 Faria, C. U.; Magnabosco, C.U.; Borjas, A.R.; Lôbo, R.B.; Bezerra, L.A.F., 2007. Inferência  
491 bayesiana e sua aplicação na avaliação genética de bovinos da raça nelore: revisão  
492 bibliográfica. Ciência Animal Brasileira. 8, 75-86.  
493 <https://www.researchgate.net/publication/277808309>.
- 494
- 495 Gonçalves, R.W., Costa, M.D., Rezende, A.S.C, Rocha Júnior, V.R., Leite, J.R.A., 2012.  
496 Efeito da endogamia sobre características morfométricas em cavalos da raça  
497 Mangalarga Marchador. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. 64,  
498 419-426. <http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v64n2/a23v64n2.pdf>.
- 499
- 500 Hansen, T.F.; Pélabon, C.; Scott Armbruster, W.; Carlson, L.M., 2003. Evolvability and  
501 genetic constraint in Dalechampia blossoms: components of variance and measures of  
502 evolvability. Journal of Evolutionary Biology. 16, 754-766,  
503 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14632238/>.
- 504

- 505 Hasler, H.S., Flury, C., Haase, B. Burger, D. Simianer, H., Leeb, T., Rieder, S., 2012. A  
506 genome-wide association study reveals loci influencing height and other conformation  
507 traits in horses. PLOS ONE. e37282. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037282>.  
508
- 509 Koenen, E.P.C., Van Veldhuizen, A.E., BRASCAMP, E.W., 1995. Genetic parameters of  
510 linear scored conformation traits and their relation to dressage and show-jumping  
511 performance in the Dutch Warmblood Riding Horse population. *Livest. Prod. Sci.* 45,  
512 85-94. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00010-I](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)00010-I).  
513
- 514 Lawrence, T. L. J; Fowler, V. R. *Growth of farms animals*, 2002. Second ed. CABI  
515 Publishing, New York.  
516
- 517 Lucena, J. E. C.; Vianna, S. A. B. Vianna, Berbari Neto F., Sales Filho R.L.M.; Diniz, W. J.  
518 S. 2016. Caracterização morfológica de fêmeas, garanhões e castrados da raça  
519 Campolina baseada em índices. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*  
520 68, 431-438. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8016>  
521
- 522 Maruch, S. Estudo de características morfológicas em equinos Mangalarga Marchador por  
523 meio de modelo animal e componentes principais. 2018.  
524 <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/31898> (Accessed 29 March 2020).  
525
- 526 Meira, C.T., 2010. Avaliação de características morfofuncionais de cavalos da raça  
527 Mangalarga Marchador. <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/724>. (Accessed 09  
528 July 2016).  
529

- 530 Metzger, J., Schrimpf, R. Philipp, U., Distl, O. 2013. Expression levels of LCORL are  
531 associated with body size in horses. PLOS ONE. 8, e56497.  
532 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056497>  
533
- 534 Miserani, M.G., McManus, C., Santos, S. A., Silva, J. A., Mariante, A. S., Abreu, U. G. P.,  
535 Mazza, M.C., Sereno, J. R. B., 2002. Heritability estimates for biometric measures of  
536 the Pantaneiro horse. Archivos de Zootecnia. 51, 107-112.  
537 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177800/1/ID-230181.pdf>  
538
- 539 Misztal, I., Tsuruta, S., Lourenço, D., 2015. Manual for BLUPF90 Family of Programs.  
540 [http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90\\_all2.pdf](http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all2.pdf) (Accessed 10  
541 october 2019).  
542
- 543 Mota, M.D.S., Prado, R.S.A., 2005. Estudo genético da pontuação total em equinos  
544 Mangalarga. Archivos de Zootecnia. 54, 25-30.  
545 [https://pt.scribd.com/doc/243449877/DialnetGeneticStudyOfTheTotalScoreInMangalar  
546 gaHorses-1427404-pdf](https://pt.scribd.com/doc/243449877/DialnetGeneticStudyOfTheTotalScoreInMangalargaHorses-1427404-pdf)  
547
- 548 Mota, M.D.S, Oliveira, H. N., Puoli Filho, N. P., 2010. Avaliação do crescimento em potros  
549 da raça Quarto de milha. Revista electrónica de Veterinaria. 11, 1-10.  
550 [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/141035/ISSN1695-7504-2010-11-  
551 01-01-10.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/141035/ISSN1695-7504-2010-11-01-01-10.pdf?sequence=1&isAllowed=y)  
552
- 553 Nascimento, J.F., 1999. Mangalarga Marchador: Tratado Morfofuncional. Primeira ed.  
554 ABCCMM, Belo Horizonte.

- 555 Nejad, S. M., Hoffman, G. E., Allen, J. J., Chu, E. Gu, E., Chandler, A.M., Loredó, A.L.,  
556 Bellone, R.R., Mezey, J. G. Brooks, S. A., Sutter, N.B., 2012. Four loci explain 83% of  
557 size variation in the horse. PLOS ONE. 7, e39929.  
558 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039929>.
- 559
- 560 Prado, R.S.A., Mota, M.D.S., 2008a. Correlações entre deslocamento e conformação em  
561 equinos Mangalarga. Archivos de Zootecnia. 57, 165-169.  
562 <https://www.researchgate.net/publication/28317613>.
- 563
- 564 Prado, R.S.A., Mota, M.D.S., 2008b. Genetic parameters for biometric traits in Mangalarga  
565 horses. Revista Eletrônica de Veterinária, 9, 1-15.  
566 <https://www.researchgate.net/publication/26568885>.
- 567
- 568 R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. 2018.  
569 R Foundation for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical  
570 Computing. <http://www.r-project.org>.
- 571
- 572 Santiago, J.M., Rezende, A. S. C., Lana, A. M. Q., Fonseca, M. G., Lage, J., 2016.  
573 Evolution of morphometric measures in the Mangalarga Marchador breed. Revista  
574 Caatinga. 29, 191-199. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n122rc>.
- 575
- 576 Santos, S.A., Souza, G.S., Oliveira, M. R., Sereno, J. R., 1999. Using nonlinear models to  
577 describe heigth growth curves in pantaneiro horses. Pesquisa Agropecuária Brasileira.  
578 Brasília, 34, 1133-1138.

