

UFRRJ
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

DISSERTAÇÃO

**Estudo das Características Morfométricas e da Associação
Genômica Ampla (GWAS) em Equinos da Raça Campolina**

Lisia Castro Krebs

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS E
DA ASSOCIAÇÃO GENÔMICA AMPLA (GWAS) EM
EQUINOS DA RAÇA CAMPOLINA**

LISIA CASTRO KREBS

Sob a Orientação da Professora

Fernanda Nascimento de Godoi

e Co-orientação da Professora

Ana Lúcia Puerro de Melo

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal.

Seropédica, RJ

Maio, 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

KK92ee Krebs, Lísia Castro, 1994-
Estudo das Características Morfométricas e da
Associação Genômica Ampla (GWAS) em Equinos da Raça
Campolina / Lísia Castro Krebs. - Seropédica, 2021.
117 f.: il.

Orientadora: Fernanda Nascimento de Godoi.
Coorientadora: Ana Lúcia Puerro de Melo.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, 2021.

1. Zootecnia. 2. Ciências Agrárias. 3. Equinos. 4.
GWAS. 5. Morfometria. I. Godoi, Fernanda Nascimento
de, 1982-, orient. II. Melo, Ana Lúcia Puerro de, -
, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV.
Titulo.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**



DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS Nº7085/2021-PPGZ (12.28.01.00.00.00.61)

Nº do Protocolo: 23083.038270/2021-59 Seropédica-RJ, 02 de junho de 2021.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
LISIA CASTRO KREBS**

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/05/2021.

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Banca Examinadora:

Fernanda Nascimento de Godoi, Dr.^a UFRRJ – (Presidente)

Marina Mortati Dias Barbero, Dr.^a UFRRJ

Jorge Eduardo Cavalcante Lucena, Dr. UFAPE

(Assinado digitalmente em 07/06/2021 12:51)

FERNANDA NASCIMENTO DE GODOI
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DPA (12.28.01.00.00.00.63)
Matrícula: 1189642

(Assinado digitalmente em 03/06/2021 09:46)

MARINA MORTATI DIAS BARBERO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptG (12.28.01.00.00.00.50)
Matrícula: 1051901

(Assinado digitalmente em 02/06/2021 21:06)

JORGE EDUARDO CAVALCANTE LUCENA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 021.624.374-22

Para verificar a autenticidade deste documento entre em

<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **7085**, ano: **2021**, tipo: **DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS**, data de emissão: **02/06/2021** e o código de verificação: **8722a942a1**

AGRADECIMENTOS

A jornada torna-se cada vez mais difícil se caminhamos sozinhos! Por isso agradeço a todos que fizeram e fazem parte dessa trilha que se chama minha vida!

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar força, coragem, proteção e iluminação para terminar essa minha batalha!

Aos meus pais, Jane e Max, que lutaram todos os dias para proporcionar tudo isto que pude vivenciar, aprender, crescer. Agradeço, pela importância que dão aos meus estudos. Gratidão por sempre acreditarem no meu potencial, me ajudarem, me dar força e ser meu alicerce!

Aos meus irmãos e cunhados, Karine, Enaje, Mayky e Arno; Jessica, Iago e Bia que tenho grandes admirações, sou grata a tudo que fazem por mim.

Aos meus sobrinhos Alice, Lara, Maria Julia, Lis e Pedro que me fazem ver sentido na vida e o quão importante ela é!

Aos meus avós, tias e tios, primas e primos, pelo carinho que têm por mim, e pelo incentivo e apoio de sempre!

Agradeço aos meus amigos e colegas por todas as horas que me escutaram, por dividirem vários momentos comigo, tanto de alegrias, quanto de tristezas, por me apoiarem, me colocarem para cima. Pelos momentos de risos e choros. Agradeço em especial a Aline, Marina, Ada, Erica, Laryssa, Lucas e Brennda, foram pessoas que tiveram sempre presentes comigo, muito obrigada de coração!

À minha orientadora Fernanda agradeço primeiramente por ter sido minha orientadora e pelo projeto de pesquisa. Sou grata por tudo que aprendi, por todas as oportunidades que me tornaram melhor, por todos os conhecimentos passados, pela orientação, o apoio, pelos nossos momentos de conversa aleatórios, por me escutar, pelos passeios a cavalo, os momentos com o Quiz. Você me tornou uma pessoa melhor e contribuiu para minha evolução!

À equipe “Orientados Godoi”, Marina, Maria, Brennda, Faby, Leo, sou muito grata por toda ajuda, risada, empenho, dedicação, por enfrentar os intemperes, cansaço, planilhaaasss, por ter conhecido vocês, muito obrigada por todo trabalho que tivemos para por em prática esse projeto.

Ao grupo Híppus por todo conhecimento, aprendizado de organização, apresentação, confiança e momentos!

À equipe do Equilab/Ladeq pelas oportunidades que pude ter convívio, foi de grande proveito para minha vida!

Aos professores Erica, Marina, Raphael, Gregório e Iara que me ajudaram, e muito, a realizar esse projeto, de ter paciência em me ensinar e tirar minhas dúvidas sobre o mundo novo da genômica.

Agradeço a minha psicóloga Carol, por ter me ajudado nos momentos de crise, mostrar como seguir outros caminhos, a confiar mais em mim e no meu potencial!

Aos cavalos, principalmente do setor dos garanhões, que eram minha válvula de escape, nos momentos de correria e estresse, me acalmavam e me davam paciência para continuar. E junto, agradeço ao Jorginho por me receber e incentivar em manter o contato com o setor nesses momentos.

Agradeço aos professores que aceitaram fazer parte da minha banca!

A todos aqueles que fizeram parte da minha jornada, que me acolheram, me deram conforto, me ensinaram, me amaram!

A todos os meus professores que fizeram dessa caminhada uma conquista!

A cada abraço recebido, pois são muito importantes para mim!

À Fazenda Oratório, seus funcionários e a ABCCCampolina, por terem cedido os equinos, tempo, dados e apoio para a realização da pesquisa.

Ao Instituto de Zootecnia e todos aqueles que fazem parte deste para torná-lo um lugar de grandes saberes, por todo esforço que esta equipe realiza!

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia (PPGZ) da UFRRJ, por toda estrutura, suporte e aprendizado!

Ao CNPq e a CAPES pelo financiamento do projeto de pesquisa e pela bolsa de mestrado!

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pois sem ela nada disso seria possível.

Agradeço por estarem comigo, me apoiarem e me darem suporte, para mais uma etapa desta longa caminhada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

RESUMO

KREBS, Lisia Castro. **Estudo das Características Morfométricas e da Associação Genômica Ampla (GWAS) em Equinos da Raça Campolina**. 2021. N. 117p. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Os estudos em análises morfométricas dos equinos progrediram nos últimos anos; sempre partindo da premissa desta avaliação estar relacionada com a aptidão do cavalo. Com o avanço da avaliação genética na equinocultura criou-se a oportunidade de obter informações precisas sobre a funcionalidade dos animais, assim como a maior exatidão da descendência e obter o alelo desejado. Esta pesquisa tem como objetivo realizar Estudo das características Fenotípicas e o Estudo de Associação Genômica Ampla (GWAS) de medidas morfométricas em equinos da raça Campolina. Foram mensurados 270 equinos, com idade acima de 36 meses de idade, registrados na Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Campolina (ABCCCampolina), pertencentes aos estados da Bahia, Rio de Janeiro e Minas Gerais, para a Análise Fenotípica de 45 medidas morfométricas. Destes equinos foram selecionados, com base no pedigree, 48 animais para extração do DNA para posterior realização do GWAS. E, para a realização do GWAS foram utilizados os dados de 18.876 registros genealógicos da ABCCCampolina, o qual contém as informações de 15 medidas morfométricas. O DNA genômico foi extraído de amostras de bulbo capilar utilizando o kit Nucleospin Tissue. Posteriormente a extração do DNA, ocorreu a genotipagem do DNA com a utilização do chip GGP Equine Illumina ~65000SNP. As análises estatísticas realizadas para os dados fenotípicos foram correlação de Pearson, covariância, análise discriminante e componentes principais. Após foi realizado a análise genotípica e o GWAS. As análises foram realizadas utilizando o Excel[®], RStudio[®] e softwares BLUPF90[®]. Na análise de correlação de Pearson observou-se que as medidas lineares e de perímetro correlacionaram positivamente com as 45 medidas morfométricas. A maioria das medidas angulares possuíram correlações não significantes com as medidas morfométricas. Verificou-se que na análise de covariância, de componentes principais e discriminante que os machos apresentaram menor variação das medidas lineares e de perímetros em relação as fêmeas. Os machos foram mais altos e apresentaram peito mais largo, maior ângulo escapulo-umeral e maior pescoço, tanto no comprimento quanto no perímetro em relação as fêmeas ($P < 0,05$). As fêmeas apresentaram maior perímetro torácico, ancas mais largas e maior abertura dos ângulos coxo-solo e femoro-tibial do que os machos ($P < 0,05$). Na análise de GWAS observou-se que para as 15 medidas morfométricas 628 SNPs foram responsáveis por explicar mais de 1% da variação genética ocorrida em equinos da raça Campolina. Conclui-se que na raça Campolina, as medidas lineares e de perímetros são as medidas morfométricas mais indicadas para classificação dos equinos quanto ao sexo, apresentando maior dimorfismo sexual, quando comparadas as medidas angulares. Os possíveis genes candidatos para as medidas morfométricas avaliadas foram: *RBMS3*, *HAUS*, *PIK3R1*, *SUCLG2*, *ZCWPW2*, *CLYBL*, *DNAJC3*, *DNAJC15*, *KMO*, *LMOD3*, *LOC100630169*, *LOC102148584*, *LRCH1* e *THRB*.

Palavras-chave: cavalo, genética, morfometria.

ABSTRACT

KREBS, Lisia Castro. **Study of Morphometric Characteristics and Genomic Wide Association (GWAS) in Campolina Horses**. 2021. N. 117p. Master's dissertation. Post-Graduation in Animal Science, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Studies in morphometric analyzes of horses have progressed in recent years; always assuming this assessment is related to the horse's fitness. With the advance of genetic evaluation in equine culture, the opportunity has been created to obtain precise information about the functionality of the animals, as well as greater accuracy of offspring and to obtain the desired allele. This research aims to study the Phenotypic characteristics and the Genomic Wide Association Study (GWAS) of morphometric measurements in Campolina horses. A total of 267 horses, aged over 36 months, registered at the Brazilian Association of Horse Breeders Campolina (ABCCCampolina), belonging to the states of Bahia, Rio de Janeiro and Minas Gerais, were measured for the Phenotypic analysis of 45 morphometric measurements. From these horses, 48 animals were selected, based on the pedigree, for DNA extraction for subsequent GWAS performance. And, to carry out the GWAS, data from 18,876 genealogical records of ABCCCampolina were used, which contains information from 15 morphometric measurements. Genomic DNA was extracted from hair bulb samples using the Nucleospin Tissue kit. After DNA extraction, DNA genotyping was performed using the GGP Equine Illumina ~65000SNP chip. Statistical analyzes performed for phenotypic data were Pearson correlation, covariance, discriminant analysis and principal components. Afterwards, genotypic analysis and GWAS were performed. Analyzes were performed using Excel[®], RStudio[®] and BLUPF90[®]. In the Pearson correlation analysis, it was observed that the linear and perimeter measurements correlated positively with the 45 morphometric measurements. Most angular measurements had non-significant correlations with morphometric measurements. It was found that in the analysis of covariance, principal components and discriminant that males presented less variation in linear and perimeter measurements than females. Males were taller and had wider chest, greater scapulohumeral angle and larger neck, both in length and perimeter than females ($P < 0.05$). Females had greater thoracic perimeter, wider hips and greater opening of the thigh-ground and femoro-tibial angles than males ($P < 0.05$). In the GWAS analysis, it was observed that for the 15 morphometric measurements, 628 SNPs were responsible for explaining more than 1% of the genetic variation that occurred in Campolina horses. It is concluded that in Campolina breed, linear and perimeter measurements are the most suitable morphometric measurements for classifying horses according to gender, with greater sexual dimorphism when compared to angular measurements. Possible candidate genes for the morphometric measurements evaluated were: *RBMS3*, *HAUS*, *PIK3R1*, *SUCLG2*, *ZCWPW2*, *CLYBL*, *DNAJC3*, *DNAJC15*, *KMO*, *LMOD3*, *LOC100630169*, *LOC102148584*, *LRCH1* and *THRB*.

Keywords: genetics, horse, morphometry

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios, valores mínimos, valores máximos e desvio padrão das medidas lineares avaliadas nos equinos da raça Campolina.....	23
Tabela 2. Valores médios, valores mínimos, valores máximos e desvio padrão das medidas de perímetro avaliadas nos equinos da raça Campolina.....	21
Tabela 3. Valores médios, valores mínimos, valores máximos e desvio padrão das medidas angulares avaliadas nos equinos da raça Campolina.....	24
Tabela 4. Medidas morfométricas para cálculos dos índices morfométricos e classificação dos equinos da raça Campolina.....	24
Tabela 5. Correlação de Pearson entre as 45 medidas morfométricas avaliadas dos equinos da raça Campolina.....	26
Tabela 6. Proporções das medidas lineares dos equinos da raça Campolina em relação ao comprimento da cabeça.....	28
Tabela 7. Intervalo de proporções das medidas lineares em relação à altura na cernelha.....	29
Tabela 8. Intervalo de proporções das medidas lineares com a altura na garupa.....	29
Tabela 9. Intervalo de proporções das medidas lineares com o comprimento do corpo.....	30
Tabela 10. Intervalo de proporções das medidas lineares com o comprimento do pescoço...	30
Tabela 11. Intervalo de proporções das medidas lineares com o comprimento do dorso-lombo.....	31
Tabela 12. Intervalo de proporções das medidas lineares com o comprimento da orelha.....	31
Tabela 13. Intervalo de proporções das medidas lineares com os comprimentos do membro torácico	32
Tabela 14. Intervalo de proporções das medidas lineares com os comprimentos do membro pélvico.....	33
Tabela 15. Intervalo de proporções das medidas lineares com as medidas de distância.....	33
Tabela 16. Intervalo de proporções das medidas lineares com as larguras.....	32
Tabela 17. Intervalo de proporções das medidas angulares.....	34
Tabela 18. Porcentagem acumulada conforme o autovalor dos componentes principais (CP) das medidas lineares para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina.....	49
Tabela 19. Correlação das medidas lineares (ML) com os componentes principais (CP) para fêmeas de equinos da raça Campolina.....	51
Tabela 20. Correlação das medidas lineares (ML) com os componentes principais (CP) para machos de equinos da raça Campolina.....	52
Tabela 21. Porcentagem acumulada conforme o autovalor dos componentes principais (CP) das medidas de perímetros para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina.....	53
Tabela 22. Correlação das medidas de perímetros (MP) com os componentes principais (CP) para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina.....	54
Tabela 23. Porcentagem acumulada conforme o autovalor dos componentes principais (CP) das medidas angulares para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina.....	55
Tabela 24. Correlação das medidas angulares (MA) com os componentes principais (CP) para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina.....	55
Tabela 25. Valores médios das medidas lineares de machos e fêmeas de equinos (<i>Equus caballus</i>) da raça Campolina no Brasil.....	66
Tabela 26. Valores médios das medidas de perímetros de machos e fêmeas de equinos (<i>Equus caballus</i>) da raça Campolina no Brasil.....	67

Tabela 27. Valores médios das medidas angulares de machos e fêmeas de equinos (<i>Equus caballus</i>) da raça Campolina no Brasil.....	67
Tabela 28. Classificação dos equinos (<i>Equus caballus</i>) da raça Campolina de acordo com o sexo em relação as medidas lineares.....	67
Tabela 29. Classificação dos equinos (<i>Equus caballus</i>) da raça Campolina de acordo com o sexo em relação as medidas de perímetros.....	68
Tabela 30. Classificação dos equinos (<i>Equus caballus</i>) da raça Campolina de acordo com o sexo em relação as medidas angulares.....	68
Tabela 31. Estatística descritiva de 15 medidas lineares nos equinos da raça Campolina.....	82
Tabela 32. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida altura na cernelha.....	83
Tabela 33. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida altura na garupa.....	84
Tabela 34. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida altura no dorso.....	85
Tabela 35. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida altura do costado.....	86
Tabela 36. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento da cabeça.....	88
Tabela 37. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento do pescoço.....	89
Tabela 38. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento do corpo.....	91
Tabela 39. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento dorso-lombo.....	92
Tabela 40. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento da espádua.....	94
Tabela 41. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento da garupa.....	95
Tabela 42. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida largura da cabeça.....	96
Tabela 43. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida largura do peito.....	98
Tabela 44. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida largura entre as ancas.....	99
Tabela 45. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida perímetro torácico.....	100
Tabela 46. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida perímetro da canela torácica.....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Utilização do hipômetro para a mensuração das medidas lineares.....	16
Figura 2. Utilização da fita métrica para a mensuração das medidas lineares e de perímetros.....	17
Figura 3. Utilização do artrogoniômetro para a mensuração das medidas angulares.....	17
Figura 4. Medidas morfométricas dos equinos da raça Campolina.....	18
Figura 5. Análise de Componentes Principais das Medidas Lineares	50
Figura 6. Análise de Componentes Principais das Medidas de Perímetro.....	53
Figura 7. Análise de Componentes Principais das Medidas Angulares.....	55
Figura 8. Classificação das medidas morfométricas dos equinos (<i>Equus caballus</i>) da raça Campolina no Brasil de acordo com o sexo.....	68
Figura 9. Coleta de amostras do bulbo capilar para realização da extração do DNA.....	80
Figura 10. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica altura na cernelha.....	83
Figura 11. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica altura na garupa.....	85
Figura 12. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica altura no dorso.....	86
Figura 13. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica altura do costado.....	87
Figura 14. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento da cabeça	88
Figura 15. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento do pescoço...	90
Figura 16. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento do corpo	91
Figura 17. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento dorso-lombo	93
Figura 18. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento da espádua...	94
Figura 19. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento da garupa.....	95
Figura 20. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica largura da cabeça.....	97
Figura 21. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica largura do peito.....	98
Figura 22. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica largura entre as ancas.....	100
Figura 23. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica perímetro torácico.....	101
Figura 24. Manhattan plot da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica perímetro da canela.....	102

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Equinocultura no Brasil	2
2.2 A Raça Campolina	2
2.3 Melhoramento Genético na Equinocultura	3
2.4 A Utilização das Medidas Morfométricas para Avaliação e Melhoramento Genético dos Equinos	5
2.5 Genes Relacionados à Morfometria dos Equinos	5
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
CAPÍTULO I - MORFOMETRIA DOS EQUINOS DA RAÇA CAMPOLINA	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	14
2 MATERIAL E MÉTODOS	16
3 RESULTADOS	23
4 DISCUSSÃO	36
5 CONCLUSÕES	41
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
CAPÍTULO II - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS MEDIDAS MORFOMÉTRICAS DE EQUINOS DA RAÇA CAMPOLINA	45
RESUMO	46
ABSTRACT	47
1 INTRODUÇÃO	48
2 MATERIAL E MÉTODOS	49
3 RESULTADOS	50
4 DISCUSSÃO	57
5 CONCLUSÕES	59
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO DO DIMORFISMO SEXUAL EM EQUINOS DA RAÇA CAMPOLINA	62
RESUMO	63
ABSTRACT	64
1 INTRODUÇÃO	65
2 MATERIAL E MÉTODOS	66
3 RESULTADOS	67
4 DISCUSSÃO	70

5	CONCLUSÕES	73
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
	CAPÍTULO IV - ESTUDO DE ASSOCIAÇÃO GENÔMICA AMPLA (GWAS) DE MEDIDAS MORFOMÉTRICAS EM EQUINOS DA RAÇA CAMPOLINA	76
	RESUMO	77
	ABSTRACT	78
1	INTRODUÇÃO	79
2	MATERIAL E MÉTODOS	80
2.1	Estimação dos parâmetros genéticos	80
2.2	Dados genotípicos e controle de qualidade	81
2.3	Análise de Estudo de Associação Genômica Ampla (GWAS)	82
2.4	Identificação e anotação dos genes	82
3	RESULTADOS	83
4	DISCUSSÃO	104
5	CONCLUSÕES	109
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
	CONCLUSÕES GERAIS	117

1 INTRODUÇÃO GERAL

A raça Campolina originou-se no Brasil com o propósito de produzir animais de porte alto, robustez, resistência, andar cômodo, e para ser utilizada tanto para trabalho quanto para lazer (ABCCCampolina, 2018). Com o aperfeiçoamento da raça, devido ao apelo mercadológico dos criadores e buscando a melhora na qualidade funcional do equino, houve alterações na conformação e funcionalidade da raça Campolina (Lucena et al., 2015; Sousa et al., 2018).

As Associações Brasileiras de Criadores das raças nacionais, nos últimos anos, incentivam cada vez mais a criação e desenvolvimento dos equinos no Brasil. O melhoramento genético das raças nacionais é realizado pela seleção dos melhores fenótipos nas provas de morfologia e marcha. Sabe-se que as características morfométricas possuem de média a alta herdabilidade e correlações fenotípicas e genotípicas entre si, portanto, podem ser melhoradas geneticamente com maior facilidade, e auxiliam na definição dos critérios de seleção (Procópio, 2008; Bussiman et al., 2018).

Para propiciar a seleção de determinada função em que o cavalo irá atuar, é importante verificar e avaliar as medidas morfométricas que estão diretamente ligadas com a locomoção dos equinos, e para isto, a análise dos padrões de variação genética destas características, são ferramentas que auxiliam esta seleção. As análises genéticas permitem otimizar os programas de melhoramento e maximizar a probabilidade de produção de animais geneticamente superiores (Li e Pinkel, 2006). Desta forma, mostra-se a importância de avaliar morfológica e geneticamente essas características para simplificar o processo de seleção e, então chegar ao objetivo proposto.

O Estudo de Associação Genômica Ampla (GWAS) possibilita verificar quais são os possíveis genes relacionados a característica que se deseja estudar ou melhorar. Além disso, na literatura atual, não existe comprovação de genes que influenciam em cada uma das características morfométricas em equinos. E, não existe trabalhos de GWAS para a conformação de equinos da raça Campolina. Dessa forma, o objetivo geral desse estudo foi realizar o estudo das características Fenotípicas e o GWAS das características morfométricas de equinos da raça Campolina.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Equinocultura no Brasil

Nas últimas décadas houve um crescimento nas atividades relacionadas ao cavalo, principalmente nas atividades de esporte e lazer no Brasil. As atividades desportivas envolvendo equídeos movimentam em torno de R\$ 5,84 bilhões e empregam cerca de 125.700 pessoas para o país, sendo estimada a participação aproximada de 50 mil atletas (Lima e Cintra, 2016).

É fato que a equinocultura tem grande importância no Brasil. Segundo Lima e Cintra (2016) a criação de cavalos colabora com mais de 16 bilhões de reais para o PIB nos últimos anos e emprega 3 milhões de pessoas direta e indiretamente. Porém ainda é difícil que a população entenda que os equídeos possuem grande importância para a economia, pois a cadeia produtiva não ocorre de forma linear, depende de um conjunto de cadeias produtivas que possuem interatividade intersetoriais (Lima e Cintra, 2016).

A equinocultura brasileira apresentou nos últimos anos, crescimento de 11,2% ao ano, justificado pela alta na quantidade de novos adeptos ao uso do cavalo, bem como os faturamentos dos diversos elos que compõem a cadeia produtiva. O que pode ser observado pelo fato de o país ter clima apropriado ao uso do cavalo durante todo o ano, possuir uma diversidade ambiental e cultural que incentiva as atividades de lazer e trabalho com o cavalo. O turismo equestre representa uma importante oportunidade para a qualificação e diferenciação da oferta turística nacional, assim como a dinamização das economias rurais (Lima e Cintra, 2016). E, as Associações Brasileira de Criadores das raças nacionais, nos últimos anos, incentivam cada vez mais a criação e o desenvolvimento dos equinos no Brasil.

2.2 A Raça Campolina

Em 1870, com o nascimento do potro Monarca, filho de um garanhão da raça Andaluz com égua Medéia, teve-se o marco inicial da raça Campolina, na Fazenda do Tanque, no município de Entre Rios, MG, pelo fundador da raça Cassiano Campolina. O objetivo era criar uma raça que apresentasse características de robustez, resistência, andar cômodo, porte alto, podendo ser utilizada tanto para trabalho quanto para lazer (ABCCCampolina, 2018). Devido ao apelo mercadológico e buscando melhorias morfofuncionais, desde então, ocorreram mudanças constantes na raça, alterando a conformação racial e proporcionando melhorias na locomoção (Lucena et al., 2015).

De acordo com o Padrão Racial oficial, homologado pelo Ministério da Agricultura, sob delegação da Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Campolina (ABCCCampolina, 2018) as principais características físicas que definem a raça Campolina são cabeça de formato trapezoidal, perfil retilíneo na frente e suavemente convexilíneo no chanfro, harmoniosa e proporcional; porte proporcional, equilíbrio e harmonia entre as partes do corpo, ser mediolíneo, com altura mínima aos 36 meses para machos de 1,54m e para fêmeas de 1,45m; ter relação entre os comprimentos de cabeça, pescoço e espádua de 1:1:1; e possuir como andamento intermediário a marcha.

Devido aos campeões das provas de morfologia e marcha, principalmente garanhões, apresentarem a maioria das medidas morfométricas menores dos que os animais não vencedores (Sousa et al., 2018), e o regulamento homologado pela ABCCCampolina (2018) ter diminuído a altura mínima de altura na cernelha. Revelou-se que, provavelmente, houve redução das medidas morfométricas dos equinos registrados na ABCCCampolina nos últimos anos, principalmente em relação ao tamanho dos equinos. Desta forma, mostra-se a

importância de avaliar morfológica e descobrir a genética dessas características, para facilitar a seleção dos animais, maximizar a probabilidade de produção de animais geneticamente superiores, e então chegar ao objetivo proposto.

2.3 Melhoramento Genético na Equinocultura

O melhoramento animal é uma ciência que utiliza os conhecimentos da genética, estatística e economia, para realizar a criação animal com maior eficiência e menor custo (Pereira, 2008). Para tal, são utilizadas estratégias de seleção e acasalamento para alcançar esse objetivo. Segundo Pereira (2012), as estratégias de seleção para a identificação de genótipos que apresentam desempenho superior, estão cada vez mais eficientes nos programas de melhoramento animal. E assim, utiliza-se diretamente das informações do DNA na seleção, o que permite alta eficiência seletiva e grande rapidez na obtenção de ganhos genéticos (Resende et al., 2008).

O aumento da produção e produtividade dos animais domésticos é um desafio técnico. O nível de produção é resultante das condições do ambiente e da composição genética dos animais. Portanto, essas duas forças são fatores de relevância para a produção animal. A utilização da avaliação genética, então, mostra-se importante para a base do estabelecimento de programas de melhoramento, e é o fator limitante da capacidade de resposta dos animais aos processos seletivos (Pereira 2012).

Segundo Regatieri e Mota (2012) mesmo estando distanciados dos centros de pesquisa, as técnicas de melhoramento genético visando melhor desempenho esportivo, ultimamente, são almejadas pelos criadores, buscando melhores resultados em pista e, utilizando destes resultados na seleção de animais.

Atualmente, com o avanço dos estudos em genética molecular, os marcadores genéticos são utilizados com intuito de potencializar o melhoramento animal. Os conceitos a seguir são alguns exemplos destas ferramentas:

- As Características Quantitativas do *loci* (QTLs) são regiões cromossômicas relacionadas com a variação fenotípica das características quantitativas (Pereira, 2008).

- Polimorfismo de Nucleotídeo Único (SNP) que são originados de mutações que ocorrem nas bases nitrogenadas. Então, se estes estiverem na população a uma frequência mínima de 1% ou mais são denominadas de SNP (Kwok e Gu, 1999). A partir de então, foram projetados os chips SNP, capazes de identificar as regiões genômicas modificadas pela seleção e a identificação de regiões cromossômicas que expressam as características de interesse (Pereira, 2017).

- Estudo de Associação Genômica Ampla (GWAS) que tem por principal função identificar as regiões e cromossomos que recebem genes que contribuem para a variação fenotípica de uma característica (Sahana et al., 2010). GWAS permite avaliar sistematicamente, centenas de milhares de variantes causais de determinada característica no genoma (Alghamdi e Padmanabhan, 2014). Através da varredura rápida de até cinco milhões de marcadores em conjunto completo de DNA, de muitos indivíduos, encontram-se variações genéticas associadas a determinada característica (Ahmetov e Fetovskaya, 2015).

O estudo dos milhares de SNP espalhados ao longo do genoma possibilita entender a arquitetura genética de diferentes populações (Kijas et al., 2009). E possibilitam determinar a relação entre a perda de alelos e o aumento da consanguinidade devido à seleção. E, também, permite identificar regiões no genoma sujeitas à seleção e, assim, associá-las com características de importância econômica (Barendse et al., 2009; Hayes et al., 2009).

Com a necessidade de identificar SNP e genes que estão associados a características de interesse nas diversas raças de equinos, utiliza-se chips, que foram projetados para detectar regiões genômicas modificadas ao longo da seleção. Atualmente, o uso desta técnica está

relacionado ao estudo de características complexas relacionadas ao desempenho em modalidades esportivas e aptidões específicas, e características morfológicas (Hill et al., 2010; Schoröder et al., 2012; Patterson et al., 2015).

Para ocorrer o melhoramento genético aplicado, utilizando a genética molecular para aumentar a eficiência seletiva, é importante conhecer o genoma da espécie a ser estudada. No sequenciamento completo do genoma equino, utilizou-se uma égua da raça Puro Sangue Inglês, conhecida como Twilight. Na realização deste sequenciamento foi estabelecida uma sequência de referência para o cavalo doméstico, que é utilizada como base para a utilização das ferramentas de genética molecular (Wade et al., 2009).

Em 2007, o sequenciamento resultou em 2,5 Gb de alta qualidade, com 112Kb N50 *contig size* e 46Mb N50 *scaffold size*, denominado EquCab2.0. Este sequenciamento consistia em 31 cromossomos autossomos, o cromossomo X e o genoma mitocondrial, totalizando 64 (2n) Cromossomos Autossômicos Equino (ECA). Com o sequenciamento observou-se que 20.322 genes codificadores de proteínas eram comparáveis a humanos, camundongos e outros mamíferos. Uma parte importante do projeto do genoma equino foi a identificação de que aproximadamente 100 mil SNPs são suficientes para o mapeamento de associação dentro de todas as raças de equinos, bem como entre raças. O que direcionaram o desenvolvimento de ferramentas genômicas para mapeamento no cavalo (Wade et al., 2009). A montagem do genoma referência e o mapa do SNP marcaram um ponto de virada na genômica equina, fornecendo recursos para conduzir estudos moleculares, clínicos e evolutivos do equino (Wade et al., 2009; Finno e Bannasch, 2014; Ghosh et al., 2018).

Devido às limitações nas tecnologias disponíveis na época do EquCab2.0, dez anos depois o genoma da égua Twilight foi re-sequenciado e montado, resultando no EquCab3.0 (Kalbfleisch et al., 2018). O número de lacunas foi reduzido em 10 vezes, de 55 Mb (2,2% do genoma) no EquCab2.0, para 9 Mb (0,34% do genoma) no EquCab3.0 e o número de bases montadas nos cromossomos incorporados melhoraram de 2,33 para 2,41 Gb, o que representa aumento de 3% (Schubert et al., 2014; Librado et al., 2015, 2017; Gaunitz et al., 2018). Essa nova montagem contém o cromossomo Y do garanhão conhecido como Bravo, da raça Puro Sangue Inglês, que é meio-irmão da égua Twilight, completando assim o genoma de referência dos equinos (Raudsepp et al., 2019).

Nos últimos anos a utilização de técnicas de genética molecular para equinos tem como objetivo encontrar os genes envolvidos em patologias como por exemplo, Paralisia Hipercalcêmica Periódica (HYPP), Astenia Dérmica Regional Hereditária Equina (HERDA), Síndrome da Imunodeficiência Combinada (SCID), doença Isoeritrólise Neonatal, Hemorragia Pulmonar Induzida pelo Exercício (HPIE), ou com o desempenho esportivo equino (ACE) (Trommershausen-Smith, 1980; Bowling, 1996; Tryon, et al., 2007), ou então focado em genes desejáveis que codificam cor de pelagens dos equinos, como por exemplo a realização do teste genético, baseado na PCR para garantir a pelagem Pampa, esta possui uma conjugação de malhas brancas despigmentadas, bem delimitadas, com qualquer outra pelagem, então com a presença de devidos genes recebe o registro na Associação do Cavalo Pampa (Coelho e Oliveira, 2008). Porém com relação a utilização dessas técnicas moleculares para a morfometria equina, são realizadas somente no meio da pesquisa, e não de forma prática.

2.4 A Utilização das Medidas Morfométricas para Avaliação e Melhoramento Genético dos Equinos

A realização de avaliações morfométricas para os equinos são importantes, devido a existência da associação entre a morfologia e a função destes animais, o que está intrinsecamente relacionada com o valor econômico (Barbosa, 1993; Meira et al., 2014).

Como enfatizado por Lucena et al. (2015) a proporcionalidade entre as medidas de altura de cernelha e de garupa, para melhor desempenho dos cavalos durante a locomoção, especialmente em cavalos que apresentam o andamento marcha é muito importante para a qualidade do movimento. Relatam, já Senna et al. (2015), que o pescoço mais longo é desejável para equinos como os da raça Puro Sangue Inglês, pois proporciona maior equilíbrio e força corporal durante os saltos sobre os obstáculos. Espáduas longas e oblíquas possibilitam movimentos mais amplos com maior ação de amortecimento, desta forma diminui o impacto do casco com o solo, o que proporciona andamento mais confortável (Lage et al., 2009). Kristjansson et al. (2016) citam que garupa longa e inclinada é muito relevante para os cavalos apresentarem melhor capacidade de propulsões de membros e velocidade. A largura do tórax está associada à capacidade respiratória de equinos, principalmente em raças esportivas, que normalmente apresentam valores mais elevados para essa medida (Padilha et al., 2017). Porém, para cavalos do tipo sela, esta largura elevada não deve ser exagerada, pois pode levar a problemas de conformação dos membros torácicos e interferir na execução da marcha (Lucena et al., 2016). Sousa et al. (2018) observaram redução desta medida em ganhões campeões da raça Campolina, o que, provavelmente, pode ser devido a estratégias adotadas pela ABCCampolina para prevenir futuros problemas de conformação na raça.

Características de média a alta herdabilidade, mostram-se possível de serem geneticamente melhoradas com maior facilidade do que características de baixa herdabilidade. E as correlações entre as medidas morfométricas auxiliam na definição dos critérios de seleção, neste caso, pois permitem o melhoramento indireto das características correlatadas. Procópio (2008) relatou os valores de herdabilidade para medidas corporais zoométricas com variação entre 0,35 e 0,95, as correlações genéticas entre 0,11 e 0,94 e as fenotípicas entre 0,15 e 0,60 para medidas morfométricas em equinos.

A seleção para a raça Campolina, ultimamente, é realizada pelo fenótipo, baseada em resultados de concurso de marcha e morfologia. Desta forma, a utilização da morfometria é uma ferramenta relevante para programas de melhoramento genético nos equinos.

Estudos de Fonseca (2018) demonstraram correlações significativas entre as medidas morfométricas lineares e angulares com a cinemática da marcha batida ou picada em equinos da raça Mangalarga Marchador. Estas correlações podem interferir tanto no desempenho quanto ao rendimento do andamento. Porém, segundo a autora, apesar das medidas morfométricas influenciarem na cinemática do andamento, não são as únicas características que definem o padrão de locomoção.

2.5 Genes Relacionados à Morfometria dos Equinos

Sabendo-se da importância da morfometria para a avaliação da função do equino e dos avanços nas técnicas de genética molecular. Estudos foram realizados, nos últimos anos, com o intuito de conhecer quais os genes candidatos para as medidas morfométricas em diferentes raças e futuramente serem possíveis para utilizar nos programas de melhoramento genético equino.

Os genes candidatos para peso corporal são *WWOX* (*WW domain containing oxidoreductase*) e *AVPRIA* (*arginine vasopressin receptor 1A*), para equinos da raça Quarto de Milha. Para o comprimento de garupa são *HMG2* (*high mobility group AT-hook 2*) e *ZFAT*

(*zinc finger and AT hook domain containing*). E para a medida altura na cernelha são *LASPI* (*LIM and SH3 protein 1*), *NCAPG* (*non-SMC condensin I complex, subunit G*) e o gene *LCORL*, para diferentes raças (Schoröder, 2010; Signer-Hasler et al., 2012; Makvandi-nejad et al., 2012; Metzger et al., 2013; Tetens et al., 2013; Meira et al., 2014).

Acredita-se que o gene *LCORL* (*liganddependent nuclear receptor corepressor-like*) seja o responsável por codificar um fator de transcrição que está associado com a estrutura esquelética e a altura adulta em seres humanos e, também, em vários animais (Hirschhorn e Lettre, 2009; Soranzo et al., 2009; Lettre, 2011; Lindholm-Perry et al., 2011; Takasuga, 2016).

Estudos utilizando GWAS (Signer-Hasler et al., 2012) com a raça de equinos Franches-Montagnes, com 28 características fenotípicas, encontraram duas regiões de QTL para altura de cernelha próximas aos genes *LCORL/NCAPG* (SNP BIEC2-808543 T/C) e *ZFAT* (SNP BIECC2-1105377), a altura na cernelha variou de 145 a 165cm. No ECA 3 e ECA 9, a região do QTL associada à altura na cernelha também foi significativamente associada com aprumos, conformação da mandíbula, desempenho do andamento, conformação da cabeça, comprimento da garupa e do dorso-lombo. Ainda neste estudo, foi observado que no ECA 3, o alelo C para o SNP BIEC2-808543 foi associado ao aumento da altura na cernelha, em aproximadamente 1,0 cm. O efeito em BIEC2-1105377 no ECA 9 foi menor e verificou-se que a presença do alelo A para o SNP era responsável por aumento da altura na cernelha em aproximadamente 0,5 cm (Signer-Hasler et al., 2012).

Makvandi-Nejad et al. (2012) utilizando medidas de comprimento de cabeça, pescoço, tronco e membros de equinos de 17 diferentes raças, realizaram análise de componentes principais (CP) e observaram que o CP1 quantificou o tamanho total do equino e explicou 65,9% das variações de medidas corporais. A análise de GWAS demonstrou que o gene *HMG2* localizado no ECA 6 é candidato para a variação do tamanho corporal do cavalo. Esses autores, observaram ainda que oito raças de pequeno porte possuem cinco diferentes haplótipos no ECA 3 e 6, nos genes *LCORL* e *HMG2*, respectivamente, ao contrário das raças de grande porte, na qual a diversidade de haplótipos é baixa, carregando apenas um único haplótipo, e que o haplótipo 10 foi o mais comum nos cavalos maiores e não foi observado nas raças pequenas. No ECA 9, Makvandi-Nejad et al. (2012), encontraram um fator de transcrição *ZFAT* (*zincfingerand AT hookdomaincontaining*), que foi associado, em outros estudos, à altura em diferentes populações humanas. No ECA 11, está o gene *LIM e SH3 protein 1 (LASPI)*, que é um forte candidato a influenciar no tamanho corporal, porém ainda são necessárias mais pesquisas (Makvandi-Nejad et al., 2012). Dessa forma, esses autores citam que 83% da variação de tamanho das 17 raças avaliadas é explicada por quatro *loci* nos cromossomos 3, 6, 9 e 11.

Em estudo utilizando 42 raças de equinos, Metzger et al. (2013), observaram que os polimorfismos nos genes *LCORL* podem atuar como um regulador principal para altura na cernelha do equino. Ainda segundo Metzger et al. (2013) os genes candidatos *NCAPG* e *DCAF16* poderiam ser eliminados como candidatos, enquanto *HMG2* (ECA6), *ZFAT* (ECA9), *LASPI (LIM e SH3 protein 1, ECA11)* poderiam estar possivelmente envolvidos ao tamanho do equino.

Tozaki et al. (2016) relataram em seus estudos a relação entre as variantes de sequência do SNP BIEC2-808543 e as características morfológicas em equinos da raça Puro Sangue Inglês (PSI). Estes autores constataram que o polimorfismo no gene *LCORL* no ECA3 está associado com a estrutura esquelética e a composição corporal dessa raça, pois os resultados demonstraram que o SNP BIEC2-808543 foi significativamente associado à altura na cernelha. Com isto, foi observado que os animais com genótipos heterozigotos C/T apresentaram maiores alturas na cernelha, de 1,8 cm nos machos e de 2,1 cm nas fêmeas, em comparação com os de genótipo T/T. O SNP também foi associado com o perímetro de canela

demostrando, maiores valores de perímetros de canela para os de genótipo T/C quando comparado com o T/T. Ainda segundo Tozaki et al. (2016), o alelo C aumenta o tamanho do esqueleto e o alelo T é responsável por reduzi-lo. O genótipo C/T, no gene *LCORL*, foi associado, para ambos os sexos, ao peso corporal, e esta característica foi correlacionada com a altura na cernelha. A circunferência torácica e o conteúdo muscular foram analisados, porém nenhuma correlação do efeito do gene ou diferenças significativas foram observadas.

Mais estudos com Puro Sangue Inglês (PSI) foram realizados por Love et al. (2006), Weller et al. (2006) e Tozaki et al. (2011), e foi observado que o gene *MSTN* (Miostatina) apresentava o genótipo C/C ligado a maior peso corporal e massa muscular, do que comparados a outros genótipos. Tozaki et al. (2016) concluíram que os genes *LCORL* e *MSTN* influenciam o fenótipo e/ou desempenho dos cavalos de corrida, principalmente da raça PSI. E, portanto, devem ser monitorados para proteger a integridade genômica e genética dos cavalos de corrida.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCCCampolina - Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Campolina - Regulamento Do Serviço Do Registro Genealógico Do Cavalo Campolina – SRGCC; aprovado pelo MAPA em 17/05/2018; disponível em: <http://www.campolina.org.br>. Acesso em: 07/12/2018.
- AHMETOV, I.I.; FEDOTOVSKAYA, O.N. Current progress in sports genomics. **Advances in clinical chemistry**, v. 70, p. 247-314, 2015.
- ALGHAMDI, J.; PADMANABHAN, S. **Fundamentals of complex trait genetics and association studies**. Handbook of Pharmacogenomics and Stratified Medicine. v. 1, p. 235-257, 2014.
- BARBOSA, C. G. **Estudo morfométrico na raça mangalarga marchador uma abordagem multivariada**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 77p., 1993.
- BARENDSE, W., HARRISON, B.E., BUNCH, R.J., THOMAS, M.B., TURNER, L.B. Genome wide signatures of positive selection: the comparison of independent samples and the identification of regions associated to traits. **BMC genomics**, v. 10, n. 1, p. 178, 2009.
- BOWLING, A.T. **Horse genetics**. CAB International. Wallingford, UK, 1996.
- BUSSIMAN, F.O., PEREZ, B.C., VENTURA, R.V., SILVA, F.F., PEIXOTO, M.G.C.D., VIZONÁ, R.G., MATTOS, E.C.; FERRAZ; J.B.S.; ELER, J.P; CURI, R.A.; BALIEIRO, J.C.C. Genetic analysis of morphological and functional traits in Campolina horses using Bayesian multi-trait model. **Livestock science**, v. 216, p. 119-129, 2018.
- COELHO, E.G.A.; OLIVEIRA, D.A.A. Testes genéticos na equideocultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. SPE, p. 202-205, 2008.
- EquCab2.0 – disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCF_000002305.2/, acesso: 08 dez 2018.
- EquCab3.0 – disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCF_000002305.2/, acesso: 20 fev 2021.
- FONSECA, M.G. **Mangalarga Marchador: estudo morfométrico, cinemático e genético da marcha batida e da marcha picada**. Tese (Doutor em Medicina Veterinária), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) - Jaboticabal (UNESP), São Paulo, 89p. 2018.
- HAYES, B. J., BOWMAN, P. J., CHAMBERLAIN, A. J., GODDARD, M. E. Invited review: genomic selection in dairy cattle: progress and challenges. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.433-443, 2009.
- HILL, E. W., GU, J., EIVERS, S.S., FONSECA, R.G., MCGIVNEY, B.A., GOVINDARAJAN, P.; ORR, N.; KATZ, L.M.; MACHUGH, D. A sequence polymorphism in MSTN predicts sprinting ability and racing stamina in thoroughbred horses. **PloS one**, v. 5, n. 1, p. e8645, 2010.
- HIRSCHHORN, J.N.; LETTRE, G. Progress in genome-wide association studies of human height. **Hormone Research in Paediatrics**, v. 71, n. Suppl. 2, p. 5-13, 2009.
- KIJAS, J.W., TOWNLEY, D., DALRYMPLE, B.P., HEATON, M.P., MADDOX, J.F., MCGRATH, A., WILSON, P., INGERSOLL, R.G., MCCULLOCH, R., MCWILLIAM, S., TANG, D. A genome wide survey of SNP variation reveals the genetic structure of sheep breeds. **PloS one**, v. 4, n. 3, p. e4668, 2009.
- KRISTJANSSON, BJORNSDOTTIR, S., ALBERTSDÓTTIR, E., SIGURDSSON, A., POURCELOT, P., CREVIER-DENOIX, N., ARNASON, T. Association of conformation and riding ability in Icelandic horses. **Livestock Science**, v. 189, p. 91-101, 2016.

- KWOK, P. Y.; GU, Z. Single nucleotide polymorphism libraries: why and how are we building them? **Molecular Medicine Today**, v. 5, p. 538-543, 1999.
- LAGE, M.C.G.R., BERGMANN, J.A.G., PROCÓPIO, A.M., PEREIRA, J.C.C., BIONDINI, J. Associação entre medidas lineares e angulares de equinos da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, n. 4, p. 968-979, 2009.
- LETTRE, G. Recent progress in the study of the genetics of height. **Human genetics**, v. 129, n. 5, p. 465-472, 2011.
- LI, M., PINKEL, D. Clinical cytogenetics and molecular cytogenetics. **Journal Zhejiang**, v.7, n.2: 162-163, 2006.
- LIMA, R. A. S.; CINTRA, A. G. **Revisão do estudo do complexo do agronegócio do cavalo**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF. 2016.
- LINDHOLM-PERRY, A.K., SEXTEN, A.K., KUEHN, L.A., SMITH, T.P., KING, D.A., SHACKELFORD, S.D., FREETLY, H.C. Association, effects and validation of polymorphisms within the NCAPG-LCORL locus located on BTA6 with feed intake, gain, meat and carcass traits in beef cattle. **BMC genetics**, v. 12, n. 1, p. 103, 2011.
- LOVE, S., WYSE, C.A., STIRK, A.J., STEAR, M.J., CALVER, P., VOUTE, L.C., MELLOR, D.J. Prevalence, heritability and significance of musculoskeletal conformational traits in Thoroughbred yearlings. **Equine Veterinary Journal**, v. 38, n. 7, p. 597-603, 2006.
- LUCENA, J. E. C., DE BARROS VIANNA, S. A., NETO, F. B., SALES FILHO, R. L. M., DINIZ, W. J. S. Estudo comparativo das proporções morfométricas entre garanhões e castrados da raça Campolina. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 353-366, 2015.
- LUCENA, J.E.C.; VIANNA, S.A.B.; BERBARI NETO, F.; SALES FILHO, R.L.M.; DINIZ, W.J.S. Morphometric characterization of females, stallions and geldings of the Campolina breed based on indexes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** v.68, p.431-438. 2016. DOI:<https://doi.org/10.1590/1678-4162-8016>
- MAKVANDI-NEJAD, S., HOFFMAN, G. E., ALLEN, J. J., CHU, E., GU, E., CHANDLER, A.M., LOREDO, A.I., BELLONE, R.R., MEZEY, J.G., BROOKS, S.A., SUTTER, N.B. Four loci explain 83% of size variation in the horse. **PLoS One**, v. 7, n. 7, p. e39929, 2012.
- MEIRA, C.T., FARAH, M.M., FORTES, M.R., MOORE, S.S., PEREIRA, G.L., SILVA, J.A.I.V., CURTI, R.A. A genome-wide association study for morphometric traits in quarter horse. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 34, n. 8, p. 1028-1031, 2014.
- METZGER, J.; SCHRIMPF, R.; PHILIPP, U.; DISTL, O. Expression levels of LCORL are associated with body size in horses. **PLoS One**, v. 8, n. 2, p. e56497, 2013.
- NCBI – National Center for Biotechnology Information, **disponível:** https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCF_000002305.2/, acesso: 20 ago 2019.
- PADILHA, F.G.F., ANDRADE, A.M.D., FONSECA, A.B.M., GODOI, F.N.D., ALMEIDA, F.Q.D., FERREIRA, A.M.R. Morphometric measurements and animal-performance indices in a study of racial forms of Brazilian Sport Horses undergoing training for eventing. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 1, p. 25-32, 2017.
- PATTERSON, L.; STAIGER, E. A.; BROOKS, S. A. DMRT 3 is associated with gait type in Mangalarga Marchador horses but does not control gait ability. **Animal genetics**, v. 46, n. 2, p. 213-215, 2015.
- PEREIRA, J.C.C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. 6 ed. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2012. 758 p.
- PEREIRA, G.L. Identificação de regiões cromossômicas, genes e polimorfismos de DNA associados ao desempenho de equinos de corrida da raça quarto de milha. Tese (Doutor

- em Genética e Melhoramento Animal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) - Jaboticabal (UNESP), SP, 2017.
- PROCÓPIO, A.M. **Melhoramento genético aplicado aos equinos**. In: Pereira, J.C.C. Melhoramento genético aplicado à produção animal. 5 ed. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2008. 617 p.
- REGATIERI, I. C.; MOTA, MDS. Melhoramento genético de equinos: Aspectos bioquímicos. **Ars Veterinaria**, v. 28, n. 4, p. 227-233, 2012.
- RESENDE, M.D.V., LOPES, P.S., SILVA, R.L., PIRES, I.E. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 63, 2008.
- SAHANA, G., GULDBRANDTSEN, B., BENDIXEN, C., LUND, M.S. Genome-wide association mapping for female fertility traits in Danish and Swedish Holstein cattle. **Animal Genetics**, v. 41, n. 6, p. 579-588, 2010.
- SENNA, N.A., MOSTAFA, M.B., ABU-SEIDA, A.M., ELEMMAWY, Y.M. Evaluation of limb conformation in jumping thoroughbred horses. **Asian Journal of Animal Sciences**, v. 9, n. 5, p. 208-216, 2015.
- SIGNER-HASLER, H., FLURY, C., HAASE, B., BURGER, D., SIMIANER, H., LEEB, T., RIEDER, S. A genome-wide association study reveals loci influencing height and other conformation traits in horses. **PLoS One**, v. 7, n. 5, p. e37282, 2012.
- SORANZO, N., RIVADENEIRA, F., CHINAPPEN-HORSLEY, U., MALKINA, I., RICHARDS, J. B., HAMMOND, N., STEPHENS, J. Meta-analysis of genome-wide scans for human adult stature identifies novel Loci and associations with measures of skeletal frame size. **PLoS Genetics**, v. 5, n. 4, p. e1000445, 2009.
- SOUSA, A.S., JESUS, I.I.C., OLIVEIRA, C.A.A., COSTA, R.B., GODOI, F.N. How is the Morphometry of Stallions and Mares Show-Winning and Nonwinning Campolina Brazilian Breed with Batida and Picada Gaits? **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 64, p. 34-40, 2018.
- TAKASUGA, A. PLAG1 and NCAPG-LCORL in livestock. **Animal Science Journal**, v. 87, n. 2, p. 159-167, 2016.
- TETENS, J., WIDMANN, P., KÜHN, C., THALLER, G. A genome-wide association study indicates LCORL/NCAPG as a candidate locus for withers height in German Warmblood horses. **Animal Genetics**, v. 44, n. 4, p. 467-471, 2013.
- TOZAKI, T., SATO, F., HILL, E. W., MIYAKE, T., ENDO, Y., KAKOI, H., KUROSAWA, M. Sequence variants at the myostatin gene locus influence the body composition of Thoroughbred horses. **Journal of Veterinary Medical Science**, v. 73, n. 12 p.1617, 2011.
- TOZAKI, T., SATO, F., ISHIMARU, M., KIKUCHI, M., KAKOI, H., HIROTA, K.I., NAGATA, S.I. Sequence variants of BIEC2-808543 near LCORL are associated with body composition in Thoroughbreds under training. **Journal of Equine Science**, v. 27, n. 3, p. 107-114, 2016.
- TROMMERSHAUSEN-SMITH, A. Aspects of genetics and disease in the horse. **Journal of Animal Science**, v. 51, n. 5, p. 1087-1095, 1980.
- TRYON, R.C.; WHITE, S.D.; BANNASCH, D.L. Homozygosity mapping approach identifies a missense mutation in equine cyclophilin B (PPIB) associated with HERDA in the American Quarter Horse. **Genomics**, v. 90, n. 1, p. 93-102, 2007.
- WADE, C.M., GIULOTTO, E., SIGURDSSON, S., ZOLI, M., GNERRE, S., IMSLAND, F., BLÖCKER, H. Genome sequence, comparative analysis, and population genetics of the domestic horse. **Science**, v. 326, n. 5954, p. 865-867, 2009.
- WELLER, R., PFAU, T., MAY, S.A., WILSON, A.M. Variation in conformation in a cohort of National Hunt racehorses. **Equine Veterinary Journal**, v. 38, n. 7, p. 616-621, 2006.

CAPÍTULO I

MORFOMETRIA DOS EQUINOS DA RAÇA CAMPOLINA

RESUMO

A raça Campolina foi desenvolvida no Brasil e apresenta andamento confortável que participa ativamente do complexo do agronegócio equestre. A morfometria é ferramenta fundamental para avaliação da funcionalidade e conformação do equino. Essa pode ser base para o melhoramento genético equino, que ocorre sem conhecimento da existência de correlação direta ou indireta das características selecionadas. Este estudo teve como objetivo realizar análise descritiva das características morfométricas, índices morfométricos, correlação de Pearson e avaliação das proporções morfométricas dos equinos da raça Campolina, e comparar estas proporções ao Sistema Eclético de Proporções Lineares (SEPL). Foram mensurados 270 equinos registrados na Associação dos Criadores do Cavalo Campolina (ABCCCampolina). Foram aferidas 45 medidas morfométricas. A análise da estatística descritiva e os cálculos dos índices morfométricos foram realizados utilizando o Excel[®], já a correlação de Pearson e as proporções morfométricas pelo R[®]. Verificou-se que os equinos da raça Campolina apresentaram tamanho médio de 153,9cm. Comprimento de espádua variando de 39,8 a 58,9cm. As quartelas apresentaram aproximadamente o mesmo tamanho médio. O perímetro torácico variou de 141 a 214cm. A canela e quartela torácica apresentaram valores de perímetro médios próximos. Para as medidas angulares, observou-se maior variação nos valores dos equinos, destacando-se o ângulo coxo-femoral, com desvio padrão de 6,65. Nos Índices Morfométricos observou-se os valores de Índice peitoral de -19,8; Índice Corporal de 0,87; Índice Meloscópico (IM) de 1,0; Índice Dáctilo-torácico de 10,5; Índice de Carga na Canela de 4,0; Índice de conformação de 2,2; Índice de compacidade 8,8. Na classificação das correlações observou-se três correlações altas, 55 moderadas, 194 baixas e 557 não significantes. As medidas de altura na cernelha e na garupa possuem alta correlação positiva entre si ($r=0,88$). Os comprimentos das quartelas possuem moderada correlação positiva ($r=0,63$). A medida da distância da espádua ao boleto apresentou correlação moderada negativa com os perímetros do pescoço cranial e caudal ($r=-0,40$ e $-0,60$). Observou-se que o peso corporal e perímetro torácico possuem correlação positiva média ($r=0,69$). As medidas angulares apresentaram correlações não significantes entre todas as medidas morfométricas. Constatou-se que a proporção de algumas medidas lineares como o comprimento da cabeça com os comprimentos do corpo e da garupa não diferiram do proposto SEPL, porém para a maioria das medidas lineares não corroboram com este sistema. O comprimento do braço foi a medida linear que apresentou maior frequência de equinos no mesmo intervalo de proporções com as demais medidas lineares. Verificou-se que três proporções angulares, escapulo-umeral: úmero-radial (1:1/2 a 6/7), escapulo-umeral: coxo-femoral (1:4/5 a 1 1/3) e úmero-radial: tíbio-metatarsal (1:8/9 a 1 1/7), apresentaram o intervalo em mais de 99% dos equinos avaliados. Portanto, conclui-se que os equinos da raça Campolina possuem medidas morfométricas que permitem classificá-los como animal longe do chão, mediolíneos, eumétricos, com ideal capacidade das extremidades do cavalo deslocar a massa corporal, ideal para o tipo sela de acordo com a conformação do animal e além disto, pode ser utilizado para tração ligeira. As medidas lineares e de perímetros possuem mais correlações moderadas e positivas em relação as medidas angulares, e, portanto, serão mais influenciadas na seleção indireta das características. E os equinos da raça Campolina mensurados neste estudo não corroboraram com o sistema proposto por Lesbre (1920) na maioria das proporções avaliadas.

Palavras-chave: cavalo, índice morfométrico, proporcionalidade

ABSTRACT

The Campolina horse is a breed originated in Brazil with comfortable gait that actively participates in the equestrian agribusiness complex. Morphometry is a fundamental tool for evaluating the functionality and conformation of the equine. This can be the basis for equine genetic improvement, which occurs without knowledge of the existence of direct or indirect correlation of selected traits. This study aimed to perform descriptive analysis of morphometric characteristics, morphometric indices, Pearson correlation and evaluation of morphometric proportions of Campolina horses and compare these proportions to the Eclectic System of Linear Proportions (SEPL). 270 horses registered at the Campolina Horse Breeders Association (ABCCCampolina) were measured. 45 morphometric measurements were performed. Descriptive statistical analysis and calculations of morphometric indices were performed using Excel[®], Pearson's correlation and morphometric proportions using R[®]. It was found that Campolina horses had an average size of 153.9cm. Shoulder length ranging from 39.8 to 58.9 cm. The pasterns were approximately the same average size. Thoracic perimeter ranged from 141 to 214 cm. The shin and thoracic pastern showed similar mean perimeter values. For angular measurements, there was a greater variation in the values of horses, especially the hip-femoral angle, with a standard deviation of 6.65. In Morphometric Indices, pectoral index values of -19.8 were observed; Body Index of 0.87; Meloscopic Index of 1.0; Dactyl-thoracic Index of 10.5; Cinnamon Load Index of 4.0; conformation Index of 2.2; Compactness Index 8.8. In the classification of correlations, three high correlations were observed, 55 moderate, 194 low and 557 non-significant. Height measurements at the withers and at the rump have a high positive correlation between them ($r=0.88$). Pastern lengths have a moderate positive correlation ($r=0.63$). The measurement of the distance from the shoulder to the fetlock showed a moderate negative correlation with the cranial and caudal neck perimeters ($r=-0.40$ and -0.60). It was observed that body weight and chest perimeter have a mean positive correlation ($r=0.69$). Angular measurements showed non-significant correlations between all morphometric measurements. It was found that the proportion of some linear measurements such as head length with body and rump lengths did not differ from the proposed SEPL, but for most linear measurements they do not corroborate this system. Arm length was the linear measure that showed the highest frequency of horses in the same range of proportions as the other linear measures. It was found that three angular proportions, scapulohumeral: humerus-radial (1:1/2 to 6/7), scapulohumeral: hip-femoral (1:4/5 to 1 1/3) and humerus-radial:tibio-metatarsal (1:8/9 to 1 1/7), presented the range in more than 99% of the evaluated horses. Therefore, it is concluded that Campolina horses have morphometric measurements that allow classifying them as animals far from the ground, medioline, eumetric, with ideal capacity of the extremities of the horse to displace the body mass, ideal for the saddle type according to the conformation of the animal and in addition, it can be used for light traction. Linear and perimeter measurements have more moderate and positive correlations in relation to angular measurements, and, therefore, will be more influenced in the indirect selection of characteristics. And Campolina horses measured in this study did not corroborate the system proposed by Lesbre (1920) in most of the assessed proportions.

Keyword: horse, morphometric index, proportionality

1 INTRODUÇÃO

A raça Campolina originou-se no Brasil em 1870 por Cassiano Campolina, que objetivava criar uma raça de equinos com porte alto, robusto e com andamento de qualidade. Em 1951, criou-se, em Minas Gerais, a Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Campolina (ABCCCampolina), com objetivo de padronizar as características preconizadas pelos criadores desta raça (ABCCCampolina, 2018), agregando maior valor econômico aos equinos registrados.

Equinos da raça Campolina registrados na ABCCCampolina possuem as seguintes características: cabeça de formato trapezoidal; altura na cernelha mínima de 1,52m para machos e de 1,45m para fêmeas; pescoço com direção oblíqua, leve e musculoso; estrutura corporal proporcional, apresentando proporção 1:1:1 entre os comprimentos de cabeça, pescoço e espádua; peito amplo e musculoso; espádua e braço longos e oblíquos; coxas e pernas bem anguladas; canelas de comprimento inferior ao antebraço e perna; quartelas médias e oblíquas; dorso de comprimento médio e lombo curto; altura na garupa inferior à altura na cernelha; mediolíneo; e apresenta como andamento intermediário a marcha (ABCCCampolina, 2018).

As características morfométricas estão intrinsicamente relacionadas a funcionalidade do equino e, conseqüentemente, ao valor econômico do animal (Barbosa, 1993; Meira et al., 2014). Devido a isso, a avaliação das medidas morfométricas e a relação entre elas, é ferramenta essencial para verificar se o equino possui a conformação ideal para desempenhar da melhor forma a função a que se destina, a beleza zootécnica e o crescimento corporal (Thompson, 1995; Evans, 2000; Lawrence, 2001; Parker, 2002; Sadek et al., 2006).

Os índices morfométricos, que evidenciam relações entre as medidas de comprimento, de perímetro e de peso, podem ser utilizados para determinar, pelas proporções morfométricas, a função que o equino irá desempenhar, seja de sela, esporte ou tração, por exemplo. (Oome Ferreira, 1987; Costa et al., 1998).

Moore (2007) cita que a análise de correlação permite mensurar a direção e o grau de relação entre duas variáveis quantitativas. Essas serão associadas quando possuírem semelhanças na distribuição dos escores. Quando for 1, indica exatamente qual o valor da característica correlacionada. Porém quando zero aponta que não existe relação linear entre as variáveis (Figueredo Filho e Silva Júnior, 2009). Portanto é de suma importância entender as correlações entre as medidas morfométricas de equinos da raça Campolina, para saber como estas características se correlacionam, e para conhecer o que pode ocorrer no melhoramento genético da raça.

Para que os equinos apresentem movimentos coordenados, devem possuir proporções lineares e angulares adequadas ao movimento, independentemente do tipo de andamento (Torres e Jardim, 1992).

A avaliação das proporções morfométricas nos cavalos de sela, mediolíneos, foi realizada por Lesbre em 1920, que fez o Sistema Eclético de Proporções Lineares (SEPL). É o único existente, e utilizado até os dias de hoje para definir as proporções dos equinos. No SEPL, as proporções morfométricas são avaliadas pelas relações entre cada medida linear (Ribeiro, 1988), baseada no comprimento da cabeça, sendo esta a medida que caracteriza a raça dos equinos. Portanto, o sistema proposto por Lesbre em 1920 possibilita definir a conformação do equino pela medida do comprimento da cabeça. Em relação às medidas angulares, Lesbre (1920) não apresentou valores de proporções, pois o SEPL é utilizado para as medidas lineares. Apenas cita os intervalos dos ângulos de escapulo-umeral, úmero-radial, coxofemoral, femorotibial, tibio-metatarsiano.

Após 100 anos da criação do SEPL, se faz necessário uma reestruturação das proporções morfométricas dos equinos produzidos recentemente. Como exemplo, a raça Campolina, que passou por mudanças morfométricas nos últimos anos, com o intuito de melhorar a morfofuncionalidade (Lucena et al., 2016 e Sousa et al., 2018).

Desta forma, objetivou-se realizar análise descritiva das características morfométricas, índices morfométricos, correlação de Pearson e avaliação das proporções morfométricas dos equinos da raça Campolina, e comparar estas proporções ao Sistema Eclético de Proporções Lineares.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na população de equinos da raça Campolina, utilizando machos e fêmeas, todos com idade acima de 36 meses. Estes indivíduos são pertencentes aos estados brasileiros da Bahia, Rio de Janeiro e Minas Gerais, sendo os dados deste trabalho coletados nas seguintes exposições: VI Exposição Brasileira do Cavalo Campolina Marchador, III Portal da Marcha, VI ExpoRural 2016 e XXVIII edição da Fenagro (Feira Internacional da Agropecuária em Feira de Santana/BA), e também, foram coletados dados da Fazenda Oratório (Macaé/ Rio de Janeiro). As coletas foram realizadas no período de 2016 a 2019. Todos os animais possuíam registro na Associação dos Criadores do Cavalo Campolina (ABCCCampolina). Esse projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro para uso animal, sob o N° 23083.013935/2017-35.

Foram mensurados 270 equinos, que foram posicionados em estação forçada, que é quando o equino está com os quatro membros totalmente apoiados no solo, formando um retângulo, de forma que, visto de perfil, os membros, para cada bípede, se encobrem e vistos de frente ou detrás estão na vertical e igualmente apoiados no solo plano. E as medidas morfométricas foram aferidas sempre do lado direito, por uma mesma equipe treinada. Foram mensuradas 45 medidas morfométricas utilizando os equipamentos: hipômetro (haste metálica métrica) (Figura1) e fitas métricas para as medidas lineares; fita métrica para os perímetros (Figura2), fita de estimativa para o peso corporal e o artogoniometro para as medidas angulares (Figura 3).



Figura 1. Utilização do hipômetro para a mensuração das medidas lineares.



Figura 2. Utilização da fita métrica para a mensuração das medidas lineares e de perímetros.



Figura 3. Utilização do artrogoniômetro para a mensuração das medidas angulares.

As medidas morfométricas foram divididas em três grupos para facilitar a análise dos dados. E foram avaliadas de acordo com Godoi et al. (2013) e representadas na Figura 4.

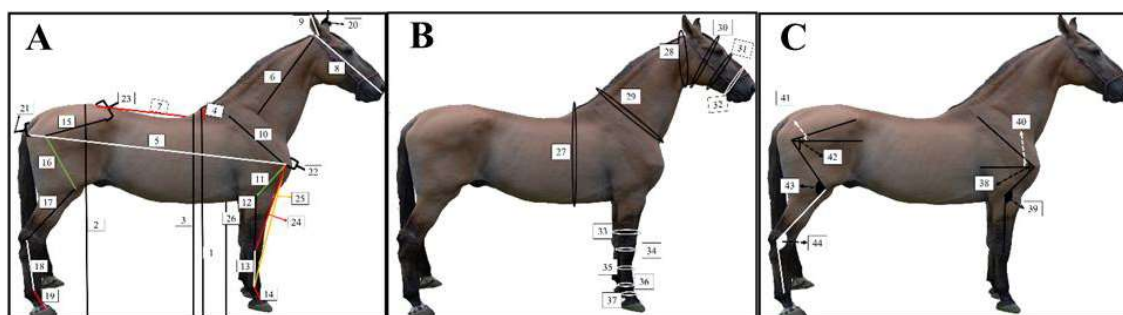


Figura 4. Medidas morfométricas. A. Medidas Lineares; B. Medidas de Perímetro; C. Medidas Angulares. Os números serão descritos a seguir.

De acordo com a Figura 4, as medidas morfométricas representadas por números são descritas da seguinte forma de acordo com Dyce (2010):

a) Medidas Lineares(m):

- _altura na cernelha - distância vertical do ponto mais alto da região interescapular ao solo (1);
- _altura na garupa - distância vertical do ponto mais alto sobre a tuberosidade sacral ao solo (2);
- _altura no dorso - distância vertical entre a extremidade livre dos processos das vértebras torácicas, T12 ou T13, ao solo (3);
- _altura dacernelha- distância vertical da cartilagem escapular ao final do processo espinhoso das vértebras torácicas (4);
- _altura do costado – obtida a partir da subtração da altura no dorso (3) pela distância do vazio subesternal (26);
- _comprimento do corpo - distância linear entre a face cranial do tubérculo maior do úmero até a extremidade caudal da tuberosidade isquiática (5);
- _comprimento do pescoço - distância linear entre a porção cranial da face lateral da asa do atlas e o ponto médio da borda cranial da escápula (6);
- _comprimento dorso-lombo - distância entre o espaço interespinhal das extremidades dos processos espinhosos de T₈ e T₉ e a parte cranial do espaço entre as tuberosidades sacrais (7);
- _comprimento da cabeça - distância da asa do atlas ao espelho nasal (8);
- _comprimento da orelha - distância de toda extensão cartilaginosa da orelha (9);
- _comprimento da espádua - distância da porção dorsal da cartilagem da escápula, seguindo a linha da escápula, à área central da articulação escápulo-umeral, na região da cavidade glenóide da escápula e cabeça do úmero (10);
- _comprimento do braço - distância da área central da articulação escápulo-umeral à área central da articulação úmero-radial (11);
- _comprimento do antebraço - distância da área central da articulação úmero-radial ao terço médio lateral da articulação cárpica (12);
- _comprimento da canela torácica - distância do terço médio lateral da articulação cárpica ao terço médio da face lateral da articulação metacarpofalângica (13);
- _comprimento da quartela torácica - distância do terço médio da face lateral da articulação metacarpofalângica à face lateral da articulação interfalângica proximal (14);
- _comprimento da garupa - distância do ponto médio ventral da face lateral da tuberosidade coxal à ponta do ísquio (15);

- _ *comprimento da coxa* - distância do ponto médio ventral da face lateral da tuberosidade coxal à região média do trocânter maior do fêmur na articulação coxofemoral (16);
- _ *comprimento da perna* - distância do ponto médio lateral da articulação fêmorotibial ao terço médio lateral da articulação társica (17);
- _ *comprimento da canelapélvica* - distância do terço médio lateral da articulação társica ao terço médio da face lateral da articulação metatarsofalângica (18);
- _ *comprimento da quartela pélvica* - distância do terço médio da face lateral da articulação metatarsofalângica à face lateral da articulação interfalângica proximal (19);
- _ *largura da orelha* - distância da borda caudal à borda rostral da extensão cartilaginosa da orelha (20);
- _ *largura da garupa* - distância entre as partes laterais do trocânter maior do fêmur direito e esquerdo (21);
- _ *largura do peito* - distância entre as extremidades laterais das articulações escápulo-umeral direita e esquerda (22);
- _ *largura entre as ancas* - distância entre as partes laterais das tuberosidades ilíacas direita e esquerda (23);
- _ *distância espádua Joelho* - distância da área central da articulação escápulo-umeral ao terço médio da face lateral da articulação cárpica (24);
- _ *distância espádua-boleto* - distância da área central da articulação escápulo-umeral até o terço médio da face lateral da articulação metacarpofalângica (25);
- _ *distância vazia substernal* - distância da borda ventral do esterno ao solo (26);

b) *Medidas de Perímetros(m):*

- _ *perímetro torácico* - avaliado logo após a extremidade caudal da cernelha até a articulação da 9ª costela com o processo xifoide (27);
- _ *peso corporal* - utilizou-se a mesma avaliação do perímetro torácico, porém foi mensurado com fita própria para estimação do peso de equinos (27);
- _ *perímetro do pescoço-cranial* - mensurado na região da asa do atlas à região ventral do ramo da mandíbula (28);
- _ *perímetro do pescoço-caudal* - mensurado na região caudal da 1ª vértebra torácica, seguindo a borda cranial da escápula (29);
- _ *perímetro da frente* - mensurado na região do processo zigomático do osso frontal à região ventral do ramo da mandíbula (30);
- _ *perímetro do chanfro* - mensurado na região do osso nasal, seguindo pela crista facial, à região ventral do corpo da mandíbula (31);
- _ *perímetro do focinho* - mensurado na região do osso maxilar à região ventral do corpo da mandíbula (32);
- _ *perímetro do antebraço* - mensurado na área central do rádio (33);
- _ *perímetro do joelho* - mensurado na região central do carpo (34);
- _ *perímetro da canela torácica* - avaliado no terço médio da face lateral da articulação metacarpofalângica (35);
- _ *perímetro do boleto torácico* - mensurado no terço médio da face lateral da articulação metacarpofalângica (36);
- _ *perímetro da quartela torácica* - mensurado na região da articulação da falange proximal e falange média (37);

c) Medidas Angulares (°):

_ ângulo escápulo-umeral - formado pela interseção da linha entre a porção dorsal na cartilagem da escápula e a articulação escápulo-umeral com a articulação úmero-radial (38);

_ ângulo úmero-radial - formado pela interseção da linha entre a articulação escápulo-umeral e a articulação úmero-radial e a articulação cárpica (39);

_ ângulo escápulo-solo - formado pela interseção da linha entre a porção dorsal na cartilagem da escápula e a articulação escápulo-umeral com a linha do plano horizontal (40);

_ ângulo coxo-solo - formado pela interseção da linha entre o ponto na tuberosidade coxal e a região média do trocânter maior do fêmur com o plano horizontal (41);

_ ângulo coxo-femoral - formado pela interseção da linha entre a tuberosidade coxal e a articulação coxo-femoral com a articulação fêmorotibial (42);

_ ângulo fêmoro-tibial - formado pela interseção da linha entre a articulação coxo-femoral e a articulação fêmoro-tibial com a articulação társica (43);

_ ângulo túbio metatársico - formado pela interseção da linha entre a articulação fêmoro-tibial e a articulação társica e a articulação metatarsofalângica (44).

2.1 Análise Descritiva e Índices Morfométricos

Os índices de conformação foram calculados conforme Cabral et al. (2004) e Lucena et al. (2016), sendo:

$$\underline{\text{Índice Peitoral (IP)}} = \text{altura do costado} - \text{distância do vazio subesternal}$$

Classificação para IP:

_ Perto do chão se $IP > 0$;

_ _ Longe do chão se $IP < 0$.

$$\underline{\text{Índice Corporal (IC)}} = \frac{\text{comprimento do corpo}}{\text{perímetro torácico}}$$

Classificação para IC:

_ Longilíneos se $IC \geq 0,9$;

_ Mediolíneos se $0,86 \leq IC \leq 0,88$;

_ Brevelíneos se $IC \leq 0,85$.

$$\underline{\text{Índice Meloscópico (IM)}} = \frac{\text{distância do vazio subesternal}}{\text{perímetros antebraço} + \text{joelho} + \text{canela torácica}}$$

Classificação para IM:

_ Longilíneos se $IM > 1$;

_ Mediolíneos se $IM = 1$;

_ Brevelíneos se $IM < 1$.

$$\underline{\text{Índice Dáctilo - torácico (IDT)}} = \frac{\text{perímetro da canela}}{\text{perímetro torácico}} * 100$$

Classificação para IDT:

_ Longilíneos se $IDT > 10,8$;

_ Mediolíneos se $10,5 \leq IDT \leq 10,8$;

_ Brevelíneos se $IDT < 10,5$.

$$\text{Índice de Carga na Canela (ICC)} = \frac{\text{perímetro da canela}}{\text{peso corporal}} * 100$$

_Valores muito baixos = membros fracos

$$\text{Índice de Conformação (ICF)} = \frac{\text{perímetro torácico}^2}{\text{altura na cernelha}}$$

Classificação para ICF:

_Valor ideal para cavalos tipo sela = 2,1125

$$\text{Índice de Compacidade (ICP)} = \frac{\text{peso corporal}}{\text{altura na cernelha} - 100}$$

Classificação para ICP:

_Cavalo tipo tração pesada se $ICP > 9,5$;

_Cavalo tipo tração ligeira se $8,0 \leq ICP \leq 9,5$;

_Cavalo tipo sela se $6,0 \leq ICP \leq 7,75$.

Realizou-se a estatística descritiva dos dados e os cálculos dos índices morfométricos, utilizando programa computacional Microsoft Excel 2010[®].

2.2 Correlações de Pearson

A análise de correlação de Pearson foi realizada com todas as 45 características e os 267 equinos da raça Campolina, pela função *cor.test* pelo software RStudio[®]. As diretrizes propostas por Hinkle et al. (1979) foram utilizadas para interpretar a força das correlações (r) sendo, de |0 a 0,3|= insignificantes; de |0,3 a 0,5|= baixo; de |0,5 a 0,7|= médio; de |0,7 a 0,9|= alto; e |0,9 a 1|= muito alto.

2.3 Proporções Morfométricas

Para realização das proporções morfométricas as medidas lineares avaliadas foram: comprimento da cabeça, altura na cernelha, altura na garupa, comprimentos do corpo, comprimento do pescoço, comprimento dorso-lombo, comprimento da orelha, comprimento da espádua, comprimento do braço, comprimento do antebraço, comprimento da canela torácica, comprimento quartela torácica, comprimento da garupa, comprimento da coxa, comprimento da perna, comprimento canela pélvica, comprimento da quartela pélvica, distância do vazio subesternal, distância da espádua ao joelho, distância da espádua ao boleto, largura do peito, largura da garupa, largura entre as ancas e largura da orelha. As medidas angulares avaliadas foram: ângulos escápulo-solo, escápulo-umeral, úmero-radial, coxo-solo, coxofemoral, femoro-tibial, tíbio-metatarsiano.

A análise das proporções das 30 medidas morfométricas foram realizadas de acordo com as duas classes: as medidas lineares (23) e as medidas angulares (7), através do processo de divisão de duas características.

As medidas morfométricas que não possuíam todas as medidas para todos os animais, e que obtiveram proporções menores que 0,15, consideradas como irrelevantes, foram descartadas.

Visando maior acurácia na determinação das proporções que possam contribuir no julgamento dos equinos da raça Campolina, algumas proporções que não são referenciadas por Lesbre, como por exemplo, comprimento de cabeça com o comprimento de orelha; comprimento de cabeça com a largura de ancas; comprimento de cabeça com a largura de orelha foram utilizadas.

Para determinar a frequência de observação da proporção das medidas morfométricas na população amostral, foram divididos os valores observados em três intervalos de proporção, que foram determinados com os valores mínimos e máximos observados nas proporções. E, então, verificado qual possuía maior frequência na população amostral. Todas as análises foram realizadas pelo software RStudio[®].

3 RESULTADOS

3.1 Análise Descritiva e Índices Morfométricos

Os valores das medidas lineares dos equinos da raça Campolina apresentaram média para altura na cernelha de 153,91cm. O valor do comprimento da cabeça foi observado dentro do esperado para o padrão da raça, de 60,55cm (Tabela 1).

O maior valor do comprimento de orelha observado foi de 21cm e o maior valor de largura de orelha foi de 8,5cm. O valor máximo para distância da espádua ao boleto foi de 103cm e valor mínimo de 83cm. Verificou-se o valor médio de comprimento da espádua de 49,35cm. Para o comprimento da perna foi verificado valor máximo de 69cm, mínimo de 30cm e médio de 53,3cm. Observou-se no comprimento do braço o valor mínimo de 24cm, valor máximo de 43,6cm e valor médio de 33,1cm (Tabela 1).

Nas medidas de perímetro dos equinos da raça Campolina observou-se valor máximo de 214cm e mínimo de 141cm para o perímetro torácico. O perímetro da canela torácica apresentou valor máximo de 31cm e mínimo de 16,50cm. Verificou-se que apresentaram valores altos de desvio padrão para o peso corporal e os perímetros torácico, do pescoço cranial e do caudal (Tabela 2).

Tabela 1. Valores médios, valores mínimos, valores máximos e desvio padrão das medidas lineares avaliadas nos equinos da raça Campolina

Medidas lineares	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Altura na cernelha	153,91	168,60	139,70	5,27
Altura no dorso	147,37	156,50	131,30	3,92
Altura na garupa	153,04	163,30	141,20	4,35
Altura da cernelha	8,59	12,00	3,00	1,72
Comprimento da cabeça	60,55	68,10	52,90	2,59
Comprimento da orelha	18,11	21,00	15,00	1,08
Comprimento do pescoço	60,30	70,70	46,20	3,94
Comprimento do corpo	159,65	176,00	135,00	6,28
Comprimento dorso-lombo	58,19	66,50	49,30	3,77
Comprimento da espádua	49,35	58,70	39,80	3,82
Comprimento do braço	33,12	43,60	24,00	2,56
Comprimento do antebraço	44,94	51,00	39,00	2,04
Comprimento da canela torácica	27,78	37,40	21,00	1,87
Comprimento da quartela torácica	13,32	16,00	10,50	1,02
Comprimento da garupa	48,57	59,50	34,70	3,48
Comprimento da coxa	33,23	42,40	24,90	2,97
Comprimento da perna	53,26	69,00	30,00	3,81
Comprimento da canela pélvica	33,26	43,00	24,50	2,25
Comprimento da quartela pélvica	13,48	16,00	11,00	1,00
Distância da espádua ao joelho	66,63	79,00	53,80	2,81
Distância da espádua ao boleto	93,04	103,00	83,00	3,01
Distância do vazio substernal	83,57	92,00	74,50	3,09
Largura da orelha	6,48	8,50	5,00	0,72
Largura do peito	39,64	54,30	31,20	2,95
Largura da garupa	51,31	57,40	39,20	3,43
Largura entre as ancas	49,86	62,40	39,00	3,85

Em relação as medidas angulares, observou-se maior variação nos valores dos equinos, destacando-se a ângulo coxo-femoral, com desvio padrão de 6,65. Dos ângulos com referência ao solo, observou-se o valor máximo de 95cm, mínimo de 55cm e médio de 68,79cm para o ângulo escapulo-solo e o valor máximo de 40cm, mínimo de 20cm e médio de 29,95cm para o ângulo coxo-solo (Tabela 3).

Na análise dos índices morfométricos para os equinos da raça Campolina, ambos os sexos, observou-se os valores de Índice Peitoral de -19,8; Índice Corporal de 0,87; Índice Meloscópico (IM) de 1,0; Índice Dáctilo-torácico de 10,5; Índice de Carga na Canela de 4,0; Índice de Conformação de 2,2; Índice de Compacidade 8,8 (Tabela 4).

Tabela 2. Valores médios, valores mínimos, valores máximos e desvio padrão das medidas de perímetro avaliadas nos equinos da raça Campolina

Medidas de perímetro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Peso corporal	475,04	605,00	330,00	51,94
Perímetro torácico	183,87	214,00	141,00	8,45
Perímetro do pescoço cranial	79,79	92,00	56,00	12,54
Perímetro do pescoço caudal	122,59	150,00	97,00	12,54
Perímetro da fronte	88,99	96,50	74,00	3,31
Perímetro do chanfro	63,15	78,00	33,50	4,49
Perímetro do focinho	48,13	54,00	39,00	2,06
Perímetro do antebraço	32,70	40,00	25,00	2,04
Perímetro do joelho	30,84	36,00	20,00	1,86
Perímetro da canela	19,21	31,00	16,50	1,64
Perímetro do boleto	26,66	36,50	18,50	1,74
Perímetro da quartela	18,84	29,50	16,00	1,32

Tabela 3. Valores médios, valores mínimos, valores máximos e desvio padrão das medidas angulares avaliadas nos equinos da raça Campolina

Medidas angulares	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Ângulo escapulo-solo	68,79	95,00	55,00	4,98
Ângulo escapulo-umeral	88,58	103,00	75,00	5,04
Ângulo úmero-radial	142,34	157,00	130,00	4,95
Ângulo coxo-solo	29,95	40,00	20,00	4,71
Ângulo coxo-femoral	87,70	105,00	65,00	6,65
Ângulo femoro-tibial	112,10	130,00	98,00	6,08
Ângulo tíbio-metatarsal	141,35	154,00	130,00	3,81

Tabela 4. Índices morfométricos e classificação dos equinos da raça Campolina

Índices de conformação	Valores	Classificação
Índice peitoral (IP)	-19,80	longe do chão
Índice corporal (IC)	0,87	Mediolíneo
Índice meloscópico (IM)	1,00	Mediolíneo
Índice dáctilo-torácico (IDT)	10,50	Eumétrico
Índice de carga na canela (ICC)	4,00	-
Índice de conformação (ICF)	2,20	~ideal para tipo sela
Índice de compacidade (ICP)	8,80	tração ligeira

3.2 Correlação de Pearson

Na análise de correlação de Pearson foram observadas 45 correlações classificadas como muito altas; 3 correlações classificadas como altas; 55 correlações classificadas como média; 194 correlações classificadas como baixa; e 557 correlações classificadas como insignificantes (Tabela 5).

Observou-se altas correlações entre alturas na cernelha e na garupa ($r=0,88$), altura na cernelha e perímetro da frente ($r=0,72$). Média correlações para alturas na cernelha e no dorso ($r=0,69$), altura na cernelha e comprimento do corpo ($r=0,63$), altura na cernelha e distância do vazio subesternal ($r=0,7$), alturas no dorso e na garupa ($r=0,69$), altura na garupa e comprimento do corpo ($r=0,61$), altura na garupa e distância do vazio subesternal ($r=0,62$), altura na garupa e perímetro da frente ($r=0,67$), comprimento do corpo e peso corporal ($r=0,63$), comprimento do corpo e perímetro da frente ($r=0,64$), comprimento da espádua e perímetro do pescoço caudal ($r=0,63$), comprimentos das quartelas torácica e pélvica ($r=0,63$), larguras da garupa e da anca ($r=0,66$), peso corporal e perímetro torácico ($r=0,69$), perímetros do pescoço cranial e caudal ($r=0,65$), perímetro do focinho e perímetro do boleto ($r=0,65$). Observou-se médias correlações negativas entre o comprimento da quartela torácica e distância da espádua ao boleto ($r=-0,55$), distância da espádua ao boleto e perímetro do pescoço caudal ($r=-0,66$) (Tabela 5).

A maioria dos ângulos estudados apresentaram correlações não significantes entre eles e as outras características lineares e de perímetro ($0 < r < 0,3$). Porém ângulo coxo-solo apresentou baixa correlação positiva com comprimento e largura da orelha ($r=0,30$) e ($r=0,36$), respectivamente. Este mesmo ângulo possui baixa correlação e negativa com comprimento da espádua ($r=-0,32$), comprimento da quartela torácica ($r=-0,43$), comprimento da coxa ($r=-0,35$) e comprimento da quartela torácica ($r=-0,34$) (Tabela 5).

Tabela 5. Correlação de Pearson entre as 45 medidas morfométricas avaliadas dos equinos da raça Campolina.

MM	ACE	ADO	AGA	ADC	CDL	CCO	CAB	COR	LOR	CPE	CES	CBR	CAN	CCT	CQT	CGA	COX	CPE	CCP	CQP	DEB	DEJ	DVS	
ACE	1,00																							
ADO	0,69	1,00																						
AGA	0,88	0,69	1,00																					
ADC	0,22	0,11	0,05	1,00																				
CDL	0,11	0,17	0,10	0,20	1,00																			
CCO	0,63	0,36	0,61	0,25	0,41	1,00																		
CAB	0,46	0,41	0,44	0,17	0,38	0,54	1,00																	
COR	0,41	0,26	0,46	-0,09	0,13	0,30	0,11	1,00																
LOR	0,34	0,13	0,36	-0,14	0,12	0,29	0,04	0,56	1,00															
CPE	0,43	0,28	0,36	0,19	0,17	0,43	0,54	0,00	0,04	1,00														
CES	0,26	0,36	0,26	0,24	0,42	0,44	0,55	-0,15	-0,11	0,47	1,00													
CBR	0,17	0,18	0,15	0,19	0,22	0,23	0,27	0,01	0,01	0,18	0,12	1,00												
CAN	0,41	0,33	0,43	0,16	0,24	0,33	0,28	0,12	0,13	0,23	0,23	0,13	1,00											
CCT	0,26	0,30	0,28	-0,09	-0,04	0,11	0,19	0,18	0,05	0,20	0,05	0,13	0,07	1,00										
CQT	0,02	0,28	0,05	-0,08	0,08	0,10	0,36	-0,21	-0,28	0,20	0,40	0,23	0,12	0,17	1,00									
CGA	0,27	0,15	0,26	0,17	0,48	0,43	0,52	-0,08	-0,11	0,49	0,57	0,30	0,22	0,12	0,35	1,00								
COX	0,17	0,20	0,17	0,23	0,32	0,28	0,45	-0,08	-0,16	0,32	0,45	0,25	0,22	0,07	0,47	0,48	1,00							
CPE	0,49	0,23	0,45	-0,09	-0,29	0,23	-0,01	0,32	0,31	0,08	-0,03	0,01	0,18	0,08	-0,13	-0,12	-0,14	1,00						
CCP	0,16	0,22	0,18	0,11	0,21	0,21	0,31	0,02	-0,04	0,13	0,24	0,18	0,16	0,21	0,22	0,20	0,23	-0,13	1,00					
CQP	0,02	0,21	0,07	-0,07	0,17	0,13	0,37	-0,17	-0,17	0,22	0,34	0,23	0,18	0,07	0,63	0,30	0,32	-0,20	0,22	1,00				
DEB	0,41	0,42	0,39	0,14	0,10	0,19	-0,21	0,55	0,53	-0,15	-0,38	-0,13	0,12	0,03	-0,56	-0,35	-0,29	0,50	-0,11	-0,48	1,00			
DEJ	0,48	0,38	0,47	0,08	0,10	0,34	0,28	0,18	0,09	0,30	0,25	0,27	0,31	-0,04	0,00	0,13	0,10	0,17	0,11	0,11	0,51	1,00		
DVS	0,70	0,46	0,62	0,07	-0,03	0,31	0,36	0,22	0,07	0,32	0,19	0,12	0,26	0,37	0,19	0,13	0,19	0,33	0,19	0,13	0,19	0,25	1,00	

Medidas morfométricas (MM). Alturas: na cernelha (ACE), no dorso (ADO), na garupa (AGA) e da cernelha (ADC); comprimentos: do dorso-lombo (CDL), do corpo (CCO), da cabeça (CAB), da orelha (COR), do pescoço (CPE), da espádua (CES), do braço (CBR), do antebraço (CAN), da canela torácica (CCT), da quartela torácica (CQT), da garupa (CGA), da coxa (COX), da perna (CPE), da canela pélvica (CCP) e da quartela pélvica (CQP); distâncias: do vazio subesternal (DVS), da espádua ao boleteo (DEB) e da espádua ao Joelho (DEJ); larguras: da orelha (LOR), do peito (LPE), da garupa (LGA) e entre as ancas (LAN); ângulos: escapulo-solo (AES), escapulo-umeral (AEU), úmero-radial (AUR), coxo-solo (ACS), coxofemoral (ACF), fêmur-tibial (AFT) e túbio-metatarsiano (ATM); peso corporal (PV); e perímetros: torácico (PT), do pescoço cranial (PPCR), do pescoço caudal (PPCA), da frente (PFR), do chanfro (PCF), do focinho (PFO), do antebraço (PAN), do Joelho (PJO), da canela torácica (PCT), do boleteo torácico (PBT) e da quartela torácica (PQT).

‘Continuação...

Tabela 5. Correlação de Pearson entre as 45 medidas morfométricas avaliadas de equinos da raça Campolina.’

MM	ACE	ADO	AGA	ADC	CDL	CCO	CAB	COR	LOR	CPE	CES	CBR	CAN	CCT	CQT	CGA	COX	CPE	CCP	CQP	DEB	DEJ	DVS
LPE	0,36	0,21	0,37	0,06	0,23	0,45	0,46	-0,05	-0,05	0,45	0,44	0,22	0,14	0,07	0,22	0,53	0,30	0,02	0,19	0,27	-0,18	0,28	0,17
LGA	0,29	0,30	0,33	0,27	0,40	0,42	0,48	0,24	0,15	0,47	0,48	0,35	0,25	0,07	0,02	0,50	0,35	-0,20	0,35	0,12	0,22	0,30	0,07
LAN	0,29	0,14	0,32	0,30	0,44	0,53	0,57	0,00	0,00	0,47	0,58	0,30	0,22	0,02	0,29	0,55	0,52	-0,07	0,27	0,25	-0,24	0,14	0,11
AES	0,09	0,20	0,10	-0,09	0,11	0,06	0,19	-0,04	-0,04	0,17	0,17	-0,03	0,09	0,03	0,16	0,20	0,20	0,05	0,10	0,12	-0,03	-0,20	0,08
AEU	0,03	-0,11	-0,01	-0,08	0,25	0,13	0,15	-0,19	-0,12	0,13	0,14	0,14	0,00	-0,04	0,16	0,29	0,22	-0,10	0,10	0,15	-0,25	0,03	0,02
AUR	-0,03	-0,07	-0,07	0,07	-0,07	0,01	0,09	-0,06	-0,07	0,03	0,02	0,00	-0,18	-0,04	0,21	-0,02	0,08	-0,07	0,00	0,15	-0,20	0,07	0,05
ACS	0,17	-0,09	0,15	0,05	0,07	-0,01	-0,15	0,30	0,36	-0,08	-0,33	-0,04	-0,08	-0,04	-0,43	-0,23	-0,35	0,20	-0,17	-0,34	0,47	-0,16	0,06
ACF	0,02	-0,04	0,02	0,10	0,02	-0,02	-0,08	0,05	0,13	-0,11	-0,20	0,01	0,01	-0,01	-0,19	-0,10	-0,26	-0,09	-0,03	-0,12	0,05	0,01	0,00
AFT	0,19	0,14	0,21	0,20	0,22	0,16	0,02	0,19	0,12	0,05	-0,05	0,03	0,15	0,05	-0,18	0,03	-0,04	0,07	-0,09	-0,16	0,27	0,12	0,00
ATM	0,07	-0,07	0,14	-0,03	0,09	0,04	0,16	-0,12	-0,15	0,09	0,17	0,06	0,10	0,07	0,10	0,18	0,14	-0,05	0,20	0,20	-0,15	0,04	0,05
PV	0,58	0,44	0,57	0,30	0,18	0,63	0,46	0,21	0,21	0,39	0,49	0,15	0,35	0,06	0,08	0,42	0,24	0,20	0,16	0,13	0,11	0,30	0,19
PT	0,45	0,43	0,47	0,20	0,14	0,46	0,34	0,17	0,22	0,26	0,34	0,13	0,30	0,08	0,08	0,29	0,13	0,15	0,13	0,08	0,09	0,32	0,24
PPCR	0,27	0,20	0,23	0,01	-0,21	0,28	0,46	-0,16	-0,21	0,43	0,40	0,18	0,17	0,09	0,42	0,33	0,37	0,05	0,13	0,41	-0,40	0,23	0,27
PPCA	0,15	0,31	0,13	0,20	-0,09	0,23	0,50	-0,30	-0,34	0,48	0,63	0,22	0,08	0,11	0,56	0,54	0,44	-0,15	0,17	0,46	-0,66	0,23	0,19
PFR	0,72	0,44	0,67	0,11	0,27	0,64	0,51	0,41	0,36	0,37	0,27	0,22	0,34	0,18	0,03	0,24	0,19	0,31	0,13	0,13	0,30	0,37	0,40
PCF	0,40	0,25	0,36	-0,12	-0,04	0,29	0,36	0,17	0,15	0,21	0,20	0,09	0,23	0,10	0,19	0,17	0,17	0,21	0,10	0,16	0,01	0,12	0,25
PFO	0,42	0,34	0,31	-0,01	0,15	0,34	0,35	0,16	-0,06	0,32	0,22	-0,01	0,26	0,19	0,14	0,17	0,04	0,09	0,03	0,03	0,31	0,24	0,28
PAN	0,33	0,38	0,29	0,08	0,00	0,33	0,35	0,05	0,04	0,30	0,32	0,19	0,08	0,21	0,28	0,33	0,26	0,08	0,17	0,20	-0,18	0,26	0,28
PJO	0,47	0,24	0,48	-0,05	0,04	0,40	0,30	0,27	0,19	0,25	0,10	0,16	0,18	0,28	0,10	0,12	0,05	0,26	0,14	0,06	0,17	0,24	0,38
PCT	0,41	0,38	0,40	0,14	0,14	0,36	0,30	0,25	0,23	0,21	0,13	0,02	0,15	0,20	0,03	0,10	0,11	0,21	0,06	0,05	0,23	0,22	0,24
PBT	0,48	0,36	0,46	0,02	0,11	0,44	0,14	0,45	0,32	0,13	0,03	0,16	0,17	0,13	-0,03	0,07	0,02	0,29	0,09	-0,05	0,33	0,30	0,25
PQT	0,55	0,36	0,54	0,14	0,23	0,51	0,27	0,38	0,37	0,24	0,07	0,06	0,11	0,14	-0,05	0,11	0,12	0,32	0,05	-0,04	0,38	0,36	0,33

Medidas morfométricas (MM). Alturas: na cernelha (ACE), no dorso (ADO), na garupa (AGA) e da cernelha (ADC); comprimentos: do dorso-lombo (CDL), do corpo (CCO), da cabeça (CAB), da orelha (COR), do pescoço (CPE), da espádua (CES), do braço (CBR), do antebraço (CAN), da canela torácica (CCT), da quartela torácica (CQT), da garupa (CGA), da coxa (COX), da perna (CPE), da canela pélvica (CCP) e da quartela pélvica (CQP); distâncias: do vazio subesternal (DVS), da espádua ao boleto (DEB) e da espádua ao joelho (DEJ); larguras: da orelha (LOR), do peito (LPE), da garupa (LGA) e entre as ancas (LAN); ângulos: escapulo-solo (AES), escapulo-umeral (AEU), úmero-radial (AUR), coxo-solo (ACS), coxofemoral (ACF), fêmur-tibial (AFT) e tíbio-metatarsiano (ATM); peso corporal (PV); e perímetros: torácico (PT), do pescoço cranial (PPCR), do pescoço caudal (PPCA), da frente (PFR), do chanfro (PCF), do focinho (PFO), do antebraço (PAN), do joelho (PJO), da canela torácica (PCT), do boleto torácico (PBT) e da quartela torácica (PQT).