579 [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100204X1999000700003&l](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X1999000700003&lng=en&nrm=iso)  
580 [ng=en&nrm=iso](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X1999000700003&lng=en&nrm=iso).

581

582 Santos, S.A., Souza, G.S., Abreu, U.G.P., McManus, C., Comastri Filho, J.A., 2007.  
583 Monitoramento do desenvolvimento de cavalos pantaneiros por meio de curvas de  
584 crescimento. *Archivos de Zootecnia*, 56, 648.  
585 <https://www.researchgate.net/publication/28258375>.

586

587 Santos, J.E.S, Santiago, J.M., Lucena, J.E.C., Santos, B. A., Lana, A.M.Q., Rezende, A.S.C.,  
588 2018. Effectiveness of the morphofunctional evaluation method of Campolina and  
589 Mangalarga Marchador breeds. *Revisita Brasileira de Zootecnia*. 47, e20170280.  
590 <https://doi.org/10.1590/rbz4720170280>.

591

592 SAS. SAS/STAT 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary: NC,  
593 2011.<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Sas/stat+9.3#1>  
594 (Accessed 17 July 2016).

595

596 Schroderus, E., Ojala, M., 2010. Estimates of genetic parameters for conformation measures  
597 and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *Journal of Animal Breeding and*  
598 *Genetics*. 127, 395-403. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2010.00856.x>.

599

600 Souza, D.C., 2016. Parâmetros e tendências genéticas para características morfofuncionais  
601 em equinos da raça Crioula participantes da competição Freio de Ouro.  
602 <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/10927> (Accessed 02 June 2018).

603

- 604 Tetens, J., Widmann, P., Kuhn, C., Thaller, G., 2013. A genome-wide association study  
605 indicates LCORL/NCAPG as a candidate locus for withers height in German  
606 Warmblood horses. *Animal Genetics: Immunogenetics, Molecular Genetics Functional  
607 Genomics*, 44, 467-471. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23418885/>.  
608
- 609 Van Weeren, P. R.; Crevier-Denoix, N., 2006. Equine conformation: clues to performance  
610 and soundness? *Equine Veterinary Journal*. 38, 591-596.  
611 <https://doi.org/10.2746/042516406X159007>.  
612
- 613 Vicente, A.A., Carolino, N., Ralão-Duarte, J. Gama, L.T., 2014. Selection for morphology,  
614 gaits and functional traits in Lusitano horses: I. Genetic parameter estimates. *Livestock  
615 Science*. 164, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.020>.  
616
- 617 Zamborlini, L. C., Bergmann, J. A. G., Pereira, C. S., Fonseca, C. G., Rezende, A. S. C.,  
618 1996. Estudo genético-quantitativo de medidas lineares de equinos da raça Mangalarga  
619 Marchador – I. Estimativas dos fatores de ambiente e parâmetros genéticos. *Revista  
620 Brasileira de Ciência Veterinária*. 3, 33-37.  
621 <https://periodicos.uff.br/rbcv/article/view/7365>.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21

## ARTIGO II

### IDENTIFICAÇÃO GENÉTICA DE LINHAGENS NA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR

Formatado de acordo com a norma do periódico *Livestock Science*.

Felipe Amorim Caetano de Souza<sup>a</sup>, Marielle Moura Baena<sup>a</sup>, Caio Augusto Perazza<sup>b</sup>, Rilke Tadeu Fonseca de Freitas<sup>a</sup>, Raquel Silva de Moura<sup>a</sup> e Sarah Laguna Conceição Meirelles<sup>a\*</sup>.

<sup>a</sup>Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

<sup>b</sup>Universidade de Mogi das Gruzes, Campus Universitário, CEP 08708-911, Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil.

\*autor correspondente, e-mail: sarah@ufla.br

## 22 **Resumo**

23 As possíveis linhagens da raça Mangalarga Marchador (MM) foram formadas de acordo  
24 com características intrínsecas que cada família sul mineira estabelecia na seleção e  
25 acasalamento de equinos, afim de, obter animais MM padronizados e com caraterísticas de  
26 qualidade para o trabalho nas propriedades rurais. O objetivo deste estudo foi identificar a  
27 existência de possíveis linhagens da raça MM, levando em consideração a frequência alélica  
28 observada a partir de informações obtidas por genotipagem em marcadores microssatélites  
29 utilizando análise discriminante de componentes principais. Foram utilizados dados de  
30 60.795 equinos da raça MM (24.037 machos e 36.758 fêmeas) distribuídos por todo o  
31 território nacional e em todos os estados da federação, genotipados em teste de paternidade  
32 por exame de DNA para 13 *loci* microssatélites entre anos de 2005 a 2016. Para verificação  
33 da possível existência de linhagens, subdivisões da raça ou agrupamento de animais  
34 geneticamente semelhantes foi realizada a análise discriminante dos componentes principais  
35 (Discriminant Analysis of Principal Component – DAPC). O critério de informação  
36 bayesiana (Bayesian Information Criterion – BIC) foi utilizado para identificar o número  
37 ótimo de grupos (K) genéticos. Para escolha do número ideal de componentes principais  
38 (PCs) a serem retidos na análise, foi calculado o  $\alpha$ -score por meio do pacote adegenet do  
39 programa R. O número ideal de grupos foi de 300 (K = 300) e de PCs retidos na DAPC  
40 foram 35, escolhidos a partir do menor valor de BIC (300) e maior valor de  $\alpha$ -score (35 e  
41 0,8), respectivamente. Não foi observada a existência de dispersão dos valores ao longo dos  
42 quadrantes do gráfico da DAPC, demonstrando a não formação de grupos ou qualquer  
43 distanciamento genético entre animais dentro da raça MM. Não foi identificada  
44 geneticamente a existência de linhagens na raça Mangalarga Marchador, considerando dados  
45 de 13 microssatélites de animais nascidos a partir do ano de 2005.