‘Continuação...

Tabela 5. Correlação de Pearson entre as 45 medidas morfométricas avaliadas de equinos da raça Campolina.’

MM	LPE	LGA	LAN	AES	AEU	AUR	ACS	ACF	AFT	ATM	PV	PT	PPCR	PPCA	PFR	PCF	PFO	PAN	PJO	PCT	PBT	PQT
LPE	1,00																					
LGA	0,30	1,00																				
LAN	0,54	0,66	1,00																			
AES	0,13	0,13	0,19	1,00																		
AEU	0,06	0,05	0,22	0,20	1,00																	
AUR	0,01	-0,03	0,10	-0,18	0,11	1,00																
ACS	-0,26	0,08	-0,21	-0,10	-0,06	-0,05	1,00															
ACF	-0,14	0,10	-0,15	-0,25	-0,01	-0,01	0,45	1														
AFT	0,02	0,18	-0,06	-0,03	-0,09	-0,08	0,15	0,19	1													
ATM	0,19	0,01	0,13	0,13	0,13	0,03	-0,15	-0,11	0,06	1												
PV	0,52	0,51	0,56	0,04	0,02	-0,02	-0,04	0	0,15	0,03	1											
PT	0,36	0,45	0,33	-0,03	0,02	-0,11	0,01	0,08	0,11	-0,08	0,69	1										
PPCR	0,41	-0,09	0,35	0,08	0,08	0,20	-0,32	-0,17	-0,21	0,16	0,25	0,18	1									
PPCA	0,49	0,20	0,54	0,10	0,17	0,18	-0,41	-0,16	-0,18	0,19	0,35	0,21	0,65	1								
PFR	0,42	0,32	0,34	0,00	-0,02	0,03	0,09	-0,05	0,16	0,07	0,53	0,45	0,38	0,16	1							
PCF	0,21	0,04	0,21	0,06	0,05	-0,03	-0,12	-0,08	-0,06	0,05	0,29	0,2	0,35	0,22	0,43	1						
PFO	0,20	0,28	0,12	-0,07	-0,05	-0,01	-0,17	-0,02	0,22	0,01	0,33	0,36	0,21	0,21	0,46	0,32	1					
PAN	0,44	0,21	0,31	0,08	0,03	0,11	-0,18	-0,05	-0,14	0,11	0,37	0,24	0,43	0,44	0,34	0,3	0,34	1,00				
PJO	0,29	0,08	0,17	0,05	-0,02	0,00	0,02	-0,04	0,04	0	0,28	0,27	0,2	0,11	0,43	0,28	0,59	0,42	1,00			
PCT	0,24	0,18	0,16	0,11	-0,08	-0,03	0,09	0,01	0,02	0	0,28	0,23	0,2	0,08	0,42	0,19	0,05	0,24	0,23	1,00		
PBT	0,21	0,22	0,13	-0,06	-0,07	0,02	0,09	0	0,13	-0,06	0,37	0,29	0,13	-0,05	0,55	0,22	0,66	0,3	0,54	0,13	1,00	
PQT	0,27	0,32	0,19	0,09	-0,04	0,00	0,14	-0,01	0,08	-0,03	0,37	0,29	0,13	-0,02	0,54	0,27	0,36	0,35	0,52	0,40	0,52	1,00

Medidas morfométricas (MM), larguras: do peito (LPE), da garupa (LGA) e entre as ancas (LAN); ângulos: escapulo-solo (AES), escapulo-umeral (AEU), úmero-radial (AUR), coxo-solo (ACS), coxofemoral (ACF), fêmur-tibial (AFT) e tibio-metatarsiano (ATM); peso corporal (PV); e perímetros: torácico (PT), do pescoço cranial (PPCR), do pescoço caudal (PPCA), da frente (PFR), do chanfro (PCF), do focinho (PFO), do antebraço (PAN), do Joelho (PJO), da canela torácica (PCT), do boleto torácico (PBT) e da quartela torácica (PQT).

3.3 Proporções Morfométricas

Na análise das proporções lineares dos equinos da raça Campolina, observou-se que a proporção dos comprimentos da cabeça com do corpo o valor de 1:2,1 a 1:2,7. Para a proporção dos comprimentos da cabeça com da espádua o valor de 1:0,7 a 1:0,9. Na proporção dos comprimentos da cabeça com do braço o valor de 1:0,4 a 1:0,6. E para a proporção dos comprimentos da cabeça com da garupa o valor de 1:0,8 a 1:0,9. Estes intervalos de proporções estão presentes em mais de 82% dos equinos da raça Campolina avaliados (Tabela 6). E, apenas para as proporções do comprimento da cabeça com o comprimento e com a largura da orelha o intervalo que mais se repetiu foi menor que 50%.

Tabela 6. Proporções das medidas lineares dos equinos da raça Campolina em relação ao comprimento da cabeça

Comprimento da cabeça:	Intervalo	N	Frequência (%)	Lesbre (1920)
Altura na cernelha	2 ½ a 2 2/3	270	57,4	2 ½
Altura da garupa	2 4/9 a 2 2/3	270	59,6	2 ½
Comprimento do corpo	2 1/8 a 3	270	99,6	2 ½
Comprimento do pescoço	6/7 a 1	270	61,5	1
Comprimento dorso/lombo	1	108	58,3	5/6
Comprimento da orelha	¼ a 2/7	270	43,3	-
Comprimento da espádua	2/3 a 7/8	270	82,2	1
Comprimento do braço	2/5 a 3/5	270	89,3	2/3
Comprimento da garupa	¾ a 6/7	269	83,3	5/6
Comprimento da coxa	½ a 3/5	270	70,4	-
Distância vazio subesternal	1 1/3 a 1 ½	269	71,4	1 1/3
Distância espádua Joelho	1 a 1 1/5	263	76,0	-
Distância espádua-boleto	1 ½ a 1 2/3	115	72,2	-
Largura do peito	2/3 a 4/5	270	52,6	-
Largura da garupa	7/9 a 8/9	108	62,0	5/6
Largura entre as ancas	4/5 a 1	269	62,4	-
Largura da orelha	0 a 1/9	270	49,3	-

Em relação a proporção da altura na cernelha com a altura na garupa foi observado o valor de 1:1. Altura na cernelha com o comprimento da orelha proporção de 1:0,1. A proporção da altura na cernelha com o comprimento do braço valor de 1:0,1 a 1:0,2. Já a proporção da altura na cernelha com a distância da espádua ao joelho valor de 1:0,4. Estes intervalos de proporções estão presentes em mais de 81% dos equinos da raça Campolina avaliados (Tabela 7).

Na avaliação da proporção da altura na garupa em relação ao comprimento da orelha observou o valor de 1:0,1. Enquanto a proporção da altura na garupa com o comprimento do braço o valor de 1:0,1 a 0,2. Já a altura na garupa e o comprimento da garupa apresentou proporção de 1:0,3. E para a proporção da altura na garupa com a distância do vazio subesternal o valor de 1:0,5 a 0,6. Estes intervalos de proporções estão presentes em mais de 80% dos equinos da raça Campolina avaliados (Tabela 8).

Tabela 7. Intervalo de proporções das medidas lineares em relação à altura na cernelha

Altura na cernelha:	Intervalo	N	Frequência (%)
Altura da garupa	1	270	84,4
Comprimento do corpo	1 a 1 1/8	270	57,7
Comprimento do pescoço	1/3 a 2/5	270	53,7
Comprimento dorso lombo	1/3 a 2/5	108	50,9
Comprimento da orelha	1/9 a 1/8	270	81,5
Comprimento da espádua	1/4 a 1/3	270	52,6
Comprimento do braço	1/6 a 1/4	270	88,9
Comprimento da garupa	2/7 a 1/3	269	75,0
Comprimento da coxa	1/5 a 1/4	270	79,2
Distância vazio subesternal	1/2 a 4/7	269	62,8
Distância espádua ao joelho	2/5 a 4/9	263	81,4
Distância espádua ao boleto	5/9 a 3/5	115	65,2
Largura do peito	1/4 a 1/3	270	77,0
Largura da garupa	2/7 a 1/3	108	55,5
Largura entre as ancas	1/3 a 3/8	269	65,8

Na proporção do comprimento do corpo com o comprimento do pescoço observou o valor de 1:0,3 a 0,4. Os comprimentos do corpo e da orelha apresentaram proporção de 1:0,1. Já os comprimentos do corpo e do braço proporção de 1:0,1 a 0,2. Para a proporção do comprimento do corpo com a distância da espádua ao joelho observou-se o valor de 1:0,4. E para a proporção do comprimento do corpo com a largura do peito o valor de 1:0,2. Estes intervalos de proporções estão presentes em mais de 80% dos equinos da raça Campolina avaliados (Tabela 9).

Tabela 8. Intervalo de proporções das medidas lineares com a altura na garupa

Altura na garupa:	Intervalo	N	Frequência (%)
Comprimento do corpo	1	270	63,3
Comprimento do pescoço	1/3 a 2/5	270	64,0
Comprimento dorso-lombo	1/3 a 2/5	108	49,0
Comprimento da orelha	1/9 a 1/8	270	80,7
Comprimento da espádua	1/4 a 1/3	270	55,2
Comprimento do braço	1/7 a 2/9	270	88,1
Comprimento da garupa	2/7 a 1/3	269	81,8
Comprimento da coxa	1/5 a 1/4	270	78,5
Distância do vazio subesternal	1/2 a 4/7	269	87,3
Distância espádua ao joelho	2/5 a 4/9	93,5	263,0
Distância espádua ao boleto	3/5 a 2/3	115	49,6
Largura do peito	1/4 a 2/7	263	76,7
Largura da garupa	2/7 a 1/3	108	50,0
Largura entre as ancas	1/3	269	76,9

A proporção dos comprimentos do pescoço com a espádua observou-se valores de 1:0,4 a 0,7. Enquanto os comprimentos do pescoço e do braço apresentaram proporção de 1:0,7 a 1:0,9. Estes intervalos de proporções estão presentes em mais de 81% dos equinos da raça Campolina avaliados. Além disso, mais de 50% da população está presente nos mesmos intervalos de todas as proporções relacionadas ao comprimento do pescoço (Tabela 10).

Na avaliação da proporção do comprimento do dorso-lombo com o comprimento da garupa verificou-se o valor de 1:0,7 a 0,8 em 73% dos equinos da raça Campolina avaliados. Constatou-se que mais de 50% dos cavalos avaliados estão presente no mesmo intervalo de todas as proporções relacionadas ao comprimento dorso-lombo (Tabela 11).

Ao analisar a proporção do comprimento da orelha com o comprimento da espádua observou o valor de 1:0,3 a 0,4. E para a proporção do comprimento da orelha como comprimento do braço o valor de 1:0,5 a 0,7. Estes intervalos de proporções estão presentes em mais de 80% dos equinos da raça Campolina avaliados. (Tabela 12).

Tabela 9. Intervalo de proporções das medidas lineares com o comprimento do corpo

Comprimento do corpo	Intervalo	N	Frequência (%)
Comprimento pescoço	1/3 a 3/7	270	89,6
Comprimento dorso-lombo	1/3 a 3/8	108	42,6
Comprimento da orelha	1/9 a 1/8	270	80,7
Comprimento da espádua	1/4 a 1/3	270	62,2
Comprimento do braço	1/7 a 2/9	270	88,5
Comprimento da garupa	2/7 a 1/3	269	69,9
Comprimento da coxa	1/5 a 1/4	270	70,4
Distância vaziao subesternal	1/2	269	53,1
Distância espádua ao joelho	2/5 a 4/9	263	85,2
Distância espádua ao boleto	5/9 a 3/5	115	74,8
Largura do peito	1/4 a 2/7	270	81,8
Largura da garupa	2/7 a 1/3	108	57,4
Largura entre as ancas	2/7 a 1/3	269	78,0

Ao avaliar a proporção do comprimento da espádua com o comprimento do braço, foi observado o valor de 1:0,5 a 1:1. A proporção do comprimento da espádua com comprimento da canela torácica valor de 1:1,5 a 1:2. Já a proporção do comprimento da espádua com comprimento da garupa valor de 1:0,7 a 1:1. A proporção do comprimento da espádua com comprimento da coxa, valor de 1:0,5 a 1:0,7. A proporção do comprimento da espádua com a distância da espádua ao joelho o valor de 1:1 a 1:1,5. Estes intervalos de proporções estão presentes em mais de 81% dos equinos da raça Campolina avaliados (Tabela 13).

Tabela 10. Intervalo de proporções das medidas lineares com o comprimento do pescoço

Comprimento do pescoço	Intervalo	N	Frequência (%)
Comprimento dorso lombo	1 a 1 1/9	108	55,5
Comprimento da orelha	1/4 a 1/3	270	56,7
Comprimento da espádua	3/4 a 8/9	270	81,1
Comprimento do braço	2/5 a 5/7	270	99,2
Comprimento da garupa	4/5 a 1	269	55,4
Comprimento da coxa	1/2 a 2/3	270	58,5
Distância do vaziao subesternal	5/8 a 3/4	269	79,5
Distância espadua joelho	1 a 1 1/7	263	67,7
Distância espadua boleto	1 2/5 a 1 3/5	115	52,2
Largura do peito	2/3 a 7/9	270	60,7
Largura da garupa	4/5 a 1	108	76,8
Largura entre as ancas	7/9 a 1	269	73,2

Tabela 11. Intervalo de proporções das medidas lineares com o comprimento do dorso-lombo

Comprimento dorso lombo	Intervalo	N	Frequência (%)
Comprimento da orelha	1/3 a 3/8	108	58,3
Comprimento da espádua	1 1/5 a 1 1/3	108	53,7
Comprimento do braço	1 5/7 a 2 1/7	108	64,8
Comprimento da garupa	3/4 a 5/6	108	73,1
Comprimento da coxa	3/7 a 5/9	108	68,5
Comprimento do vazio subesternal	2/3 a 3/4	108	60,2
Comprimento espádua ao joelho	1 a 1 1/7	108	51,8
Distância espádua ao boleto	1 1/2 a 1 3/4	108	63,9
Largura do peito	3/5 a 3/4	108	75,0
Largura da garupa	7/9 a 1	108	65,7
Largura entre as ancas	4/5 a 1	107	52,3

Tabela 12. Intervalo de proporções das medidas lineares com o comprimento da orelha

Comprimento da orelha	Intervalo	N	Frequência (%)
Comprimento da espádua	2/7 a 2/5	270	84,8
Comprimento do braço	1/2 a 2/3	270	80,7
Comprimento da garupa	1/3 a 3/7	269	54,3
Comprimento da coxa	1 3/4 a 2 1/8	270	62,6
Distância do vazio subesternal	1/5 a 2/9	269	53,1
Distância espádua ao joelho	3 2/5 a 4	263	79,8
Distância espádua ao boleto	4 5/8 a 5 1/7	115	67,8
Largura do peito	2 a 2 1/3	270	64,8
Largura da garupa	1/3 a 2/5	108	55,5
Largura entre as ancas	2 1/2 a 3	269	62,0
Largura da orelha	1/3 a 2/5	270	59,2

O comprimento do braço com o comprimentos do antebraço, apresentou proporção com valor de 1:0,5 a 1:0,8. A proporção do comprimento do braço com comprimento da garupa valor de 1:1,2 a 1:1,6. A proporção do comprimento do braço com comprimento da coxa o valor de 1:0,85 a 1:1,1. A proporção do comprimento do braço com o comprimento da canela pélvica o valor de 1:0,6 a 1:0,8. A proporção do comprimento do braço com a distância do vazio subesternal o valor de 1:0,3 a 1:0,4. A proporção do comprimento do braço com a distância espádua ao joelho o valor de 1:1,6 a 1:2,2. Já a proporção do comprimento do braço com a distância espádua ao boleto apresentou o valor de 1:2,6 a 1:3,2. A proporção do comprimento do braço com a largura do peito o valor de 1:1 a 1:1,4. A proporção do comprimento do braço com a largura da garupa o valor de 1:1,4 a 1:1,8. E a proporção do comprimento do braço com a largura entre as ancas o valor de 1:1,2 a 1:1,6 (Tabela 13). Estes intervalos de proporções estão presentes em mais de 81% dos equinos da raça Campolina avaliados.

Nos membros pélvicos, as medidas que obtiveram proporções no mesmo intervalo em mais de 70% dos equinos da raça Campolina avaliados foram: o comprimento da garupa com a distância do vazio subesternal que apresentou valor de 1:0,5 a 1:0,6. O comprimento da garupa com a largura da garupa o valor de 1:1 a 1:1,1. E o comprimento da garupa com a largura entre as ancas o valor de 1:1 a 1:1,2. A proporção do comprimento da coxa com a largura entre as ancas observou-se o valor de 1:1,3 a 1:1,6. E o comprimento da canela pélvica com o comprimento da quartela pélvica apresentou proporção de 1:2,2 a 1: 2,7 (Tabela 14).

Tabela 13. Intervalo de proporções das medidas lineares com os comprimentos do membro torácico

Variável	Intervalo	N	Frequência (%)
Comprimento da espádua:	-	-	-
Comprimento do braço	1/2 a 1	270	99,6
Comprimento do antebraço	1 a 1 1/6	270	75,5
Comprimento da canela torácica	1 1/2 a 2	270	90,0
Comprimento garupa	3/4 a 1	269	91,4
Comprimento coxa	1/2 a 3/4	270	91,8
Distância vazio subesternal	1/2 a 3/5	269	56,5
Distância espádua ao joelho	1 a 1 1/2	263	90,5
Distância espádua ao boleto	1 5/6 a 2	115	61,7
Largura peito	4/5 a 1	270	55,2
Largura garupa	1 a 1 1/8	108	49,0
Largura entre as ancas	3/4 a 1	269	73,2
Largura orelha	0 até 1/7	270	61,5
Comprimento do braço:	-	-	-
Comprimento antebraço	1/2 a 4/5	270	85,2
Comprimento canela torácica	1/2 a 7/8	270	52,2
Comprimento da quartela torácica	1 7/8 a 2 4/7	270	64,8
Comprimento da garupa	1 2/9 a 1 5/8	269	84,4
Comprimento da coxa	6/7 a 1 1/8	270	82,2
Distância do vazio subesternal	2/7 a 3/7	269	82,3
Distância espádua ao joelho	1 2/3 a 2 1/4	263	90,5
Distância espádua ao boleto	2 2/3 a 3 2/9	115	81,7
Largura do peito	1 a 1 3/8	270	88,1
Largura da garupa	1 2/5 a 1 5/6	108	88,9
Comprimento da canela pélvica	7/8 a 1 1/7	269	85,1
Largura entre as ancas	1 2/9 a 1 2/3	269	84,4
Largura da orelha	1/5 a 1/4	270	63,4
Comprimento do antebraço:	-	-	-
Comprimento da quartela torácica	3 1/3 a 4	270	51,5
Comprimento da canela pélvica	2/3 a 4/5	269	73,2
Comprimento da canela torácica	4/9 a 1	270	76,3
Comprimento canela torácica:	-	-	-
Comprimento quartela torácica	2 a 2 4/9	270	70,4
Comprimento canela pélvica	2/3 a 1	269	72,5
Comprimento quartela torácica:	-	-	-
Comprimento quartela pélvica	1 a 1 1/8	269	79,5

Quando se observa as proporções das medidas de distância, nos equinos avaliados, mais de 80% dos equinos apresentaram o mesmo intervalo para as proporções entre: a distância do vazio subesternal com o comprimento da canela torácica de 1:0,3 a 0,4; com o comprimento da perna de 1:1,2 a 1,7; e com a distância da espádua ao joelho de 1:0,75 a 0,8. A distância da espádua ao joelho com a distância da espádua ao boleto com intervalo de 1:0,6 a 1:0,75. A proporção da distância da espádua ao boleto com a larguras do peito valor de 1:0,3 a 0,4; com a largura entre as ancas valor de e 1:0,4 a 0,6 (Tabela 15).

Tabela 14. Intervalo de proporções das medidas lineares com os comprimentos do membro pélvico

Variável	Intervalo	N	Frequência (%)
Comprimento da garupa:	-	-	-
Comprimento coxa	2/3 a 4/5	269	61,3
Distância vazio subesternal	1/2 a 2/3	268	70,9
Distância espádua ao joelho	1 1/3 a 1 4/7	262	56,9
Distância espádua ao boleto	1 3/4 a 2	115	54,8
Largura do peito	4/5 a 1	269	52,0
Largura da garupa	1 a 1 1/6	108	77,8
Largura entre as ancas	1 a 1 1/5	268	72,4
Largura da orelha	1/8 a 1/6	269	47,6
Comprimento da coxa:	-	-	-
Distância do vazio subesternal	3/8 a 4/9	269	65,8
Distância espádua ao joelho	1 3/5 a 2	263	50,9
Distância espádua ao boleto	2 5/8 a 3 1/8	115	53,9
Largura do peito	7/8 a 1 1/5	270	51,8
Largura da garupa	1/2 a 5/8	108	68,5
Largura entre as ancas	1 1/3 a 1 5/8	269	78,1
Largura da orelha	4 2/3 a 6	270	59,2
Comprimento canela pélvica:	-	-	-
Comprimento quartela pélvica	2 1/5 a 2 3/4	269	85,5

Em relação as proporções entre as larguras constataram-se que frequências acima de 68% em todas as proporções. E, para a proporção das larguras do peito com entre as ancas, 88,9% dos equinos da raça Campolina demonstraram o intervalo de 1:1,1 a 1,4 (Tabela 16).

Tabela 15. Intervalo de proporções das medidas lineares com as medidas de distância

Variável	Intervalo	N	Frequência (%)
Distância do vazio subesternal:	-	-	-
Comprimento do antebraço	1 7/9 a 2	269	59,1
Comprimento da canela torácica	1/3 a 3/8	269	82,9
Comprimento da perna	1 1/5 a 1 5/7	268	89,9
Distância espádua ao joelho	3/4 a 5/6	262	86,2
Distância espádua ao boleto	1 a 1 1/7	115	79,1
Largura do peito	1/2 a 5/9	269	55,7
Largura da garupa	1/2 a 5/8	108	57,7
Largura entre as ancas	4/7 a 2/3	268	68,6
Distância espádua ao joelho:	-	-	-
Distância espádua ao boleto	2/3 a 3/4	108	93,5
Largura do peito	4/7 a 2/3	108	50,0
Largura da garupa	1 1/7 a 1 1/3	108	67,6
Largura entre as ancas	2/3 a 7/9	107	57,9
Largura orelha	11 8/9 a 14	263	59,7
Distância espádua ao boleto:	-	-	-
Largura do peito	1/3 a 4/9	120	80,8
Largura da garupa	1 5/9 a 1 5/6	108	64,8
Largura entre as ancas	3/7 a 4/7	119	83,2
Largura da orelha	13 a 15 1/8	115	51,3

Tabela 16. Intervalo de proporções das medidas lineares com as larguras

Variável	Intervalo	N	Frequência (%)
Largura do peito: largura entre as ancas	1 1/7 a 1 3/7	269	88,9
Largura do peito: largura da orelha	5 5/9 a 7 3/8	270	68,5
Largura da garupa: largura entre as ancas	5/6 a 1	107	68,0
Largura entre as ancas: largura da orelha	7 1/3 a 9 1/2	108	68,5

A proporção entre os ângulos escapulo-solo e úmero-radial apresentou intervalo de 1:2 a 2,6 em 60% dos equinos avaliados. E entre os ângulos escapulo-solo e tíbio-metatarsiano o intervalo foi de 1:1,9 a 2,25 em 79% dos equinos mensurados. A proporção entre os ângulos escápulo-solo e coxo-solo obteve um intervalo de 1:0,4 a 0,5 em 63% dos equinos avaliados. Observou-se que a proporção entre os ângulos escápulo-umeral e úmero-radial apresentou o intervalo de 1:0,5 a 0,85, em 99% dos animais mensurados. Os ângulos escápulo-umeral e coxo-femoral apresentaram a proporção no intervalo de 1:0,8 a 1,3 em 99%. Assim como a proporção dos ângulos úmero-radial e tíbio-metatarsiano que apresentaram o intervalo de 1:0,9 e 1,1 em 99% dos equinos mensurados (Tabela 17).

Tabela 17. Intervalo de proporções das medidas angulares

Variável	Intervalo	N	Frequência (%)
Ângulo escapulo-solo:	-	-	-
Â. Escapulo-umeral	1 1/6 a 1 2/5	270	76,3
Â. Umero-radial	2 a 2 4/7	270	60,0
Â. Coxo-solo	2/5 a 1/2	270	63,0
Â. Coxo-femoral	8/9 a 1 1/3	270	61,5
Â. Fêmur-tibial	1 1/2 a 1 5/6	270	70,7
Â. Tíbio-metatarsiano	1 7/8 a 2 1/4	270	79,2
Ângulo escápulo-umeral:	-	-	-
Â. Umero-radial	1/2 a 6/7	270	99,6
Â. Coxo-solo	2 8/9 a 3 7/8	270	48,5
Â. Coxo-femoral	4/5 a 1 1/3	270	98,9
Â. Fêmur-tibial	3/4 a 8/9	270	53,7
Â. Tíbio- metatarsiano	3/5 a 2/3	270	77,0
Ângulo úmero-radial:	-	-	-
Â. Coxo-solo	3 5/7 a 5 1/2	270	74,1
Â. Coxo-femoral	2/3 a 1 5/7	270	74,4
Â. Fêmur-tibial	1 a 1 1/3	270	78,5
Â. Tíbio- metatarsiano	8/9 a 1 1/7	270	99,2
Ângulo coxo-solo	-	-	-
Â. Coxo-femoral	2/9 a 2/5	270	90,0
Â. Fêmur-tibial	1/4 a 1/3	270	54,8
Â. Tíbio- metatarsiano	1/5 a 1/4	270	49,6
Ângulo coxo-femoral:	-	-	-
Â. Fêmur-tibial	4/7 a 5/6	270	71,8
Â. Tíbio- metatarsiano	3/5 a 3/4	270	67,4
Â. Fêmur-tibial: â. Tíbio- metatarsiano	5/7 a 5/6	270	77,4

4 DISCUSSÃO

Os equinos da raça Campolina foram classificados de acordo com os Índices Morfométricos como sendo animal longe do chão, mediolíneos, eumétricos, com capacidade das extremidades do cavalo deslocar a massa corporal de aproximadamente 4, ideal para o tipo sela de acordo com a conformação do animal e foi classificado como tipo tração ligeira, provavelmente por ser um equino com porte mais alto.

Na raça Alter, sendo esta raça responsável também, pela formação da raça Campolina, Oom e Ferreira (1987), verificaram que os equinos machos se classificavam como mediolíneos para Índice Corporal (IC), mas como longilíneos para Índice Meloscópico (IM) e como eumétrico no Índice Dáctilo-torácico (IDT); e para as fêmeas, brevelíneas para IC, longilíneas para IM e hipermétricas para IDT. Cabral et al. (2004), classificaram os equinos da raça Mangalarga Marchador como médiolíneos e eumétricos, apresentando os valores de IC de 0,85, IM igual a 1 e IDT de 10,8. Lucena et al. (2016), classificaram os equinos da raça Campolina, como longe do chão, mediolíneo e eumétrico, com conformação próxima ao ideal para cavalos tipo sela e a morfometria para tipo tração ligeira, corroborando com o observado neste estudo.

A observação das correlações demonstra como as medidas morfométricas irão se comportar ao focar na seleção de determinada característica. Segundo Procópio (2008), a definição do critério de seleção será auxiliada pelas correlações existente entre as características, permitindo o melhoramento indireto das características correlatadas. Como por exemplo, as medidas que apresentam valores positivos irão seguir na mesma direção do objetivo da seleção, o contrário ocorrerá quando as correlações das medidas apresentarem valores negativos. Além disto, é importante que as medidas morfométricas sejam proporcionais, para que o equino desempenhe da melhor forma a função e não cause prejuízo a estrutura óssea.

No presente estudo foi observado que quanto maior a altura do equino maior será a altura na garupa devido à alta correlação entre as duas características ($r=0,88$). Porém essa alta correlação merece atenção, pois é estipulado pela ABCCCampolina que a altura da garupa não pode ser nem igual e nem maior que a altura da cernelha (ABCCCampolina, 2018). Lucena et al. (2016) também verificaram alta correlação entre a altura da cernelha e altura da garupa, de 0,71 e 0,91 para éguas e garanhões da raça Campolina, respectivamente. Porém, Padilha et al. (2017), avaliando equinos da raça Brasileiro de Hipismo, observaram coeficiente de correlação médio para a altura na cernelha e na garupa de 0,62, nesta raça, é exigido que os equinos apresentem valor de altura na garupa superior a altura na cernelha. Revelando que estas medidas são alteradas em conjunto, porém ao analisar as proporções da altura na cernelha com a altura na garupa observou-se a proporção de 1:1 em 84,4% dos equinos avaliados. Estas medidas devem estar em equilíbrio para que assim obtenha-se melhor desempenho durante a marcha, segundo Lucena et al. (2015).

Com a redução da altura mínima na cernelha do regulamento do padrão racial da ABCCCampolina, observou-se, nos últimos anos, diminuição das medidas de altura na cernelha nos equinos da raça Campolina (Sousa et al., 2018). Portanto, com os resultados apresentados, a seleção para a redução desta medida acarretará também na diminuição das medidas altura na garupa.

O comprimento do corpo e as alturas na cernelha e na garupa apresentaram correlação moderada ($r=0,63$; $r=0,61$, respectivamente), o que revela a proporcionalidade entre o tamanho do corpo com a altura dos equinos avaliados. Esses resultados corroboram com o verificado por Lucena et al. (2016), na raça Campolina, que observaram correlação entre a

altura da cernelha e o comprimento do corpo, de 0,74 e 0,72, para éguas e garanhões, respectivamente.

Além disso, constatou-se que as medidas de altura na cernelha e comprimento do corpo apresentam proporções de acordo com o regulamento da raça (ABCCCampolina, 2018), o que era de se esperar, já que só foram utilizados animais registrados. Estes valores corroboram com o observado no estudo de Lucena et al. (2015), em equinos da raça Campolina, no qual os garanhões apresentaram proporção de cabeça: comprimento do corpo de 2,6 e para os castrados o valor de 2,54. E constataram que o comprimento da garupa equivale a 85,8% do comprimento da cabeça nos garanhões e a 83,6% nos castrados. Além de apresentar correlação com a proporcionalidade, segundo Stashak e Hill (2006), o comprimento e a altura do animal devem ser semelhantes para maior facilidade na sincronização e coordenação de seus movimentos.

O perímetro da frente e a altura na cernelha apresentaram correlação alta e positiva ($r=0,72$), significa que quanto maior for o equino da raça Campolina maior o perímetro da frente. Além disso, apresenta correlação moderada com o comprimento corporal ($r=0,64$), explicando, mais uma vez, a proporcionalidade do equino da raça Campolina. Além disso, a frente mais ampla está relacionada a maior massa encefálica e maior campo de visão para os equinos. Bussiman et al. (2018) observaram, para raça Campolina, correlação de características morfométricas e alturas na cernelha, no dorso e na garupa maiores que o apresentado neste estudo, variando de 0,74 a 0,98.

O comprimento do corpo mostrou correlação positiva com o peso corporal e perímetro da frente. A primeira relação demonstra que quanto maior o tamanho do corpo do equino mais pesado será. E a segunda, remete mais uma vez que o cavalo da raça Campolina apresenta proporcionalidade nas diferentes regiões do corpo, pois à medida que o tamanho corporal aumenta ou reduz, as medidas da cabeça acompanham esta alteração. Sendo as proporções de comprimento do corpo com da cabeça corroboram com o proposto por Lesbre (1920), revelando que é uma característica padrão dos cavalos do tipo sela, já que esta proporção não alterou após 100 anos.

O comprimento da quartela torácica possui correlação moderada e positiva com a quartela pélvica. Demonstra que existe proporção dos membros torácicos e pélvicos quanto ao impacto gerado na locomoção.

Porém, foi observado que a medida da distância da espádua ao boleto é inversamente proporcional as medidas dos perímetros do pescoço, ou seja, possuem correlação moderada negativa, com isso, à medida que uma aumenta a outra diminui, isto implica na melhoria indireta das características. Essa diminuição, pode influenciar no andamento do cavalo, fazendo com que obtenha movimentos mais amplos com os membros e maior leveza de movimentação em forma de báscula do pescoço.

Os perímetros do pescoço cranial e caudal possuem correlação moderada positiva. À medida que há aumento ou redução do pescoço do equino da raça Campolina, as bordas cranial e caudal do pescoço acompanham esta alteração, porém não alteram na mesma proporção de 1:1. Proporciona pescoço que tenha estrutura para aguentar a cabeça do equino e esteja em proporção com o restante do corpo.

O perímetro torácico e o peso corporal possuem correlação moderada ($r=0,69$) corroborando com o fato da utilização da fita de peso para estimação do peso corporal através da mensuração do perímetro torácico, neste estudo. Porém como a fita realiza uma estimação e não possui métrica, então há erros na leitura do peso corporal estimado, explica-se a correlação moderada e não alta para estas características.

Observou-se que comprimento do pescoço corresponde de 0,87 a 1 do comprimento da cabeça. Lesbre define que esta proporção deve ser de 1:1. É interessante ressaltar que a raça Mangalarga já realizou a modificação da proporção no padrão racial, define que os

equinos registrados na Associação Brasileira de Criadores de Cavalos Mangalarga (ABCCRM) apresentem proporção de cabeça e pescoço de 1:1 1/3, discordando com o proposto por Lesbre (1920) (ABCCRM, 2020).

Apesar da proporção do comprimento da cabeça com a altura na cernelha estar dentro do proposto por Lesbre (1920), observou-se que dentro da população estudada houve grande variação dos valores de proporção, pois apenas 57,4% dos animais apresentaram o equivalente de 1:2,5 a 2,6 na relação comprimento da cabeça:altura na cernelha. Este fato pode ser devido à grande amplitude observada da medida da altura na cernelha, pois o padrão racial do Campolina preconiza que a altura mínima para fêmeas seja de 1,45m e para os machos de 1,52m (ABCCCampolina, 2018). No estudo de equinos da raça Campolina, Lucena et al. (2015) também observaram valores de proporção para os garanhões, de 2,55 e castrados, de 2,55. Indicando que a proporção não está relacionada ao tamanho do equino, mas evidencia que o cavalo tem que ser proporcional entre as medidas morfométricas.

Constatou-se que a proporção do comprimento da cabeça com os comprimentos da espádua e do braço diferiu do proposto por Lesbre (1920), pois 82,2% dos equinos apresentaram o comprimento da espádua equivalente ao valor de 0,67 a 0,87 do comprimento da cabeça. E em 89,3% dos animais mostraram que o comprimento do braço corresponde ao valor de 0,40 a 0,60 do comprimento da cabeça. E, Lesbre (1920) propõe a proporção de 1:1 e de 1:0,6, respectivamente, o que sugere que o comprimento de cabeça e espádua sejam os mesmos, e que o comprimento do braço seja equivalente a 0,6 do comprimento da cabeça. Estes valores observados do comprimento da espádua também discordam do verificado por Berbari Neto (2005) e Lucena et al. (2015) na raça Campolina, que verificaram valores de comprimento da espádua de 0,9 do comprimento da cabeça.

Segundo Harris (1993), o comprimento da espádua está intimamente relacionado à conformação da cernelha, do tronco e dos membros, que aliado à inclinação da espádua, constituem fatores que pode alterar a biomecânica dos movimentos da cintura torácica. Além de ser necessário para atingir uma amplitude de passadas adequadas ao movimento. E estar correlacionado positivamente com o rendimento do cavalo (Cabral, 2002; Lage et al., 2009).

Em relação à altura, observou-se que existe proporção entre a altura na cernelha e o comprimento da orelha, no qual em 81,48% dos equinos da raça Campolina, apresentaram o comprimento da orelha equivalente de 11 a 12,5% da altura na cernelha. Isto demonstra que esta raça possui equinos bem proporcionados até em relação ao comprimento da orelha. Em 88,9% dos equinos estudados, observou-se que o comprimento do braço compreende ao intervalo de 16,7 a 25% da altura na cernelha. Essa variação pode ser explicada pelo fato de o estudo ter sido realizado com machos e fêmeas, apresentando diferenças significativas em relação ao tamanho do equino. Na proporção entre a altura na cernelha e a distância da espádua ao joelho, foi observado que 81,37% dos equinos possuíam a distância equivalente a 0,40 a 0,44 da altura na cernelha.

Em relação à altura na garupa, além das altas frequências de equinos avaliados apresentando proporções próximas ao observado para a altura na cernelha. Constatou-se que em 81,78% dos equinos mensurados apresentavam o comprimento da garupa de 28,6 a 33,3% da altura na garupa.

Além dessas proporções, observou-se que a distância do vazio subesternal equivale a 50 a 57% da altura na garupa em 87,36% dos cavalos da raça Campolina avaliados. Esses equinos são animais classificados como “longe do chão”, que é a nomeação dada quando a distância do vazio subesternal é maior do que a altura do costado. O contrário, nomeia-se “perto do chão” (McManus et al., 2005). Este resultado está de acordo com o desejado no padrão racial da raça Campolina (ABCCCampolina, 2018).

O comprimento do corpo com o comprimento do pescoço apresentou o mesmo intervalo de proporções em 89,63% dos equinos. Mostrando que o comprimento do pescoço

equivale de 33,3 a 42,8% do comprimento do corpo. Esta proporção é importante para que o equino não tenha o corpo muito grande em relação ao pescoço. Pois para a realização do andamento, é necessário que o equino desequilibre o corpo, ou seja, desloque o centro de gravidade. E para isto ocorrer, é preciso que haja a movimentação do pescoço junto ao tronco e se relacionando com os membros torácicos e pélvicos, e então há a propulsão do corpo para retornar o equilíbrio do animal (Back e Clayton, 2013).

Em 81,85% dos cavalos, foi observado a largura do peito referente de 25 a 28,6% do comprimento do corpo. A caixa torácica está ligada ao desempenho do equino. Segundo Lucena et al. (2015) a largura do peito fornece indicativos relacionados ao arqueamento das costelas, ao peso corporal e à capacidade respiratória.

Observou-se que o comprimento da espádua é equivalente de 75 a 88,9% do comprimento do pescoço em 81,11% dos equinos. O que difere do proposto no padrão racial da ABCCCampolina (2018), que preconiza esta proporção de 1:1. Provavelmente essa discordância deve-se ao fato de nos últimos anos os equinos da raça Campolina estarem passando por redução nas medidas morfométricas (Sousa et al., 2018).

Mesmo apresentando frequências de intervalo de proporção acima de 50% para o comprimento dorso-lombo com as demais medidas lineares, não se observou o padrão de ocorrência de intervalo. À medida que apresentou maior frequência do mesmo intervalo de proporção foi em 75% dos equinos demonstrando que a largura do peito equivale de 60 a 75% do comprimento dorso-lombo.

Em relação ao comprimento da espádua, foi observado que o braço corresponde à metade ou até ao mesmo valor do seu comprimento. Vale ressaltar que segundo Maruch (2013) o comprimento dos ossos influencia nas respectivas angulações dos ossos, que consequentemente, estão diretamente ligadas à qualidade do movimento no andamento, portanto, ossos menores proporcionam maiores ângulos.

A proporção do comprimento da espádua com a distância da espádua ao joelho foi de 1:1 a 1:1,5 (90,5%). Demonstra que a espádua do equino da raça Campolina é longa, conforme preconizado no padrão racial (ABCCCampolina, 2018). De acordo Andrade (2002), as espáduas devem possuir maior comprimento, pois espáduas curtas restringem a amplitude da passada e também estão relacionadas a uma adequada altura de costado e projeção de cernelha.

O comprimento do braço foi a medida morfométrica que obteve padrão de intervalo, ou seja, apresentou a ocorrência do mesmo intervalo de proporção com frequência maior do que 80% em 16 medidas lineares. Este resultado revela que o comprimento do braço é uma medida que não sofreu grande variação entre os equinos da raça Campolina avaliados e, portanto, pode ser a medida de referência para as proporções morfométricas para esta raça.

Neste estudo observou-se que o comprimento da canela pélvica é de 2,2 a 2,8 vezes maior que o comprimento da quartela pélvica. O comprimento da canela pode estar relacionado com a velocidade, e o comprimento da quartela está ligado a determinação de maior comodidade do andamento, ou seja, quartelas mais longas e oblíquas favorecem o processo de dispersão das forças durante a locomoção (Jones, 1987).

A distância do vazio subesternal apresentou o mesmo intervalo de proporção para grande parte dos equinos avaliados com o comprimento da canela torácica. Demonstrando que de 33 a 38% da distância do vazio subesternal corresponde ao comprimento da canela.

Em relação as medidas de largura, notou-se que a largura entre as ancas é de 14,3 a 42,8% maior que a largura do peito, demonstrando que o posterior do equino Campolina é mais largo do que o anterior, e é explicada ao fato do posterior ter a função de proporcionar a propulsão do corpo do equino no andamento (Back e Clayton, 2013).

Mesmo que as medidas angulares apresentaram correlações não significantes, é necessário avaliar se a seleção de determinadas medidas não irá alterar na locomoção do

equino, já que as medidas angulares possuem estrita relação com a qualidade do andamento (Fonseca, 2018).

Quando verificadas as proporções entre os ângulos dos equinos da raça Campolina, constatou-se que o ângulo úmero-radial equivale de 50 a 85,7% do ângulo escapulo-umeral em 99,63% dos animais avaliados. Este ângulo muito agudo, pode afetar o comprimento da passada segundo Hodgson et al. (2013). E, que a qualidade do andamento marcha está diretamente ligada a inclinação da espádua, ou seja, quanto mais inclinada a espádua menor a angulação do membro torácico, portanto melhor a qualidade do andamento (Pinto et al., 2008).

O ângulo coxo-femoral representa de 80 a 133,3% do ângulo escapulo-umeral em 98,89% dos equinos da raça Campolina avaliados. Verificou-se que o ângulo tíbio-metatarsiano equivale a 88,9 a 114,3% do ângulo úmero-radial em 99,26% dos cavalos avaliados. Estes resultados são importantes para determinar a proporção entre as angulações do membro torácico com o pélvico, e assim associar a qualidade do andamento. Porém essa grande variação deve-se ao fato dos ângulos apresentarem grande desvio padrão. Demonstra que não há muita padronização dos ângulos nos equinos da raça Campolina. Sendo necessário haver maior seleção para estas características, pois quanto menor a angulação, melhor é a qualidade do andamento marcha (Fonseca, 2018).

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que os equinos da raça Campolina possuem medidas morfométricas que permitem classificá-los como animal longe do chão, mediolíneos, eumétricos, com ideal capacidade das extremidades do cavalo deslocar a massa corporal, ideal para o tipo sela de acordo com a conformação do animal e além disto, possui estruturas para ser utilizado para tração ligeira.

As medidas lineares e de perímetros possuem mais correlações moderadas e positivas do que as medidas angulares, e, portanto, serão mais influenciadas indiretamente pela seleção das características.