46 **Palavras-chave:** Componentes principais; *Equus caballus*; Estrutura da população; SSR.

## 47 **1. Introdução**

48 A raça Mangalarga Marchador (MM) originária na região sul no estado de Minas  
49 Gerais, é a raça de equinos criados no Brasil que possui o maior número de exemplares, e  
50 devido a sua contribuição no desenvolvimento social e econômico brasileiro, foi considerada  
51 patrimônio nacional pela lei nº 12.975/2014 (ABCCMM, 2020), a fim de se garantir sua  
52 preservação e diversidade genética. A formação desta raça começou a partir da utilização de  
53 um garanhão da raça Puro Sangue Lusitano, proveniente da corte real portuguesa, que  
54 utilizado em cruzamentos com éguas nativas, com influência de cavalos da península  
55 Ibérica, germânicos e bérberes (Sorraia, Marismeño, Garrano, Bébere ou Barbo) resultou na  
56 raça MM (Casiuch, 2016), sendo considerada ainda em formação com menos de 200 anos de  
57 seleção (Santiago et al., 2016).

58 Com o desenvolvimento desta raça ao longo dos anos, as famílias sul mineiras  
59 selecionavam os animais baseados em suas preferências pessoais, valorizando  
60 principalmente animais com características de qualidade para o trabalho nas propriedades  
61 rurais, cavalgadas, caçadas e provas esportivas, como concursos de marcha, buscando  
62 animais com comodidade, rusticidade, docilidade e marcha de qualidade (Beck, 1992).  
63 Assim, as linhagens da raça foram se formando com suas características intrínsecas que cada  
64 família estabelecia em sua seleção, realizando acasalamentos, na maioria das vezes  
65 endogâmicos, provavelmente na tentativa de buscar maior padronização entre os animais,  
66 principalmente para fixação de características de andamento (Costa et al. 2005a).

67 Existem discussões sobre a existência das linhagens, pois poucos estudos científicos  
68 têm sido realizados a fim de elucidar este questionamento. Segundo vários historiadores e  
69 pesquisadores, como Bortoni (1991), Casiuch (1997 e 2016), as linhagens na raça  
70 Mangalarga Marchador existem e são baseadas nas linhagens masculinas que estão reunidas  
71 em apenas seis genearcas, sendo estes denominados: Fortuna, Joia da Chamusca, Sublime,

72 Gregório, Telegrama e Rosilho (ou Abismo) que foram responsáveis pelo estabelecimento e  
73 expansão da raça Mangalarga e Mangalarga Marchador nos séculos XIX e XX, visto que  
74 ambas as raças tiveram a mesma origem no Sul de Minas Gerais.

75 Desta maneira para Casiuch (2016) as linhagens da raça Mangalarga Marchador  
76 estão divididas em três grupos: linhagens base ou pilares que tiveram origem nos criatórios  
77 onde se iniciaram a seleção dos animais da raça e estas fazendas foram consideradas  
78 “núcleos de criação”, sendo elas: Favacho, Campo Alegre, Traituba, Narciso, Campo Lindo  
79 e Angahy. Linhagens tradição foram aquelas que tiveram sua origem em animais oriundos  
80 das linhagens base submetidos à seleção artificial visando à fixação de características de  
81 qualidade para servirem como fornecedoras de reprodutores para novas criações que  
82 surgiram posteriormente, são elas: Abaíba, Aliança, Ara, Bela Cruz, Catuni, F.R., Gironda,  
83 Herdade, Itamotinga, Km 47, Passa Tempo, Porto, Tabatinga, Caxambu (Desmembrada em  
84 outras duas linhagens que são Caxambuense e Santa Helena) e Água Limpa. As linhagens  
85 extintas são aquelas que contribuíram por um período para a raça, mas os criadores pararam  
86 de criar ao longo dos anos e estas acabaram desaparecendo, sendo elas: Engenho de Serra,  
87 Leme, Juca Carneiro, Criminosos, Silvestre Goiabal.

88 Como pode ser notada, a maioria das linhagens da raça MM é descrita somente em  
89 livros históricos, não existindo base científica que evidencie a existência de todas elas. Um  
90 trabalho científico buscou agrupar os animais geneticamente semelhantes na raça MM,  
91 considerando a população da raça, que foi o realizado por Costa et al. (2005b). Os autores  
92 verificaram a existência de somente cinco grupos genéticos distintos na população, as  
93 linhagens Herdade, Providência, Abaíba, Tabatinga e Angaí. Mas os estudos destes autores  
94 foram baseados em informações de pedigree do Stud Book da raça e não em dados  
95 genômicos. Por sua vez, Santos et al. (2019), também buscaram investigar formação de  
96 estruturas familiares na raça MM, utilizando genotipagem SNP em larga escala. Mas apesar

97 de encontrarem segregação em grupos na população estudada, não verificaram a existência  
98 de linhagens ligadas ao tipo de marcha na raça MM.

99 A verificação de linhagens também tem sido objeto de estudo em outras raças, pois  
100 seu conhecimento é fundamental para caracterização racial de determinado grupo genético,  
101 além de trazer possibilidades para auxílio no planejamento de programas de melhoramento  
102 genético nas diferentes raças equinas, como o proposto nos estudos de Meira et al. (2013) na  
103 raça Pantaneira e Marchiori et al. (2019) na Quarto de Milha, que utilizaram análise de  
104 componentes principais por meio marcadores moleculares, como SNP's (Polimorfismo de  
105 Único Nucleotídeo) e microssatélites (SSR - Simple Sequence Repeats) a fim de trazer  
106 maior confiabilidade aos resultados.

107 Neste sentido, pesquisas são necessárias com maiores conjunto de dados, juntamente  
108 com utilização de informações genéticas dos animais visando resultados mais acurados que  
109 possibilitem a verificação de quais linhagens realmente existem ou existiram na raça MM.  
110 Sendo assim o objetivo deste neste estudo foi identificar a existência de possíveis linhagens  
111 da raça Mangalarga Marchador, levando em consideração a frequência alélica observada a  
112 partir de informações obtidas por genotipagem em marcadores microssatélites utilizando  
113 análise discriminante de componentes principais.

114

## 115 **2. Material e Métodos**

116 O banco de dados de genotipagem em microssatélite utilizados neste estudo foi  
117 cedido pela Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo MM (ABCCMM). Nele  
118 continham informações de 60.795 equinos da raça MM (24.037 machos e 36.758 fêmeas,  
119 registrados nos livros provisórios e definitivos da raça), distribuídos por todo o território  
120 nacional e em todos os estados da federação, genotipados em teste de paternidade por exame  
121 de DNA entre anos de 2005 a 2016.

122 Para a avaliação da diversidade genética dentro da raça MM e possível subdivisão da  
123 mesma, utilizou-se dados de genotipagens de 13 *loci* microssatélites altamente polimórficos  
124 que são padronizado pela Sociedade Internacional de Genética Animal (ISAG), sendo eles  
125 AHT4, AHT5, ASB2, ASB17, ASB23, HMS2, HMS3, HMS6, HMS7, HTG4, HTG10,  
126 LEX03 e VHL20. Estes SSR utilizados estão distribuídos em 13 diferentes cromossomos do  
127 genoma equino (24, 8, 15, 2, 3, 10, 9, 4, 1, 9, 21, X e 30).

128 Para verificação da possível existência de linhagens, subdivisões ou agrupamento de  
129 animais geneticamente semelhantes na raça MM a partir dos dados de SSR foi realizado a  
130 análise discriminante dos componentes principais (Discriminant Analysis of Principal  
131 Component – DAPC) implementada por meio do pacote adegenet 2.0.0 (Jombart, 2008) do  
132 programa R. A partir desta metodologia foi definido o número ideal de componentes  
133 principais e o número de K grupos a serem formados utilizando a função find.clusters.

134 A DAPC requer que os grupos genéticos sejam definidos, mas como estes grupos são  
135 desconhecidos, foi necessário identificar os grupos genéticos utilizando o algoritmo de  
136 agrupamento de k-means, em que se encontra um determinado número (k) de grupos. Para  
137 identificação do número ideal de grupos, k-mean foram executados sequencialmente com  
138 valores crescentes de k, e comparados usando o Critério de Informação Baysiana (Bayesian  
139 Information Criterion - BIC). Deste modo o melhor valor BIC foi indicado pelo menor valor  
140 atingido pela curva entre os valores de BIC em função de k (Jombart et al. 2010). Desta  
141 maneira o algoritmo de agrupamento K-means foi implementado para K = 2 a 300 no  
142 conjunto total de dados.

143 Foram considerados componentes principais que explicavam acima de  
144 aproximadamente 80% da variância acumulada. O critério de informação bayesiana (BIC)  
145 foi utilizado para identificar o número ótimo de grupos genéticos. Para escolha do número  
146 ideal de PCs a serem retidos na análise, foi calculado o  $\alpha$ -score por meio do pacote adegenet

147 (Jombart, 2008) do programa R, onde para diminuir o uso intensivo do processamento, o  
148 método utiliza interpolação, reduzindo o número de  $\alpha$ -score estimados na faixa de PCs  
149 escolhida, a qual foi estipulada como de 1 a 75.

150 Todas as análises computacionais envolvidas neste estudo foram realizadas na  
151 Universidade de São Paulo - SP (USP), e Universidade de Mogi das Cruzes - SP (UMC).