A proporção do comprimento da cabeça com comprimento do pescoço e com o comprimento da espádua foram de 1:0,9 a 1:1 e de 1:0,7 a 1:0,9, respectivamente. A proporção entre o comprimento do corpo e altura da cernelha foi de 1:1 a 1:1,1. A proporção entre o comprimento do antebraço e canela torácica foi de 1:0,4 a 1:1. Em mais de 99% dos equinos avaliados, os intervalos de proporção entre os ângulos escapulo-umeral e úmero-radial foram de 1:0,5 a 1:0,9; entre os ângulos escapulo-umeral e coxo-femoral foi de 1:0,8 a 1:1,3 e entre os ângulos úmero-radial e tíbio-metatarsiano foi de 1:0,9 a 1:1,1. Os equinos da raça Campolina, mensurados nesse estudo não corroboraram com o sistema proposto por Lesbre (1920) na maior parte das proporções avaliadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCCCampolina - **Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Campolina - Regulamento Do Serviço Do Registro Genealógico Do Cavalo Campolina – SRGCC**; aprovado pelo MAPA em 17/05/2018; disponível em: <http://www.campolina.org.br>. Acesso em: 07/02/2021.
- ABCCRM- **Associação Brasileira de Criadores do Cavalo Mangalarga**. Regulamento do Serviço de Registro Genealógico do cavalo Mangalarga – SRGCC, 2020. Disponível em:<https://www.cavalomangalarga.com.br/documentos/regulamento_srg_2020.pdf>. Acesso: 24 Abr 2021.
- BACK, W., CLAYTON, H. M. **Equine Locomotion**. Elsevier Health Sciences, 2013.
- BARBOSA, C. G. **Estudo morfométrico na raça mangalarga marchador uma abordagem multivariada**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 77p., 1993.
- BERBARI NETO, F. **Análise das medidas lineares e avaliação de índices morfométricos em ganhões da raça Campolina**. Dissertação (Mestrado em Produção Animal). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.2005.
- BOUJENANE, I.; TOUATI, I.; MACHMOUM, M. Body measurements of Arabe-Barbe horses in Morocco. **Revue Méd. Vét.**, v.159, p.144–149, 2008.
- BUSSIMAN, F.O., PEREZ, B.C., VENTURA, R.V., SILVA, F.F., PEIXOTO, M.G.C.D., VIZONÁ, R.G., BALIEIRO, J.C.C. Genetic analysis of morphological and functional traits in Campolina horses using Bayesian multi-trait model. **Livestockscience**, v. 216, p. 119-129, 2018.
- CABRAL, G. C. **Avaliação morfométrica e estudo das curvas de crescimento de equinos da raça Mangalarga Marchador**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.2002.
- CABRAL, G. C., ALMEIDA, F. Q. D., QUIRINO, C. R., AZEVEDO, P. C. N. D., PINTO, L. F. B., SANTOS, E. M. Avaliação morfométrica de eqüinos da raça Mangalarga Marchador: índices de conformação e proporções corporais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1798-1805, 2004.
- COSTA, M. D.; BERGMANN, J. A. G.; PEREIRA, C. S.; REZENDE, A. S. C; PINHEIRO, L. E. L. Caracterização das proporções morfométricas dos pôneis da raça Brasileira. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 50: 455-460,1998.
- DYCE, K. M.; SACK, W. O.; WENSING, C. J. G. **Tratado de anatomia veterinária**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier,834 p., 2010.
- EVANS, J.W. **Horses: a guide to selection, care, and enjoyment**. Macmillan, 2000.
- FIGUEIREDO FILHO, D.B., DA SILVA JÚNIOR, J.A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Vol. 18, n. 1, 2009.
- FONSECA, M.G. **Mangalarga Marchador: estudo morfométrico, cinemático e genético da marcha batida e da marcha picada**. Tese (Doutor em Medicina Veterinária), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) - Jaboticabal (UNESP), São Paulo, 89p. 2018.
- GODOI, F. N. D., BERGMANN, J. A. G., ALMEIDA, F. Q. D., SANTOS, D. C. C. D., MIRANDA, A. L. S. D., VASCONCELOS, F. D. O., ANDRADE, A. M. Morfologia de potros da raça Brasileiro de Hipismo. **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 736-742, 2013.
- HARRIS, P. A. Preliminary investigations into factors that affect plasma aldosterone concentrations in horses. **Research in Veterinary Science**, v. 54, n. 3, p. 319-328, 1993.
- HINKLE, D. E., WIERSMA, W., E JURIS, S.G. **Applied statistics for the behavioral sciences**. Chicago: Rand McNally College Publishing, 1979.

- HODGSON, D. R.; MCGOWAN, C. M.; MCKEEVER, K. **The athletic horse: principles and practice of equine sports medicine**. 2nd ed. Elsevier Health Sciences, 2013.
- JONES, W.E. **Genética e criação de cavalos**. São Paulo: Roca, 666p., 1987.
- LAGE, M. C. G. R., BERGMANN, J. A. G., PROCÓPIO, A. M., PEREIRA, J. C. C., BIONDINI, J. Phenotypic association between linear and joint angle traits of Mangalarga Marchador horses. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.4, 968-979, 2009.
- LAWRENCE, L.A. **Horse Conformation Analysis**. Cooperative Extension, Washington State University, Pullman, WA, 2001.
- LESBRE, F. X. **Précis d'exterieurducheval et desprincipaux domestiques**. Paris: Vigot Frères, Éditeurs Paris. 500 p., 1920.
- LUCENA, J.E.C.; VIANNA, S.A.B.; BERBARI NETO, F.; SALES FILHO, R.L.M.; DINIZ, W.J.S. Comparative study of morphometric proportions between Campolina stallions and gelding. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, p.353–366, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n1p353>.
- LUCENA, J.E.C.; VIANNA, S.A.B.; BERBARI NETO, F.; SALES FILHO, R.L.M.; DINIZ, W.J.S. Morphometric characterization of females, stallions and geldings of the Campolina breed based on indexes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** v.68, p.431–438. 2016. DOI:<https://doi.org/10.1590/1678-4162-8016>
- MARUCH, S. **Medidas lineares e angulares em equinos mangalarga marchador no norte de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Montes Claros, MG, 2013.
- MCMANUS, C.; FALCÃO, R.A.; SPRITZE, A.; COSTA, D.; LOUVANDINI, H.; DIAS, L.T.; TEIXEIRA, R.A.; REZENDE, M.J.M.; GARCIA, J.A.S. Morphological characterization of Campeiro breed horses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1553-1562, 2005.
- MEIRA, C.T., FARAH, M.M., FORTES, M.R., MOORE, S.S., PEREIRA, G.L., SILVA, J.A.I.V., CURTI, R.A. A genome-wide association study for morphometric traits in quarter horse. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 34, n. 8, p. 1028-1031, 2014.
- MOORE, D.S. **The Basic Practice of Statistics**. New York, Freeman, 2007.
- OOM, M.M.; FERREIRA, J.C. Estudo biométrico do cavalo Alter. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v.83, n.482, p.101-148, 1987.
- PADILHA, F.G.F., ANDRADE, A.M.D., FONSECA, A.B.M., GODOI, F.N.D., ALMEIDA, F.Q.D., FERREIRA, A.M.R. Morphometric measurements and animal-performance indices in a study of racial forms of Brazilian Sport Horses undergoing training for eventing. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 1, p. 25-32, 2017.
- PARKER, R. **Equine Science**, 2nd ed. Thomson Delmar Learning, Clifton Park, NY, 2002.
- PINTO, L.F.B.; ALMEIDA, F.Q.; QUIRINO, C.R.; AZEVEDO, P.C.N.; CABRAL, G.C.; SANTOS, E.M.; CORASSA, A. Evaluation of the sexual dimorphism in Mangalarga Marchador horses using discriminant analysis. **Livestock Science**, v.119, p.161–166, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.03.014>.
- PROCÓPIO, A.M. **Melhoramento genético aplicado aos equinos**. In: Pereira, J.C.C. Melhoramento genético aplicado à produção animal. 5 ed. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2008. 617 p.
- REGATIERI, I. C.; MOTA, MDS. Melhoramento genético de equinos: Aspectos bioquímicos. **Ars Veterinaria**, v. 28, n. 4, p. 227-233, 2012.
- RIBEIRO, D. B. **O cavalo: raças, qualidades e defeitos**. 2.ed. São Paulo: Editora Globo, 318p., 1989.

- SADEK, M.H.; AL-ABOUD, A.Z. E ASHMAWY, A.A. Factor analysis of body measurements in Arabian horses. **Journal Animal Breeding Genetic**, 123, p. 369–377, 2006.
- SANTIAGO, J. M.; REZENDE, A. S.; LANA, Â. M.; FONSECA, M. G.; ABRANTES, R. G.; LAGE, J.; ANDRADE, J.M.; RESENDE, T.M. Comparison between the morphometric measures of Mangalarga Marchador horses of batida marcha and picada marcha. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, n.2, p.635-639, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-41626870>.
- SANTIAGO, J., REZENDE, A. S. C. D., LANA, Â., QUINTÃO, M., FONSECA, M. G., LAGE, J. Evolution of morphometric measures in the Mangalarga Marchador breed. **Revista Caatinga**, v.29, n.1, 191-199, 2016.
- SOUSA, A.S., JESUS, I.I.C., OLIVEIRA, C.A.A., COSTA, R.B., GODOI, F.N. How is the Morphometry of Stallions and Mares Show-Winning and Nonwinning Campolina Brazilian Breed with Batida and Picada Gaits? **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 64, p. 34-40, 2018.
- STASHAK, T., HILL, C.; **Relação entre claudicação e conformação**. 5ª edição, Roca LTDA São Paulo, SP, p 55 – 152, 2006.
- THOMPSON K.N. Skeletal growth rates of weanling and yearling Thoroughbred horses. **Journal Animal Science**, 73, p.2513–2517, 1995.
- TOLEDO, A.P. In: **Mecânica de sustentação e locomoção dos equinos**. 177p. São Paulo: Parma, 1985.
- VALE, R. C. **O exterior do cavalo**. 2. ed. São Paulo: Editora Manole, 96 p.,1984.

CAPÍTULO II

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS MEDIDAS MORFOMÉTRICAS DE EQUINOS DA RAÇA CAMPOLINA

RESUMO

O Complexo do Agronegócio do Cavalo possui expressiva participação na geração de renda para a economia brasileira, e o produto mais vendido é a locomoção, que está intrinsicamente ligada as medidas morfométricas. Portanto, a avaliação dos movimentos e da morfometria do equino pode ser utilizada como critério de seleção de animais jovens, sendo possível prever a aptidão. Este estudo tem como objetivo realizar a análise de componentes principais das medidas morfométricas para avaliar quais as medidas que melhor caracterizam a raça Campolina e podem ser utilizadas como critérios de seleção para a raça. Foram mensurados 215 equinos, sendo 131 fêmeas e 84 machos da raça Campolina. As análises de componentes principais (CP) foram realizadas separadas por sexo e grupos de medidas morfométricas, sendo medidas lineares, de perímetro e angulares. As análises foram realizadas utilizando o programa estatístico RStudio[®]. Na análise de CP observou-se nas medidas lineares que 10 das 20 medidas foram capazes de explicar 83% da variação total da morfometria nas fêmeas, somente a altura na cernelha foi responsável por 28,7% desta variação. Nos machos, oito das 20 medidas morfométricas lineares explicaram 80,8% da variação total, e a largura entre as ancas obteve 34,5% desta variação. Constatou-se que cinco das dez medidas de perímetros explicam 80,1% e 82,8% da variação total, nas fêmeas e nos machos, respectivamente, sendo que, o perímetro da frente explica 35,4% e 51,5% desta variação nas fêmeas e nos machos, respectivamente. Verificou-se que cinco das sete medidas angulares explicaram 81,8% e 84,6% da variação total das características angulares nas fêmeas e nos machos, respectivamente, sendo 23,2% e 24,2% desta variação é explicada somente pelo ângulo coxo-femoral, nas fêmeas e nos machos, respectivamente. Conclui-se que, nos equinos da raça Campolina, as medidas lineares e de perímetros possuem poucas medidas que são capazes de explicar a variação total dos equinos facilitando a escolha de características de seleção, diferentemente dos ângulos.

Palavras-chave: cavalo, morfologia, seleção

ABSTRACT

The Horse Agribusiness Complex has a significant share in generating income for the Brazilian economy, and the best-selling product is locomotion, which is intrinsically linked to morphometric measurements. Therefore, the evaluation of equine movements and morphometry can be used as a criterion for selection of young animals, and it is possible to predict fitness. This study aims to carry out the analysis of the main components of morphometric measurements to assess which measurements best characterize the Campolina breed and can be used as selection criteria for the breed. A total of 215 horses were measured, 131 females and 84 males of the Campolina breed. Principal component analyzes (CP) were performed separated by sex and groups of morphometric measurements, with linear, perimeter and angular measurements. Analyzes were performed using the statistical program RStudio[®]. In the PC analysis, it was observed in the linear measurements that 10 of the 20 measurements were able to explain 83% of the total variation of the morphometry in females, only the height at the withers was responsible for 28.7% of this variation. In males, eight of the 20 linear morphometric measurements explained 80.8% of the total variation, and the width between the hips accounted for 34.5% of this variation. It was found that five of the ten perimeter measurements explain 80.1% and 82.8% of the total variation, in females and males, respectively, with the forehead perimeter explaining 35.4% and 51.5% of this variation. variation in females and males, respectively. It was found that five of the seven angular measurements explained 81.8% and 84.6% of the total variation of angular characteristics in females and males, respectively, with 23.2% and 24.2% of this variation explained only by the angle hip, females and males, respectively. It is concluded that, in Campolina horses, linear and perimeter measurements have few measurements that are able to explain the total variation of horses, facilitating the choice of selection traits, unlike angles.

Keyword: horse, morphology, selection

1 INTRODUÇÃO

A realização de avaliações morfométricas adequadas para os equinos são importantes pois existe associações entre a morfologia e a função desses animais, pois caracterizam a amplitude, força e estabilidade dos movimentos executados pelo animal. Segundo Santiago et al. (2014) o equino marchador deve possuir boas proporções lineares e ângulos articulares com graus de abertura apropriados à aptidão desempenhada. Além do fato das medidas morfométricas estarem intrinsecamente relacionadas com o valor econômico do cavalo (Meira et al., 2014), pois denota a beleza zootécnica.

O interesse em utilizar a morfologia para avaliar o equino, ocorre devido à facilidade de mensuração e visualização para avaliação indireta dos movimentos (Barbosa, 1993; Cabral et al., 2004; Pinto et al., 2008; Meira et al., 2013; Lucena et al., 2016; Fonseca, 2018). Com a avaliação dos movimentos, é possível prever a aptidão dos equinos, assim como realizar a seleção de equinos jovens (Santamaria et al., 2002).

A análise de componentes principais possibilita a realização de estudos que necessitam reduzir a quantidade de dados, mas com menor perda de informação possível. Desta forma, agrupa os indivíduos de acordo com a variação, ou seja, segundo as variâncias. Esse argumento define o comportamento da característica dentro da população avaliada. E, então, é representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo (KhattreeNaik, 2000; Varella, 2008).

A avaliação das medidas morfométricas é necessária para avaliar o padrão racial da raça Campolina, ou seja, características preconizadas desde a criação desta raça, obter as proporções, medidas de alturas, comprimentos, perímetros, e além de averiguar a relação entre a angulação e a qualidade do andamento característico desta raça. Este estudo tem como objetivo realizar a análise de componentes principais das medidas morfométricas para avaliar quais as medidas que melhor caracterizam a raça Campolina e serem critérios de seleção para a raça.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram mensurados 267 equinos da raça Campolina. A descrição dos animais, de local, das mensurações e das medidas morfométricas encontra-se no capítulo I deste trabalho (CEUA/IZ/UFRRJ sob o N° 23083.013935/2017-35).

Para a realização das análises estatísticas foram utilizados 39 medidas morfométricas, sendo: *a) Medidas lineares*: alturas na cernelha, na garupa e do costado; comprimentos do corpo, da cabeça, da orelha, do pescoço, da espádua, do braço, do antebraço, da canela torácica, da quartela torácica, da garupa, da coxa, da perna, da canela pélvica, da quartela pélvica; distâncias da espádua ao boleto e do vazio subesternal; larguras da orelha, do peito e entre as ancas; *b) Medidas de perímetros*: torácico, do pescoço cranial, do pescoço caudal, da frente, do chanfro, do antebraço, do joelho, da canela torácica, do boleto torácico e da quartela torácica; *c) Medidas angulares*: ângulos escápulo-solo, escápulo-umeral, úmero-radial, coxo-solo, coxo-femoral, fêmur-tibial e túbio-metatarsiano.

A análise multivariada de componentes principais (CP) foi realizada de acordo com as equações [1] e [2]:

$$|R - \lambda I| = 0 \quad [1] \qquad [R - \lambda I] a_i = \emptyset \quad [2]$$

Em que: R =matriz de correlação entre as características avaliadas; λ =vetor contendo os autovalores (soluções do sistema de equações); a_i =autovetor associado ao autovalor λ_i ; I= matriz identidade de ordem p (p =número de características); \emptyset =vetor nulo, de dimensão p x 1.

As análises foram realizadas separadas por sexo e grupos de medidas morfométricas, sendo 1- 20 medidas lineares (fêmeas, n=160 e machos, n=108); 2- 10 medidas de perímetros (fêmeas, n=153 e machos, n=102); e 3- Sete medidas angulares (fêmeas, n=153 e machos, n=103). Para este estudo, a variável correlacionada ao componente com variância acumulada inferior a 80% (Morrison, 1976) foi considerada não requerer de muita atenção quando for escolher característica para a seleção de equinos da raça Campolina.

As análises para avaliar os equinos da raça Campolina foram realizadas utilizando o programa estatístico RStudio®. As medidas morfométricas que não possuíam todas as medidas para todos os animais, ou o inverso, foram descartadas para realização da CP.

3 RESULTADOS

Na análise de componentes principais (CP) observou-se que nas medidas lineares que 10 das 20 medidas foram capazes de explicar 83% da variação total da morfometria nas fêmeas (Tabela 18), destas, somente a altura na cernelha foi responsável por 28,7% desta variação (Figura 5A). As características lineares relacionadas com os 11 últimos CP, ou seja, as medidas morfométricas que não requerem muita atenção quando for escolher características para a seleção, foram: altura na garupa; comprimentos da cabeça, da orelha, do pescoço, do corpo, da espádua, da quartela torácica, da garupa e larguras do peito e entre as ancas (Tabela 19).

Tabela 18. Porcentagem acumulada conforme o autovalor dos componentes principais (CP) das medidas lineares para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina

CP	Equinos Fêmeas			Equinos Machos		
	Autovalor	% variância	% acumulada	Autovalor	% variância	% acumulada
CP 1	5,7340	28,6698	28,6698	6,9031	34,5156	34,5156
CP 2	3,1281	15,6407	44,3105	3,7704	18,8519	53,3675
CP 3	1,4973	7,4867	51,7972	1,3447	6,7233	60,0908
CP 4	1,1527	5,7633	57,5605	1,0654	5,3267	65,4175
CP 5	1,0623	5,3112	62,8718	0,9248	4,6238	70,0414
CP 6	0,9313	4,6565	67,5283	0,8017	4,0086	74,0500
CP 7	0,9006	4,5031	72,0314	0,7061	3,5305	77,5804
CP 8	0,7995	3,9974	76,0288	0,6512	3,2559	80,8363
CP 9	0,7586	3,7932	79,8220	0,5669	2,8344	83,6707
CP 10	0,6368	3,1842	83,0062	0,5249	2,6245	86,2952
CP 11	0,5426	2,7131	85,7193	0,4799	2,3994	88,6946
CP 12	0,5010	2,5049	88,2242	0,4289	2,1443	90,8389
CP 13	0,4333	2,1664	90,3906	0,3846	1,9230	92,7619
CP 14	0,3996	1,9980	92,3886	0,3401	1,7007	94,4626
CP 15	0,3216	1,6080	93,9966	0,2802	1,4010	95,8636
CP 16	0,3052	1,5262	95,5227	0,2307	1,1536	97,0172
CP 17	0,2930	1,4648	96,9875	0,2202	1,1012	98,1184
CP 18	0,2490	1,2450	98,2326	0,1712	0,8558	98,9742
CP 19	0,2266	1,1329	99,3655	0,1557	0,7785	99,7527
CP 20	0,1269	0,6345	100	0,0495	0,2473	100

Nos equinos machos da raça Campolina, oito das 20 medidas morfométricas lineares explicaram 80,8% da variação total (Tabela 18). A largura entre as ancas foi responsável por 34,5% desta variação (Figura 5B). As características associadas aos últimos CP são: alturas na cernelha e na garupa; comprimentos da cabeça, do pescoço, do corpo, da espádua, da garupa, da coxa, da canela pélvica, da quartela pélvica; distância do vazão subesternal; e largura do peito (Tabela 20).

Tabela 19. Correlação das medidas lineares (ML) com os componentes principais (CP) para fêmeas de equinos da raça Campolina

ML	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13	CP14	CP15	CP16	CP17	CP18	CP19	CP20
AC	-0,33	0,26	0,01	-0,05	0,00	0,07	0,10	0,01	-0,12	0,15	-0,09	-0,11	0,12	-0,14	-0,17	-0,14	0,12	0,02	-0,29	0,76
AG	-0,32	0,24	0,02	-0,08	0,03	0,00	0,00	0,06	-0,15	0,25	0,04	0,03	0,12	-0,12	-0,20	0,05	-0,03	0,23	-0,54	-0,57
CCO	-0,32	0,15	-0,19	0,11	0,01	-0,01	-0,12	0,07	-0,04	-0,17	-0,20	-0,02	0,40	0,06	-0,43	0,03	0,32	-0,19	0,48	-0,17
CCA	-0,31	-0,12	0,01	0,10	-0,07	-0,03	-0,21	-0,17	0,11	0,06	-0,24	0,04	0,14	0,74	0,28	0,19	-0,03	0,11	-0,17	0,07
COR	-0,13	0,39	0,15	0,20	0,07	-0,24	-0,28	-0,09	0,10	0,17	0,10	-0,08	-0,27	-0,04	-0,19	0,27	-0,48	0,18	0,32	0,10
LOR	-0,09	0,41	-0,06	0,16	0,11	-0,26	-0,35	-0,19	0,06	-0,15	0,24	0,03	-0,08	-0,10	0,45	-0,28	0,36	-0,19	-0,09	-0,07
CPE	-0,26	-0,06	-0,20	-0,09	-0,35	-0,07	0,08	-0,33	0,07	-0,36	-0,39	0,09	-0,44	-0,21	-0,05	-0,13	0,02	0,29	0,01	-0,06
CES	-0,26	-0,19	-0,13	-0,32	-0,03	-0,06	-0,20	0,21	0,18	-0,26	0,23	-0,33	0,38	-0,17	0,23	-0,16	-0,32	0,27	0,09	0,03
CBR	-0,10	-0,05	0,26	0,59	0,32	-0,18	0,45	0,04	-0,05	-0,31	-0,13	-0,09	0,17	-0,08	0,13	-0,06	-0,08	0,21	-0,03	-0,04
CAN	-0,19	0,07	0,07	-0,35	0,42	0,32	0,15	-0,46	-0,27	-0,21	0,22	0,25	0,05	0,01	0,11	0,23	-0,06	0,03	0,17	0,02
CAT	-0,09	0,09	0,45	0,09	-0,63	0,03	0,11	-0,04	0,04	-0,19	0,38	0,35	0,21	0,05	-0,08	-0,05	-0,07	-0,08	0,01	0,02
CQT	-0,14	-0,34	0,37	-0,12	0,06	-0,28	-0,18	0,18	-0,05	-0,03	0,15	-0,01	-0,18	-0,11	-0,07	0,38	0,53	0,26	0,02	0,08
CGA	-0,28	-0,17	-0,16	0,12	-0,16	-0,05	0,18	-0,08	-0,24	-0,11	0,31	-0,51	-0,26	0,08	-0,04	0,21	-0,08	-0,46	-0,11	-0,06
COX	-0,20	-0,24	0,05	-0,03	0,23	-0,08	0,22	-0,29	0,58	0,28	0,27	0,00	-0,07	0,10	-0,27	-0,35	0,08	-0,03	0,05	-0,05
CPR	-0,10	0,30	0,00	-0,33	0,18	-0,15	0,26	0,53	0,18	-0,33	0,00	0,17	-0,30	0,34	-0,06	-0,03	-0,05	-0,12	-0,05	0,00
CCP	-0,15	-0,03	0,23	0,24	0,10	0,74	-0,31	0,20	0,16	-0,16	0,00	-0,13	-0,27	-0,01	-0,04	-0,12	0,04	0,01	-0,04	-0,05
CQP	-0,14	-0,33	0,26	-0,07	0,19	-0,24	-0,35	0,01	-0,31	-0,06	-0,20	0,24	-0,05	-0,05	-0,16	-0,34	-0,31	-0,36	-0,10	0,01
DVS	-0,23	0,11	0,41	-0,24	-0,13	0,04	0,23	0,07	-0,03	0,37	-0,32	-0,22	-0,05	-0,10	0,40	-0,10	0,05	-0,17	0,33	-0,15
LP	-0,24	-0,14	-0,31	0,21	-0,05	0,05	0,09	0,28	-0,39	0,29	0,27	0,29	-0,19	0,13	0,14	-0,28	0,02	0,27	0,28	0,03
LA	-0,28	-0,15	-0,23	0,16	0,03	0,05	0,04	0,17	0,34	0,11	-0,07	0,42	0,05	-0,39	0,23	0,40	-0,11	-0,31	-0,07	0,06

Altura na cernelha (AC), altura na garupa (AG), comprimento do corpo (CCO), comprimento da cabeça (CCA), comprimento da orelha (COR), largura da orelha (LOR), comprimento pescoço (CPE), comprimento da espádua (CES), comprimento do braço (CBR), comprimento do antebraço (CAN), comprimento da canela torácica (CAT), comprimento da quartela torácica (CQT), comprimento da garupa (CGA), comprimento da coxa (COX), comprimento da perna (CPR), comprimento da canela pélvica (CCP), comprimento da quartela pélvica (CQP), distância do vazio subesternal (DVS), largura do peito (LP) e largura entre as ancas (LA).

Tabela 20. Correlação das medidas lineares (ML) com os componentes principais (CP) para machos de equinos da raça Campolina

ML	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13	CP14	CP15	CP16	CP17	CP18	CP19	CP20
AC	-0,23	0,38	0,00	0,06	0,16	-0,05	-0,16	-0,07	-0,03	0,02	0,00	0,07	-0,02	0,03	0,04	0,16	-0,06	-0,09	0,30	0,78
AG	-0,22	0,37	0,10	0,01	0,07	-0,01	-0,14	0,02	-0,16	0,10	-0,03	0,10	0,00	0,14	0,14	0,26	-0,21	-0,33	0,39	-0,57
CCO	-0,27	0,14	-0,21	-0,04	-0,01	-0,28	0,12	0,16	-0,30	0,22	-0,26	0,05	-0,27	-0,26	-0,58	-0,21	-0,09	0,03	-0,07	-0,04
CCA	-0,31	0,00	-0,05	0,05	-0,08	-0,15	-0,05	0,07	0,19	-0,48	-0,24	0,18	0,43	-0,01	0,06	-0,36	-0,26	0,29	0,19	-0,06
COR	-0,02	0,37	0,16	0,05	-0,26	-0,25	0,46	0,05	0,15	-0,35	-0,26	-0,22	-0,19	0,26	0,03	0,19	0,28	-0,04	-0,14	0,00
LOR	0,00	0,30	-0,10	-0,31	-0,60	-0,20	-0,10	-0,08	0,04	0,15	0,48	0,21	0,17	-0,10	-0,02	-0,03	0,18	0,11	0,01	-0,02
CPE	-0,28	0,00	-0,19	0,13	-0,13	0,29	-0,12	-0,09	0,41	-0,22	0,34	-0,40	-0,17	0,00	-0,38	0,01	-0,21	-0,19	0,01	-0,05
CES	-0,30	-0,17	-0,21	0,17	0,07	-0,01	-0,07	0,12	0,05	0,01	-0,07	0,05	0,30	-0,08	-0,01	-0,08	0,69	-0,44	0,05	-0,02
CBR	-0,23	-0,06	-0,08	-0,27	-0,18	0,53	0,02	-0,20	-0,53	-0,36	-0,06	0,10	-0,21	0,08	0,06	-0,04	0,16	0,08	0,04	0,02
CAN	-0,17	0,14	0,11	-0,47	0,36	0,10	-0,01	0,66	0,08	-0,05	0,24	-0,12	-0,03	0,06	0,07	-0,07	0,09	0,14	-0,10	-0,02
CAT	-0,15	0,08	0,55	0,21	-0,12	0,39	0,44	0,08	0,07	0,15	0,10	0,22	0,10	-0,34	-0,05	-0,15	-0,07	-0,12	-0,01	0,06
CQT	-0,21	-0,25	0,24	-0,32	0,16	-0,18	0,13	-0,31	0,04	-0,03	-0,01	-0,25	0,14	-0,36	-0,14	0,41	0,13	0,24	0,27	-0,06
CGA	-0,28	-0,16	-0,10	0,04	0,13	0,04	0,26	-0,08	0,06	0,18	0,13	0,38	0,19	0,57	-0,28	0,30	-0,05	0,18	-0,20	0,01
COX	-0,25	-0,18	0,08	0,04	0,16	-0,38	0,26	-0,25	-0,15	0,02	0,41	-0,12	-0,23	0,18	0,28	-0,45	-0,03	-0,12	0,09	0,00
CPR	-0,01	0,39	-0,12	-0,18	0,18	0,19	0,12	-0,35	-0,08	0,23	-0,14	-0,39	0,47	0,06	0,04	-0,23	-0,05	-0,04	-0,29	-0,03
CCP	-0,17	-0,16	0,44	0,21	-0,29	-0,11	-0,35	0,20	-0,39	0,07	0,02	-0,38	0,23	0,23	-0,11	0,04	-0,05	0,05	-0,15	0,09
CQP	-0,19	-0,18	0,27	-0,46	-0,16	-0,02	-0,25	-0,16	0,36	0,18	-0,37	0,14	-0,20	0,15	0,05	-0,15	-0,07	-0,29	-0,17	0,07
DVS	-0,18	0,28	0,23	0,28	0,27	-0,03	-0,39	-0,27	0,09	-0,09	0,07	0,18	-0,22	-0,14	0,02	-0,03	0,26	0,32	-0,37	-0,18
LP	-0,29	-0,03	-0,20	0,19	-0,22	0,19	0,05	0,10	0,18	0,47	-0,19	-0,22	-0,19	0,04	0,35	-0,02	0,10	0,44	0,22	-0,04
LA	-0,31	-0,10	-0,24	0,02	-0,09	-0,12	0,07	0,09	-0,09	-0,08	0,03	0,02	0,03	-0,34	0,42	0,35	-0,31	-0,17	-0,50	0,06

Altura na cernelha (AC), altura na garupa (AG), comprimento do corpo (CCO), comprimento da cabeça (CCA), comprimento da orelha (COR), largura da orelha (LOR), comprimento do pescoço (CPE), comprimento da espádua (CES), comprimento do braço (CBR), comprimento do antebraço (CAN), comprimento da canela torácica (CAT), comprimento da quartela torácica (CQT), comprimento da garupa (CGA), comprimento da coxa (COX), comprimento da perna (CPR), comprimento da canela pélvica (CCP), comprimento da quartela pélvica (CQP), distância do vazio subesternal (DVS), largura do peito (LP) e largura entre as ancas (LA).

Nas medidas morfométricas de perímetros das éguas da raça Campolina, observou-se que cinco dos dez perímetros explicam 80,1% da variação total desta característica (Tabela 21). Sendo que destes 35,4% são explicados somente pelo perímetro da frente (Figura 6A). E os perímetros do pescoço cranial, do joelho, da canela, do boleto e da quartela estão mais correlacionados aos últimos CP (Tabela 22). Nos machos, foi observado que cinco dos dez perímetros são capazes de explicar 82,8% da variação total, sendo que somente o perímetro da frente é responsável por 51,5% desta variação (Figura 6B). Os perímetros do pescoço caudal, do antebraço, do joelho, da canela e da quartela estão mais correlacionados com os últimos CP (Tabela 22).

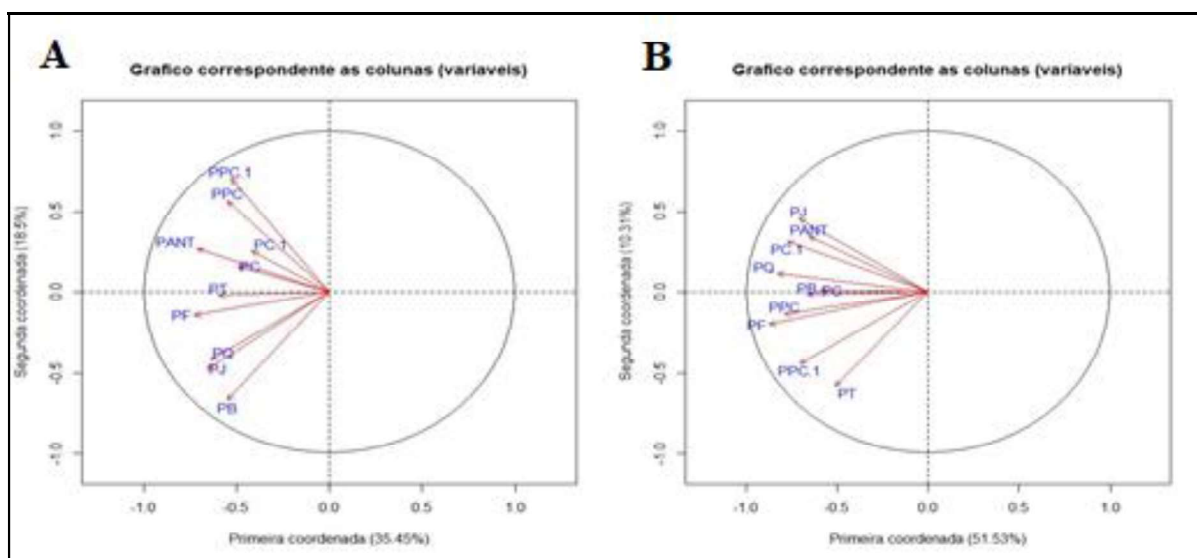


Figura 6. Análise de componentes principais das medidas de perímetro. A.Fêmeas; B.Machos. Perímetro torácico (PT), perímetro pescoço caudal (PPC1), perímetro do pescoço cranial (PPC), perímetro da frente (PF), perímetro do chanfro (PC), perímetro do antebraço (PANT), perímetro do joelho (PJ), perímetro da canela torácica (PCT), perímetro do boleto (PB) e perímetro da quartela torácica (PQ).

Tabela 21. Porcentagem acumulada conforme o autovalor dos componentes principais (CP) das medidas de perímetros para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina

CP	Equinos Fêmeas			Equinos Machos		
	Autovalor	% variância	% acumulada	Autovalor	% variância	% acumulada
CP 1	3,5454	35,4539	35,4539	5,1530	51,5297	51,5297
CP 2	1,8502	18,5024	53,9562	1,0305	10,3054	61,8351
CP 3	1,0073	10,0732	64,0294	0,7496	7,4956	69,3306
CP 4	0,8341	8,3405	72,3699	0,7085	7,0845	76,4151
CP 5	0,7718	7,7179	80,0878	0,6435	6,4347	82,8499
CP 6	0,6146	6,1458	86,2336	0,5740	5,7404	88,5902
CP 7	0,4612	4,6116	90,8452	0,3809	3,8093	92,3995
CP 8	0,3981	3,9810	94,8261	0,3058	3,0577	95,4572
CP 9	0,2826	2,8257	97,6519	0,2494	2,4940	97,9512
CP 10	0,2348	2,3481	100	0,2049	2,0488	100

Tabela 22. Correlação das medidas de perímetros (MP) com os componentes principais (CP) para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina

EQUINOS FÊMEAS										
MP	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10
PT	-0,32	-0,01	-0,33	-0,25	0,73	-0,17	-0,32	-0,01	-0,33	-0,25
PPCr	-0,29	0,42	0,25	0,08	-0,16	0,56	-0,29	0,42	0,25	0,08
PPCa	-0,28	0,52	0,09	-0,31	-0,01	-0,01	-0,28	0,52	0,09	-0,31
PF	-0,39	-0,11	-0,10	0,35	0,33	0,43	-0,39	-0,11	-0,10	0,35
PCh	-0,26	0,12	0,47	0,62	0,14	-0,53	-0,26	0,12	0,47	0,62
PA	-0,38	0,20	0,07	-0,41	-0,18	-0,30	-0,38	0,20	0,07	-0,41
PJ	-0,35	-0,35	0,16	-0,18	-0,23	-0,05	-0,35	-0,35	0,16	-0,18
PC	-0,22	0,19	-0,70	0,35	-0,34	-0,06	-0,22	0,19	-0,70	0,35
PB	-0,29	-0,49	0,21	-0,09	-0,02	0,25	-0,29	-0,49	0,21	-0,09
PQ	-0,34	-0,31	-0,19	0,03	-0,35	-0,17	-0,34	-0,31	-0,19	0,03
EQUINOS MACHOS										
MP	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10
PT	-0,22	-0,57	-0,16	0,62	0,22	-0,32	-0,22	-0,57	-0,16	0,62
PPCr	-0,35	-0,13	0,14	-0,40	-0,15	0,01	-0,35	-0,13	0,14	-0,40
PPCa	-0,31	-0,43	-0,03	-0,30	-0,43	-0,16	-0,31	-0,43	-0,03	-0,30
PF	-0,38	-0,20	0,04	-0,06	-0,01	0,28	-0,38	-0,20	0,04	-0,06
PCh	-0,26	0,01	0,81	0,02	0,45	-0,01	-0,26	0,01	0,81	0,02
PA	-0,29	0,34	-0,21	-0,32	0,26	-0,68	-0,29	0,34	-0,21	-0,32
PJ	-0,31	0,45	-0,08	0,37	-0,14	-0,14	-0,31	0,45	-0,08	0,37
PC	-0,34	0,31	0,04	0,26	-0,24	0,32	-0,34	0,31	0,04	0,26
PB	-0,29	-0,01	-0,49	-0,18	0,57	0,45	-0,29	-0,01	-0,49	-0,18
PQ	-0,36	0,11	-0,04	0,14	-0,26	0,04	-0,36	0,11	-0,04	0,14

Perímetro torácico (PT), perímetro do pescoço cranial (PPCr), perímetro do pescoço caudal (PPCa), perímetro da frente (PF), perímetro do chanfro (PCh), perímetro do antebraço (PA), perímetro do joelho (PJ), perímetro da canela torácica (PC), perímetro do boleto torácico (PB) e perímetro da quartela torácica (PQ).

Ao avaliar os ângulos, na análise de CP, nas fêmeas (Figura 7A), verificou-se que cinco das sete características explicaram 81,8% da variação total das características angulares (Tabela 23). Sendo 23,2% explicado somente pelo ângulo coxofemoral (Tabela 24). Os ângulos úmero-radial e coxo-solo apresentaram maior correlação com os últimos dois CP. Nos machos (Figura 7B), também foi observado que cinco características angulares explicaram 84,6% da variação total (Tabela 23), e o ângulo coxo-femoral responsável por 24,2% da variação. Os ângulos fêmur-tibial e coxo-solo apresentaram maior correlação com os dois últimos CP (Tabela 24).

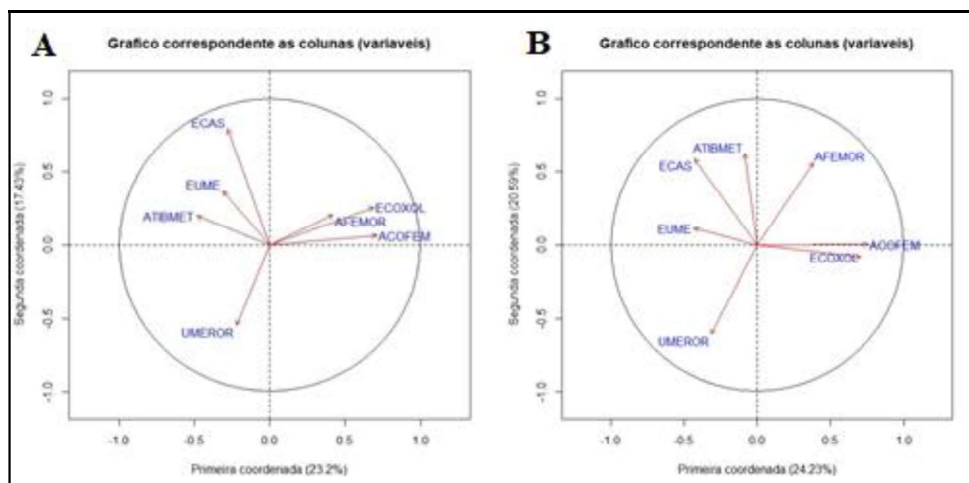


Figura 7. Análise de componentes principais das medidas angulares. A. Fêmeas; B. Machos. Ângulo escapulo-solo (ECAS), ângulo escapulo-umeral (EUME), ângulo úmero-radial (UMEROR), ângulo coxo-solo (ECOXOL), ângulo coxofemoral (ACOFEM), ângulo fêmur-tibial (AFEMOR), ângulo tíbio-metatarsiano (ATIBMET).

Tabela 23. Porcentagem acumulada conforme o autovalor dos componentes principais (CP) das medidas angulares para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina

CP	Equinos Fêmeas			Equinos Machos		
	Autovalor	% variância	% acumulada	Autovalor	% variância	% acumulada
CP 1	1,6237	23,1953	23,1953	1,6964	24,2345	24,2345
CP 2	1,2204	17,4345	40,6298	1,4414	20,5921	44,8266
CP 3	1,1387	16,2674	56,8972	1,1490	16,4149	61,2415
CP 4	1,0220	14,6004	71,4976	0,9022	12,8890	74,1305
CP 5	0,7219	10,3125	81,8101	0,7339	10,4837	84,6141
CP 6	0,6745	9,6359	91,4460	0,6413	9,1619	93,7761
CP 7	0,5988	8,5540	100	0,4357	6,2239	100

Tabela 24. Correlação das medidas angulares (MA) com os componentes principais (CP) para fêmeas e machos de equinos da raça Campolina

	EQUINOS FÊMEAS						
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
AES	-0,22	0,72	0,09	-0,20	0,00	0,34	0,52
AEU	-0,24	0,33	-0,61	-0,36	-0,29	-0,30	-0,39
AUR	-0,18	-0,50	-0,59	-0,18	0,07	0,48	0,34
ACS	0,54	0,23	-0,13	-0,20	0,45	0,45	-0,44
ACF	0,56	0,06	-0,30	-0,09	0,20	-0,53	0,51
AFT	0,33	0,19	-0,30	0,65	-0,53	0,25	0,02
ATM	-0,38	0,18	-0,28	0,57	0,63	-0,14	-0,05
	EQUINOS MACHOS						
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
AES	-0,33	0,49	0,17	-0,46	0,46	-0,18	-0,42
AEU	-0,33	0,10	0,72	0,11	0,03	0,46	0,38
AUR	-0,24	-0,51	-0,06	0,42	0,70	-0,03	-0,11
ACS	0,54	-0,07	0,35	-0,20	0,34	-0,48	0,44
ACF	0,58	0,01	0,38	0,20	0,03	0,30	-0,62
AFT	0,29	0,47	-0,43	0,09	0,42	0,49	0,30
ATM	-0,07	0,52	0,08	0,72	-0,09	-0,45	0,00

Ângulo escapulo-solo (AES), ângulo escapulo-umeral (AEU), ângulo úmero-radial (AUR), ângulo coxo-solo (ACS), ângulo coxofemoral (ACF), ângulo fêmur-tibial (AFT) e ângulo tíbio-metatarsiano (ATM).

4 DISCUSSÃO

As alterações do padrão das medidas morfométricas na raça do equino pode ser modificada pela seleção das características. Para tanto é necessário avaliar como as medidas estão se comportando, através das observações de como as medidas estão variando nos animais, quais já possuem um padrão e como este padrão pode estar auxiliando no desempenho do equino.

No presente estudo constatou-se que a medida de altura na cernelha, nas fêmeas, é responsável por controlar aproximadamente 30% da variação do fenótipo do equino da raça Campolina. Esta medida possui de média a alta correlação com a maioria das medidas lineares (Lucena et al., 2016; Bussiman et al., 2018; capítulo I deste trabalho), deste modo, ao escolher esta característica para seleção, indiretamente, outras também irão ser modificadas. Portanto, para éguas da raça Campolina, a altura na cernelha é a principal ferramenta para a seleção de medidas lineares. Além disto, esta é uma medida que está contida no registro definitivo do equino, o que facilita o melhoramento para esta característica pelos criadores. A medida de altura na cernelha já é padronizada nas Associações de Criadores (McManus et al., 2005; Boujenane et al., 2008; Pinto et al., 2008; Lucena et al., 2015).

Já para os machos, a largura entre as ancas foi a medida que apresentou maior associação com o primeiro CP, portanto, é a característica mais responsável por explicar a variação total das medidas lineares em cavalos da raça Campolina. Revela que, como o membro posterior do equino tem a função de proporcionar a propulsão do corpo do equino no andamento (Back e Clayton, 2013), a largura entre as ancas é uma ferramenta para propiciar a melhora no desempenho da marcha, pois a garupa mais larga prejudica o deslocamento dos membros pélvicos (Santiago et al., 2014). Pinto et al. (2008) verificou diferença entre a medida de largura entre as ancas em fêmeas (49,37cm) e nos machos (48,76cm), o que explica a diferença nos resultados observados nesse estudo para as medidas lineares associadas ao primeiro CP.

Além disto, observou-se que para os machos menor quantidade medidas lineares foram responsáveis para explicar 80% da variação total da população, diferentemente do ocorrido para as fêmeas. Isto demonstra que devido ao dimorfismo sexual existente nas medidas lineares, e como os machos sofrem maior pressão de seleção, existe maior variação das características nas éguas.

Pinto et al. (2005), em estudo de análise de componentes principais de vinte e cinco mensurações, sendo medidas lineares e de perímetros, em equinos da raça Mangalarga Marchador, observaram que sete componentes principais eram responsáveis por explicar 80% da variação das medidas para potras recém-nascidas, e para os potros, foram necessários nove componentes principais para explicar os 80% de variação total. Nesse estudo foram necessários mais componentes principais, tanto para fêmeas quanto para machos, para explicar mais de 80% da variação total ocorrida em equinos da raça Campolina para as medidas lineares e de perímetros.

Nas medidas de perímetros, para ambos os sexos, o perímetro da frente foi capaz de nortear as variações dos outros perímetros. A cabeça é região na qual a raça é caracterizada, além disto, na raça Campolina, existe o “Concurso de Melhor Cabeça”, dentro da competição de morfologia, ou seja, define qual o animal mais representa a raça na exposição. Portanto selecionar a medida do perímetro da frente proporciona para o equino o equilíbrio entre as regiões do corpo do equino em relação a cabeça. E assim, propicia o melhoramento do padrão racial.

Para as medidas angulares observou-se que os ângulos possuem muita variação, ou seja, foi necessário mais da metade de componentes principais para explicar mais de 80% da

variação total, tanto para as fêmeas, quanto para os machos. O que se torna negativo, pois as medidas angulares estão intrinsecamente relacionadas com a qualidade da locomoção do equino (Fonseca, 2018), portanto, quanto menor for a variação apresentada, maior é o padrão da marcha do equino da raça Campolina.

Contudo, o ângulo que melhor representa as medidas angulares para seleção é o coxo-femoral para ambos os sexos. No estudo com a raça Mangalarga Marchador, Pinto et al. (2005) também obtiveram resultados diferentes ao deste estudo, que ao analisarem 11 medidas angulares em potros e potras recém-nascidos, verificaram que foram necessários seis e sete componentes principais para explicar 80% da variação total de potras e potros recém-nascidos, respectivamente. Ou seja, necessitaram de 50% dos CP, e neste estudo foram precisos 70% dos CP.

As medidas que estão relacionadas aos últimos componentes principais mostram que são medidas mais padronizadas na raça. Isto facilita a identificação do padrão racial. Então estas medidas lineares, de perímetro e angulares podem ser utilizadas para definir o padrão racial do Campolina, e assim ter animais mais harmonizados, mais proporcionados, exercendo melhor a sua função. Porém, para as fêmeas são necessárias mais medidas do que para os machos.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que as medidas lineares e de perímetros possuem poucas medidas que são capazes de explicar a variação total dos equinos da raça Campolina, ou seja, melhor caracterizam a raça e facilita a escolha de característica a serem selecionadas para melhorar o padrão racial.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCCCampolina - Associação Brasileira dos Criadores do Cavallo Campolina - Regulamento Do Serviço Do Registro Genealógico Do Cavallo Campolina – SRGCC; aprovado pelo MAPA em 17/05/2018; disponível em: <http://www.campolina.org.br>. Acesso em: 20/03/2021.
- BACK, W., CLAYTON, H. M. **Equine Locomotion**. Elsevier Health Sciences, 2013.
- BOUJENANE, I.; TOUATI, I.; MACHMOUM, M. Body measurements of Arabe-Barbe horses in Morocco. **Revue Méd. Vét**, v.159, p.144–149, 2008.
- BUSSIMAN, F.O., PEREZ, B.C., VENTURA, R.V., SILVA, F.F., PEIXOTO, M.G.C.D., VIZONÁ, R.G., BALIEIRO, J.C.C. Genetic analysis of morphological and functional traits in Campolina horses using Bayesian multi-trait model. **Livestock science**, v. 216, p. 119-129, 2018.
- KHATTREE, R., NAIK, D.N. **Multivariate data reduction and discrimination with SAS software**. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 558 p., 2000.
- LUCENA, J.E.C.; VIANNA, S.A.B.; BERBARI NETO, F.; SALES FILHO, R.L.M.; DINIZ, W.J.S. Morphometric characterization of females, stallions and geldings of the Campolina breed based on indexes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** v.68, p.431–438. 2016. DOI:<https://doi.org/10.1590/1678-4162-8016>
- LUCENA, J. E. C., DE BARROS VIANNA, S. A., NETO, F. B., SALES FILHO, R. L. M., & DA SILVA DINIZ, W. J. Estudo comparativo das proporções morfométricas entre garanhões e castrados da raça Campolina. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 353-366, 2015.
- MCMANUS, C.; FALCÃO, R.A.; SPRITZE, A.; COSTA, D.; LOUVANDINI, H.; DIAS, L.T.; TEIXEIRA, R.A.; REZENDE, M.J.M.; GARCIA, J.A.S. Morphological characterization of Campeiro breed horses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p. 1553-1562, 2005.
- MEIRA, C.T., FARAH, M.M., FORTES, M.R., MOORE, S.S., PEREIRA, G.L., SILVA, J.A.I.V., CURTI, R.A. A genome-wide association study for morphometric traits in quarter horse. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 34, n. 8, p. 1028-1031, 2014.
- MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**. 2.ed. New York: McGraw-Hill Company, p.415, 1976.
- PINTO, L.F.B.; ALMEIDA, F.Q.; QUIRINO, C.R.; AZEVEDO, P.C.N.; CABRAL, G.C.; SANTOS, E.M.; CORASSA, A. Evaluation of the sexual dimorphism in Mangalarga Marchador horses using discriminant analysis. **Livestock Science**, v.119, p.161–166, 2008. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.03.014>
- PINTO, L.F.B.; ALMEIDA, F.Q.; QUIRINO, C.R.; AZEVEDO, P.C.N.; CABRAL, G.C.; CORASSA, A. Multivariate analysis of the body measures in Mangalarga Marchador foals: principal components analysis. **Revista Brasileira de Zootecnia** v.34, p.589–599, 2005.
- SANTIAGO, J. M.; REZENDE, A. S.; LANA, Â. M.; FONSECA, M. G.; ABRANTES, R. G.; LAGE, J.; ANDRADE, J.M.; RESENDE, T.M. Comparison between the morphometric measures of Mangalarga Marchador horses of batida marcha and picada marcha. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, n.2, p.635-639, 2014. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/1678-41626870>.
- SANTIAGO, J., REZENDE, A. S. C. D., LANA, Â., QUINTÃO, M., FONSECA, M. G., LAGE, J. Evolution of morphometric measures in the Mangalarga Marchador breed. **Revista Caatinga**, v.29, n.1, 191-199, 2016.
- SOUSA, A.S.; JESUS, I.I.C.; OLIVEIRA, C.A.A.; COSTA, R.B.; GODOI, F.N. How is the morphometry of stallions and mares show-winning and nonwinning Campolina brazilian

breed with batida and picada gaits? **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 64, p. 34-40, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.02.012>.

VARELLA, C. A. A. **Análise de componentes principais**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

CAPÍTULO III

AVALIAÇÃO DO DIMORFISMO SEXUAL EM EQUINOS DA RAÇA CAMPOLINA

Este capítulo está publicado na revista Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB.

RESUMO

Objetivou-se distinguir o dimorfismo sexual pelas medidas morfométricas dos equinos da raça Campolina e classificá-los quanto ao sexo, utilizando as funções discriminantes. Foram mensurados 215 equinos e avaliadas 39 medidas morfométricas. Realizou-se análise de covariância e análise discriminante. Os machos foram mais altos e apresentaram peito mais largo, maior ângulo escapulo-umeral e maior pescoço, tanto no comprimento quanto no perímetro em relação as fêmeas ($P < 0,05$). As fêmeas apresentaram maior perímetro torácico, ancas mais largas e maior abertura dos ângulos coxo-solo e femoro-tibial do que os machos ($P < 0,05$). Em relação a classificação as medidas de perímetros (85,58%) foram mais acuradas na diferenciação sexual do que as mensurações lineares (83,26%) e angulares (73,02%). Para o erro de classificação, do total de animais mensurados, de 10 a 20% das fêmeas foram categorizadas como machos. E, de 11 a 38% dos machos foram categorizados como fêmeas. Conclui-se que, das 39 medidas morfométricas avaliadas, 22 são responsáveis por distinguir o dimorfismo sexual em equinos da raça Campolina. E, as medidas de perímetros e lineares fornecem classificação mais assertiva para determinar o dimorfismo sexual

Palavras-chave: análise multivariada, cavalo, morfologia

ABSTRACT

The aimed to distinguish sexual dimorphism by morphometric measurements of Campolina horses breed and to classify them by sex using discriminating functions. 215 horses were measured, and 39 morphometric measurements were evaluated. Analysis of covariance and discriminant analysis was performed. Males were taller and, showed a wider chest, greater scapular-humeral angle, and greater neck in length and circumference than the females ($P < 0.05$). Females had a larger heart girth, wider hips, and greater opening of the coxal-ground and femorotibial angles than the males ($P < 0.05$). Regarding classification, circumference measurements (85.58%) were more accurate in sexual differentiation than linear (83.26%) and angular measurements (73.02%). For classification error, of the total animals measured, 10 to 20% of the females were categorized as males. And 11 to 38% of males were categorized as females. It is concluded that of the 39 morphometric measurements evaluated, 22 are responsible for distinguishing sexual dimorphism in Campolina horses. And circumference and linear measurements provide a more assertive classification to determine sexual dimorphism.

Keywords: equine, morphology, multivariate analysis

1 INTRODUÇÃO

A raça de equinos (*Equus caballus*) Campolina foi originada em 1870, no Brasil. O intuito era produzir animais de grande porte com andamento macio e confortável. Esse andamento é conhecido como marcha e não possui momentos de suspensão. Devido ao apelo mercadológico, diversas mudanças ocorreram na morfologia dos equinos da raça Campolina, alterando a conformação racial e proporcionando aumento na funcionalidade dos animais (Lucena et al., 2015).

O dimorfismo sexual é a diferença nas dimensões e proporções do corpo entre machos e fêmeas (Purzyc et al., 2011). Nas competições de andamentos e de morfologia das raças brasileiras, como Campolina, Mangalarga Marchador e Mangalarga, os equinos competem em categorias separadas por sexo e idade. Nessas raças o dimorfismo sexual é tão valorizado que as Associações de Criadores incentivam que os equinos machos apresentem crinas longas e as fêmeas tenham a crina tosada. Isso possibilita que o sexo dos animais seja rapidamente identificado ao olhar (ABCCCampolina, 2018; ABCCMM, 2019; ABCCRM, 2020).

A avaliação do fenótipo, que caracteriza a masculinidade e a feminilidade dos equinos, sem a observação do aparelho reprodutor, pode ser realizada pela avaliação das medidas morfométricas (Pinto et al., 2008). Porém, não são todas as medidas morfométricas que são diferenciadas para os sexos nos Padrões Raciais. Na raça Campolina, as medidas das alturas na cernelha e na garupa têm essa diferenciação (ABCCCampolina, 2018). Já nas raças Brasileiro de Hipismo e Crioulo, consideram tanto as medidas de alturas na cernelha e na garupa, quanto os perímetros torácico e da canela torácica (ABCCH, 2020; ABCCCrioulo,2020).

Existem estudos que avaliaram o dimorfismo sexual em equinos de diversas raças de todo o mundo, como Puro Sangue Inglês, Arabe-Barbe, Mangalarga Marchador, Hucul, Minahasa e Lipizzan (Hintz et al., 1979; Boujenane et al., 2008; Pinto et al., 2008; Purzyc et al., 2011; Takaendengan et al., 2011; Važić et al., 2016). Esses trabalhos ocorreram desde o nascimento dos animais até a idade adulta. E, demonstraram como os índices corporais, as medidas morfométricas e, até mesmo, o desempenho durante o salto de obstáculo, podem definir as características sexuais. No entanto, utilizando a análise discriminante, até o momento, não há estudos avaliando ou classificando quanto ao dimorfismo sexual equinos da raça Campolina utilizando as medidas morfométricas.

Dentre as ferramentas de classificação, que podem ser utilizadas na diferenciação sexual, tem-se a análise discriminante. Essa é uma das análises multivariadas que é utilizada para distinção de grupos dentro de uma população (HärdleandSimar, 2015). Esta análise já foi utilizada para avaliar o dimorfismo sexual em equinos da raça Mangalarga Marchador e Hucul (Pinto et al., 2008; Purzic et al., 2011). Sendo assim, o objetivo foi distinguir o dimorfismo sexual pelas medidas morfométricas e classificar quanto ao sexo, com o uso de funções discriminantes, equinos da raça Campolina.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram mensurados 267 equinos da raça Campolina, entre os anos de 2016 e 2019. A descrição dos animais, de local, das mensurações e das medidas morfométricas encontra-se no capítulo I deste trabalho (CEUA/IZ/UFRRJ sob o N° 23083.013935/2017-35).

Para a realização das análises estatísticas foram utilizados 215 equinos, sendo 131 fêmeas e 84 machos (garanhões e castrados) e 39 medidas morfométricas, sendo: *a) Medidas lineares*: alturas na cernelha, na garupa e do costado; comprimentos do corpo, da cabeça, da orelha, do pescoço, da espádua, do braço, do antebraço, da canela torácica, da quartela torácica, da garupa, da coxa, da perna, da canela pélvica, da quartela pélvica; distâncias da espádua ao boleto e do vazio subesternal; larguras da orelha, do peito e entre as ancas; *b) Medidas de perímetros*: torácico, do pescoço cranial, do pescoço caudal, da frente, do chanfro, do antebraço, do joelho, da canela torácica, do boleto torácico e da quartela torácica; *c) Medidas angulares*: ângulos escápulo-solo, escápulo-umeral, úmero-radial, coxo-solo, coxo-femoral, fêmur-tibial e túbio-metatarsiano.

Para a comparação das médias das medidas morfométricas quanto ao sexo, foi realizada a análise de covariância e, em seguida, o teste Tukey, com 5% de probabilidade, pelo software RStudio® (Faraway, 2014), de acordo com o modelo aplicado: $Y_{ijk} = \mu + S_i + COV(Age)_j + e_{ijk}$; no qual, μ é a média geral; S é o efeito fixo de sexo em dois níveis, Age é a covariável idade em j níveis, e e é o erro aleatório.

Para análise multivariada, foi realizado a função Discriminante Linear de Fisher pelo Software RStudio® utilizando a função *lda* do pacote *MVar*, para obter equações lineares visando a classificação dos equinos em machos e fêmeas, utilizando medidas lineares, de perímetros e angulares. Após a obtenção dos coeficientes de ponderação, os equinos foram reagrupados quanto ao sexo.

A metodologia de análise discriminante baseia-se na obtenção de equações do tipo: $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_i X_i$; na qual β_0 é uma constante; β_i refere-se aos coeficientes de ponderação associados a X_i variáveis da equação; e Y é um índice obtido para o referido objeto na análise. Os β_i coeficientes foram obtidos de acordo com o critério de agrupamento, o sexo. Após a obtenção dos coeficientes de ponderação, a equação que forneceu o maior índice determinou o grupo em que o equino foi inserido (Murtagh&Heck, 2012).

As medidas morfométricas que não possuíam todas as medidas para todos os animais, ou o inverso, foram descartadas para realização das análises estatísticas.

3 RESULTADOS

Nas medidas lineares as alturas na cernelha e na garupa; os comprimentos da orelha, do pescoço, da canela torácica, da quartela torácica, da perna; a distância do vazio subesternal; as larguras do peito e entre as ancas foram diferentes ($P<0,05$) para machos e fêmeas (Tabela 25).

Os perímetros torácico, do pescoço cranial e caudal, da frente, da canela torácica, do boleto torácico e da quartela torácica apresentaram valores diferentes em relação ao sexo ($P<0,05$) nos equinos da raça Campolina (Tabela 26).

Verificou-se que as medidas angulares responsáveis por caracterizar os equinos da raça Campolina em machos e fêmeas foram os ângulos escapulo-umeral, coxo-solo e fêmur-tibial ($P<0,05$) (Tabela 27).

De acordo com a avaliação das medidas lineares, observou-se que 14 éguas foram classificadas como machos, representando um percentual de erro de 10,69%, e, 22 machos foram classificados como fêmeas, com erro de classificação de 26,19% (Tabela 28 e Figura 8A).

Tabela 25. Valores médios das medidas lineares de machos e fêmeas de equinos (*Equus caballus*) da raça Campolina no Brasil.

Medidas Morfométricas (m)	Machos	Fêmeas	SEM	p-value
Altura na cernelha	1,57	1,53	0,33	<0,001*
Altura na garupa	1,55	1,53	0,28	<0,002*
Altura do costado	0,71	0,71	0,23	0,073
Comprimento do corpo	1,61	1,60	0,37	0,439
Comprimento da cabeça	0,61	0,60	0,18	0,090
Comprimento da orelha	0,18	0,18	0,07	0,027*
Largura da orelha	0,65	0,66	0,05	0,289
Comprimento do pescoço	0,61	0,60	0,27	0,006*
Comprimento da espádua	0,49	0,49	0,27	0,771
Comprimento do braço	0,33	0,33	0,18	0,453
Comprimento do antebraço	0,45	0,45	0,14	0,230
Comprimento da canela torácica	0,28	0,27	0,12	0,005*
Comprimento da quartela torácica	0,13	0,13	0,07	0,008*
Comprimento da garupa	0,48	0,49	0,23	0,271
Comprimento da coxa	0,33	0,33	0,20	0,997
Comprimento da perna	0,55	0,53	0,25	<0,001*
Comprimento da canela pélvica	0,33	0,33	0,15	0,906
Comprimento da quartela pélvica	0,14	0,13	0,07	0,131
Distância da espádua ao boleto	0,67	0,67	0,18	0,014*
Distância do vazio subesternal	0,85	0,83	0,20	<0,001*
Largura do peito	0,40	0,39	0,21	0,037*
Largura entre as ancas	0,49	0,50	0,25	0,022*

SEM: erro padrão médio; *significativo $p<0,05$

Tabela 26. Valores médios das medidas de perímetros de machos e fêmeas de equinos (*Equus caballus*) da raça Campolina no Brasil.

Medidas Morfométricas (m)	Machos	Fêmeas	SEM	p-value
Perímetro torácico	1,80	1,80	0,83	0,022*
Perímetro do pescoço cranial	0,81	0,78	0,39	<0,001*
Perímetro do pescoço caudal	1,30	1,15	0,85	<0,001*
Perímetro da fronte	0,88	0,90	0,23	<0,001*
Perímetro do chanfro	0,63	0,63	0,31	0,704
Perímetro do antebraço	0,33	0,32	0,14	0,019*
Perímetro do joelho	0,31	0,31	0,12	0,296
Perímetro da canela torácica	0,19	0,19	0,11	<0,001*
Perímetro do boleto torácico	0,26	0,27	0,12	0,002*
Perímetro da quartela torácica	0,18	0,19	0,09	<0,001*

SEM: erro padrão médio; *significativo $p < 0,05$.

Verificou-se que 21 fêmeas foram categorizadas como machos (erro de classificação de 16,03%) e 10 machos foram classificados como fêmeas (erro de classificação de 11,90%) de acordo com as medidas de perímetro (Tabela 29 e Figura 8B).

Tabela 27. Valores médios das medidas angulares de machos e fêmeas de equinos (*Equus caballus*) da raça Campolina no Brasil.

Medidas Morfométricas (°)	Machos	Fêmeas	SEM*	p-value
Ângulo escápulo-solo	68,57	68,15	0,32	0,520
Ângulo escápulo-umeral	89,60	87,22	0,35	<0,001*
Ângulo úmero-radial	142,86	141,66	0,34	0,081
Ângulo coxo-solo	27,62	31,98	0,33	<0,001*
Ângulo coxo-femoral	87,17	88,34	0,46	0,241
Ângulo fêmur-tibial	110,54	113,09	0,43	<0,001*
Ângulo tíbio-metatarsiano	141,73	140,89	0,26	0,109

SEM: erro padrão médio; *significativo $p < 0,05$.

Tabela 28. Classificação dos equinos (*Equus caballus*) da raça Campolina de acordo com o sexo em relação as medidas lineares.

Item	Equinos Fêmeas	Equinos Machos	Total
Número de fêmeas	117	14	131
Classificação (%)	89,31	10,69*	100
Número de machos	22	62	84
Classificação (%)	26,19*	73,81	100

$Y = 13,395 + 0,86X_1 - 0,04X_2 - 0,57X_3 + 0,07X_4 + 0,08X_5 + 0,40X_6 + 0,07X_7 + 0,02X_8 + 0,15X_9 + 0,12X_{10} - 0,17X_{11}$; X_1 =altura na cernelha; X_2 =altura na garupa; X_3 = comprimento da orelha; X_4 = comprimento do pescoço; X_5 =comprimento da canela torácica; X_6 = comprimento da quartela torácica; X_7 =comprimento da perna; X_8 =distância da espádua ao boleto; X_9 =distância do vazio subesternal; X_{10} =largura do peito; X_{11} =largura entre as ancas, Acurácia (%) = 83,26; Sensibilidade (%) = 89,31; Especificidade (%) = 73,81. *erro de classificação.

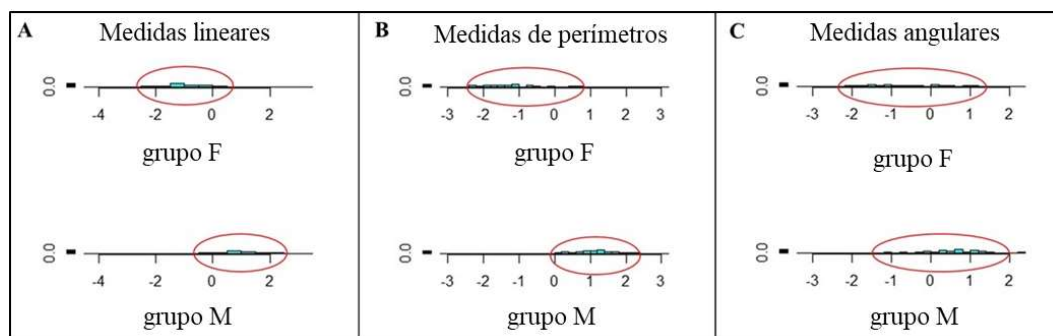


Figura 8. Classificação das medidas morfométricas dos equinos (*Equus caballus*) da raça Campolina no Brasil de acordo com o sexo. F: fêmeas, M: machos. Círculo vermelho indica a classificação dos equinos de acordo com os valores preditos de acurácia, sensibilidade e especificidade das funções discriminantes.

Tabela 29. Classificação dos equinos (*Equus caballus*) da raça Campolina de acordo com o sexo em relação as medidas de perímetros.

Item	Equinos Fêmeas	Equinos Machos	Total
Número de fêmeas	110	21	131
Classificação (%)	83,97	16,03*	100
Número de machos	10	74	84
Classificação (%)	11,90*	88,09	100

$Y = -5,806 - 0,021X_1 + 0,022X_2 + 0,095X_3 - 0,122X_4 - 0,022X_5 - 0,286X_6 + 0,062X_7 - 0,275X_8$; X_1 =perímetro torácico; X_2 = perímetro do pescoço cranial; X_3 = perímetro do pescoço caudal; X_4 = perímetro da frente; X_5 = perímetro do antebraço; X_6 = perímetro da canela torácica; X_7 = perímetro do boleto torácico; X_8 = perímetro da quartela torácica, Acurácia (%) = 85,58; Sensibilidade (%) = 83,97; Especificidade (%) = 88,10. *erro de classificação.

Observou-se que 26 fêmeas foram categorizadas como machos e 32 machos como fêmeas, exibindo um erro de classificação de 19,85% e de 38,10%, respectivamente pela análise das medidas angulares (Tabela 30 e Figura 8C).

Tabela 30. Classificação dos equinos (*Equus caballus*) da raça Campolina de acordo com o sexo em relação as medidas angulares.

Item	Equinos Fêmeas	Equinos Machos	Total
Número de fêmeas	105	26	131
Classificação (%)	80,15	19,85*	100
Número de machos	32	52	84
Classificação (%)	38,10*	61,90	100

$Y = 6,254 + 0,078X_1 - 0,212X_2 - 0,054X_3$; X_1 =ângulo escápulo-umeral; X_2 =ângulo coxo-solo; X_3 =ângulo fêmur-tibial, Acurácia (%) = 73,02; Sensibilidade (%) = 80,15; Especificidade (%) = 61,90. *erro de classificação.

Das 39 medidas morfométricas avaliadas nesse estudo, 22 medidas foram responsáveis pelo dimorfismo sexual dos equinos da raça Campolina. E, observou-se que os valores médios das características foram maiores nos machos em relação às fêmeas, em 59%. As éguas só apresentaram valores médios maiores nas medidas do comprimento da orelha, largura entre as ancas; os perímetros torácico, da frente, da canela torácica, do boleto torácico, da quartela torácica; e dos ângulos coxo-solo e fêmur-tibial.

4 DISCUSSÃO

As medidas morfométricas de alturas na cernelha e na garupa apresentaram dimorfismo sexual ($P < 0,05$), com valores médios maiores nos machos em relação às fêmeas. O que está de acordo com o Padrão Racial, que preconiza que o macho deve ser mais alto em relação às fêmeas, com valor mínimo de altura na cernelha de 1,52m para os machos e de 1,45m para as fêmeas (ABCCCampolina, 2018).

Os estudos abordados por McManus et al. (2005), Boujenane et al. (2008), Pinto et al. (2008), Lucena et al. (2015) e Bussiman et al. (2018) para as raças Campeiro, Árabe-Barbe, Mangalarga Marchador e Campolina, mostraram que as medidas de alturas na cernelha e na garupa já são padronizadas nas Associações de Criadores, sendo, em geral, os machos mais altos do que as fêmeas.

Os valores de altura na garupa apresentaram-se abaixo dos de altura na cernelha, como preconiza o padrão racial (ABCCCampolina, 2018). O equilíbrio entre as alturas na cernelha e na garupa são necessários para o melhor desempenho dos equinos durante a marcha (Lucena et al., 2015). A marcha é um andamento natural marchado, simétrico, a quatro tempos, com apoios diagonais e laterais intercalados por tríplice apoio e sem momentos de suspensão (Patterson et al., 2015; ABCCCampolina, 2018).

A medida altura do costado apresentou similaridade entre machos e fêmeas, enquanto a medida de distância do vazio subesternal apresentou diferença média de 2 cm entre os sexos ($P < 0,05$). Os machos são mais altos e também possuem os membros mais longos e, dessa forma, são classificados como “*longe do chão*”; que é a nomeação dada quando a altura do costado é menor que a distância do vazio subesternal. O contrário, nomeia-se “*perto do chão*” (McManus et al., 2005).

Lucena et al. (2016) observaram valor médio para distância do vazio subesternal de 0,87m nos machos e 0,82m nas fêmeas. Esses autores verificaram ausência de padronização na profundidade torácica em equinos da raça Campolina, independente do sexo. Os autores supracitados ainda sugerem que a medida distância do vazio subesternal apresenta relação com os comprimentos dos membros e a altura do costado, o que pode alterar o centro de gravidade influenciando na estabilidade do equino. Boujenane et al. (2008) também observaram valores maiores de distância do vazio subesternal nos machos (0,82m) em relação às fêmeas (0,79m) em equinos da raça Árabe-Barbe. Diferentemente, Pinto et al. (2008) constataram similaridade entre machos e fêmeas na distância do vazio subesternal, em equinos da raça Mangalarga Marchador.

No presente estudo, verificou-se que a medida da distância da espádua ao boleto foi maior nos machos em relação às fêmeas. Este fato demonstra que os membros torácicos nos machos são maiores em relação às fêmeas, sendo diferenciado pelo maior comprimento da canela torácica. O que, conseqüentemente, proporciona maior altura na cernelha nos machos.

A medida da largura entre as ancas foi maior nas fêmeas em relação aos machos ($P < 0,05$). Provavelmente, devido ao fator fisiológico da gestação. Da mesma forma, na raça Mangalarga Marchador, Pinto et al. (2008) observaram valor médio de largura entre as ancas maior nas fêmeas (0,49m) em relação aos machos (0,48m).

Verificou-se que machos e fêmeas apresentam comprimento da cabeça similares ($P > 0,05$). Porém, as éguas apresentaram maior perímetro da frente e comprimento da orelha. Essa observação é interessante para a raça Campolina, já que existe o “*Concurso de Melhor Cabeça*”, dentro do concurso de morfologia. Boujenane et al. (2008), por outro lado, observaram que o comprimento da cabeça nos machos foi maior em relação às fêmeas.

O perímetro torácico nas fêmeas foi maior em relação aos machos. Purzyc et al. (2011) consideram que gestações subseqüentes em éguas, fazem com que as fêmeas suportem maior

pressão indireta na parte do diafragma, resultando em maior arqueamento das costelas e, assim, maior perímetro torácico. Porém, esse fato só poderia ser observado nas éguas com idade mais avançada, e no presente trabalho, as éguas mais jovens apresentaram perímetro torácico com valores iguais ou até mesmo maiores em relação às fêmeas com idade superior a oito anos. McManus et al. (2005), Boujenane et al. (2008), Pinto et al. (2008), Purzyc et al. (2011) e Lucena et al. (2016) observaram que os machos apresentaram perímetro torácico maior.

Os machos apresentaram maior pescoço, tanto no comprimento quanto nos perímetros do que as fêmeas. Estes resultados são interessantes, pois o maior desenvolvimento do pescoço é um indicativo da característica de masculinidade para os cavalos.

Os perímetros da canela torácica, do boleto torácico e da quartela torácica foram maiores nas fêmeas em relação ao dos machos. Esses resultados não corroboram com os observados por Boujenane et al. (2008), Pinto et al. (2008) e Purzyc et al. (2011), no qual verificaram que os machos possuíam maiores valores dessas medidas.

De forma geral, os equinos machos da raça Campolina apresentaram menores valores dos ângulos avaliados quando comparados com as fêmeas. Os valores do ângulo escápulo-umeral nos equinos do presente trabalho foram menores do que os observados por Cabral et al. (2004) e Pinto et al. (2008) em equinos adultos da raça Mangalarga Marchador, que também apresentam o andamento marcha.

O menor valor médio do ângulo escápulo-umeral observado para os machos, pode ser devido ao fato dos garanhões sofrerem maior pressão de seleção. Segundo Pinto et al. (2008), a inclinação da espádua está diretamente associada à qualidade do andamento marcha, indicando que quanto mais inclinada a espádua menor a angulação do membro torácico, portanto melhor a qualidade do andamento. Porém o ângulo escápulo-umeral muito agudo pode afetar o comprimento da passada (Hodgson et al., 2013).

Pela avaliação da medida ângulo coxo-solo nos equinos da raça Campolina, nota-se que estes possuem garupa inclinada. Os valores médios do ângulo coxo-solo observados estão próximos aos citados por Holmström et al. (1994) avaliando equinos machos da raça Swedish Warmblood, com valores de 29,5° a 32,5°.

O ângulo coxo-solo com maiores valores pode possibilitar maior vantagem mecânica para a contração muscular, ocasionando membros pélvicos com maior capacidade para suportar peso, maior elasticidade e maior propulsão (Holmström et al., 1994; Hodgson et al., 2013). Além disto, pode indicar aumento da frequência de passadas (Santiago et al., 2014; Padilha et al., 2017).

As métricas de acurácia, sensibilidade e sensibilidade reforçam a robustez da análise e o poder preditivo das equações geradas para classificação do dimorfismo sexual (Tedeschi, 2006). Os valores destas métricas apresentadas nas tabelas 28, 29 e 30 estão acima de 70%, o que é satisfatório na classificação pela análise discriminante (Purzyc et al., 2011).

Ao avaliar as medidas morfométricas da raça Campolina, observou-se que nas medidas lineares, maior quantidade de machos foram classificados como fêmeas. Este fato pode ser explicado pelo fato da ABCCCampolina ter reduzido a altura mínima para registro, e segundo dados de Sousa et al., as medidas morfométricas dos equinos, principalmente nos garanhões, sofreram reduções ao longo dos últimos anos. Já nas medidas de perímetros, houve menor erro de classificação nos machos.

Somente três medidas angulares apresentaram dimorfismo sexual. E, foi observado o maior erro de classificação nos machos. Este está de acordo com o menor valor observado da acurácia, sensibilidade e sensibilidade de classificação pela equação, em relação aos valores das medidas lineares e de perímetros.

Pinto et al. (2008) observaram que os ângulos dos equinos da raça Mangalarga Marchador foram muito similares em relação ao sexo. Porém verificaram menor erro de

classificação nas medidas lineares e nas angulares, de 3,5% para fêmeas e de 12% para os machos.

A classificação do dimorfismo sexual dos equinos da raça Campolina mediante as medidas morfométricas, mostrou-se mais eficaz nas medidas lineares e de perímetros (Figura 8A e B) em relação às medidas angulares. Isso porque, no que tange àquelas, verificou-se que os grupos de fêmeas e de machos são agrupados em uma região delimitada e apresentam valores diferentes, indicando maior dimorfismo sexual. Já nas medidas angulares (Figura 8C), observa-se classificação em valores iguais e maior amplitude de classificação dos sexos. A delimitação da região na figura 8 e a maior diferenciação dos grupos sexuais estão relacionados aos melhores valores de acurácia, sensibilidade e sensibilidade.

Sugere-se que a ABCCampolina adote maior quantidade de medidas lineares e algumas de perímetro no padrão racial diferente para machos e fêmeas. Recomenda-se o comprimento do pescoço; os perímetros torácico e da canela torácica; e a largura entre as ancas. Também, recomenda-se incluir no padrão racial as distâncias do vazão subesternal e da espádua ao boleto. Desta forma, possibilitará maior dimorfismo sexual na raça.

A avaliação do dimorfismo sexual pode permitir o melhoramento do padrão de medidas nas Associações de Criadores, podendo ser utilizado por técnicos e juizes.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que das 39 medidas morfométricas avaliadas, 22 são responsáveis pelo dimorfismo sexual dos equinos da raça Campolina. As medidas lineares e de perímetros dos equinos da raça Campolina promovem maior assertividade na classificação para determinar o dimorfismo sexual. As medidas angulares mostram maior erro de classificação para o sexo nos equinos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCCCampolina- **Associação Brasileira de Criadores do Cavalo Campolina**. Regulamento do Serviço de Registro Genealógico do cavalo Campolina – SRGCC, 2018. Available at: <<http://www.campolina.org.br/pdfs/regulamentos/RegulamentoMapa.pdf>>. Accessed on: 02 Apr 2020.
- ABCCCrioulos – **Associação Brasileira de Criadores de Cavalo Crioulos**. Regulamento do Serviço de Registro Genealógico do cavalo Crioulo – SRGC, 2020. Available at: <<https://www.cavalocrioulo.org.br/admin/assets/upload/regulamentos/3696409691.pdf>>. Accessed on: 16 Apr 2020.
- ABCCH – **Associação Brasileira de Criadores de Cavalos de Hipismo** - Brazilian Sport Horse Study- S.B.B.C.H., 2019. Available at: <https://abcch.com.br/arq/comunicado/Regulamento_200214032805RegulamentoStudbok-3.pdf>. Accessed on: 06 Apr 2020.
- ABCCMM- **Associação Brasileira de Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador**. Regulamento do Serviço de Registro Genealógico do cavalo Mangalarga Marchador – SRGCC, 2019. Available at: < <http://leia.abccmm.org.br/portal/regulamentos/regulamentosrg.pdf>>. Accessed on: 24 Apr 2021.
- ABCCRM- **Associação Brasileira de Criadores do Cavalo Mangalarga**. Regulamento do Serviço de Registro Genealógico do cavalo Mangalarga – SRGCC, 2020. Available at: < https://www.cavalomangalarga.com.br/documentos/regulamento_srg_2020.pdf>. Accessed on: 24 Apr 2021.
- BOUJENANE, I.; TOUATI, I.; MACHMOUM, M. Body measurements of Arabe-Barbe horses in Morocco. **Revue Méd. Vét.**, v.159, p.144–149, 2008.
- BUSSIMAN, F.O., PEREZ, B.C., VENTURA, R.V., SILVA, F.F., PEIXOTO, M.G.C.D., VIZONÁ, R.G., MATTOS, E.C.; FERRAZ; J.B.S.; ELER, J.P; CURI, R.A.; BALIEIRO, J.C.C. Genetic analysis of morphological and functional traits in Campolina horses using Bayesian multi-trait model. **Livestock science**, v. 216, p. 119-129, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.002>
- CABRAL, G.; ALMEIDA, F.; AZEVEDO, P.; QUIRINO, C.; SANTOS, E.; CORASSA, A.; PINTO, L. Morfometric evaluation of Mangalarga Marchador horses: angular measures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1790–1797, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000700017>.
- FARAWAY, J.J. **Linear models with R**. 2ed. Chapman and Hall/CRC, 2014. 286 p.
- HÄRDLE, W.K.; SIMAR, L. **Discriminant Analysis**. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015. p. 245-258 DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-45171-7_14.
- HINTZ, H.F.; HINTZ, R.L.; van VLECK, L.D. Growth rate of Thoroughbreds. Effect of age dam, year and month of birth, and sex of foal. **Journal of Animal Science**, v.48 (3), p.480–487, 1979. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1979.483480x>.
- HODGSON, D. R.; MCGOWAN, C. M.; MCKEEVER, K. **The athletic horse: principles and practice of equine sports medicine**. 2nd ed. Elsevier Health Sciences, 2013.
- HOLMSTRÖM, M.; FREDRICKSON, I.; DREVEMO, S. Biokinematic differences between riding horses judged as good and poor at the trot. **Equine Veterinary Journal**, v.26, p.51–56, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1994.tb04874.x>.
- LUCENA, J.E.C.; VIANNA, S.A.B.; BERBARI NETO, F.; SALES FILHO, R.L.M.; DINIZ, W.J.S. Comparative study of morphometric proportions between Campolina stallions and gelding. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, p.353–366, 2015. DOI:<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n1p353>.

- LUCENA, J.E.C.; VIANNA, S.A.B.; BERBARI NETO, F.; SALES FILHO, R.L.M.; DINIZ, W.J.S. Morphometric characterization of females, stallions and geldings of the Campolina breed based on indexes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** v.68, p.431–438. 2016. DOI:<https://doi.org/10.1590/1678-4162-8016>
- MCMANUS, C.; FALCÃO, R.A.; SPRITZE, A.; COSTA, D.; LOUVANDINI, H.; DIAS, L.T.; TEIXEIRA, R.A.; REZENDE, M.J.M.; GARCIA, J.A.S. Morphological characterization of Campeiro breed horses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p. 1553-1562, 2005.
- MURTAGH, F.; HECK, A. **Multivariate data analysis**. Springer Science & Business Media, 2012.
- PADILHA, F.G.F.; ANDRADE, A.M.D.; FONSECA, A.B.M.; GODOI, F.N.D.; ALMEIDA, F.Q.; FERREIRA, A.M.R. Morphometric measurements and animal-performance indices in a study of racial forms of Brazilian Sport Horses undergoing training for eventing. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 1, p. 25-32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1806-92902017000100005>
- PATTERSON, L.; STAIGER, E. A.; BROOKS, S. A. DMRT 3 is associated with gait type in Mangalarga Marchador horses, but does not control gait ability. **Animal genetics**, v. 46, n. 2, p. 213-215, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12273>
- PINTO, L.F.B.; ALMEIDA, F.Q. de; QUIRINO, C.R.; AZEVEDO, P.C.N.; CABRAL, G.C.; SANTOS, E.M.; CORASSA, A. Evaluation of the sexual dimorphism in Mangalarga Marchador horses using discriminant analysis. **Livestock Science**, v.119, p.161–166, 2008. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.03.014>.
- PURZYC, H.; KOBRYCZUK, F.; BOJARSKI, J. Sexual dimorphism in Hucul horses using discriminant analysis. **Animal**, v.5, p.506–511, 2011. DOI:<https://doi.org/10.1017/S1751731110002223>.
- SANTIAGO, J. M.; REZENDE, A. S.; LANA, Â. M.; FONSECA, M. G.; ABRANTES, R. G.; LAGE, J.; ANDRADE, J.M.; RESENDE, T.M. Comparison between the morphometric measures of Mangalarga Marchador horses of batida marcha and picada marcha. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, n.2, p.635-639, 2014. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/1678-41626870>.
- SOUSA, A.S.; JESUS, I.I.C.; OLIVEIRA, C.A.A.; COSTA, R.B.; GODOI, F.N. How is the morphometry of stallions and mares show-winning and nonwinning Campolina brazilian breed with batida and picada gaits? **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 64, p. 34-40, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.02.012>.
- TAKAENDENGAN, B. J.; NOOR, R. R.; ADIANI, S. Morphometric characterization of Minahasa horse for breeding and conservation purposes. **Media Peternakan**, v. 34, n. 2, p. 99-99, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5398/medpet.2011.34.2.99>
- TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, v.89: p.225-247, 2006. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.11.004>.
- VAŽIĆ, B.; SARAJLIĆ, Đ.; ROGIĆ, B. Morphometric characterization of the Lipizzaner horse breed in the stud „Vučijak“. **Biotechnology in Animal Husbandry**, v. 32, n. 2, p. 219-227, 2016. <https://doi.org/10.2298/BAH1602219V>.

CAPÍTULO IV

ESTUDO DE ASSOCIAÇÃO GENÔMICA AMPLA (GWAS) DE MEDIDAS MORFOMÉTRICAS EM EQUINOS DA RAÇA CAMPOLINA

RESUMO

Com os avanços na genética molecular, é possível maior rapidez na obtenção de ganhos genéticos. O que torna cada vez mais eficientes os programas de melhoramento genético, que tem o objetivo de aperfeiçoar o desempenho animal. Este estudo tem como objetivo realizar o Estudo de Associação Genômica Ampla (GWAS) para as medidas morfométricas de equinos da raça Campolina. Foram utilizados 91.483 registros genealógicos da Associação Brasileira de Criadores do Cavalo Campolina, sendo destes 18.876 usados para estimar parâmetros genéticos para 15 medidas morfométricas lineares. Para a obtenção dos parâmetros genéticos utilizou-se de inferência Bayesiana. O DNA genômico de 48 equinos oriundos da Fazenda Oratório/RJ, da raça Campolina foi extraído de amostras do bulbo capilar, utilizando o kit *NucleospinTissue* (50). Em seguida, foram genotipados usando o chip Illumina®Equine. O GWAS foi realizado para cada uma das 15 medidas e os efeitos dos SNPs foram estimados pelo método “*single step*” ponderado (ssGWAS), utilizando o RStudio®. Para a identificação dos genes mais próximos aos SNP significativos foi utilizada a ferramenta Map Viewer do genoma equino disponível no NCBI. Foram utilizados gráficos do tipo Manhattan, contendo a variância explicada pelas janelas formadas por 100 SNP adjacentes, para a identificação das regiões cromossômicas de maior efeito sobre as características. Observou-se que as 15 medidas morfométricas avaliadas apresentaram genes candidatos, que foram responsáveis por explicar mais de 1% da variação genética ocorrida em equinos da raça Campolina. Observou-se que 12% da variação da altura na cernelha pode ser explicada pelos genes *THRB*, *ZCWPW2*, *RBMS3*, *LOC111768385* e *SUCLG2*. A altura na garupa diferiu da altura na cernelha pela expressão dos genes *FBXL2* e *UBP1* ao invés do *SUCLG2*. A altura no dorso apresentou os mesmos genes que a altura na cernelha, explicando aproximadamente 17% da variação total dessa medida. Já para a altura no costado os genes observados foram diferentes das alturas citadas anteriormente, sendo os genes candidatos *SPATA5*, *SYNPO2* e *BMP5*. Para o comprimento da cabeça os genes *KMO* e *LOC100630169* explicaram 9% da variação desta medida. Os genes candidatos *CATSPERE*, *LOC100629602*, *HAUS8*, *PIK3R1*, *RBMS3* e *NGLY1* explicaram mais de 18% da variação do comprimento do pescoço. O comprimento do corpo teve maiores associações com genes diferentes, sendo *DNAJC3*, *CLYBL*, *LOC111768624*, *FHIT*, *ARHGEF3* e *SUCLG2*. Os genes candidatos *LOC102150007*, *OSBPL1A*, *DNAJC3* e *CLYBL* foram responsáveis por explicar mais de 12% da variação do comprimento da espádua. Já para o comprimento da garupa diferentes genes candidatos foram observados quando comparados ao comprimento do corpo e da espádua, sendo o gene candidato *LMOD3* responsável por aproximadamente 6% da variância dessa medida. Os genes candidatos para a largura da cabeça foram *CCDC38*, *GAS2L3*, *ANTXR2*, *WSCD2* e *TAOK3* responsáveis por 13% da variação desta medida. A largura do peito apresentou os genes candidatos *LRCHI*, *DNAJC15*, *LOC100630169*, *KMO*, *FAM19A1*, *HAUS8* e *PIK3R1*. A largura entre as ancas apresentou como genes candidatos *LRCHI* e *DNAJC15*, o mesmo observado para a largura do peito, porém explicando maior variação (~9%). Os genes *LMOD3*, *YWHAQ*, *ADGRB3*, *L6102147370*, *ZNF212* e *DPP6* justificaram 22% da variação do perímetro torácico. Para o perímetro da canela torácica constatou-se que o gene candidato para esta característica foi o *GLIS3*, pois sozinho explicou 18,6% da variação total desta medida. Conclui-se que os possíveis genes candidatos para as medidas morfométricas avaliadas são *RBMS3*, *SUCLG2*, *HAUS*, *PIK3R1*, *ZCWPW2*, *CLYBL*, *DNAJC3*, *DNAJC15*, *KMO*, *LMOD3*, *LOC100630169*, *LOC102148584*, *LRCHI* e *THRB*.

Palavras-chave: cavalo, genes, morfologia

ABSTRACT

Currently, with advances in molecular genetics, it is possible to achieve faster genetic gains. What makes genetic improvement programs more and more efficient, which aims to improve equine performance. This study aims to carry out the Genomic Wide Association Study (GWAS) for the morphometric measurements of Campolina horses. 91,483 genealogical records from the Brazilian Association of Breeders of the Campolina Horse were used, of which 18,876 were used to estimate genetic parameters for 15 linear morphometric measurements. To obtain the genetic parameters, Bayesian inference was used. The genomic DNA of 48 Campolina horses from Fazenda Oratório / RJ, was extracted from hair bulb samples, using the Nucleospin Tissue kit (50). And were genotyped using the Illumina® Equine chip. The GWAS was performed for each of the 15 measures and the effects of the SNPs were estimated by the weighted single step method (ssGWAS), using RStudio®. To identify the genes closest to the significant SNPs, the Map Viewer tool of the equine genome available at NCBI was used. Manhattan-type graphs were used, containing the variance explained by the windows formed by 100 adjacent SNPs, to identify the chromosomal regions with the greatest effect on the characteristics. It was observed that the 15 morphometric measurements evaluated presented candidate genes, which were responsible for explaining more than 1% of the genetic variation that occurred in horses of the Campolina breed. It was observed that 12% of the height variation at the withers can be explained by the *THRB*, *ZCWPW2*, *RBMS3*, *LOC111768385* and *SUCLG2* genes. The height croup differed from the height wither due to the expression of the *FBXL2* and *UBP1* genes instead of the *SUCLG2*. The height on the back presented the same genes as the height at the withers, explaining approximately 17% of the total variation of this measure. For the height at the side, the observed genes were different from the heights previously mentioned, being the candidate genes *SPATA5*, *SYNPO2* and *BMP5*. For the head length, the *KMO* and *LOC100630169* (ECA30) genes explained 9% of the variation of this measure. Candidate genes *CATSPERE*, *LOC100629602*, *HAUS8*, *PIK3R1*, *RBMS3* and *NGLY1* explained more than 18% of the variation in neck length. The body length had greater associations with different genes, being *DNAJC3*, *CLYBL*, *LOC111768624*, *FHIT*, *ARHGEF3* and *SUCLG2*. For the length of the dorsum-loin, several genes are needed to explain the variation of this measure. The candidate genes *LOC102150007*, *OSBPL1A*, *DNAJC3* and *CLYBL* were responsible for explaining more than 12% of the variation in the length of the shoulder. As for the length of the croup, different candidate genes were observed when compared to the length of the body and shoulder, with the candidate gene *LMOD3* responsible for approximately 6% of the variance of this measure. The candidate genes for head width were *CCDC38*, *GAS2L3*, *ANTXR2*, *WSCD2* and *TAOK3* responsible for 13% of the variation of this measure. The chest width did not show the same genes as the head width, being the candidate genes *LRCHI*, *DNAJC15*, *LOC100630169*, *KMO*, *FAM19A1*, *HAUS8* and *PIK3R1*. The width between the hips presented candidate genes *LRCHI* and *DNAJC15*, the same observed for the width of the chest, but explaining a greater variation (~ 9%). The genes *LMOD3*, *YWHAQ*, *ADGRB3*, *L6102147370*, *ZNF212* and *DPP6* accounted for 22% of the variation in the heart girth. For the fore cannon circumference it was found that the candidate gene for this characteristic was *GLIS3*, as it alone explained 18.6% of the total variation of this measure. It is concluded that the possible candidate genes for the evaluated morphometric measurements are *RBMS3*, *SUCLG2*, *HAUS*, *PIK3R1*, *ZCWPW2*, *CLYBL*, *DNAJC3*, *DNAJC15*, *KMO*, *LMOD3*, *LOC100630169*, *LOC102148584*, *LRCHI* and *THRB*.

Keywords: genes, horse, morphology

1 INTRODUÇÃO

As medidas morfométricas são as principais características a serem estudadas com o objetivo de proporcionar uma melhora na locomoção equina. Isto deve-se ao fato de que essas medidas estão associadas a funcionalidade do equino, e então, intrinsecamente relacionadas ao valor econômico (Barbosa, 1993; Meira et al., 2014; Lucena et al., 2015), e por serem características que estão presentes no registro definitivo nas Associações de Criadores.

Com a seleção destas características e com o objetivo de aperfeiçoar o desempenho animal, tem-se o melhoramento genético animal, que é o estudo da resultante das condições do ambiente e da composição genética. O conhecimento dos genótipos que estão associados as características auxiliam as estratégias de seleção, e assim, tornam cada vez mais eficientes os programas de melhoramento genético (Pereira, 2012). Portanto, permite rapidez na obtenção de ganhos genéticos (Resende et al., 2008).

O estudo dos milhares de SNP espalhados ao longo do genoma possibilita entender a arquitetura genética de diferentes populações (Kijas et al., 2009). E possibilitam determinar a relação entre a perda de alelos e o aumento da consanguinidade devido à seleção. E, também, permite identificar regiões no genoma sujeitas à seleção e, assim, associá-las com características de importância econômica (Barendse et al., 2009; Hayes et al., 2009).

Segundo Regatieri e Mota (2012) mesmo estando distanciados dos centros de pesquisa, as técnicas de melhoramento genético visando melhor desempenho esportivo, ultimamente, são almejadas pelos criadores, buscando melhores resultados em pista e, utilizando destes resultados na seleção de animais.

A ferramenta que é utilizada para identificar a associação dos genes as características fenotípicas que variam na população é o GWAS (*Genomic Wide Association Study* - Estudo de Associação Genômica Ampla), ou seja, identificam SNPs (*Single Nucleotide Polymorphism* - Polimorfismo de Nucleotídeo Único) que ocorrem em regiões dos cromossomos associados à genes que proporcionam as alterações nos fenótipos. Esses estudos são úteis também para conhecer a estrutura genética da população e para posterior aplicação de seleção genômica e seleção assistida por marcadores (Peters et al., 2012).