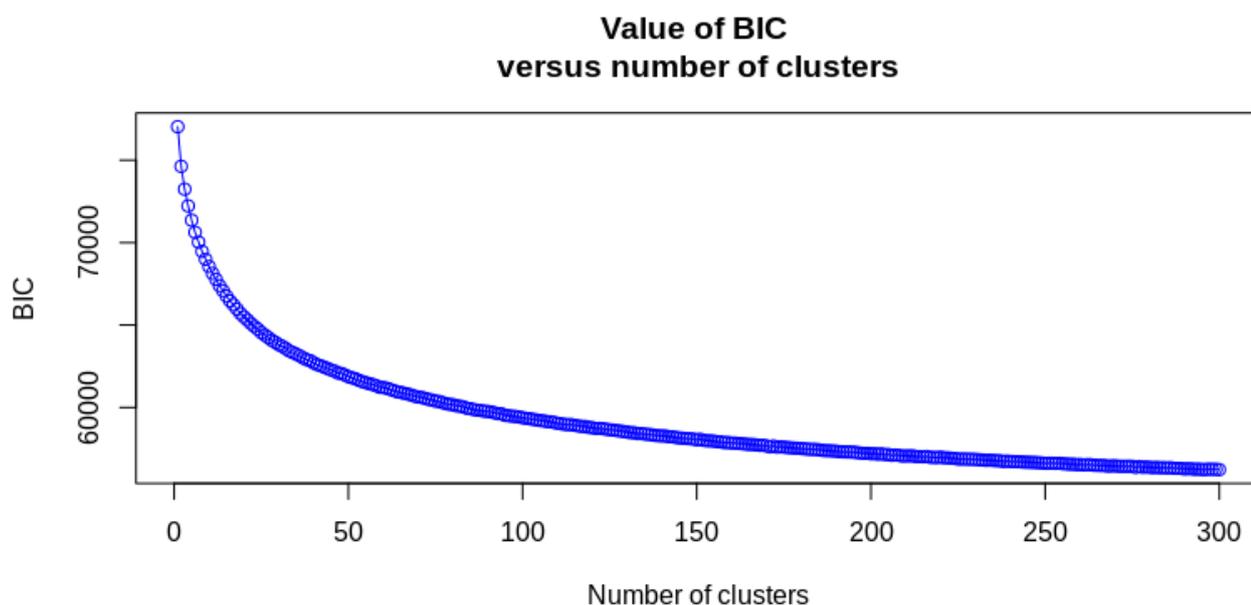
152

### 153 **3. Resultados e Discussão**

154 O número ideal de grupos foi de 300 ( $K = 300$ ) e de componentes principais foi de  
155 35 (PCs = 35) retidos na DAPC. Estes foram escolhidos a partir do menor valor de BIC  
156 (300) (Figura 1) e maior valor de  $\alpha$ -score, 35 e 0,8 (Figura 2), respectivamente. O número  
157 ideal de clusters e de componentes principais foi expressivamente maior neste estudo  
158 quando comparados a outros como o de Marchiori et al. (2019) na raça Quarta de Milha com  
159  $K = 6$  e PCs = 10, respectivamente, assim como  $K = 4$  e PCs = 6 nos estudos de Santos et al.  
160 (2019) na raça Mangalarga Marchador. Estas variações podem ser devidas ao tipo de  
161 marcadores moleculares utilizados, que nestes trabalhos foram o SNP e não SSR. Mas  
162 Vostrà-Vydrov à et al. (2017) em estudos em cavalos checos utilizando informações de SSR  
163 também obtiveram valores de  $K$  e PCs reduzidos (10 e 26, respectivamente), podendo tais  
164 diferenças estar relacionadas ao maior número de animais utilizados no presente estudo com  
165 a raça MM.