Atualmente, o uso destas técnicas de seleção está relacionado ao desempenho em modalidades esportivas, aptidões específicas, patologias, determinação de genes que codificam determinadas pelagens (Hill et al., 2010; Schoröder et al., 2012; Patterson et al., 2015). Porém com relação a utilização dessas técnicas moleculares para a morfometria equina, são realizadas somente no meio da pesquisa, e não de forma prática. Principalmente para a raça Campolina, na qual não existem estudos relacionados aos genes associados as medidas morfométricas para esta raça. E, com o avanço da genética molecular, as biotecnologias moleculares, podem auxiliar para a descoberta de forma mais assertiva de como funcionam. Este estudo tem como objetivo realizar o GWAS para as medidas morfométricas de equinos da raça Campolina.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Estimação dos parâmetros genéticos

Foram avaliados 107.067 registros genealógicos disponibilizados pela Associação Brasileira de Criadores do Cavallo Campolina para estimar parâmetros genéticos para características lineares.

No total, 15 características morfológicas, que constam no registro do animal, mensuradas pelos técnicos de registro da ABCCCampolina, foram avaliadas: altura na cernelha (AC), altura na garupa (AG), altura no dorso (AD), altura do costado (ACO), comprimento da cabeça (CCB), comprimento do pescoço (CP), comprimento do corpo (CC), comprimento dorso-lombo (CDL), comprimento da espádua (CE), comprimento da garupa (CG), largura da cabeça (LC), largura do peito (LP), largura entre as ancas (LA), perímetro torácico (PT) e perímetro da canela torácica (PC).

Para a obtenção dos parâmetros genéticos utilizou-se de inferência Bayesiana, em um modelo multicaracterística por amostrador de Gibbs utilizando os softwares GIBBS2F90 desenvolvidos por Misztal et al. (2014). O modelo geral usado incluiu os efeitos fixos da idade do animal no registro, grupo contemporâneo e efeito do criador. Este último foi incluído no modelo para caracterizar técnicas de gestão semelhantes.

Os grupos contemporâneos foram formados usando os efeitos do ano de nascimento, estação do nascimento (estação 1: dezembro a fevereiro, estação 2: março a maio, estação 3: junho a agosto; e estação 4: setembro a novembro), mesorregião [é uma subdivisão dos estados brasileiros que combina diferentes municípios em uma área geográfica com características econômicas e sociais semelhantes (IBGE 2011)] e sexo.

Foi utilizado nas análises um arquivo genealógico contendo a identificação do animal, pai e mãe, totalizando 91.483 animais na matriz de parentesco até a última geração conhecida. Destes, os critérios de exclusão realizados foram: equinos com valores discrepantes nas observações, que não tinham todas as informações desejadas para as características estudadas; No grupo contemporâneo, os animais com medidas fora do intervalo da média ± 3 desvios-padrão; No grupo contemporâneo, os que continham apenas animais nascidos do mesmo garanhão e aqueles com menos de três animais. Assim, o banco de dados a ser analisado possuía 18.876 observações.

O modelo utilizado é descrito como:

$$y = X\beta + Zu + e$$

onde y é o vetor de observações das características; X é a matriz de incidência dos efeitos fixos; β é o vetor de efeitos fixos; Z é a matriz de incidência de efeitos genéticos diretos; u é o vetor de efeitos genéticos aleatórios e e é o vetor de efeitos residuais.

As seguintes suposições do modelo foram feitas:

$$\begin{bmatrix} y \\ u \\ e \end{bmatrix} \sim MNV \left\{ \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} ZAZ' \otimes G + R \otimes I & G \otimes ZA & R \otimes I \\ AZ' \otimes G & G \otimes A & 0 \\ R \otimes I & 0 & R \otimes I \end{bmatrix} \right\}$$

onde A é a matriz de relacionamento aditiva; I é uma matriz de identidade; G é uma matriz 15x15 de variância genética aditiva; R é uma matriz diagonal 15x15 de variância residual e \otimes é o operador de produto direto entre as matrizes. Os vetores β e u são parâmetros de localização de uma distribuição condicional $y | \beta, u$. Uma distribuição anterior uniforme era assumido para β , o que reflete um conhecimento prévio vago sobre esse vetor. Para u , uma distribuição normal multivariada foi assumida como anterior, com média θ e variância $G \otimes A$.

As distribuições de Wishart foram assumidas como distribuições anteriores para os outros componentes (Van Tassel e Van Vleck, 1996). A simulação de Monte Carlo via Cadeia

de Markov (MCMC) foi usada para inferência, com um comprimento de cadeia de 1.000.000 de ciclos e um período de *burn-in* de 50.000 ciclos nas duas análises realizadas. No teste de Geweke, os valores iniciais da cadeia de Markov são comparados aos valores finais da cadeia para detectar falhas na convergência. Um valor de $p < 0,05$ indica a existência de evidências contra a convergência das cadeias (Geweke, 1991). O teste de Heidelberger e Welch usa estatísticas de Cramer-von Mises para testar a hipótese nula de estacionariedade da amostra gerada. Se houver evidência de não estacionariedade, o teste é repetido após a eliminação dos primeiros 10% das iterações. Esse processo é continuado até que a cadeia resultante seja aprovada no teste ou até que mais de 50% das iterações sejam descartadas (Heidelberger e Welch, 1983).

2.2 Dados genotípicos e controle de qualidade

O total de 48 equinos da raça Campolina, originados da Fazenda Oratório no município de Macaé/RJ, foram genotipados (devido ao limite de um kit de análises proveniente do orçamento financiado pelo CNPq). O DNA genômico foi extraído de amostras do bulbo capilar (Figura 9) utilizando o kit NucleospinTissue (50), Fabricante Macherey Nagel, modelo 50PREPS, de acordo com as instruções do fabricante. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Biologia Molecular do Hospital Veterinária da Escola de Medicina Veterinária da Universidade Federal da Bahia (UFBA).



Figura 9. Coleta de amostras do bulbo capilar para realização da extração do DNA.

Posteriormente, o DNA extraído (mínimo 12 μL de gDNA na concentração de 50 $\text{ng}/\mu\text{L}$) foi enviado para o Centro de Instrumentação em Genômica Funcional Aplicado a Agropecuária e Agroenergia - USP, Piracicaba, onde foi realizada a genotipagem das 48 amostras utilizando do chip GGP Equine Illumina-65K. A genotipagem foi realizada conforme os procedimentos do produto *Bead chips Illumina*. A leitura dos sequenciamentos foi feita pelo equipamento *HiScanSQ-Illumina*.

O controle de qualidade de genotipagem (QC) foi realizado através do programa PREGSF90 (Misztal et al., 2014), onde filtrou marcadores localizados em regiões não autossômicas mapeadas para a mesma posição, desviado do teste de equilíbrio de Hardy-Weinberg (HWE) ($P < 10^{-5}$), com pontuação GenCall (GC) menor que 0,15; SNP *call rate* inferior a 0,95 e *minor allele frequency* (MAF) inferior a 0,02. O número restante de SNPs e animais após o QC foram de 41.860 e 42, respectivamente.

2.3 Análise de Estudo de Associação Genômica Ampla (GWAS)

A análise de associação genômica foi realizada para cada uma das 15 características e os efeitos dos SNPs foram estimados pelo método de passo único “*single step*” ponderado (ssGWAS) proposto por Wang et al. (2014), como descrito no modelo:

$$y^* = \mu + Z_a a + e$$

Onde y^* é o vetor da variável explicatória; μ é um vetor da média geral; Z_a é uma matriz de incidência que relaciona animais a variável explicatória; a é o vetor de efeitos genéticos aditivos diretos e e é o vetor dos resíduos aleatórios. Foi assumido que $a \sim N(0, H\sigma_a^2)$ e $e \sim N(0, R\sigma_e^2)$, onde H é a matriz de parentesco genômica, σ_a^2 é variância genética aditiva, R é uma matriz diagonal, cujos elementos são relacionados aos resíduos relacionados a y , e σ_e^2 é a variância do resíduo.

O inverso da matriz H pode ser definido como (Aguilar et al., 2010):

$$H^{-1} = A^{-1} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & G^{-1} - A_{22}^{-1} \end{bmatrix}$$

onde A é a matriz de parentesco com base em todos os animais; A_{22} é a matriz de parentesco dos animais genotipados; e G é a matriz de parentesco genômico para animais genotipados.

As análises pela metodologia *single-step* (ssGBLUP) foram realizadas usando os programas da família BLUPF90 (Miszta et al., 2014). As soluções dos efeitos SNP foram obtidas a partir dos valores genéticos usando o algoritmo de Wang et al. (2014). Foram geradas cadeias de Gibbs de 1.000.000 ciclos com *burn-in* de 50.000 e intervalo de amostragem a cada 50 ciclos. O processo de iteração foi repetido duas vezes para obter a ponderação do efeito da solução dos SNPs. Neste estudo, os resultados de GWAS foram relatados como a proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes.

2.4 Identificação e anotação dos genes

Para a identificação dos genes mais próximos aos SNP significativos foi utilizada a ferramenta *Map Viewer* do genoma equino disponível no NCBI (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCF_000002305.2/, acesso: 20 fev 2021).

Gráficos do tipo Manhattan, contendo a variância explicada pelas janelas formadas por 100 SNPs adjacentes foram utilizados na identificação das regiões cromossômicas de maior efeito sobre as características. Ou seja, utilizada a prospecção de genes ligados com os SNPs que explicaram mais de 1% da variância genética aditiva. A identificação dos genes presentes nas janelas de maior efeito foi realizada por intermédio do banco de dados do NCBI (*National Center for Biotechnology Information*) EquCab 3.0, utilizando o cromossomo e as coordenadas genômicas, para encontrar os genes, e os possíveis genes que estariam em desequilíbrio de ligação (LD – *linkage disequilibrium*) conforme Santos et al. (2019).

3 RESULTADOS

Na estimação dos parâmetros genéticos observou-se que as medidas morfométricas dos equinos da raça Campolina apresentaram valor médio para a altura na cernelha de 1,56m. Altura na garupa inferior à altura na cernelha. Comprimentos de cabeça e pescoço com valores médios próximos. Largura do membro pélvico maior que do membro torácico. Apresentaram espádua e garupa grandes. E perímetro torácico com valor médio de 1,8m (Tabela 31).

Tabela 31. Estatística descritiva de 15 medidas lineares nos equinos da raça Campolina

Variável	N	Média (m)	Desvio padrão	Mínimo (m)	Máximo (m)
Altura na cernelha	18.876	1,56	0,054	1,45	1,71
Altura na garupa	18.876	1,55	0,051	1,43	1,71
Altura no dorso	18.876	1,48	0,051	1,35	1,63
Altura no costado	18.876	0,65	0,029	0,53	0,75
Comprimento da cabeça	18.876	0,61	0,028	0,50	0,70
Comprimento do pescoço	18.876	0,64	0,036	0,50	0,80
Comprimento do corpo	18.876	1,58	0,062	1,42	1,77
Comprimento dorso-lombo	18.876	0,59	0,056	0,44	0,78
Comprimento da espádua	18.876	0,56	0,035	0,45	0,70
Comprimento da garupa	18.876	0,52	0,040	0,33	0,66
Largura da cabeça	18.876	0,21	0,011	0,17	0,25
Largura do peito	18.876	0,39	0,030	0,30	0,50
Largura entre as ancas	18.876	0,53	0,028	0,41	0,61
Perímetro torácico	18.876	1,83	0,075	1,60	2,10
Perímetro da canela torácica	18.876	0,19	0,011	0,16	0,23

Fonte: adaptada de Junqueira et al. (2021).

-Medida morfométrica: *Altura na cernelha*

Na realização do GWAS de equinos da raça Campolina observou-se que 46% da variação da medida morfométrica da altura na cernelha, foi explicada por 40 SNPs que estão localizados nos cromossomos autossômicos equinos (ECA – *Equine Chromosome Autosomal*) como mostra a Tabela 32.

Constatou-se que o SNP BIEC2_339339, localizado no ECA 15, na posição 82706171, explica 8,2% da variação desta característica, e o gene candidato que provavelmente possa estar relacionado é o *LOC102148584*. Como o SNP encontra-se na região intergênica, esse gene provavelmente está em região de desequilíbrio de ligação (LD – *linkage disequilibrium*) com o SNP.

No ECA 16 observou-se que os genes *SUCLG2* (*Succinate-CoA Ligase GDP-Forming Subunit Beta*), *RBMS3* (*RNA Binding Motif Single Stranded Interacting Protein 3*), *LOC111768385*, *THRB* (*Thyroid Hormone Receptor Beta*) e *ZCWPW2* (*Zinc Finger CW-Type e PWWP Domain Containing 2*) são responsáveis, por explicar mais de 3,0% de variação da altura na cernelha (Tabela 32 e Figura 10).

Tabela 32. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida altura na cernelha.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _29785	TB ⁵ _31253	1	67440989	IR ⁴	70699368	IR ⁴	1,38906
B ⁵ _1070143	B ⁵ _1073741	7	91017571	NELL1	94700370	IR ⁴	2,91664
B ⁵ _1105582	B ⁵ _1050104	8	44978854	IR ⁴	48392549	IR ⁴	1,03593
B ⁵ _1046221	B ⁵ _1105573	8	41644642	TMEM241	44968427	IR ⁴	2,34188
B ⁵ _149166	B ⁵ _150627	11	17699063	MAPT	21155797	IR ⁴	1,02504
B ⁵ _274524	B ⁵ _275755	14	67084270	PPIP5K2	70045250	IR ⁴	1,00316
B⁵_339339	B⁵_325638	15	82706171	IR⁴	88351163	IR⁴	8,17414
B ⁵ _341293	B ⁵ _343050	16	37504199	RAD54L2	40909960	IR ⁴	1,04566
B ⁵ _371705	B ⁵ _356361	16	61406825	ZNF385D	64705236	IR ⁴	1,19531
B ⁵ _337860	B ⁵ _339488	16	29775058	FHIT	32929606	ARHGEF3	2,37188
B⁵_334347	B⁵_336493	16	23706842	SUCLG2	26921908	IR ⁴	3,13818
B⁵_349870	B⁵_351819	16	52465328	L⁶111768385	55869780	RBMS3	3,82071
B⁵_352129	TB⁵_371331	16	56723805	ZCWPW2	60260587	THRB	4,97336
B ⁵ _375869	B ⁵ _376519	17	36380235	IR ⁴	40034169	IR ⁴	1,37918
B ⁵ _401582	B ⁵ _383280	17	65175847	IR ⁴	68686891	CLYBL	2,34874
B ⁵ _539300	B ⁵ _540605	20	52182476	L ⁶ 111769350	55177792	IR ⁴	1,62023
B ⁵ _547445	B ⁵ _576701	21	2768320	HAUS8	6235420	PIK3R1	1,34371
B ⁵ _690737	B ⁵ _659542	25	8430477	IR ⁴	11807689	IR ⁴	1,17716
B ⁵ _715099	TB ⁵ _754589	27	30454170	IR ⁴	34004650	L ⁶ 100629602	1,79145
B ⁵ _813056	B ⁵ _815236	30	1520855	AKT3	4925535	KIF26B	1,83179

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

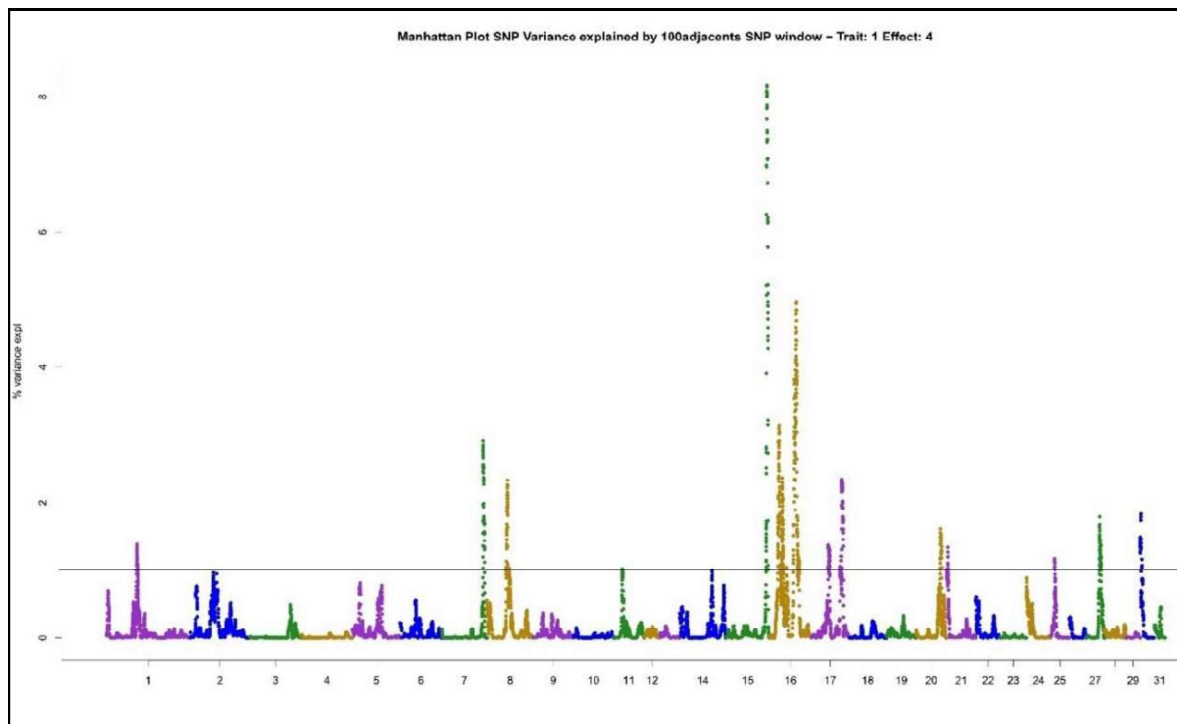


Figura 10. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica altura na cernelha.

-Medida morfométrica: *Altura na garupa*

Constatou-se que para a medida morfométrica da altura na garupa, 38 SNPs foram responsáveis por explicar 44,0 % da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina como apresentado na Tabela 33.

Avaliou-se que o SNPBIEC2_339339, localizado no ECA 15 posição 82706171, explica 9% (Tabela 33) de variação desta característica, e o gene candidato que provavelmente possa estar relacionado é o *LOC102148584*, como o SNP encontra-se na região intergênica, esse gene provavelmente está em região de LD com o SNP.

No ECA 16 observou-se que os *THRB* (*ThyroidHormone Receptor Beta*), *ZCWPW2* (*Zinc Finger CW-Type e PWWP Domain Containing 2*), *RBMS3* (*RNA Binding Motif Single Stranded Interacting Protein 3*), *FBXL2* (*Proteína 2 de repetição rica em leucina e F-Box*) e *UBP1* (*Upstream Binding Protein 1*); são responsáveis, cada um, por explicar mais de 3,0% de variação da altura na garupa (Tabela 33 e Figura 11).

Tabela 33. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida altura na garupa.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _29785	TB ⁵ _31253	1	67440989	IR ⁴	70699368	IR ⁴	1,15434
B ⁵ _942798	B ⁵ _897569	5	16979586	RGS8	20155141	IR ⁴	1,72763
B ⁵ _1014820	B ⁵ _1018195	7	91247945	NELL1	94992399	IR ⁴	1,81023
B ⁵ _1046221	B ⁵ _1105573	8	41644642	TMEM241	44968427	IR ⁴	1,06416
B ⁵ _275440	B ⁵ _277720	14	90432259	IR ⁴	93540952	IR ⁴	1,51365
B⁵_339339	B⁵_325638	15	82706171	IR⁴	88351163	IR⁴	9,05109
B ⁵ _341293	B ⁵ _343050	16	37504199	RAD54L2	40909960	IR ⁴	1,24324
B ⁵ _337860	B ⁵ _339488	16	29775058	FHIT	32929606	ARHGEF3	2,44538
B ⁵ _333272	B ⁵ _351228	16	21866171	IR ⁴	25215443	MAGI1	2,62187
B⁵_352129	TB⁵_371331	16	56723805	ZCWPW2	60260587	THRB	4,18134
B⁵_366533	B⁵_368740	16	52535118	FBXL2/UBP1	56074767	RBMS3	4,48483
B ⁵ _376201	B ⁵ _376706	17	38125668	IR ⁴	41566253	IR ⁴	1,36950
B ⁵ _381361	B ⁵ _382732	17	61627890	IR ⁴	65274890	IR ⁴	1,51044
B ⁵ _401633	B ⁵ _383299	17	65402250	DNAJC3	68800963	CLYBL/L ⁶ 111768624	2,87290
B ⁵ _539300	B ⁵ _540605	20	52182476	L ⁶ 111769350	55177792	IR ⁴	1,05219
B ⁵ _547445	B ⁵ _576701	21	2768320	HAUS8	6235420	PIK3R1	1,13342
B ⁵ _690737	B ⁵ _659542	25	8430477	IR ⁴	11807689	IR ⁴	1,06679
B ⁵ -715099	TB ⁵ _754589	27	30454170	IR ⁴	34004650	L ⁶ 100629602	1,53183
B ⁵ _812958	B ⁵ _856584	30	1321449	IR ⁴	4748277	IR ⁴	2,20107

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

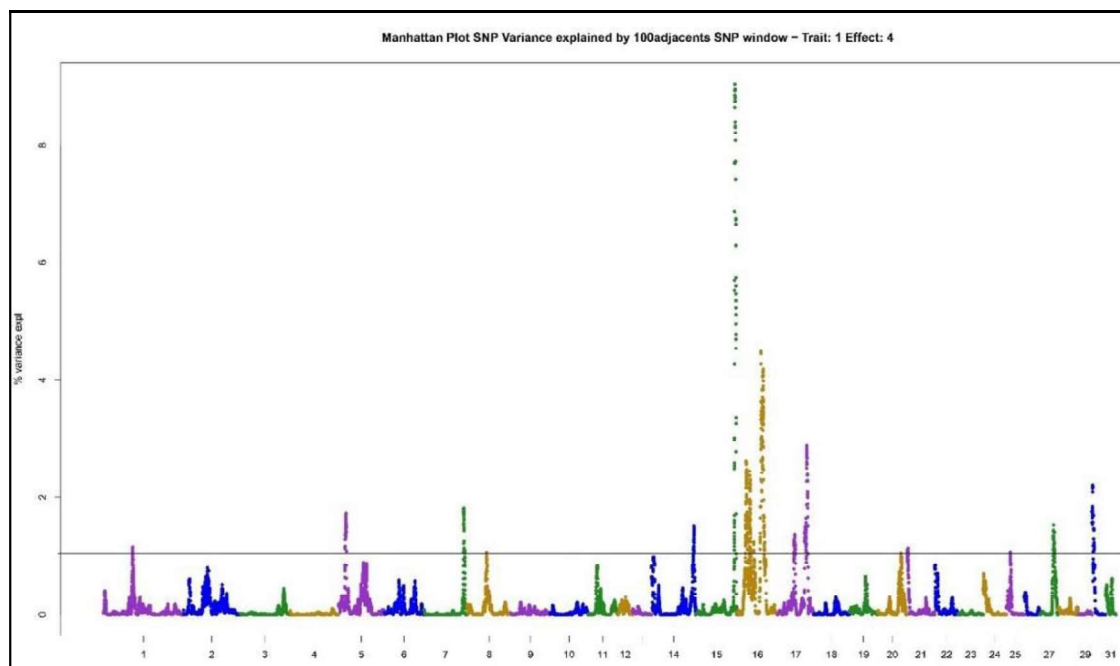


Figura 11. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica altura na garupa.

-Medida morfométrica: *Altura no dorso*

Foram identificados 32 SNPs que foram responsáveis por explicar 37,8 % da variação para a altura no dorso que ocorre nos equinos da raça Campolina, como mostra a Tabela 34.

Tabela 34. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida altura no dorso.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _1070143	B ⁵ _1073741	7	91017571	NELL1	94700370	IR ⁴	1,98126
B ⁵ _1026649	B ⁵ _1029258	8	7207284	SLC5A1	10978521	MN1	1,84913
B ⁵ _1020623	B ⁵ _1024529	8	175722	IR ⁴	4665129	IR ⁴	1,85902
B ⁵ _1046221	B ⁵ _1105573	8	41644642	TMEM241	44968427	IR ⁴	2,17922
B ⁵ _149166	B ⁵ _150627	11	17699063	MAPT	21155797	IR ⁴	1,41418
B ⁵ _145172	B ⁵ _147520	11	25647850	IR ⁴	29028451	IR ⁴	1,86444
B ⁵ _274524	B ⁵ _275755	14	67084270	PPIP5K2	70045250	IR ⁴	2,33135
B⁵_323850	B⁵_340837	15	82194532	IR⁴	87697056	IR⁴	5,56033
B ⁵ _341293	B ⁵ _343050	16	37504199	RAD54L2	40909960	IR ⁴	1,14770
B ⁵ _337860	B ⁵ _339488	16	29775058	FHIT	32929606	ARHGEF3	2,21046
B⁵_334347	B⁵_336493	16	23706842	SUCLG2	26921908	IR⁴	3,54021
B⁵_349870	B⁵_351819	16	52465328	L⁶111768385	55869780	RBMS3	3,54656
B⁵_352129	TB⁵_371331	16	56723805	ZCWPW2	60260587	THRB	4,17028
B ⁵ _401582	B ⁵ _383280	17	65175847	IR ⁴	68686891	CLYBL	1,61187
B ⁵ _715099	TB ⁵ _754589	27	30454170	IR ⁴	34004650	L ⁶ 100629602	1,01026
B ⁵ _812958	B ⁵ _856584	30	1321449	IR ⁴	4748277	IR ⁴	1,52821

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

Os possíveis genes candidatos para a altura no dorso foram *ZCWPW2* (Zinc Finger CW-Type e PWWP Domain Containing 2), *THRB* (Thyroid Hormone Receptor Beta), *LOC111768385*, *RBMS3* (RNA Binding Motif Single Stranded Interacting Protein 3) e *SUCLG2* (Succinate-CoA Ligase GDP-Forming Subunit Beta) (Tabela 34 e Figura 12).

Os maiores picos representados no gráfico Manhattan para esta característica foram associadas aos SNPs BIEC2_323850 e BIEC2_340837, localizados no ECA15, que estão em região intergênica.

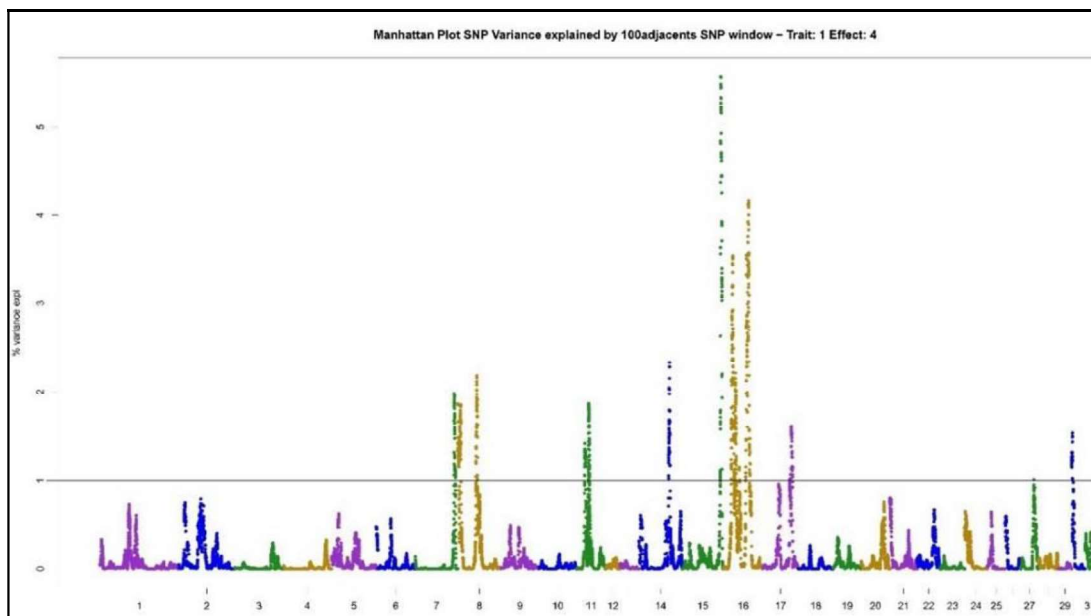


Figura 12. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica altura no dorso.

-Medida morfométrica: *Altura do costado*

Nos equinos da raça Campolina, para a medida morfométrica altura do costado, 38 SNPs foram responsáveis por explicar 39,7 % da variação que ocorre nesta característica, como mostrado na Tabela 35.

Tabela 35. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida altura do costado.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _495182	UKUL644	2	86949675	IR ⁴	90367779	IR ⁴	1,08970
B ⁵ _523610	B ⁵ _500645	2	92273256	NAA15	95837739	IR ⁴	1,31907
B ⁵ _479693	B ⁵ _506327	2	56250414	TRIM35	59750069	MTMR9	1,71977
B ⁵ _502006	B ⁵ _478194	2	50372243	IR ⁴	53469597	IR ⁴	2,13078
B ⁵ _493576	B ⁵ _495161	2	83433838	DCLK2	86785732	L ⁶ 102150014	2,39436
B⁵_504716	B⁵_531440	2	105441404	SPATA5	108915017	SYNPO2	5,35988
B ⁵ _808822	B ⁵ _809379	3	106709926	IR ⁴	109924274	IR ⁴	1,50089
B ⁵ _885491	B ⁵ _844359	4	119852	IR ⁴	3583974	CCDC146	1,16164
B ⁵ _324681	B ⁵ _326061	15	84518353	IR ⁴	89832250	COLEC11	2,77518
B ⁵ _346365	B ⁵ _348506	16	18164205	IR ⁴	21416988	IR ⁴	1,17177
B ⁵ _339261	B ⁵ _340722	16	32475664	DNAH12	35669202	CACNA1D	1,20437
TB ⁵ _349248	B ⁵ _351441	16	22265917	IR ⁴	25552768	IR ⁴	2,07133
TB⁵_567685	B⁵_541755	20	54078025	BMP5	57266636	IR⁴	3,72584
B⁵_574399	B⁵_576069	22	157780	IR⁴	3234075	IR⁴	5,86736
B ⁵ _690737	B ⁵ _659542	25	8430477	IR ⁴	11807689	IR ⁴	1,07038
B ⁵ _715469	B ⁵ _719292	27	31317380	IR ⁴	34846274	L ⁶ 111770903	2,19332
B ⁵ _771540	B ⁵ _736048	28	21886544	CCDC38	25672835	GAS2L3	1,09402
B ⁵ _736612	B ⁵ _737873	28	26801895	IR ⁴	30525410	POLR3B	1,82952

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

Os possíveis genes candidatos para a altura do costado foram *SPATA5* (*Spermatogenesis Associated 5*), *SYNPO2* (*Synaptopodin 2*) e *BMP5* (*Bone Morphogenetic Protein 5*) (Tabela 35 e Figura 13).

Os maiores picos representados no gráfico Manhattan para esta característica foram associadas aos SNPs BIEC2-574399 e BIEC2_576069, localizados no ECA22 que estão em região intergênica.

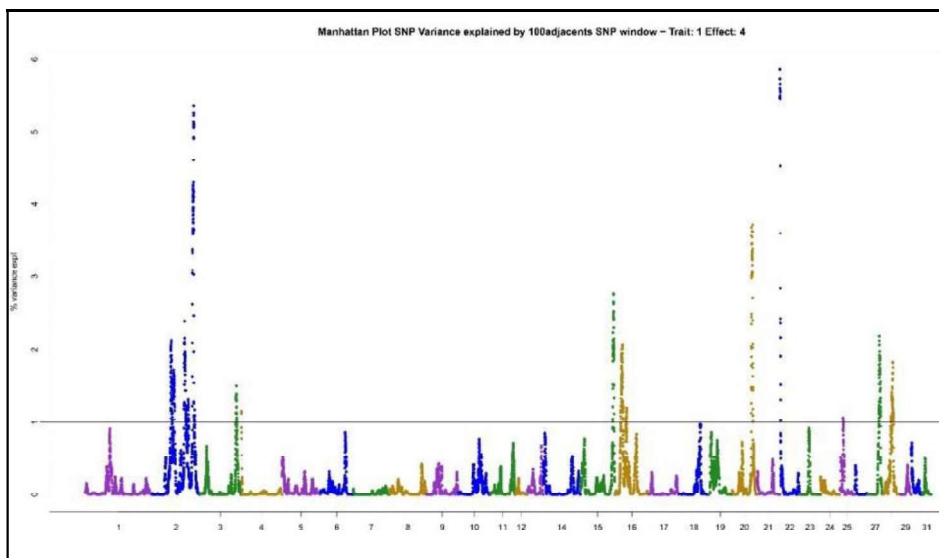


Figura 13. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica altura do costado.

-Medida morfométrica: *Comprimento da cabeça*

Para o comprimento da cabeça, 56 SNPs foram responsáveis por explicar 63,3% da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina, como mostra a Tabela 36.

Os genes que mais foram associados ao comprimento da cabeça foram *LOC100630169* e *KMO* (*Kynurenine 3-Monooxygenase*), explicando aproximadamente 9% da variação total da característica (Tabela 36).

Além destes, os possíveis genes candidatos para esta medida foram *HAUS8* (*HAUS Augmin Like Complex Subunit 8*), *PIK3R1* (*Phosphoinositide-3-Kinase Regulatory Subunit 1*), *PTPRG* (*Protein Tyrosine Phosphatase Receptor Type G*), *SLMAP* (*Sarcolemma Associated Protein*), *RGS7* (*Regulator Of G Protein Signaling 7*), *LOC100629602* e *FRMD4B* (*FERM Domain Containing 4B*) (Tabela 36 e Figura 14).

Tabela 36. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento da cabeça.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _25387	B ⁵ -25702	1	58043951	HK1	62642620	ADK	1,0678
B ⁵ _29785	TB ⁵ _31253	1	67440989	IR ⁴	70699368	IR ⁴	1,07126
B ⁵ _475277	B ⁵ _476768	2	42738837	RERE	45762311	AJAP1	1,34061
B ⁵ _479312	B ⁵ _481305	2	55639017	ADRA1A	59047935	RP1L1	1,60649
B⁵_477473	B⁵_478120	2	49786453	IR⁴	53080113	IR⁴	3,55474
B ⁵ _808822	B ⁵ _809379	3	106709926	IR ⁴	109924274	IR ⁴	1,27909
B ⁵ _913186	B ⁵ _914636	5	62320988	L ⁷ 111773572	65895388	IR ⁴	1,03873
B ⁵ _1048745	B ⁵ -1050270	8	45636035	IR ⁴	49037660	L ⁷ 111774833	1,12427
B ⁵ _1086540	TB ⁵ _1147997	9	33380282	SNTG1	36994660	IR ⁴	1,46953
B ⁵ _271832	B ⁵ _285977	14	84784889	SSBP2	88223886	WDR41	1,11292
B ⁵ _339972	B ⁵ _326067	15	84594799	IR ⁴	89846151	COLEC11	2,63253
B ⁵ _351603	B ⁵ _370552	16	55493263	RBMS3	58892707	NGLY1	1,58259
B ⁵ _330760	B ⁵ _332700	16	18040578	IR ⁴	21326779	IR ⁴	2,44461
B⁵_337327	TB⁵_354960	16	28806195	PTPRG	32029641	SLMAP	3,94041
TB⁵_349248	B⁵_351441	16	22265917	IR⁴	25552768	IR⁴	4,25388
B ⁵ _396859	B ⁵ _378568	17	53590285	IR ⁴	57184436	IR ⁴	1,03286
B ⁵ _401582	B ⁵ _383280	17	65175847	IR ⁴	68686891	CLYBL	1,0543
B ⁵ -409453	B ⁵ _409919	18	25806480	IR ⁴	29447391	IR ⁴	1,88782
B ⁵ _569437	B ⁵ _570933	20	56883112	IR ⁴	60513839	IR ⁴	1,28412
B⁵-547445	B⁵_576701	21	2768320	HAUS8	6235420	PIK3R1	3,96535
B ⁵ _577201	B ⁵ _579656	22	4959146	CFAP61	8370679	KIF16B	1,5258
B⁵-574399	B⁵_576069	22	157780	IR⁴	3234075	IR⁴	3,2729
C ⁶ 00068348	B ⁵ _667115	24	11328536	PLEKHG3	14474186	RAD51B	1,01895
B ⁵ -629109	B ⁵ _629794	24	1065610	GPR137C	4434073	TMEM260	1,59117
B ⁵ _718847	B ⁵ _721018	27	34493492	MCPH1	37682623	IR ⁴	1,70854
B⁵-715099	TB⁵_754589	27	30454170	IR⁴	34004650	L⁷100629602	3,28372
B⁵_814493	B⁵_816793	30	3856375	RGS7	7430735	IR⁴	3,32336
B⁵_853735	B⁵_855618	30	267996	L⁷100630169	3431435	KMO	8,83764

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶CUHSNP, ⁷LOC.

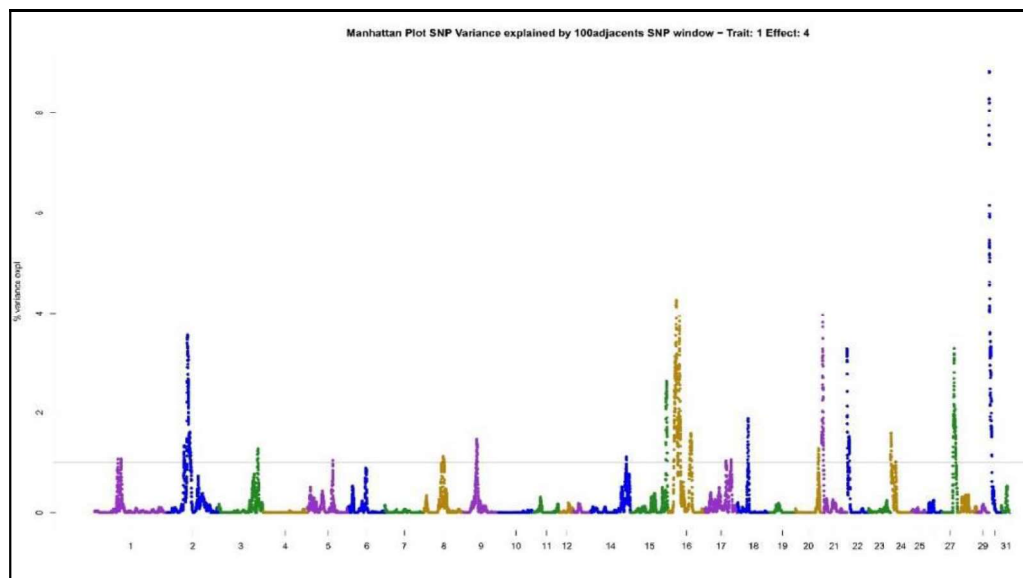


Figura 14. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento da cabeça.

-Medida morfométrica: *Comprimento do pescoço*

Para o comprimento do pescoço 46 SNPs foram responsáveis por explicar 56,7% da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina, como mostra a Tabela 37.

Tabela 37. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento do pescoço.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _493576	B ⁵ _495161	2	83433838	DCLK2	86785732	L ⁶ 102150014	1,09779
B ⁵ _478761	B ⁵ _505196	2	54659133	IR ⁴	57870056	HMBOX1	1,26935
B ⁵ _477545	B ⁵ _478173	2	50111576	IR ⁴	53366587	IR ⁴	2,9534
B ⁵ _808822	B ⁵ _809379	3	106709926	IR ⁴	109924274	IR ⁴	2,00333
B ⁵ _913186	B ⁵ _914636	5	62320988	L ⁶ 111773572	65895388	IR ⁴	1,59902
B ⁵ _1086540	TB ⁵ _1147997	9	33380282	SNTG1	36994660	IR ⁴	1,82488
B ⁵ _324681	B ⁵ -326061	15	84518353	IR ⁴	89832250	COLEC11/L ⁶ 111768171	2,90624
B ⁵ _335997	B ⁵ _337579	16	26135595	ADAMTS9	29277494	FHIT	1,08634
B ⁵ _341293	B ⁵ -343050	16	37504199	RAD54L2	40909960	IR ⁴	1,44548
B ⁵ _337860	B ⁵ _339488	16	29775058	FHIT	32929606	ARHGEF3	2,19441
B ⁵ _330760	B ⁵ _332700	16	18040578	IR ⁴	21326779	IR ⁴	2,64481
B⁵_351603	B⁵_370552	16	55493263	RBMS3	58892707	NGLY1	3,50462
TB⁵_349248	B⁵_351441	16	22265917	IR ⁴	25552768	IR ⁴	5,25245
B ⁵ _401582	B ⁵ _383280	17	65175847	IR ⁴	68686891	CLYBL	1,24034
B ⁵ _569437	B ⁵ _570933	20	56883112	IR ⁴	60513839	IR ⁴	1,73691
B⁵-547445	B⁵_576701	21	2768320	HAUS8	6235420	PIK3R1	3,53632
B ⁵ _577367	B ⁵ _579836	22	5268548	RIN2	8648046	IR ⁴	1,16657
B ⁵ _575047	B ⁵ _576785	22	762439	IR ⁴	4221565	IR ⁴	1,84865
B ⁵ -629109	B ⁵ _629794	24	1065610	GPR137C	4434073	TMEM260	1,70267
B ⁵ _718847	B ⁵ _721018	27	34493492	MCPH1	37682623	IR ⁴	2,11172
B⁵-715099	TB⁵_754589	27	30454170	IR⁴	34004650	L⁶100629602	3,78074
B ⁵ _814493	B ⁵ _816793	30	3856375	RGS7	7430735	IR ⁴	2,21335
B⁵_812505	B⁵_855714	30	744887	CATSPERE	3590631	IR⁴	7,60958

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

O gene *CATSPERE* (*Catsper Channel Auxiliary Subunit Epsilon*) explica sozinho 7,6% da variação total desta característica. Além deste, os possíveis genes candidatos para esta medida foram *LOC100629602*, *HAUS8* (*HAUS Augmin Like Complex Subunit 8*), *PIK3R1* (*Phosphoinositide-3-Kinase Regulatory Subunit 1*), *RBMS3* (*RNA Binding Motif Single Stranded Interacting Protein 3*) e *NGLY1* (*N-Glycanase 1*) (Tabela 37 e Figura 15).

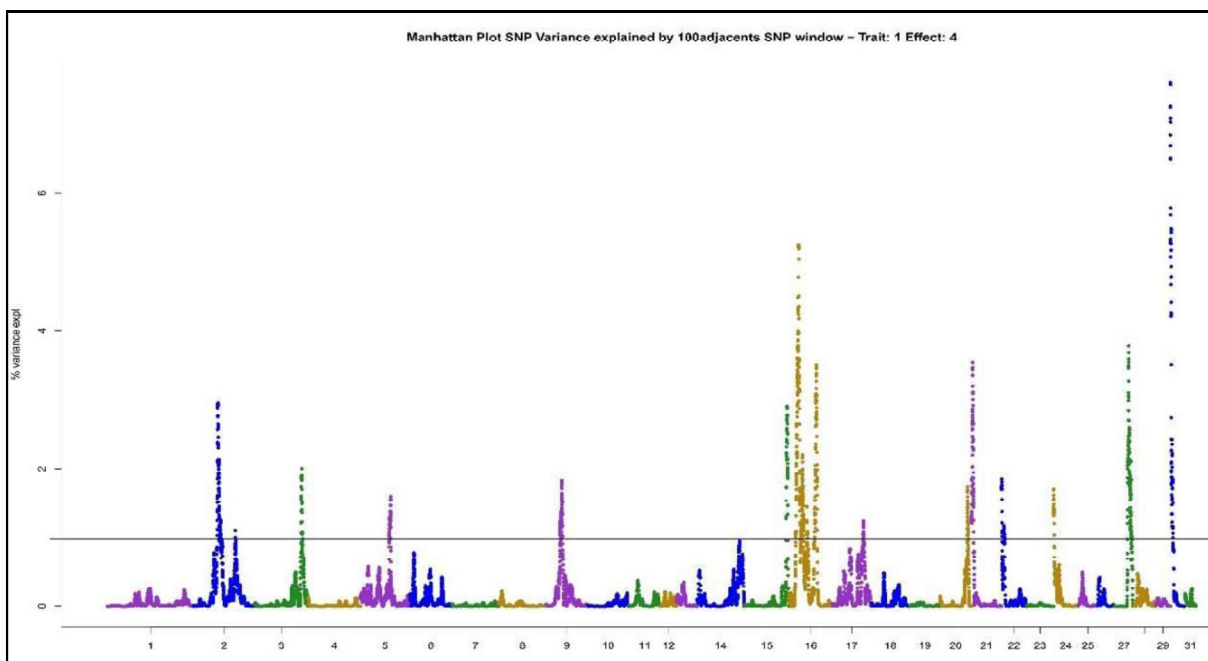


Figura 15. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento do pescoço.

-Medida morfométrica: *Comprimento do corpo*

Para o comprimento do corpo 44 SNPs foram responsáveis por explicar 49,4% da variação que ocorre nos equinos da raça Campolinacomo mostra a Tabela 38.

Os genes que explicaram 6% da variação total do comprimento do corpo foram *DNAJC3* (*DnaJ Heat Shock Protein Family (Hsp40) Member C3*), *CLYBL* (*Citramalyl-CoALyase*) e *LOC111768624*. Além destes, os possíveis genes candidatos a esta medida foram: *FHIT* (*Fragile Histidine Triad Diadenosine Triphosphatase*), *ARHGEF3* (*Rho Guanine Nucleotide Exchange Factor 3*), *SUCLG2* e *LOC111768472* (Tabela 38 e Figura 16).