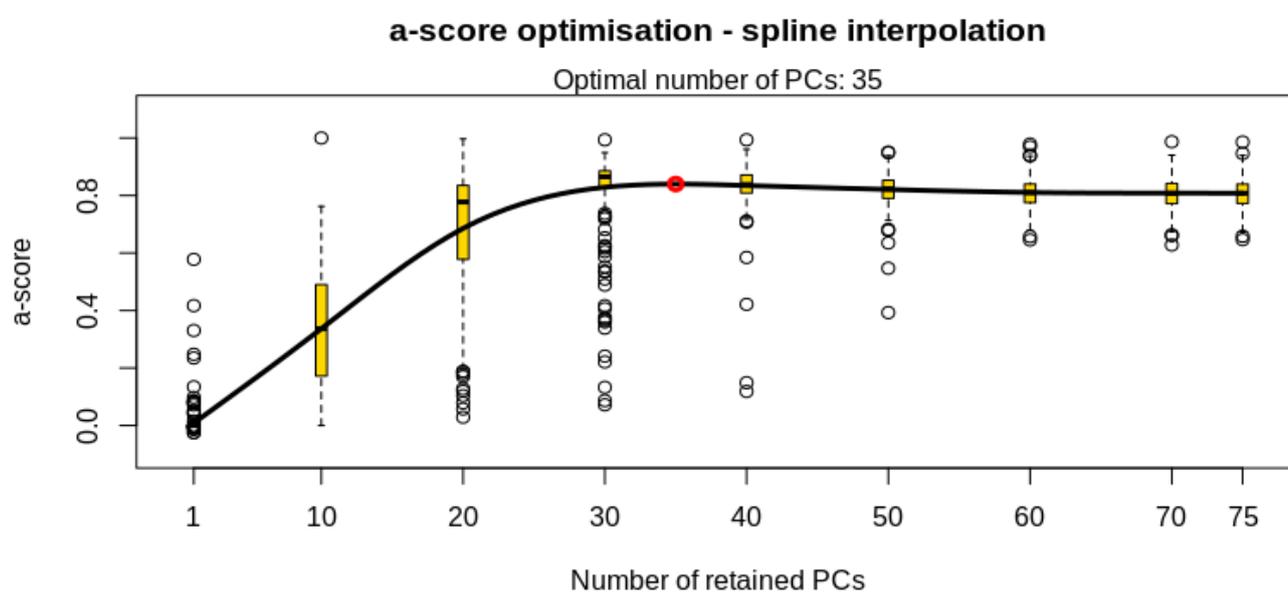
166

167



168 Figura 1. Variações do número ótimo de grupos dentro da amostra populacional da raça  
169 Mangalarga Marchador.

170

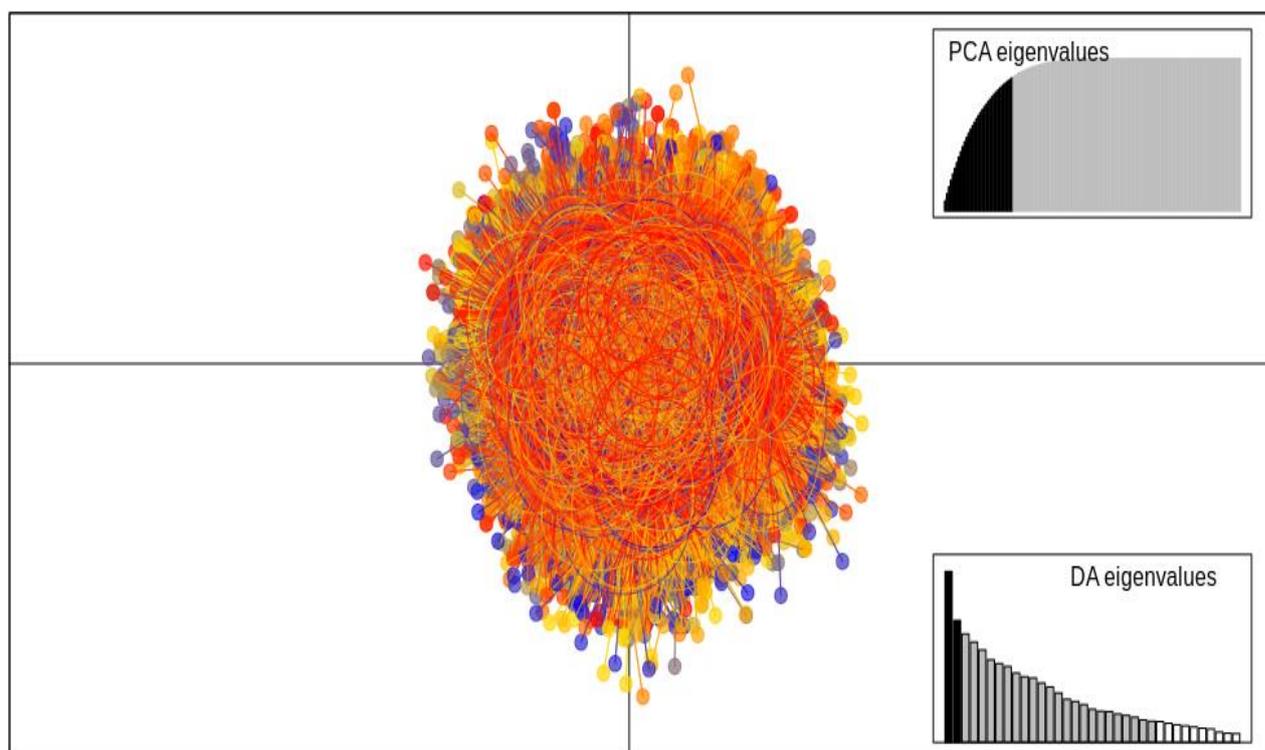


171 Figura 2. Variações do número ótimo de componentes principais retidos dentro da amostra  
172 populacional da raça Mangalarga Marchador.

173

174 A estrutura populacional da raça Mangalarga Marchador no Brasil, não apresentou  
175 estratificação em grupos geneticamente semelhantes, ou seja, linhagens. A partir da análise  
176 de DAPC (*Discriminant Analysis of Principal Component*) observou-se a não existência de  
177 dispersão dos valores ao longo dos quadrantes do gráfico (Figura 3), demonstrando  
178 claramente a não formação de grupos ou qualquer distanciamento genético dentro de grupos  
179 ou entre animais da raça MM, confirmando a não existência de linhagem nesta raça,  
180 considerando as informações de 13 microssatélites dos animais estudados a partir do ano de  
181 2005.

182 Como não houve formação de subpopulações dentro da raça MM a partir da não  
183 definição de grupos, não foram realizadas análises de componentes principais baseados no  
184 parentesco do pedigree dos animais para verificação de quais possíveis reprodutores machos  
185 ou fêmeas (os mais frequentes dentro de cada grupo familiar) poderiam indicar a formação  
186 de linhagens.



187 Figura 3. Análise discriminante dos componentes principais a partir de dados de marcadores  
188 microssatélites em equinos da raça Mangalarga Marchador.

189           Análises baseadas em componentes principais (CPs) para verificar a existência de  
190 linhagens e identificar animais geneticamente semelhantes tem sido empregadas com  
191 sucesso em equinos, contrariando os resultados encontrados, como demonstrado nos estudos  
192 propostos por Costa et al. (2005b) e Santos et al. (2019) na raça Mangalarga Marchador,  
193 Meira et al. (2013), Petersen et al. (2014) e Marchiori et al. (2019) na Quarto de Milha. Já  
194 nos trabalhos conduzidos por Vostrà-Vydrov à et al. (2017) em cavalos Tchecos assim como  
195 nesta pesquisa com a raça MM, também não houve distinção entre linhagens. Apesar de  
196 diferenças encontradas na literatura referentes à espécie equina esta metodologia também  
197 tem sido utilizada e bem aceita em outras espécies, visto sua facilidade de interpretação,  
198 como relatado nos trabalhos de Ai et al. (2013) com suínos, Kijas et al. (2012) em ovinos,  
199 assim como também demonstrando eficiência em pesquisa com humanos (Patterson et al.  
200 2006).

201           Na raça MM, objeto deste estudo, o único trabalho científico, que considerou dados  
202 de toda a população e buscou agrupar os animais geneticamente semelhantes foi o realizado  
203 por Costa et al. (2005b). Mas os autores não utilizaram análise discriminante de  
204 componentes principais e sim uma análise mais simplificada de CPs, baseada no coeficiente  
205 de parentesco dos animais pelo pedigree descrito no Stud Book da raça. Estes pesquisadores  
206 partiram do pressuposto que existiam subdivisões em linhagem dentro da raça MM, como  
207 descrito por vários historiadores. Encontraram cinco grupos genéticos distintos na  
208 população, associados aos descendentes: Herdade Alteza e Seta Caxias, Providência Itu e  
209 Tabatinga Predileto, Abaíba Marengo, Tabatinga Cossaco e Angaí Miron, nessa ordem de  
210 importância, sendo o principal animal considerado formador da raça a égua Herdade Alteza,  
211 o que não foi confirmado no presente estudo em que não foi encontrada nenhuma  
212 estratificação da raça em agrupamentos familiares.

213 Tais diferenças podem estar relacionadas às metodologias utilizadas, assim como a  
214 base de dados, ou seja, a população de animais verificada. Costa et al. (2005b) basearam  
215 seus estudos em informação de parentesco obtidas dos registros genealógicos dos animais,  
216 que podem levar a variações nos resultados, haja visto, que os livros para registros de  
217 machos e fêmeas foram fechados somente nos anos 1966 e 1984 (Bortoni, 1991; Santos et  
218 al., 2019), respectivamente. Possivelmente podem ter ocorrido compartilhamento de alelos  
219 com outras raças, como indicado nos estudos de Baena et al. (2020), o que pode levar a  
220 diferenças quanto a formação de grupos familiares. Além disso, as informações obtidas por  
221 estes autores foram provenientes de dados, onde não se utilizava testes de confirmação de  
222 paternidade por exame de DNA, que somente iniciaram em 2005. Desta forma como o  
223 presente estudo foi baseado em dados genéticos de microssatélites a partir do ano de 2005,  
224 que continham parentesco dos animais confirmado por teste de DNA, a não existência de  
225 linhagens podem estar relacionadas a diferenças entre as formas de delineamentos dos  
226 estudos. Também é importante considerar que como os equinos estudados por Costa et al.  
227 (2005b) não estão presentes na amostragem desta pesquisa por serem animais anteriores ao  
228 ano de 2005. Assim, como não houve formação de subpopulações dentro da raça MM pela  
229 DAPC não foi possível a realização de análises que buscassem correlacionar o parentesco do  
230 pedigree dos animais para verificação de quais possíveis reprodutores machos ou fêmeas  
231 poderiam indicar a formação de linhagens e se estes seriam relacionados aos achados de  
232 Costa et al. (2005b).

233 Pesquisas em outras raças estrangeiras têm sido realizadas também com a  
234 preocupação de se encontrar linhagens. Marchiori et al. (2019) buscaram aplicar as  
235 metodologias de análise de DAPC para separar geneticamente a linhagens de corrida e de  
236 trabalho da raça Quarto de Milha. Estes autores encontraram diferenças genéticas entre as  
237 linhagens que descendem de diferentes reprodutores. Mas vale ressaltar que para esta

238 pesquisa os autores coletaram pelos para genotipagem em chip de SNP das duas linhagens  
239 separadas, ou seja, já subdividiram a população antes de realizar a coleta, visto que, as duas  
240 são fenotipicamente bem definidas na raça Quarto de Milha, o que não ocorre na raça  
241 Mangalarga Marchador. Na raça MM não se tem estudos que comprovem com exatidão a  
242 definição de características fenotípicas de cada linhagem, como, por exemplo, morfologia e  
243 andamento bem definidos. Tentativas de verificar esta possibilidade em que se poderiam  
244 existir linhagens da raça MM em cada um dos andamentos (marcha batida e picada), ou seja,  
245 uma divisão da raça por este fenótipo, foram verificadas por Santos et al. (2019), mas estes  
246 autores não encontram subestruturas familiares ligadas ao tipo de marcha nos equinos MM.

247       Apesar deste trabalho não encontrar evidências da existência de linhagens na raça  
248 MM, vale salientar que foram considerados dados de animais a partir do ano de 2005,  
249 período no qual se iniciou os testes de paternidade por DNA nesta raça, não sendo avaliados  
250 animais anteriores a esta data. Desta forma as linhagens que são descritas ao longo da  
251 história do cavalo Mangalarga Marchador por estudiosos podem estar relacionadas ao início  
252 da formação da raça, em que as famílias sul mineiras estabeleciam a sua forma de seleção,  
253 realizando principalmente acasalamentos endogâmicos, para padronizar e produzir animais  
254 de qualidade, principalmente quanto ao andamento (Bortoni, 1991; Casiuch, 1997 e 2016;  
255 Costa et al., 2005a).

256       Neste sentido, pode ser que ao longo do tempo, com a grande expansão da raça e o  
257 intenso desenvolvimento de técnicas biotecnológicas de reprodução que permitiram a  
258 utilização de reprodutores de diferentes origens em todo o território nacional, estas linhagens  
259 foram sendo acasaladas pelos criadores e acabaram se extinguindo, sendo ainda  
260 consideradas nos dias atuais na raça MM por criadores e profissionais por questões  
261 históricas, comerciais e mercadológicas.

262

#### 263 **4. Conclusão**

264 Não foi identificada geneticamente a existência de linhagens na raça Mangalarga  
265 Marchador, considerando dados de 13 microssatélites de animais nascidos a partir do ano de  
266 2005. A DAPC não foi sensível o suficiente para determinar diferenças genéticas entre  
267 linhagens baseando-se em dados de microssatélite, sendo assim apesar desta pesquisa não  
268 evidenciar a existência de linhagens, mais estudos genômicos são necessários para  
269 complementar à verificação se as linhagens realmente existem ou existiram na raça  
270 Mangalarga Marchador e se estas exercem influência sobre ela até dos dias atuais.