Tabela 38. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento do corpo.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _29785	TB ⁵ _31253	1	67440989	IR ⁴	70699368	IR ⁴	1,15737
B ⁵ _477371	B ⁵ _478012	2	49403082	IR ⁴	52426496	IR ⁴	1,60090
B ⁵ _949777	B ⁵ _950870	6	39219462	L ⁶ 102148941	42413537	GRIN2B	1,40272
B ⁵ _1027884	B ⁵ _1031274	8	9430846	NF2	12893993	KIAA1671	1,33910
B ⁵ _1020631	B ⁵ _1080689	8	242392	TRMT2A	4696174	SMARCB1	2,04787
B ⁵ _1081648	B ⁵ _1027214	8	4993812	LZTR1	8637492	IR ⁴	2,65412
B ⁵ _272030	B ⁵ _260790	14	59140586	IR ⁴	62618144	IR ⁴	1,07958
B ⁵ _245742	B ⁵ _247065	14	14223276	IR ⁴	17636198	GABRB2	1,11423
B ⁵ _275440	B ⁵ _277720	14	90432259	IR ⁴	93540952	IR ⁴	1,33380
B ⁵ _274524	B ⁵ _275755	14	67084270	PPIP5K2	70045250	IR ⁴	2,24064
B⁵_324380	B⁵_325816	15	83022237	IR⁴	88753736	IR⁴	5,50270
B ⁵ _331584	B ⁵ _333858	16	19587775	IR ⁴	22996757	FAM19A1	1,34565
B ⁵ _352129	TB ⁵ _371331	16	56723805	ZCWPW2	60260587	THRB	1,69252
B ⁵ _349870	B ⁵ -351819	16	52465328	L ⁶ 111768385	55869780	RBMS3	1,79981
B⁵_334347	B⁵_336493	16	23706842	SUCLG2	26921908	IR⁴	3,71121
B⁵_337860	B⁵_339488	16	29775058	FHIT	32929606	ARHGEF3	3,89320
B⁵-381361	B⁵-382732	17	61627890	IR⁴	65274890	IR⁴	3,44702
B⁵_401633	B⁵_383299	17	65402250	DNAJC3	68800963	CLYBL/ L⁶111768624	5,95384
B ⁵ _535200	B ⁵ _566061	20	47360615	PTCHD4	50975260	L ⁶ 102148758	1,31289
B ⁵ _657938	B ⁵ _626788	23	46998051	IR ⁴	50350463	RPP25L	1,08323
B ⁵ _657790	B ⁵ _659881	25	9341042	IR ⁴	12721665	ZNF462	1,52678
B ⁵ -715469	B ⁵ _719292	27	31317380	IR ⁴	34846274	L ⁶ 111770903	2,15742

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

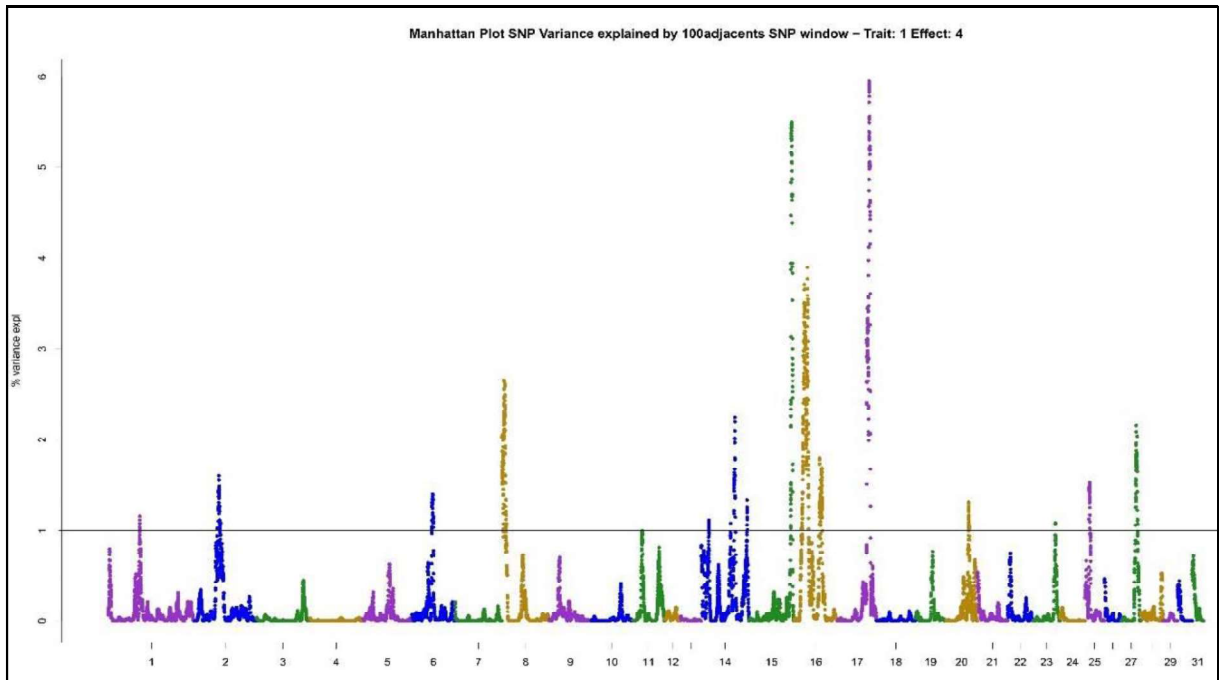


Figura 16. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento do corpo.

-Medida morfométrica: *Comprimento dorso-lombo*

Para o comprimento dorso-lombo, 36 SNPs foram responsáveis por explicar 37% da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina, como mostra a Tabela 39.

Os maiores picos representados no gráfico Manhattan para esta característica foram associadas aos SNPs BIEC2_170170 e BIEC2_172456 localizados no ECA 12 que estão em região intergênica.

Porém, alguns SNPs foram capazes de explicar de 1 a 3% da variação do comprimento dorso-lombo, sendo *CUL1*(*Cullin 1*), *UPB1* (*Beta-Ureidopropionase 1*), *LOC102147726*, *LOC106783470*, *GGH* (*Gamma-Glutamyl Hydrolase*), *TOX* (*Thymocyte Selection Associated High Mobility Group Box*), *YWHAQ* (*Tyrosine 3-Monooxygenase/Tryptophan 5-Monooxygenase Activation Protein Theta*), *FANCL* (*FA Complementation Group L*), *RAD54L2* (*RAD54 Like 2*), *SUCLG2*, *LOC100147031*, *DPP10* (*Dipeptidyl Peptidase Like 10*), *MLIP* (*Muscular LMNA Interacting Protein*), *SIPA1L1* (*Signal Induced Proliferation Associated 1 Like 1*), *LOC100057829*, *KMO* (*Kynurenine 3-Monooxygenase*) e *LOC111771326* (Tabela 39 e Figura 17).

Tabela 39. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento dorso-lombo.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _67812	B ⁵ _69569	1	149510802	IR ⁴	153552282	IR ⁴	1,34882
B ⁵ _68282	B ⁵ _72565	1	156657881	IR ⁴	160331436	IR ⁴	1,88615
B ⁵ _877414	B ⁵ _879106	4	98267927	IR ⁴	101383795	CUL1	2,53728
B ⁵ _1179146	B ⁵ _1013939	6	62738284	IR ⁴	66059918	IR ⁴	2,66968
B ⁵ _1022701	B ⁵ _1026360	8	2955972	UPB1	6545985	L ⁷ 102147726/L ⁷ 106783470	1,47352
B ⁵ _1079787	B ⁵ _1141086	9	22487096	GGH	25972915	TOX	1,18653
B⁵_170170	B⁵_172456	12	4967584	IR⁴	8312881	IR⁴	6,04846
B ⁵ _324815	B ⁵ _326150	15	85071116	YWHAQ	90216165	IR ⁴	1,51485
B ⁵ _306194	B ⁵ _307333	15	43632743	FANCL	46764822	IR ⁴	1,75864
B ⁵ _341293	B ⁵ _343050	16	37504199	RAD54L2	40909960	IR ⁴	1,1941
B ⁵ _338325	B ⁵ _340220	16	30811893	IR ⁴	34168901	IR ⁴	1,19692
B ⁵ _334347	B ⁵ _336493	16	23706842	SUCLG2	26921908	IR ⁴	2,88022
B ⁵ _421348	B ⁵ _405207	18	11439494	L ⁷ 100147031	15309973	DPP10	2,13523
B ⁵ _536107	B ⁵ _539452	20	48668104	IR ⁴	52647279	MLIP	1,6546
B ⁵ _539589	B ⁵ _541186	20	53058208	IR ⁴	56118175	IR ⁴	2,33923
B ⁵ _630353	B ⁵ _664217	24	6305498	IR ⁴	9571379	IR ⁴	1,67376
B ⁵ _669273	B ⁵ _638950	24	17318715	SIPA1L1	20785816	L ⁷ 100057829	2,2485
C ⁶ 00042048	B ⁵ _814157	30	188721	IR ⁴	3390284	KMO/ L ⁷ 111771326	1,25145

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶CUHNSNP, ⁷LOC.

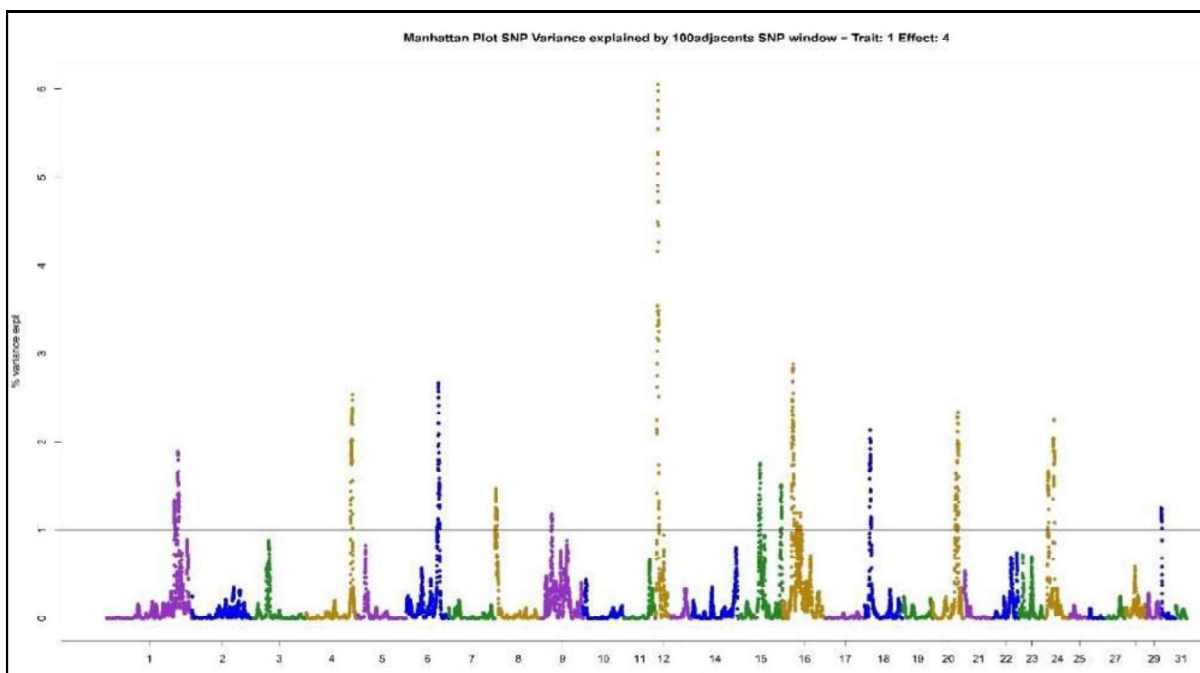


Figura 17. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento dorso-lombo.

-Medida morfométrica: *Comprimento da espádua*

Para o comprimento da espádua 38 SNPs foram responsáveis por explicar 54,3 % da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina, como mostra a Tabela 40.

Os possíveis genes candidatos o comprimento da espádua foram *LOC102150007*, *OSBPL1A* (*Oxysterol Binding Protein Like 1A*), *DNAJC3* (*DnaJ Heat Shock Protein Family (Hsp40) Member C3*) e *CLYBL* (*Citramalyl-CoA Lyase*) (Tabela 40 e Figura 18).

Os maiores picos representados no gráfico Manhattan para esta característica foram associadas a SNPs que estão localizados em região intergênica.

Tabela 40. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento da espádua.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _478010	B ⁵ _479401	2	52385955	ENTPD4	55885553	IR ⁴	1,74478
B ⁵ _896383	B ⁵ _944066	5	17031376	IR ⁴	20259918	ODR4	1,73859
B ⁵ _1063897	B ⁵ _1064542	8	80511313	IR ⁴	84535232	L ⁶ 111774567	1,11749
B ⁵ _1108976	B ⁵ _1052662	8	50746296	SS18	54212858	IR ⁴	2,04473
UKUL1862	B⁵_1107821	8	45593101	IR⁴	48930630	OSBPL1A	4,05113
B⁵_1103415	B⁵_1047941	8	41351747	L⁶102150007	44714054	IR⁴	4,29301
B ⁵ -1079450	B ⁵ _1081179	9	21781020	IR ⁴	25301487	IR ⁴	1,18221
B⁵_324380	B⁵_325816	15	83022237	IR ⁴	88753736	IR ⁴	11,62941
B ⁵ _352750	B ⁵ _354457	16	57738044	NEK10	61052171	L ⁶ 100061057	1,04056
B ⁵ _349870	B ⁵ -351819	16	52465328	L ⁶ 111768385	55869780	RBMS3	1,12389
B ⁵ _330760	B ⁵ _332700	16	18040578	IR ⁴	21326779	IR ⁴	1,54321
B ⁵ _333272	B ⁵ _351228	16	21866171	IR ⁴	25215443	MAGI1	2,43200
B ⁵ _379498	B ⁵ _381450	17	58872682	IR ⁴	61824477	GPC5	2,52139
B⁵_382791	B⁵_383300	17	65459354	DNAJC3	68800997	CLYBL	4,01896
B ⁵ _539300	B ⁵ _540605	20	52182476	L ⁶ 111769350	55177792	IR ⁴	1,95747
B ⁵ _584908	B ⁵ _587297	22	18630438	SLC23A2	21754497	NSFL1C	1,60752
B⁵-574399	B⁵_576069	22	157780	IR ⁴	3234075	IR ⁴	4,45828
B ⁵ -629109	B ⁵ _629794	24	1065610	GPR137C	4434073	TMEM260	1,17651
B ⁵ _654104	B ⁵ _656026	25	2620463	POLR1E	6173131	IR ⁴	0,16249
B ⁵ -657618	B ⁵ -659608	25	8669000	IR ⁴	11896440	IR ⁴	2,25981
B ⁵ -715469	B ⁵ _719292	27	31317380	IR ⁴	34846274	L ⁶ 111770903	1,00482
B ⁵ _813056	B ⁵ _815236	30	1520855	AKT3	4925535	KIF26B	1,19831

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

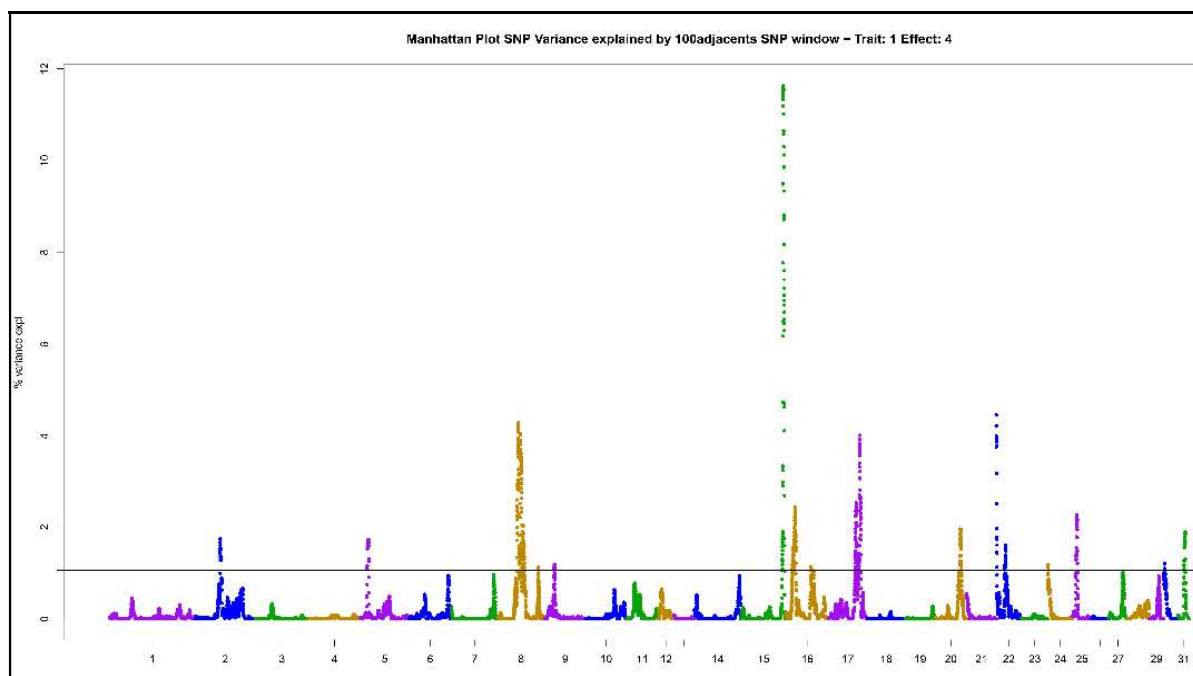


Figura 18. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento da espádua.

-Medida morfométrica: *Comprimento da garupa*

Para o comprimento da garupa, 42 SNPs foram responsáveis por explicar 49,4% da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina, como mostra a Tabela 41.

Tabela 41. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida comprimento da garupa.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _794764	B ⁵ _796500	3	78969519	CL8K	82126801	FRYL	1,09951
B ⁵ _907213	C ⁶ 00151109	5	43190272	MCL1	46572292	ZNF697	1,59414
B ⁵ _908684	B ⁵ _956495	5	49974954	IR ⁴	53644983	CHI3L2	2,84271
B⁵_913186	B⁵_914636	5	62320988	L⁷111773572	65895388	IR⁴	4,10559
B⁵_909709	B⁵_911617	5	55034995	L⁷100061761	58756074	IR⁴	4,13591
B ⁵ _141423	B ⁵ _150453	11	16778187	EFCAB3	20087463	TMEM106A	1,32483
B ⁵ _145243	B ⁵ _155185	11	25901294	IR ⁴	29079761	IR ⁴	1,71348
B ⁵ _157782	B ⁵ _159479	11	49237595	IR ⁴	52805256	GLP2R	1,98531
B ⁵ _253977	B ⁵ _245217	14	9846586	KCNIP1	12867793	TENM2	2,21479
B⁵_324717	B⁵_326082	15	84727041	IR⁴	89919591	IR⁴	4,03160
B⁵_346365	B⁵_348506	16	18164205	IR⁴	21416988	IR⁴	3,40264
B⁵-333554	B⁵_335655	16	22286640	L^{MOD3}	25602224	IR⁴	5,88836
B ⁵ _397018	B ⁵ _397990	17	55044493	IR ⁴	58533937	IR ⁴	1,01639
B ⁵ _401582	B ⁵ _383280	17	65175847	IR ⁴	68686891	CLYBL	1,67448
B ⁵ _376220	B ⁵ _395457	17	38344298	IR ⁴	41785502	IR ⁴	1,81766
B ⁵ _570151	B ⁵ _544037	20	58608425	IR ⁴	61991221	ADGRB3/L ⁷ 102147370	1,04771
B ⁵ _577367	B ⁵ _579836	22	5268548	RIN2	8648046	IR ⁴	1,00902
B ⁵ -574399	B ⁵ _576069	22	157780	IR ⁴	3234075	IR ⁴	2,80353
B ⁵ -629109	B ⁵ _629794	24	1065610	GPR137C	4434073	TMEM260	1,48054
B ⁵ _654104	B ⁵ _656026	25	2620463	POLR1E	6173131	IR ⁴	1,31600
B ⁵ _853735	B ⁵ _855618	30	267996	L ⁷ 100630169	3431435	KMO	2,86176

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶CUHSNP, ⁷LOC.

O gene que mais se associou ao comprimento da garupa foi *L^{MOD3}* (*Leiomodin 3*) explicando aproximadamente 6% da variação total da característica. Além deste os possíveis genes candidatos a esta medida foram *LOC111773572*, *LOC106781712* e *RNASEH1* (*Ribonuclease H1*) (Tabela 41 e Figura 19).

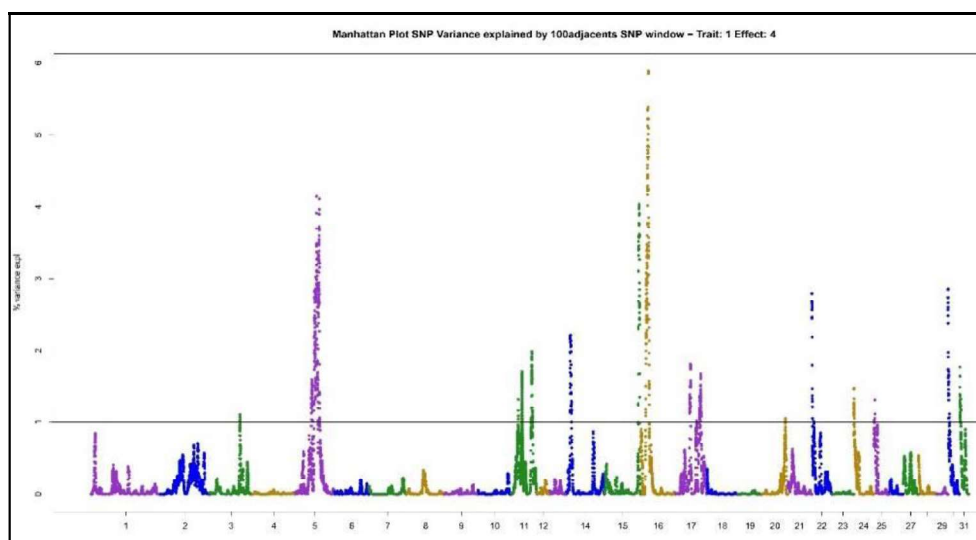


Figura 19. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica comprimento da garupa.

-Medida morfométrica: *Largura da cabeça*

Para a largura da cabeça 44 SNPs foram responsáveis por explicar 45,6 % da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina, como mostra a Tabela 42.

Tabela 42. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida largura da cabeça.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _44914	B ⁵ _45794	1	105752407	IR ⁴	109374964	IR ⁴	1,251160
B ⁵ _504738	B ⁵ _505612	2	105756024	BBS12	109198934	PRSS12	1,371060
B ⁵ _493576	B ⁵ _495161	2	83433838	DCLK2	86785732	L ⁶ 102150014	1,526120
B ⁵ _778997	B ⁵ _779452	3	43274685	IR ⁴	47355091	IR ⁴	1,223220
B⁵_782240	B⁵_783275	3	54344588	IR⁴	58163489	ANTXR2	3,634180
B⁵_1088912	B⁵_1034247	8	14822303	WSCD2	17720084	TAOK3	3,031180
B ⁵ _1079445	B ⁵ _1081165	9	21775164	IR ⁴	25289341	IR ⁴	1,117330
B ⁵ _162345	B ⁵ _164929	11	57002584	IR ⁴	60287593	DRC3	1,828960
B⁵-170152	B⁵_172453	12	4946080	IR⁴	8312646	IR⁴	6,593030
B ⁵ -257229	B ⁵ -258078	14	42330510	IR ⁴	46253760	CCDC192	1,054690
B ⁵ _275440	B ⁵ _277720	14	90432259	IR ⁴	93540952	IR ⁴	1,135020
B ⁵ _239904	UKUL2633	14	5136163	IR ⁴	8367844	UBTD2	1,750790
B ⁵ _359566	B ⁵ _362347	16	72598248	IR ⁴	76268824	CLSTN2	1,431210
B ⁵ _368350	B ⁵ _368960	17	9500015	IR ⁴	12993521	IR ⁴	1,715280
B ⁵ _430538	B ⁵ _431132	19	16966628	IR ⁴	20706312	PIK3CA	1,331760
B ⁵ -431717	B ⁵ _432331	19	23362390	IR ⁴	26849927	DGKG	2,247430
TB ⁵ _567698	B ⁵ -541757	20	54156141	IR ⁴	57279410	IR ⁴	1,564090
B ⁵ _690237	B ⁵ _659053	25	7783089	IR ⁴	11120506	ABCA1	1,451420
B ⁵ _728186	B ⁵ _730437	28	9698412	PPFIA2	13446013	IR ⁴	1,289870
B ⁵ -732680	B ⁵ _734445	28	18169240	IR ⁴	21655494	IR ⁴	1,293500
B ⁵ _736612	B ⁵ -737873	28	26801895	IR ⁴	30525410	POLR3B	2,415150
B⁵_771540	B⁵_736048	28	21886544	CCDC38	25672835	GAS2L3	5,399740

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

Os possíveis genes candidatos para a largura da cabeça foram *CCDC38* (*Coiled-Coil Domain Containing 38*), *GAS2L3* (*GrowthArrestSpecific 2 Like 3*), *ANTXR2* (*ANTXR Cell Adhesion Molecule 2*), *WSCD2* (*WSC Domain Containing 2*) e *TAOK3* (*TAO Kinase 3*) (Tabela 42 e Figura 20).

Os maiores picos representados no gráfico Manhattan para esta característica foram associadas aos SNPs (BIEC2_170152 e BIEC2_172453 pertencentes ao ECA12) que estão em região intergênica.

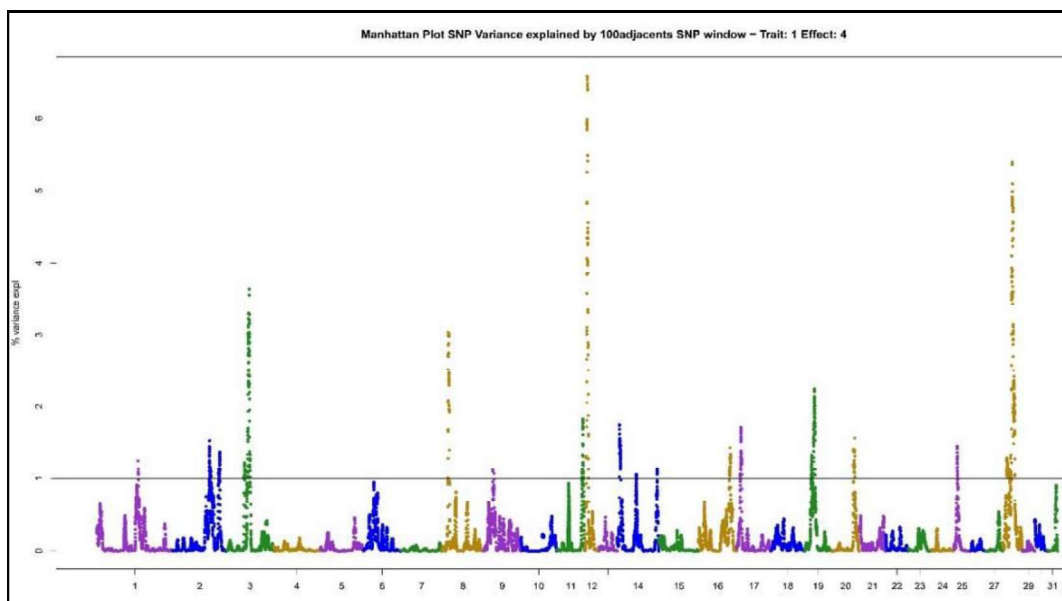


Figura 20. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica largura da cabeça.

-Medida morfométrica: Largura do peito

Para a largura do peito 52 SNPs foram responsáveis por explicar 59,8 % da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina, como mostra a Tabela 43.

Os possíveis genes candidatos para a largura do peito foram *LRCH1* (*Leucine Rich Repeats And Calponin Homology Domain Containing 1*), *DNAJC15* (*DnaJ Heat Shock Protein Family (Hsp40) Member C15*), *LOC100630169*, *KMO* (*Kynurenine 3-Monooxygenase*), *FAM19A1* (*Family with sequence similarity 19 (chemokine (C-C motif)-like), member A1*), *HAUS8* (*HAUS Augmin Like Complex Subunit 8*) e *PIK3R1* (*Phosphoinositide-3-Kinase Regulatory Subunit 1*) (Tabela 43 e Figura 21).

Os maiores picos representados no gráfico Manhattan para esta característica foram associadas aos SNPs BIEC2_569437 e BIEC2_570933 pertencentes ao ECA20 que estão em região intergênica.

Tabela 43. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida largura do peito.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _498017	B ⁵ _500434	2	92006907	MGST2	95488372	IR ⁴	1,11427
B ⁵ _485937	B ⁵ _487688	2	68275146	SPOCK3	71459785	IR ⁴	1,33566
B ⁵ _491309	B ⁵ _492863	2	78120655	MARCH1/TMA16	81660603	IR ⁴	1,33592
B ⁵ _495182	UKUL644	2	86949675	IR ⁴	90367779	IR ⁴	2,6295
B ⁵ _794764	B ⁵ _796500	3	78969519	CL6K	82126801	FRYL	1,36702
B ⁵ _942798	B ⁵ _897569	5	16979586	RGS8	20155141	IR ⁴	1,09905
B ⁵ _913186	B ⁵ _914636	5	62320988	L ⁶ 111773572	65895388	IR ⁴	1,41095
B ⁵ _985608	B ⁵ _938949	6	6431920	IR ⁴	9431716	IR ⁴	1,31266
B ⁵ _950340	B ⁵ _1000378	6	41068825	IR ⁴	44568566	IR ⁴	2,80197
B ⁵ _324681	B ⁵ _326061	15	84518353	IR ⁴	89832250	COLEC11/L ⁶ 111768171	1,61276
B ⁵ _337327	TB ⁵ _354960	16	28806195	PTPRG	32029641	SLMAP	1,03674
B ⁵ _330377	B ⁵ _331573	16	15755317	CNTN6	19576261	IR ⁴	1,3612
B ⁵ _350009	B ⁵ _336467	16	23642036	SUCLG2	26857799	ATXN7	1,67774
B⁵_331584	B⁵_333858	16	19587775	IR⁴	22996757	FAM19A1	4,28114
B ⁵ _375994	B ⁵ _376592	17	36869757	IR ⁴	40613000	PCDH9	1,16634
B⁵-374124	B⁵_393244	17	24082600	LRCH1	27164183	DNAJC15	4,95059
B⁵_569437	B⁵_570933	20	56883112	IR⁴	60513839	IR⁴	8,97172
B⁵-547445	B⁵_576701	21	2768320	HAUS8	6235420	PIK3R1	3,01345
UKUL3579	B ⁵ _580611	22	6392806	DTD1	10057809	MACROD2	1,91942
B ⁵ _575047	B ⁵ _576785	22	762439	IR ⁴	4221565	IR ⁴	2,9294
B ⁵ -629109	B ⁵ _629794	24	1065610	GPR137C	4434073	TMEM260	1,40106
B ⁵ -715099	TB ⁵ _754589	27	30454170	IR ⁴	34004650	L ⁶ 100629602	2,2549
B ⁵ _728017	B ⁵ _730233	28	9432451	ACSS3	13134454	IR ⁴	1,06969
B ⁵ _820249	B ⁵ _823128	30	11846832	IR ⁴	15765096	IR ⁴	1,53577
B ⁵ _856290	B ⁵ _858812	30	4328032	FMN2/L ⁶ 111771297	7950810	TMEM63A	1,72107
B⁵_853735	B⁵_855618	30	267996	L⁶100630169	3431435	KMO	4,47797

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

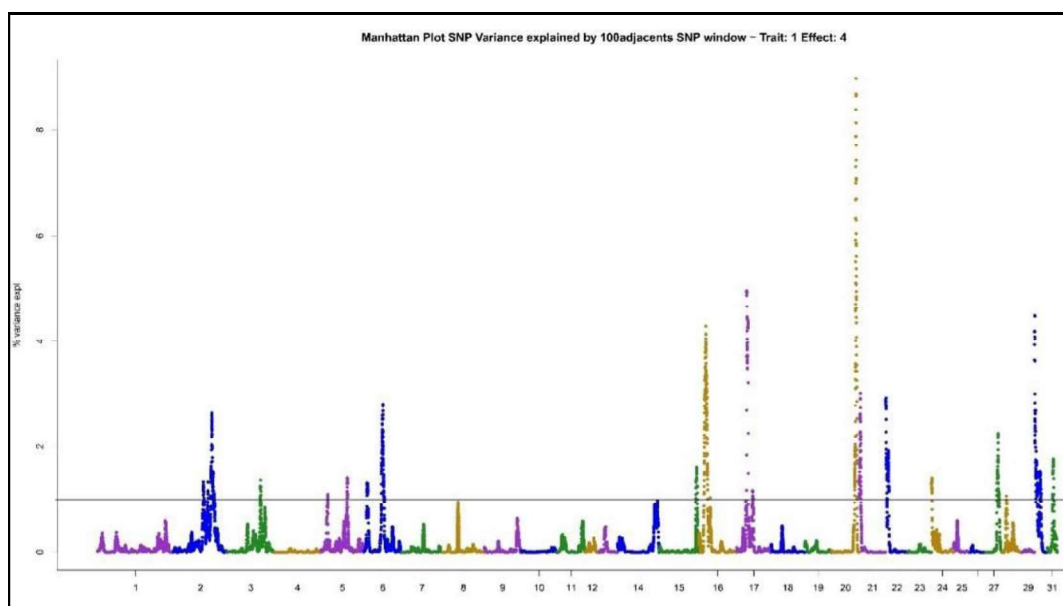


Figura 21. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica largura do peito.

-Medida morfométrica: *Largura entre as ancas*

Para a largura entre as ancas 42 SNPs foram responsáveis por explicar 60,9 % da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina, como mostra a Tabela 44.

Os genes que mais foram associados a largura entre as ancas foram *LRCH1* (*Leucine Rich Repeats And Calponin Homology Domain Containing 1*) e *DNAJC15* (*DnaJ Heat Shock Protein Family (Hsp40) Member C15*), explicando os dois juntos 8,6% da variação total da característica.

Além destes, os possíveis genes candidatos a esta medida foram *SPOCK3* (*SPARC (Osteonectin), Cwcv And Kazal Like Domains Proteoglycan 3*), *MARCH1* (*Membraneassociatedring-CH-typefinger 1*), *TMA16* (*Translation Machinery Associated 16 Homolog*), *FOXP1* (*Forkhead Box P1*), *ZNF827* (*Zinc Finger Protein 827*), *LOC102150924*, e *LRRC6* (*Leucine Rich Repeat Containing 6*) (Tabela 44 e Figura 22).

Tabela 44. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida largura entre as ancas.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B⁵_495190	B⁵_497206	2	87084943	ZNF827	90484234	IR⁴	3,26155
B⁵_502493	B⁵_503538	2	98631169	IR⁴	101909442	IR⁴	4,25615
B⁵_485938	B⁵_512746	2	68276174	SPOCK3	71466816	MARCH1/TMA16	4,46678
B ⁵ _842653	B ⁵ _847304	3	91829039	IR ⁴	98523446	IR ⁴	1,70293
B ⁵ _938203	B ⁵ _939100	6	6944017	IR ⁴	10133932	IR ⁴	1,91029
B ⁵ _950340	B ⁵ _1000378	6	41068825	IR ⁴	44568566	IR ⁴	2,19000
B⁵_1105552	B⁵_1106403	9	75465169	LRRC6	78793762	IR⁴	3,01475
B ⁵ _271638	B ⁵ _285847	14	84604432	L ⁶ 111767899	87954210	IR ⁴	1,00272
B ⁵ _324681	B ⁵ _326061	15	84518353	IR ⁴	89832250	COLEC11/L ⁶ 111768171	1,14696
B ⁵ -332371	B ⁵ _334832	16	20755410	IR ⁴	24237387	IR ⁴	2,30376
B⁵_330609	B⁵-332316	16	17034249	IR⁴	20707500	FOXP1	3,43069
B ⁵ _369202	B ⁵ _388570	17	14596166	DCLK1	18205226	IR ⁴	2,18572
B⁵-374124	B⁵_393244	17	24082600	LRCH1	27164183	DNAJC15	8,64999
B⁵_409356	B⁵_430982	18	25444336	IR⁴	29201588	IR⁴	4,96485
B ⁵ _569437	B ⁵ _570933	20	56883112	IR ⁴	60513839	IR ⁴	3,70531
B ⁵ _547398	B ⁵ _548529	21	2548594	NWD1	6149889	IR ⁴	2,82273
B ⁵ _577154	B ⁵ _579500	22	4903099	CFAP61	8180756	IR ⁴	1,00004
B ⁵ _575047	B ⁵ _576785	22	762439	IR ⁴	4221565	IR ⁴	2,79492
B ⁵ -629109	B ⁵ _629794	24	1065610	GPR137C	4434073	TMEM260	1,62502
B ⁵ -715099	TB ⁵ _754589	27	30454170	IR ⁴	34004650	L ⁶ 100629602	1,44994
B ⁵ _853735	B ⁵ _855618	30	267996	L ⁶ 100630169	3431435	KMO	2,97655

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

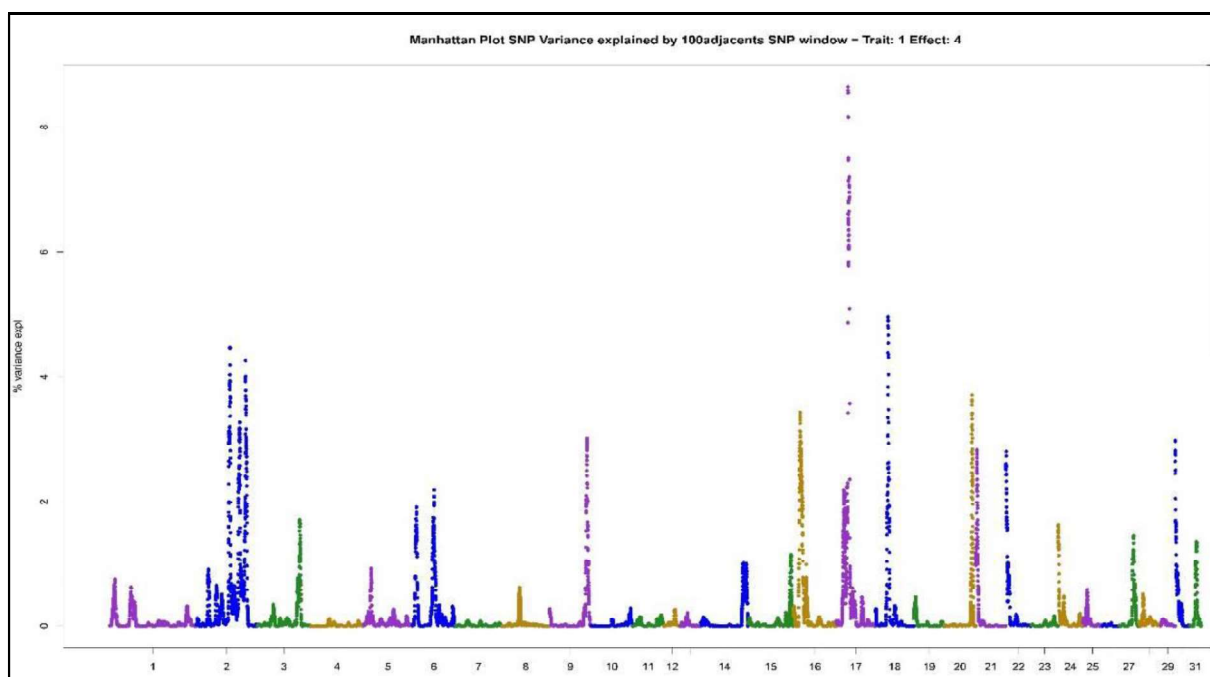


Figura 22. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica largura entre as ancas.

-Medida morfométrica: *Perímetro torácico*

Nos equinos da raça Campolina, para a medida do perímetro torácico, 40 SNPs foram responsáveis por explicar 47,3 % da variação que ocorre na característica avaliada, como mostra a Tabela 45.

Tabela 45. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida perímetro torácico.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _25387	B ⁵ -25702	1	58043951	HK1	62642620	ADK	1,47485
TB ⁵ _518668	B ⁵ _520307	2	82846471	LRBA	86530072	SLC10A7	1,04703
B ⁵ _498183	TB ⁵ _526349	2	92328698	NAA15	96024095	IR ⁴	1,22032
B ⁵ _477545	B ⁵ _478173	2	50111576	IR ⁴	53366587	IR ⁴	1,68702
B ⁵ _841947	B ⁵ _805413	3	90763671	IR ⁴	97407517	IR ⁴	1,19084
B ⁵ -797859	B ⁵ _841946	3	84394640	IR ⁴	90763495	IR ⁴	1,62994
B⁵_879286	B⁵_928888	4	101727149	ZNF212	105228301	DPP6	3,38659
B ⁵ _1025484	B ⁵ _1027255	8	5025956	CRKL	8696314	IR ⁴	2,45365
B ⁵ _139208	B ⁵ _140977	11	11955139	IR ⁴	15145383	PECAM1	1,44079
B ⁵ _287067	B ⁵ _289651	15	11539208	IR ⁴	15033787	IR ⁴	1,33238
B⁵_324815	B⁵_326150	15	85071116	YWHAQ	90216165	IR⁴	6,0494
B ⁵ _351676	B ⁵ _337441	16	25859738	L ⁶ 106781817	29020509	IR ⁴	1,43847
B ⁵ _330851	B ⁵ _332944	16	18242801	L ⁶ 111768304	21549103	MITF	2,19525
B⁵-333554	B⁵_335655	16	22286640	LMOD3	25602224	IR⁴	9,03003
B ⁵ _381962	B ⁵ _382933	17	62909057	GPC5	66281062	HS6ST3	1,5029
B⁵_570151	B⁵_544037	20	58608425	IR⁴	61991221	ADGRB3/L⁶102147370	3,90686
B ⁵ -547445	B ⁵ _576701	21	2768320	HAUS8	6235420	PIK3R1	1,37936
B ⁵ _552082	B ⁵ _553979	21	11852093	IR ⁴	15292338	IR ⁴	2,54952
B ⁵ _630353	B ⁵ _664217	24	6305498	IR ⁴	9571379	IR ⁴	1,34954
B ⁵ _812505	B ⁵ _855714	30	744887	CATSPERE	3590631	IR ⁴	1,02398

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶LOC.

O gene que mais foi associado ao perímetro torácico foi o *LMOD3* (*Leiomodin 3*), explicando 9,0% da variação total da característica. Além deste, os possíveis genes candidatos a esta medida foram *YWHAQ* (*Tyrosine 3-Monooxygenase/Tryptophan 5-Monooxygenase Activation Protein Theta*), *ADGRB3* (*Adhesion G Protein-Coupled Receptor B3*) e *LOC102147370*(Tabela 45 e Figura 23).

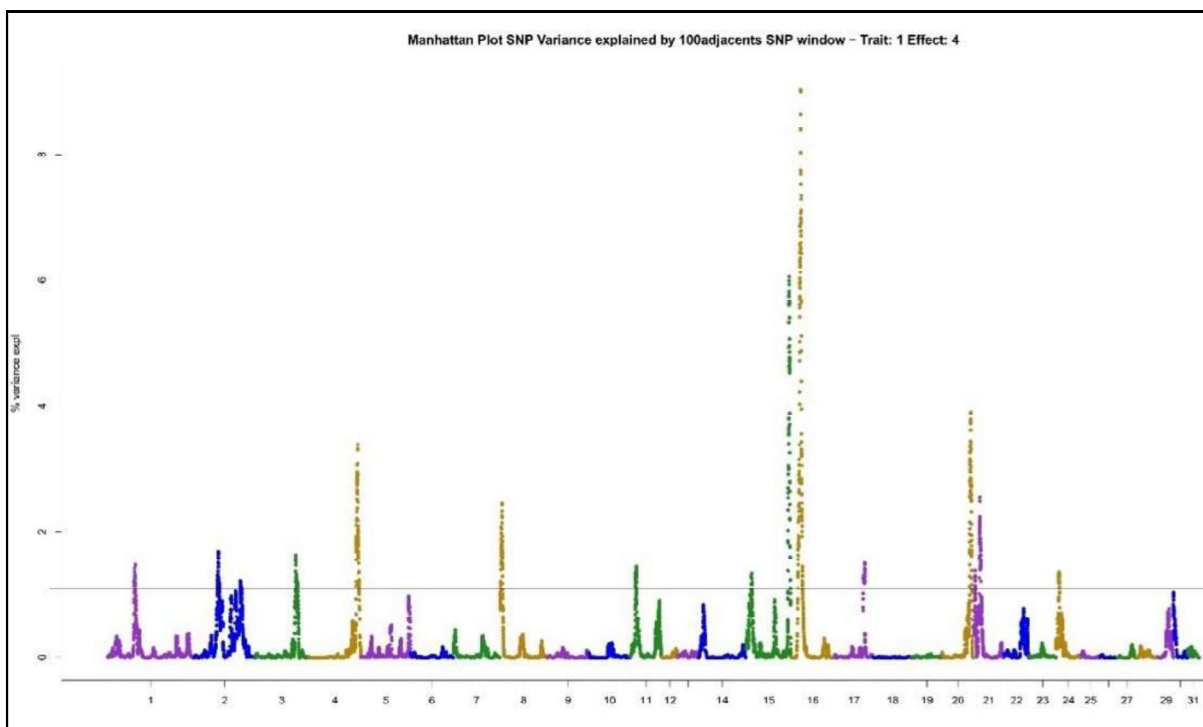


Figura 23. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica perímetro torácico.

-Medida morfométrica: *Perímetro da canela torácica*

Em relação a medida morfométrica do perímetro da canela torácica, 40 SNPs foram responsáveis por explicar 60,3 % da variação que ocorre nos equinos da raça Campolina, (Tabela 46).

O gene que foi associado ao perímetro da canela torácicafoi o *GLIS3* (*GLIS Family Zinc Finger 3*) explicando 18,6% da variação total da característica. Além deste, outro possível gene candidato a esta medida foi o *LOC106781436* (Tabela 46 e Figura 24).

Tabela 46. Nome e posição dos SNPs no cromossomo e proporção da variância genética aditiva explicada associados a medida perímetro da canela torácica.

Nome SNP1	Nome SNP2	Chr ¹	P ² . SNP1	Gene	P ² . SNP2	Gene	Va ³ (%)
B ⁵ _18843	B ⁵ _20328	1	40363993	RNLS	44013804	IR ⁴	1,66815
B⁵_867008	B⁵_867784	4	55937286	IR⁴	60196216	IR⁴	3,07570
B ⁵ _1151762	B ⁵ _1092803	9	46298722	STK3	49582374	UBR5	1,01959
B ⁵ _143164	B ⁵ _144586	11	20905582	ZNF385C	24038863	IR ⁴	1,19487
B ⁵ _149808	B ⁵ -150506	11	33580784	SKA2	36847420	ACACA/C11H17orf78	1,49958
B⁵_145243	B⁵_155185	11	25901294	IR⁴	29079761	IR⁴	8,09867
TB⁵_178712	B⁵_180983	12	5251031	IR⁴	8628595	L⁷106781436	3,00200
B ⁵ _229833	B ⁵ _242784	13	30109643	IR ⁴	33999610	TXNDC11	1,26501
B ⁵ _266212	B ⁵ _268188	14	75046833	IR ⁴	78443589	IR ⁴	2,00365
B ⁵ -262434	B ⁵ _263624	14	67053890	PPIP5K2	70004968	IR ⁴	2,91116
B ⁵ _312008	B ⁵ _312439	15	56224314	THADA	59796221	CDKL4	1,09652
B ⁵ _433038	B ⁵ _435017	19	28767782	LPP	32002704	FGF12	1,25976
B ⁵ _459076	B ⁵ _437892	19	34613792	ACAP2	37970111	KALRN	1,57553
TB ⁵ _569647	B ⁵ _571298	20	58106934	IR ⁴	61332475	IR ⁴	1,15740
B ⁵ _564680	B ⁵ _566726	21	39156728	IR ⁴	42515549	CDH18	1,01839
B ⁵ _625130	B ⁵ _658049	23	44248794	IR ⁴	47670132	IR ⁴	1,02837
B ⁵ _648758	B ⁵ _650807	23	18177051	GDA	21512716	PGM5	2,28013
TB⁵_652844	B⁵_622232	23	24883328	GLIS3	28425207	IR⁴	18,62672
B ⁵ _702547	B ⁵ _705103	27	8309481	IR ⁴	12042971	NRG1	1,53469
C⁶00102179	B⁵_702402	27	3362152	IR⁴	8119238	IR⁴	5,02570

¹Cromossomo, ²Posição, ³Variância genética aditiva, ⁴SNP na região intergênica, ⁵BIEC2, ⁶CUHNSNP, ⁷LOC.