271

#### 272 **5. Agradecimentos**

273 Agradecemos, ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFLA, ao Núcleo de  
274 Estudos em Equideocultura (NEQUI) e Grupo de melhoramento Animal e Biotecnologia  
275 (GMAB) da UFLA, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES),  
276 Universidade de São Paulo (USP), Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), a Associação  
277 Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador (ABCCMM) e ao Ministério da  
278 Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) pelo apoio prestado a este estudo.

279

#### 280 **6. Referências**

281 Ai, H., Huang, L., Ren, J., 2013. Genetic Diversity, Linkage Disequilibrium and Selection  
282 Signatures in Chinese and Western Pigs Revealed by Genome-Wide SNP Markers.  
283 PLoS ONE, 8, e56001. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056001>.

284

285 Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Mangalarga Marchador, 2020. História da  
286 ABCCMM. <http://www.abccmm.org.br/quemsomos> (Acessed 10 July 2020).

287

- 288 Baena, M.M., Diaz, Silvina, Moura, R.S., Meirelles, S.L.C., 2020. Genetic characterization  
289 of Mangalarga Marchador breed horses based on microsatellite molecular markers.  
290 Journal of Equine Veterinary Science. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103231>  
291
- 292 Beck, S.L., 1992. Mangalarga Marchador: Caracterização, história e seleção. Primeira ed,  
293 Brasília.  
294
- 295 Bortoni, R., 1991. O Mangalarga Marchador e os outros cavalos de sela no Brasil. Primeira  
296 ed. Grupo Rotal Ltda, Uberaba.  
297
- 298 Casiuch, R.L., 1997. O Romance da raça: Histórias do cavalo Mangalarga Marchador.  
299 Primeira ed. Empresa das Artes, São Paulo.  
300
- 301 Casiuch, R.L., 2016. As costelas do abismo: Os mais influentes garanhões do século XX na  
302 raça Mangalarga Marchador. Primeira ed. Essential Idea, São Paulo.  
303
- 304 Costa, M. D., Bergmann, J. A. G., Rezende, A. S. C., Fonseca, C. G., 2005a. Análise  
305 temporal da endogamia e do tamanho efetivo da população de equinos da raça  
306 Mangalarga Marchador. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., 57, 112-119.  
307 <https://doi.org/10.1590/S0102-09352005000100015>.  
308
- 309 Costa, M. D., Bergmann, J. A. G., Rezende, A. S. C., Fonseca, C. G., Faria, F. J. C., 2005b.  
310 Estudo da subdivisão genética da raça Mangalarga Marchador. Arq. Bras. Med. Vet.  
311 Zootec., 57, 272-280. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352005000200021>.  
312

- 313 Jombart, T., 2008. Adegnet: a R package for the multivariate analysis of genetic markers.  
314 *Bioinformatics* 24, 1403–1405. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btn129>.  
315
- 316 Jombart, T., Devillard, S., Balloux, F., 2010. Discriminant analysis of principal components:  
317 a new method for the analysis of genetically structured populations. *BMC Genet.* 11,  
318 94–109. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-94>.  
319
- 320 Kijas, J. W., Lenstra, J. A., Hayes, B., Boitard, S., Porto Neto, L. R., 2012. Genome-Wide  
321 Analysis of the World's Sheep Breeds Reveals High Levels of Historic Mixture and  
322 Strong Recent Selection. *PLoS ONE*, 10, 100-1258.  
323 <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.101258>.  
324
- 325 Marchiori, C. , Pereira, G. L. , Maiorano, A. M. , Rogatto, G. M. , Assoni, A. D. , Silva, J.  
326 A. II V. , Chardulo, L. A. L. , Curi, R.A., 2019. Linkage disequilibrium and population  
327 structure characterization in the cutting and racing lines of Quarter Horses bred in  
328 Brazil. *Livestock Science*, 219, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.013>.  
329
- 330 Meira, C.T., Curi, R.A., Silva, J. A.V., Correa, M.J.M., Oliveira, H.N., Mota, M.D.S., 2013.  
331 Morphological and genomic differences between cutting and racing lines of quarter  
332 horses. *J. Equine Vet. Sci.*, 33, 244–249. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2012.07.001>  
333
- 334 Patterson, N., Price, A. L., Reich, D., 2006. Population structure and eigenanalysis. *Plos*  
335 *Genetics*, 2, 2074-2093. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0020190>.  
336

337 Petersen, J. L., Mickelson, J. R., Cleary, K. D., McCue, M. E., 2014. The American Quarter  
338 Horse: Population Structure and Relationship to the Thoroughbred. *Journal of Heredity*,  
339 105, 148–162. <https://doi.org/10.1093/jhered/est079>.

340

341 Santiago, J.M., Rezende, A. S. C., Lana, A. M. Q., Fonseca, M. G., Lage, J., 2016.  
342 Evolution of morphometric measures in the Mangalarga Marchador breed. *Revista*  
343 *Caatinga*. 29, 191-199. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n122rc>.

344

345 Santos, B.A., Pereira, G.L., Bussiman, F.O., Paschoal, V.R., Souza Júnior, S.M., Balieiro,  
346 J.C.C., Chardulo, L.A.L., Curi, R.A., 2019. Genomic analysis of the population  
347 structure in horses of the Brazilian Mangalarga Marchador breed. *Livestock Science*.  
348 229, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.09.010>.

349

350 Vostrà-Vydrov, H., Hofmanová, B, Majzlik, I., Novotná, A., Vostry, L., 2017. Genetic  
351 Distances and Admixture between Sire Lines of the Old Kladruber Horse. *Agriculturae*  
352 *Conspectus Scientificus*. 82, 287-291. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.001>.

353