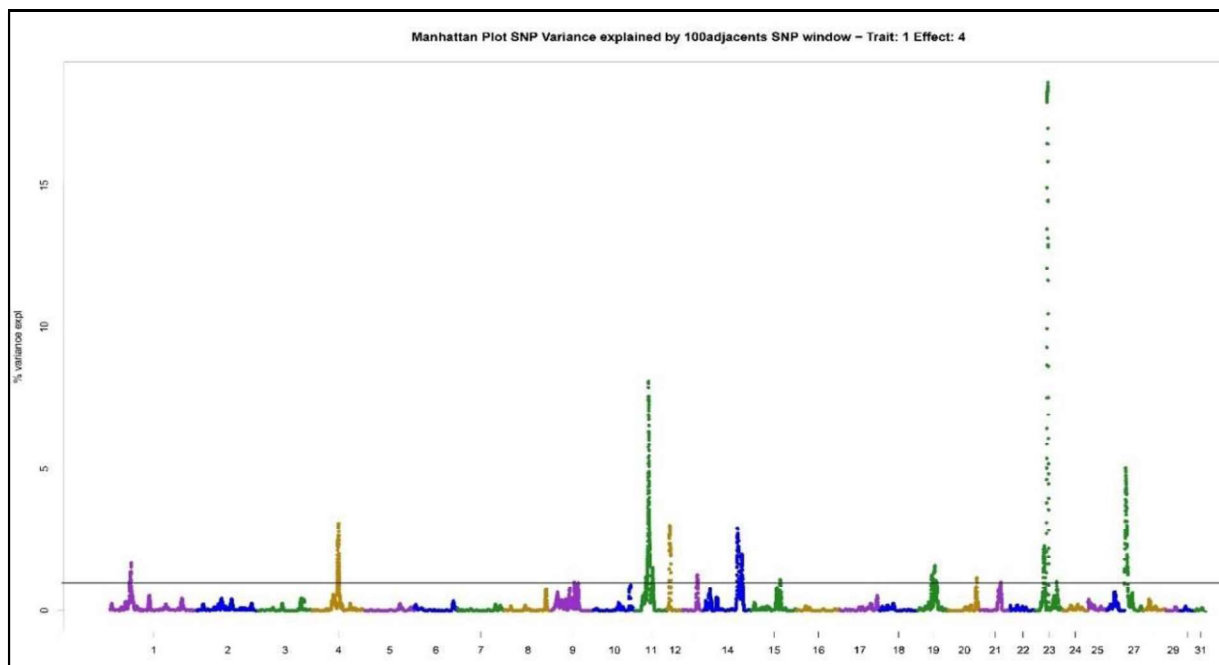


Figura 24. Gráfico Manhattan da proporção de variância genética aditiva explicada por janelas de 100 SNPs adjacentes para a medida morfométrica perímetro da canela.

4 DISCUSSÃO

Com o intuito de melhorar as características de produção e compreender os padrões de seleção, é necessário decifrar a base genética das medidas morfométricas. Para tanto o GWAS é uma ferramenta que auxilia neste entendimento dos genes que estão associados a essas características.

A primeira medida morfométrica avaliada foi a altura na cernelha, sendo esta uma característica que possui alta correlação fenotípica e genotípica (Diaz et al., 2021) com as demais medidas, além de ser a principal para a obtenção do registro definitivo na ABCCCampolina. Observou-se que 12% da variação da altura na cernelha pode ser explicada pelos genes *THRB*, *ZCWPW2*, *RBMS3*, *LOC111768385* e *SUCLG2*, localizados no ECA 16. Ou seja, esses genes são responsáveis por mecanismos fisiológicos que promovem a estatura média do equino da raça Campolina de 1,56m.

O gene *THRB* é responsável por codificar os receptores do hormônio tireoidiano, ou seja, regular os efeitos dos hormônios T3 e T4 (Oppenheimer, 1979; Sap et al., 1986; Weinberger et al., 1986; Glass e Holloway, 1990; Johansson et al., 2021). Estudos observaram que deficiências no gene *THRB* promovem, em camundongos e humanos, níveis elevados de hormônio tireoidiano (Forrest et al., 1996), o que ocasiona o bócio, retardo do crescimento, níveis séricos elevados de T3 e T4 livres, níveis normais ou discretamente elevados de TSH (Beck-Peccoz e Chatterjee, 1994).

O *ZCWPW2* é um gene que codifica a proteína de ligação ao zinco (Liu et al., 2016a). Está frequentemente envolvido na remodelação da cromatina, reconhecimento de metilação, regulação epigenética e início desenvolvimento embrionário (Liu et al., 2016b).

O *RBMS3* é um gene que regula positivamente o colágeno tipo I em fibroblasto, e é responsável por regular a replicação do DNA, a transcrição do gene, a progressão do ciclo celular e controle do metabolismo do RNA (Niki et al., 2000; Penkov et al., 2000; Arvanitis e Felsher, 2006; Fritz e Stefanovic, 2007). Estudos observaram que variações no gene *RBMS3* podem produzir distúrbios ósseos genéticos caracterizados por ossos frágeis, como osteogênese imperfeita e foram associados a diminuição na massa óssea e fraturas osteoporóticas, ou seja, é um gene de renovação óssea (Rauch e Glorieux, 2004; Kiel et al., 2007).

O gene *SUCLG2* possui como função a produção da enzima succinato-CoA ligase, pertencente ao ciclo de Krebs (ciclo do ácido cítrico) (Demirbas et al., 2019). Segundo Miller et al. (2011) mutações que ocorrem neste gene podem comprometer o crescimento humano, isto devido ao comprometimento do ciclo de Krebs, sendo vital ao metabolismo intermediário.

Diferentemente dos genes observados neste estudo associados a variação da altura na cernelha, diversos autores, em diferentes raças de equinos, como Puro Sangue Inglês, Hanoverian Warmblood, German Warmblood, Franches Montagnes, Quarto de Milha, American Belgian, Ardennais, Brabant, Clydesdale, Shire, Frisian, Percheron, Suffolk Punch, Puerto Rican Paso Fino, American Miniature, Caspian, DasrtmoorPony, Falabella, Shetland Pony, Welsh Mountain Pony e Welsh Pony. Constataram que os genes *LCORL*, *NCAPG*, *HMG2*, *ZFAT*, *LASPI*, *IGF1R*, *ADAMTS17* e *ANKRD1* estão associados as variações da medida morfométrica altura na cernelha (Signer-Hasler et al., 2012; Metzger et al., 2013; Tetens et al., 2013; Meira et al., 2014; Tozaki et al., 2016; Al Abri et al., 2018).

A ABCCCampolina preconiza uma altura na garupa até 2cm menor que altura na cernelha, a diferença na expressão destas características provavelmente deve-se a diferença de dois genes, altura na garupa (*FBXL2* e *UBP1*) e altura na cernelha (*SUCLG2*); e pela diferença da variância genética aditiva de cada um desses genes *RBMS3*, *ZCWPW2* e *THRB*.

O gene *FBXL2* é responsável por intervir em várias interações moleculares importantes que governam a parada miótica e a saída do ciclo celular. Além dessas funções, regula o influxo de cálcio mitocondrial eliminando o Inositol 1,2,5-trifosfato receptor 3 (IP3R3) localizado no retículo endoplasmático, através do proteossoma para reduzir a sensibilidade a estímulos apoptóticos dependentes de cálcio (Chen et al., 2013; Kuchay et al., 2013; Kuchay et al., 2017).

A medida morfométrica altura no dorso apresentou os mesmos genes que a altura na cernelha, explicando aproximadamente 17% da variação total desta característica. Isto revela que a altura no membro anterior do equino da raça Campolina é controlada pelos mesmos genes. Já no membro posterior observou-se que estes genes explicaram diferentes porcentagens da variação destas medidas comparados ao membro anterior.

Já para a medida de altura no costado os genes observados foram diferentes das alturas citadas anteriormente. Isto pode ser devido ao fato da altura do costado estar mais relacionada com a profundidade do tronco do cavalo, do que com a altura (McManus et al., 2005). Sendo os genes *SPATA5*, *SYNPO2* e *BMP5* capazes de explicar aproximadamente 15% da variação desta medida.

O gene *SPATA5* desempenha importante papel na degradação de proteínas, na replicação de DNA, nas ocorrências de fusão de membrana e no movimento de microtúbulos em vários compartimentos celulares (Bar-Num e Glickman, 2012). Em estudo em humanos, verificaram que variações neste gene pode causar baixa estatura e anormalidades esqueléticas (Strauss et al., 2015); distúrbios do movimento como hipotonia, distonia ou espasticidade (Buchert et al., 2016). Então esse gene pode alterar o tamanho da altura no costado e, conseqüentemente, atuar no desempenho locomotor do equino.

O gene *SYNPO2* está relacionado com a função de realizar a migração celular mediante a montagem de feixes periféricos de actina e aderências focais, que são responsáveis por emitir sinalização para transmitir as informações das qualidades bioquímicas e físicas da matriz extracelular (De Ganck et al., 2009; Kai et al., 2015).

O gene *BMP5* pertence grupo que constitui as proteínas morfogenéticas ósseas (*BMPs*). Possuem as funções como regulação da formação óssea, mediações importantes das interações indutivas do tecido durante a embriogênese (Liem et al., 1995; Lyons et al., 1995; Dudley e Robertson, 1997; Furuta et al., 1997). É importante relatar que segundo Hogan (1996), os genes membros da família *BMP* estão envolvidos no desenvolvimento de quase todos os órgãos e tecidos de vertebrados, bem como no início da determinação do eixo embrionário. O gene *BMP5* codifica proteínas que são expressas desde os primeiros estágios do desenvolvimento do esqueleto na maioria dos ossos (Solloway e Robertson, 1999). Estudo relataram que mutações de perda de função no gene *BMP5*, em camundongos, ocasiona orelhas pequenas, defeitos no desenvolvimento de elementos ósseos específicos e vários tecidos moles (Green e Green, 1942; Green, 1951; Kingsley et al., 1992).

Para a medida comprimento da cabeça os genes *KMO* e *LOC100630169* (ECA30) explicaram aproximadamente 9% da variação desta característica, e junto aos genes *RGS7*, *LOC100629602*, *HAUS8*, *PIK3R1*, *SLMAP* e *PTPRG*, explicam 34,6% da variação, ou seja, poucos genes têm alta capacidade de modificar a medida.

Alterações na expressão do gene *KMO* estão associadas a ocorrência de distúrbios cerebrais, de cognição e transtornos afetivos (Campbell et al., 2014; Maddison e Giorgini, 2015; Stone e Darlington, 2013), e pode provocar alterações nos gânglios corticobásicos circuitos, levando a movimentos voluntários e involuntários anormais, falta de coordenação motora, defeitos posturais, junto com déficits cognitivos e sintomas psiquiátricos (Cowan e Raymond, 2006; Ross et al., 2014; Beaumont et al., 2016).

A expressão do gene *RGS7* leva à estabilização e regulação positiva da proteína *RGS7*, e com isso controla a liberação de potássio e cálcio para os devidos canais (Benzing et al.,

1999; Gerber et al., 2015). Estudos em camundongos revelaram que alterações neste gene foram associados a problemas neuronais, comportamentais e de locomoção (Gerber et al., 2015).

O gene *SLMAP* é uma proteína adaptada identificada nas células do miocárdio, é conhecida por estar envolvida na fusão de mioblastos durante o desenvolvimento embrionário, acoplamento excitação-contração em miócitos cardíacos e progressão do ciclo celular (Wigle et al., 1997; Guzzo et al., 2004a; Guzzo et al., 2004b; Guzzo et al., 2005; Nader et al., 2012).

O comprimento do pescoço está diretamente relacionado com a movimentação do equino, pois através do movimento de balsa com o pescoço ocorre um desequilíbrio, por causa do centro de gravidade e, portanto, o cavalo começa a se movimentar (Back e Clayton, 2013). Porém o tamanho do pescoço tem que ser proporcional ao comprimento de cabeça e do corpo, caso contrário ocorre problemas estruturais no equino. Para esta medida o gene *CATSPERE* foi responsável por aproximadamente 8% da variação. Junto a este, os genes *LOC100629602*, *HAUS8*, *PIK3R1*, *RBMS3* e *NGLY1* explicaram mais de 18% da variação do comprimento do pescoço.

O gene *NGLY1* produz uma enzima de desglicosilação conservada evolutivamente. Esta desglicosilação demonstrou, em *Drosophila*, regular a sinalização da proteína morfogenética óssea específica do tecido (Galeone et al., 2017). Alterações no gene podem ocasionar atraso global de desenvolvimento psicomotor, distúrbio de movimento, disfunção hepática e alacrimia (Enns et al., 2014; Lam et al., 2018).

O comprimento do corpo teve maiores associações com genes diferentes ao do comprimento do pescoço, revelando que diferentes genes são responsáveis pelas diferentes partes do corpo. Os genes *DNAJC3*, *CLYBL* e *LOC111768624* foram responsáveis pela maior variação desta medida (~6%). Juntos aos genes *FHIT*, *ARHGEF3*, *SUCLG2* explicaram aproximadamente 14% da variação do comprimento do corpo.

O gene *CLYBL*, segundo Calvo et al. (2016), é responsável pela formação de uma enzima solúvel na matriz mitocondrial que possui função desconhecida. Como é semelhante a subunidade beta dacitratolase, que cliva o citrato em oxaloacetato e acetil-CoA, e os mamíferos careceram de outras subunidades do complexo enzimático citrato-liase, sugere-se atividade enzimática alternativa para *CLYBL*. Estudos apontam, até o momento, que a redução de circulação da B₁₂ está associada a mutações que ocorrem neste gene, sendo o único fenótipo relatado (Lin et al., 2012; Grarup et al., 2013; Lim et al., 2014; Shen et al., 2017).

O gene *ARHGEF3* pertence à família dos fatores de troca de nucleotídeos de guanina Rho (Rho GEFs), que ativam Rho GTPases catalisando a troca de GDP por GTP (Arthur et al., 2002; Jaffe e Hall, 2005). Possui papel fundamental para *ARHGEF3* na vasculogênese e eritropoiese, sendo este realizado por efeito na captação de transferrina e homeostase do ferro (Serbanovic-Canic et al., 2011).

Para a medida do comprimento do dorso-lombo são necessários vários genes para explicar a variação desta característica, ou seja, nenhum gene conhecido pelo banco de dados (NCBI) foi responsável por mais de 3% da variância genética aditiva, diferente do que foi observado para as outras medidas morfométricas. O gene candidato que apresentou maior variância para esta característica foi o *SUCLG2*.

Os genes candidatos *LOC102150007*, *OSBPL1A*, *DNAJC3* e *CLYBL* foram responsáveis por explicar mais de 12% da variação da medida comprimento da espádua. Sendo que os genes *DNAJC3* e *CLYBL* também foram associados ao comprimento do corpo, a diferença foi que para esta medida foram mais expressos do que para o comprimento da espádua.

Já para a medida do comprimento da garupa diferentes genes candidatos foram observados quando comparados ao comprimento do corpo e da espádua, sendo o gene

candidato *LMOD3* responsável por aproximadamente 6% da variância dessa medida. Junto aos genes *LOC111773572* e *LOC100061761*, que não possuem função conhecida ainda, ou seja, quando expressos não se sabe por qual modificação fenotípica são responsáveis. Porém, neste estudo, foram associados com a alteração da medida do comprimento da garupa.

O gene *LMOD3* é expresso no músculo esquelético ao longo da vida e se localiza no filamento fino de actina. Mutações ocasionadas no gene *LMOD3* resultam em pacientes com miopatia nemalina, que é uma doença caracterizada por fraqueza muscular generalizada grave de início precoce e hipotonia, com insuficiência respiratória e dificuldades de alimentação; morfologia do corpo de nemalina distinta (Yuen et al., 2014). Em peixes zebra essas mutações ocasionam corpos curtos, caudas dobradas e birrefringência da cauda reduzida, consistente com organização anormal do músculo esquelético e demonstraram função motora anormal (Yuen et al., 2014).

Os genes candidatos para a medida da largura da cabeça foram *CCDC38*, *GAS2L3*, *ANTXR2*, *WSCD2* e *TAOK3* responsáveis por 13% da variação desta medida. Observou-se que os genes associados ao comprimento da cabeça são diferentes dos da largura da cabeça, revelando que, mesmo na mesma região as medidas de comprimento e largura são diferenciadas pela expressão de diferentes genes.

O gene *GAS2L3* é membro da família de proteínas específicas de parada de crescimento 2 (*GAS2*), que constituem domínio putativo de ligação a actina e a microtúbulos. O *GAS2L3* está intimamente associado à formação do citoesqueleto; desenvolvimento de tumores; ao ciclo celular; a apoptose; e à morfogênese e ao desenvolvimento do cérebro no peixe-zebra (Sharaby et al., 2011; Zhang et al., 2021).

O gene *ANTXR2* também é conhecido como *CMG2* (*Capillary Morphogenesis Gene 2*). é expresso em vasos sanguíneos encontrados em vários tecidos, incluindo pele, murina, pulmão, cólon e tecido mamário humano normal e tumorigênico (Reeves et al., 2010). Yoshida et al. (2014), constataram que este gene também é responsável pela regulação de colágeno na coluna cervical. Mutações neste gene ocasionam síndromes autossômicas recessivas em humanos, como fibromatose hialina juvenil, hialinose sistêmica infantil, contraturas articulares, osteólise, osteoporose e deposições hialinas (Hanks et al., 2003).

O gene *WSCD2* está envolvido no metabolismo da glicose em humanos, ou seja, na expressão de padrões das ilhotas pancreáticas. Além disso é associado com lipoproteína de baixa densidade, apolipoproteína B e ao colesterol total (Taneera et al., 2015; Gao et al., 2017).

O gene *TAOK3* funciona como um mediador crítico em resposta a vários estímulos, reage a estímulos genotóxicos como mediador da resposta ao dano ao DNA. São reguladores da diferenciação de osteoblastos e mineralização esquelética (Long, 2012; Marie, 2012). Deficiências na expressão do gene *TAOK3* ocasionaram aumento de fontanelas, hipomineralização occipital e baixa massa em ossos longos (Li et al., 2020).

A medida largura do peito não apresentou os mesmos genes que a largura da cabeça. Sendo os genes candidatos *LRCH1*, *DNAJC15*, *LOC100630169*, *KMO*, *FAM19A1*, *HAUS8* e *PIK3R1* explicaram juntos aproximadamente 17% da variação da largura do peito. Os genes *DNAJC15*, *KMO*, *HAUS8* e *PIK3R1* também foram associados ao comprimento da cabeça e pescoço. Este fato demonstra que os genes para características morfométricas possuem pleiotropismo, ou seja, são responsáveis por expressar mais de um fenótipo em diferentes regiões. E como é uma característica quantitativa, são necessários mais de um gene para expressar o fenótipo, associados aos diferentes genes candidatos para essas medidas, proporciona as diferenças de cada característica.

O gene *LRCH1* também foi associado a maior risco de desenvolver osteoartrite (Jiang et al., 2008); risco aumentado de encefalopatia tardia após envenenamento agudo por monóxido de carbono (Gu et al., 2019). Além disto, este gene também é responsável pela

regulação mais direta do citoesqueleto de actina (Xu et al., 2017; Wang et al., 2020), controle da divisão celular (Xu et al., 2017). Déficit de *LRCHI* resulta em maior perda neuronal, prejuízo da função locomotora (Wang et al., 2020).

A medida da largura entre as ancas apresentou como genes candidatos *LRCHI* e *DNAJC15*, o mesmo observado para a largura do peito, porém explicando maior variação (~9%) do que esta. Isto revela que os mesmos genes são responsáveis por explicar a largura do anterior e posterior do cavalo, e o que dará a diferença do valor serão os outros genes (*SPOCK3*, *MARCH1*, *TMA16*, *FOXP1*, *ZNF827* e *LRR6*), no caso para a largura entre as ancas, que juntos a estes dois são responsáveis por aproximadamente 28% da variância genética aditiva.

No perímetro torácico o gene candidato *LMOD3* foi responsável por 9% da variação, ou seja, é o gene mais associado a esta característica, em segundo, o gene *YWHAQ* explicou 6%. E juntos aos genes *ADGRB3*, *L6102147370*, *ZNF212* e *DPP6* justificaram 22% da variação do perímetro torácico. Esta medida é responsável por determinar a capacidade cardiorrespiratória do equino, além de ser uma estimativa para o peso corporal do animal. Segundo Lucena et al. (2015) para equinos da raça Campolina, não é ideal que o valor de perímetro torácico seja elevado, pois afeta o desempenho do andamento.

No perímetro da canela torácica constatou-se que o gene candidato para esta característica é o *GLIS3*, pois sozinho explicou 18,6% da variação total, portanto, a participação na expressão do fenótipo da medida do perímetro da canela é alta. Porém observou-se que a medida de perímetro não é expressa pelos mesmos genes, pois houve diferença entre os genes candidatos para os perímetros torácico e da canela.

O gene *GLIS3* é caracterizado por regular funções celulares, como desenvolvimento pancreático, maturação e manutenção de células β e produção de insulina. Este gene está envolvido com muitos aspectos do processo biológico incluindo diferenciação, desenvolvimento, proliferação e apoptose (Pearson et al. 2008). Mutações neste gene revelaram patogênese de várias doenças como problemas de tireoide, diabetes, problemas renais, câncer pancreático entre outras (Chou et al., 2017).

Makvandi-Nejad et al. (2012), observou diferentes genes para as medidas de comprimento de cabeça, pescoço, tronco e membros de equinos de 17 diferentes raças, demonstrou que os genes *HMG2*, *LCORL*, *ZFAT LIM* e *SH3 protein 1 (LASP1)* estavam associados a estas medidas morfométricas.

Nos mamíferos a integridade morfológica e polaridade celular é constituída por um sistema de grade de fibra de proteína que contém microtúbulos, actina e filamentos intermediários, e então forma-se o citoesqueleto (Li e Gundersen, 2009; Dogterom e Koenderink, 2019). Estudos relataram que a dinâmica da ação coordenada entre os microtúbulos e os filamentos de actina estão relacionados a uma variedade de processos biológicos dentro da célula eucariótica e do citoesqueleto (Li e Gundersen, 2009; Dogterom e Koenderink, 2019). Portanto, essa pesquisa mostrou que essas estruturas estão relacionadas à vários genes citados, correspondendo, então, a formação da estrutura do equino da raça Campolina, além destas e de outras estruturas relatadas fazerem parte de sistemas fisiológicos de desenvolvimento estrutural.

Os genes para as medidas morfométricas possuem pleiotropismo, ou seja, o mesmo gene desempenha diferentes funções no organismo do equino, de acordo com o que foi observado com os resultados deste estudo. Para tanto, existe a necessidade da realização de mais estudos com cada gene observado, para determinar exatamente quais modificações morfométricas esses genes são responsáveis.

5 CONCLUSÕES

De acordo com o GWAS os possíveis genes candidatos para as medidas morfométricas avaliadas foram o *RBMS3*, *SUCLG2*, *HAUS*, *PIK3R1*, *ZCWPW2*, *CLYBL*, *DNAJC3*, *DNAJC15*, *KMO*, *LMOD3*, *LOC100630169*, *LOC102148584*, *LRCH1* e *THRB*.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL ABRI, M. A., POSBERGH, C., PALERMO, K., SUTTER, N. B., EBERTH, J., HOFFMAN, G. E., BROOKS, S. A. Genome-wide scans reveal a quantitative trait locus for withers height in horses near the ANKRD1 gene. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 60, p. 67-73. e1, 2018.
- ARTHUR WT, ELLERBROEK SM, DER CJ, BURRIDGE K, WENNERBERG K. XPLN, a guanine nucleotide exchange factor for RhoA and RhoB, but not RhoC. **Journal of Biological Chemistry**, v. 277, n. 45, p. 42964-42972, 2002.
- ARVANITIS C, FELSHER DW. Conditional transgenic models define how MYC initiates and maintains tumorigenesis. In: **Seminars in Cancer Biology**. Academic Pressp. 313-317, 2006.
- BACK, W.; CLAYTON, H.M. **Equine Locomotion**. Elsevier Health Sciences, 2013.
- BARBOSA, C. G. **Estudo morfométrico na raça mangalarga marchador uma abordagem multivariada**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 77p., 1993.
- BARENDSE, W., HARRISON, B.E., BUNCH, R.J., THOMAS, M.B., TURNER, L.B. Genome wide signatures of positive selection: the comparison of independent samples and the identification of regions associated to traits. **BMC genomics**, v. 10, n. 1, p. 178, 2009.
- BEAUMONT, V., MRZLJAK, L., DIJKMAN, U., FREIJE, R., HEINS, M., RASSOULPOUR, A., MUNOZ-SANJUAN, I. The novel KMO inhibitor CHDI-340246 leads to a restoration of electrophysiological alterations in mouse models of Huntington's disease. **Experimental Neurology**, v. 282, p. 99-118, 2016.
- BECK-PECCOZ, P., CHATTERJEE, V. K. K. The variable clinical phenotype in thyroid hormone resistance syndrome. **Thyroid**, v. 4, n. 2, p. 225-232, 1994.
- BENZING, T., BRANDES, R., SELLIN, L., SCHERMER, B., LECKER, S., WALZ, G., KIM, E. Upregulation of RGS7 may contribute to tumor necrosis factor-induced changes in central nervous function. **Nature Medicine**, v. 5, n. 8, p. 913-918, 1999.
- CALVO, S.E.; CLAUSER, K.R.; MOOTHA, V.K. MitoCarta2. 0: an updated inventory of mammalian mitochondrial proteins. **Nucleic Acids Research**, v. 44, n. D1, p. D1251-D1257, 2016.
- CAMPBELL, B.M., CHARYCH, E., LEE, A.W., MOLLER, T., Kynurenines in CNS disease: regulation by inflammatory cytokines. **Frontiers in Neuroscience**, v. 8, p. 12, 2014.
- CHEN, W. K., FENG, L. J., LIU, Q. D., KE, Q. F., CAI, P. Y., ZHANG, P. R., LIN, W. P. Inhibition of leucine-rich repeats and calponin homology domain containing 1 accelerates microglia-mediated neuroinflammation in a rat traumatic spinal cord injury model. **Journal of Neuroinflammation**, v. 17, n. 1, p. 1-14, 2020.
- CHEN, Y., DU, Q., HE, Y., WEN, C., HU, H. B., WANG, W., CHENG, H. PIK3R1 Promotes Lung Cancer Proliferation Through Activating PI3K/AKT/mTOR Signaling Pathways. **Research Square**, 2021.
- CHOU, C. K., TANG, C. J., CHOU, H. L., LIU, C. Y., NG, M. C., CHANG, Y. T., CHIU, C. C. The Potential Role of Krüppel-Like Zinc-Finger Protein Glis3 in Genetic Diseases and Cancers. **Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis**, v. 65, n. 5, p. 381-389, 2017.
- COWAN, C.M., RAYMOND, L.A., Selective neuronal degeneration in Huntington's disease. **Current Topics in Developmental Biology**, v. 75, p. 25-71, 2006.
- DIAZ,I.S., JUNQUEIRA, G.S.B., CRUZ, V.A.R., OLIVEIRA, C.A.A., OLIVEIRA, H.N., CAMARGO, G.M.F., COSTA, R.B. Principal components for morphometric traits in

- Campolina horses. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.138, n.2, p.179-187, 2021.
- DOGTEROM, M., KOENDERINK, G. H. Actin–microtubule crosstalk in cell biology. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 20, n. 1, p. 38-54, 2019.
- DUDLEY, A. T., ROBERTSON, E. J. Overlapping expression domains of bone morphogenetic protein family members potentially account for limited tissue defects in BMP7 deficient embryos. **Developmental Dynamics: an official publication of the American Association of Anatomists**, v. 208, n. 3, p. 349-362, 1997.
- ENNS, G. M., SHASHI, V., BAINBRIDGE, M., GAMBELLO, M. J., ZAHIR, F. R., BAST, T., GOLDSTEIN, D. B. Mutations in NGLY1 cause an inherited disorder of the endoplasmic reticulum–associated degradation pathway. **Genetics in Medicine**, v. 16, n. 10, p. 751-758, 2014.
- EquCab3.0 – disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCF_000002305.2/, acesso: 20 fev 2021.
- FORREST, D., HANEETH, E., SMEYNE, R. J., EVERDS, N., STEWART, C. L., WEHNER, J. M., CURRAN, T. Recessive resistance to thyroid hormone in mice lacking thyroid hormone receptor beta: evidence for tissue-specific modulation of receptor function. **The EMBO Journal**, v. 15, n. 12, p. 3006-3015, 1996.
- FRITZ, D., STEFANOVIC, B. RNA-binding protein RBMS3 is expressed in activated hepatic stellate cells and liver fibrosis and increases expression of transcription factor Prx1. **Journal of Molecular Biology**, v. 371, n. 3, p. 585-595, 2007.
- FURUTA, Y., PISTON, D. W., HOGAN, B. L. Bone morphogenetic proteins (BMPs) as regulators of dorsal forebrain development. **Development**, v. 124, n. 11, p. 2203-2212, 1997.
- GALEONE, A., HAN, S. Y., HUANG, C., HOSOMI, A., SUZUKI, T., JAFAR-NEJAD, H. Tissue-specific regulation of BMP signaling by Drosophila N-glycanase 1. **Elife**, v. 6, p. e27612, 2017.
- GAO, C., HSU, F. C., DIMITROV, L. M., OKUT, H., CHEN, Y. D. I., TAYLOR, K. D., PALMER, N. D. A genome-wide linkage and association analysis of imputed insertions and deletions with cardiometabolic phenotypes in Mexican Americans: The Insulin Resistance Atherosclerosis Family Study. **Genetic Epidemiology**, v.41, n.4, p.353-362, 2017.
- GLASS, C. K., AND J. M. HOLLOWAY. Regulation of gene expression by the thyroid hormone receptor. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Cancer**, v. 1032, n. 2-3, p. 157-176, 1990.
- GRARUP, N.; SULEM, P.; SANDHOLT, C.H.; THORLEIFSSON, G.; AHLUWALIA, T.S.; STEINTHORSDDOTTIR, V.; BJARNASON, H.; GUDBJARTSSON, D.F.; MAGNUSSON, O.T.; SPARSØ, T. Genetic architecture of vitamin B 12 and folate levels uncovered applying deeply sequenced large datasets. **PLoS Genet**, v.9, n.6, p.e1003530, 2013.
- GREEN, E. L., GREEN, M. C. The development of three manifestations of the short ear gene in the mouse. **Journal of Morphology**, v. 70, n. 1, p. 1-19, 1942.
- GREEN, M. C. Further morphological effects of the short ear gene in the house mouse. **Journal of Morphology**, v. 88, n. 1, p. 1-21, 1951.
- GU, J., ZENG, J., WANG, X., GU, X., ZHANG, X., ZHANG, P. LRCH1 polymorphisms linked to delayed encephalopathy after acute carbon monoxide poisoning identified by GWAS analysis followed by Sequenom MassARRAY® validation. **BMC medical genetics**, v. 20, n. 1, p. 1-8, 2019.
- GUZZO RM, SALIH M, MOORE ED, TUANA BS. Molecular properties of cardiac tail-anchored membrane protein SLMAP are consistent with structural role in arrangement of

- excitation-contraction coupling apparatus. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v. 288, n. 4, p. H1810-H1819, 2005.
- GUZZO, R. M., SEVINC, S., SALIH, M., TUANA, B. S. A novel isoform of sarcolemmal membrane-associated protein (SLMAP) is a component of the microtubule organizing centre. **Journal of cell science**, v. 117, n. 11, p. 2271-2281, 2004a.
- GUZZO, R. M., WIGLE, J., SALIH, M., MOORE, E. D., TUANA, B. S. Regulated expression and temporal induction of the tail-anchored sarcolemmal-membrane-associated protein is critical for myoblast fusion. **Biochemical Journal**, v. 381, n. 3, p. 599-608, 2004b.
- HANKS, S., ADAMS, S., DOUGLAS, J., ARBOUR, L., ATHERTON, D. J., BALCI, S., RAHMAN, N. Mutations in the gene encoding capillary morphogenesis protein 2 cause juvenile hyaline fibromatosis and infantile systemic hyalinosis. **The American Journal of Human Genetics**, v. 73, n. 4, p. 791-800, 2003.
- HAYES, B. J., BOWMAN, P. J., CHAMBERLAIN, A. J., GODDARD, M. E. Invited review: genomic selection in dairy cattle: progress and challenges. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.433-443, 2009.
- HILL, E. W., GU, J., EIVERS, S.S., FONSECA, R.G., MCGIVNEY, B.A., GOVINDARAJAN, P.; ORR, N.; KATZ, L.M.; MACHUGH, D. A sequence polymorphism in MSTN predicts sprinting ability and racing stamina in thoroughbred horses. **PloS one**, v. 5, n. 1, p. e8645, 2010.
- HOGAN, B. L. Bone morphogenetic proteins: multifunctional regulators of vertebrate development. **Genes & Development**, v. 10, n. 13, p. 1580-1594, 1996.
- HUEBNER, K., GARRISON, P. N., BARNES, L. D., CROCE, C. M. The role of the FHIT/FRA3B locus in cancer. **Annual Review of Genetics**, v. 32, n. 1, p. 7-31, 1998.
- JAFFE, A. B., HALL, A. Rho GTPases: biochemistry and biology. **Annu. Rev. Cell Dev. Biol.**, v. 21, p. 247-269, 2005.
- JIANG, Q., SHI, D., NAKAJIMA, M., DAI, J., WEI, J., MALIZOS, K. N. Lack of association of single nucleotide polymorphism in LRCH1 with knee osteoarthritis susceptibility. **Journal of Human Genetics**, v. 53, n. 1, p. 42, 2008.
- JOHANSSON, M., BOCHER, V., LEHTO, M., CHINETTI, G., KUISMANEN, E., EHNHOLM, C., OLKKONEN, V. M. The two variants of oxysterol binding protein-related protein-1 display different tissue expression patterns, have different intracellular localization, and are functionally distinct. **Molecular Biology of The Cell**, v. 14, n. 3, p. 903-915, 2003.
- JOHANSSON, M., LEHTO, M., TANHUANPÄÄ, K., COVER, T. L., OLKKONEN, V. M. The oxysterol-binding protein homologue ORP1L interacts with Rab7 and alters functional properties of late endocytic compartments. **Molecular Biology of the Cell**, v. 16, n. 12, p. 5480-5492, 2005.
- KIEL, D. P., DEMISSIE, S., DUPUIS, J., LUNETTA, K. L., MURABITO, J. M., KARASIK, D. Genome-wide association with bone mass and geometry in the Framingham Heart Study. **BMC Medical Genetics**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2007.
- KIJAS, J.W., TOWNLEY, D., DALRYMPLE, B.P., HEATON, M.P., MADDOX, J.F., MCGRATH, A., WILSON, P., INGERSOLL, R.G., MCCULLOCH, R., MCWILLIAM, S., TANG, D. A genome wide survey of SNP variation reveals the genetic structure of sheep breeds. **PloS one**, v. 4, n. 3, p. e4668, 2009.
- KINGSLEY, D. M., BLAND, A. E., GRUBBER, J. M., MARKER, P. C., RUSSELL, L. B., COPELAND, N. G., JENKINS, N. A. The mouse short ear skeletal morphogenesis locus is associated with defects in a bone morphogenetic member of the TGF β superfamily. **Cell**, v. 71, n. 3, p. 399-410, 1992.

- LAM, C., WOLFE, L., NEED, A., SHASHI, V., ENNS, G. NGLY1-related congenital disorder of deglycosylation. **GeneReviews**, 2018.
- LI, R., GUNDERSEN, G. G. Beyond polymer polarity: how the cytoskeleton builds a polarized cell. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 9, n. 11, p. 860-873, 2008.
- LIEM, K. F., TREMML, G., ROELINK, H., JESSELL, T. M. Dorsal differentiation of neural plate cells induced by BMP-mediated signals from epidermal ectoderm. **Cell**, v. 82, n. 6, p. 969-979, 1995.
- LIM, E. T., WÜRTZ, P., HAVULINNA, A. S., PALTA, P., TUKIAINEN, T., REHNSTRÖM, K., SEQUENCING INITIATIVE SUOMI (SISU) PROJECT. Project Distribution and medical impact of loss-of-function variants in the Finnish founder population. **PLoS Genet**, v. 10, n. 7, p. e1004494, 2014.
- LIN, S. R., LI, Y. C., LUO, M. L., GUO, H., WANG, T. T., CHEN, J. B., GUI, Y. T. Identification and characteristics of the testes-specific gene, *Ccdc38*, in mice. **Molecular medicine reports**, v. 14, n. 2, p. 1290-1296, 2016.
- LIN, X.; LU, D.; GAO, Y.; TAO, S.; YANG, X.; FENG, J.; TAN, A.; ZHANG, H.; HU, Y.; QIN, X., SUN, J. Genome-wide association study identifies novel loci associated with serum level of vitamin B12 in Chinese men. **Human Molecular Genetics**, v. 21, n. 11, p. 2610-2617, 2012.
- LIU, T., TIAN, J., WANG, G., YU, Y., WANG, C., MA, Y., ZHANG, X., XIA, G., LIU, B., KONG, Z. Augmin triggers microtubule-dependent microtubule nucleation in interphase plant cells. **Current Biology**, v. 24, n. 22, p. 2708-2713, 2014.
- LONG, F. Building strong bones: molecular regulation of the osteoblast lineage. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 13, n. 1, p. 27-38, 2012.
- LUCENA, J. E. C., DE BARROS VIANNA, S. A., NETO, F. B., SALES FILHO, R. L. M., DINIZ, W. J. S. Estudo comparativo das proporções morfométricas entre garanhões e castrados da raça Campolina. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 353-366, 2015.
- LYONS, K. M., HOGAN, B. L. M., ROBERTSON, E. J. Colocalization of BMP 7 and BMP 2 RNAs suggests that these factors cooperatively mediate tissue interactions during murine development. **Mechanisms of Development**, v. 50, n. 1, p. 71-83, 1995.
- MADDISON, D.C., GIORGINI, F. The kynurenine pathway and neurodegenerative disease. In: **Seminars in Cell & Developmental Biology**. Academic Press, 2015. p. 134-141.
- MAKVANDI-NEJAD, S., HOFFMAN, G. E., ALLEN, J. J., CHU, E., GU, E., CHANDLER, A.M., LOREDO, A.I., BELLONE, R.R., MEZEY, J.G., BROOKS, S.A., SUTTER, N.B. Four loci explain 83% of size variation in the horse. **PLoS One**, v. 7, n. 7, p. e39929, 2012.
- MARIE, P.J. Signaling pathways affecting skeletal health. **Current Osteoporosis Reports**, v. 10, n. 3, p. 190-198, 2012.
- MCMANUS, C.; FALCÃO, R.A.; SPRITZE, A.; COSTA, D.; LOUVANDINI, H.; DIAS, L.T.; TEIXEIRA, R.A.; REZENDE, M.J.M.; GARCIA, J.A.S. Morphological characterization of Campeiro breed horses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p. 1553-1562, 2005.
- MEIRA, C.T., FARAH, M.M., FORTES, M.R., MOORE, S.S., PEREIRA, G.L., SILVA, J.A.I.V., CURI, R.A. A genome-wide association study for morphometric traits in quarter horse. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 34, n. 8, p. 1028-1031, 2014.
- METZGER, J.; SCHRIMPF, R.; PHILIPP, U.; DISTL, O. Expression levels of LCORL are associated with body size in horses. **PLoS One**, v. 8, n. 2, p. e56497, 2013.
- MISZTAL, I.; LEGARRA, A.; AGUILAR, I. Computing procedures for genetic evaluation including phenotypic, full pedigree, and genomic information. **Journal of Dairy Science**. v.92, n.9, p.4648-4655, 2009.

- NADER, M., WESTENDORP, B., HAWARI, O., SALIH, M., STEWART, A. F., LEENEN, F. H., TUANA, B. S. Tail-anchored membrane protein SLMAP is a novel regulator of cardiac function at the sarcoplasmic reticulum. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v. 302, n. 5, p. H1138-H1145, 2012.
- NCBI, National Center for Biotechnology Information. **disponível:** https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCF_000002305.2/, acesso: 20 ago 2019.
- NIKI, T., IZUMI, S., SAËGUSA, Y., TAIRA, T., TAKAI, T., IGUCHI-ARIGA, S. M., ARIGA, H. MSSP promotes ras/myc cooperative cell transforming activity by binding to c-Myc. **Genes to Cells**, v. 5, n. 2, p. 127-141, 2000.
- OPPENHEIMER, J. H. Thyroid hormone action at the cellular level. **Science**, v. 203, n. 4384, p. 971-979, 1979.
- PATTERSON, L.; STAIGER, E. A.; BROOKS, S. A. DMRT 3 is associated with gait type in Mangalarga Marchador horses but does not control gait ability. **Animal genetics**, v. 46, n. 2, p. 213-215, 2015.
- PENKOV, D., NI, R., ELSE, C., PIÑOL-ROMA, S., RAMIREZ, F., & TANAKA, S. Cloning of a human gene closely related to the genes coding for the c-myc single-strand binding proteins. **Gene**, v. 243, n. 1-2, p. 27-36, 2000.
- PEREIRA, J.C.C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. 6 ed. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2012. 758 p.
- PETERS, S. M., BLEIJENBERG, E. H., VAN DIERENDONCK, M. C., VAN DER HARST, J. E., SPRUIJT, B. M. Characterization of anticipatory behaviour in domesticated horses (*Equus caballus*). **Applied Animal Behaviour Science**, v. 138, n. 1-2, p. 60-69, 2012.
- RAUCH F, GLORIEUX FH. Osteogenesis imperfecta. **The Lancet**, v. 363, n. 9418, p. 1377-1385, 2004..
- REEVES, C. V., DUFRAINE, J., YOUNG, J. A., KITAJEWSKI, J. Anthrax toxin receptor 2 is expressed in murine and tumor vasculature and functions in endothelial proliferation and morphogenesis. **Oncogene**, v. 29, n. 6, p. 789-801, 2010.
- REGATIERI, I. C.; MOTA, M.D.S. Melhoramento genético de equinos: Aspectos bioquímicos. **Ars Veterinaria**, v. 28, n. 4, p. 227-233, 2012.
- RESENDE, M.D.V., LOPES, P.S., SILVA, R.L., PIRES, I.E. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.56, p. 63, 2008.
- ROSS, C.A., AYLWARD, E.H., WILD, E.J., LANGBEHN, D.R., LONG, J.D., WARNER, J.H., SCAHILL, R.I., LEAVITT, B.R., STOUT, J.C., PAULSEN, J.S., REILMANN, R., UNSCHULD, P.G., WEXLER, A., MARGOLIS, R.L., TABRIZI, S.J. Huntington disease: natural history, biomarkers and prospects for therapeutics. **Nature Reviews Neurology**, v. 10, n. 4, p. 204, 2014.
- SAP, J., MUÑOZ, A., DAMM, K., GOLDBERG, Y., GHYSDAEL, J., LEUTZ, A., VENNSTRÖM, B. The c-erb-A protein is a high-affinity receptor for thyroid hormone. **Nature**, v. 324, n. 6098, p. 635-640, 1986.
- SAPKO, M.T., GUIDETTI, P., YU, P., TAGLE, D.A., PELLICCIARI, R., SCHWARCZ, R. Endogenous kynurenate controls the vulnerability of striatal neurons to quinolinate: Implications for Huntington's disease. **Experimental Neurology**, v. 197, n. 1, p. 31-40, 2006.
- SERBANOVIC-CANIC, J., CVEJIC, A., SORANZO, N., STEMPLER, D. L., OUWEHAND, W. H., FRESON, K. Silencing of RhoA nucleotide exchange factor, ARHGEF3, reveals its unexpected role in iron uptake. **Blood, The Journal of the American Society of Hematology**, v. 118, n. 18, p. 4967-4976, 2011.

- SHARABY, Y., LAHMI, R., AMAR, O., ELBAZ, I., LERER-GOLDSHTEIN, T., WEISS, A. M., TZUR, A. Gas2l3 is essential for brain morphogenesis and development. **Developmental Biology**, v. 394, n. 2, p. 305-313, 2014.
- SHEN, H., CAMPANELLO, G. C., FLICKER, D., GRABAREK, Z., HU, J., LUO, C., MOOHA, V. K. The human knockout gene CLYBL connects itaconate to vitamin B12. **Cell**, v. 171, n. 4, p. 771-782. e11, 2017.
- SIGNER-HASLER, H., FLURY, C., HAASE, B., BURGER, D., SIMIANER, H., LEEB, T., RIEDER, S. A genome-wide association study reveals loci influencing height and other conformation traits in horses. **PLoS One**, v. 7, n. 5, p. e37282, 2012.
- SOLLOWAY, M. J., ROBERTSON, E. J. Early embryonic lethality in Bmp5; Bmp7 double mutant mice suggests functional redundancy within the 60A subgroup. **Development**, v. 126, n. 8, p. 1753-1768, 1999.
- SOUSA, A.S.; JESUS, I.I.C.; OLIVEIRA, C.A.A.; COSTA, R.B.; GODOI, F.N. How is the morphometry of stallions and mares show-winning and nonwinning Campolina brazilian breed with batida and picada gaits? **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 64, p. 34-40, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.02.012>.
- STONE, T.W., DARLINGTON, L.G. The kynurenine pathway as a therapeutic target in cognitive and neurodegenerative disorders. **British journal of pharmacology**, v. 169, n. 6, p. 1211-1227, 2013
- TANEERA, J., FADISTA, J., AHLQVIST, E., ATAC, D., OTTOSSON-LAAKSO, E., WOLLHEIM, C. B., GROOP, L. Identification of novel genes for glucose metabolism based upon expression pattern in human islets and effect on insulin secretion and glycemia. **Human Molecular Genetics**, v. 24, n. 7, p. 1945-1955, 2015.
- TETENS, J., WIDMANN, P., KÜHN, C., THALLER, G. A genome-wide association study indicates LCORL/NCAPG as a candidate locus for withers height in German Warmblood horses. **Animal Genetics**, v. 44, n. 4, p. 467-471, 2013.
- TOZAKI, T., SATO, F., ISHIMARU, M., KIKUCHI, M., KAKOI, H., HIROTA, K.I., NAGATA, S.I. Sequence variants of BIEC2-808543 near LCORL are associated with body composition in Thoroughbreds under training. **Journal of Equine Science**, v. 27, n. 3, p. 107-114, 2016.
- VANRADEN, P.M. Efficient methods to compute genomic predictions. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 11, p. 4414-4423, 2008.
- WANG, H.; MISZTAL, I.; AGUILAR, I.; LEGARRA, A.; MUIR, WM. Genome-wide association mapping including phenotypes from relatives without genotypes in a single-step (ssGWAS) for 6-week body weight in broiler chickens. **Frontiers in Genetics**. v.5, n.134, 2014.
- WANG, Y., ZHANG, H., HE, H., AI, K., YU, W., XIAO, X., ZHOU, G. LRCH1 suppresses migration of CD4(+) T cells and refers to disease activity in ulcerative colitis. **International Journal of Medical Sciences**, v. 17, n. 5, p. 599, 2020.
- WEINBERGER, C., THOMPSON, C. C., ONG, E. S., LEBOWITZ, R., GRUOL, D. J., EVANS, R. M. The c-erb-A gene encodes a thyroid hormone receptor. **Nature**, v. 324, n. 6098, p. 641-646, 1986.
- WIGLE, J. T., DEMCHYSHYN, L., PRATT, M. C., STAINES, W. A., SALIH, M., TUANA, B. S. Molecular cloning, expression, and chromosomal assignment of sarcolemmal-associated proteins: a family of acidic amphipathic α -helical proteins associated with the membrane. **Journal of Biological Chemistry**, v. 272, n. 51, p. 32384-32392, 1997.
- XU, X., HAN, L., ZHAO, G., XUE, S., GAO, Y., XIAO, J., WANG, H. LRCH1 interferes with DOCK8-Cdc42-induced T cell migration and ameliorates experimental autoimmune encephalomyelitis. **Journal of Experimental Medicine**, v. 214, n. 1, p. 209-226, 2017.

- YANG, K., HUANG, R., FUJIHIRA, H., SUZUKI, T., YAN, N. N-glycanase NGLY1 regulates mitochondrial homeostasis and inflammation through NRF1. **Journal of Experimental Medicine**, v. 215, n. 10, p. 2600-2616, 2018.
- YOSHIDA, K., REEVES, C., VINK, J., KITAJEWSKI, J., WAPNER, R., JIANG, H., MYERS, K. Cervical collagen network remodeling in normal pregnancy and disrupted parturition in Antxr2 deficient mice. **Journal of Biomechanical Engineering**, v. 136, n. 2, 2014.
- YU, D., DI PROSPERO, N.A., SAPKO, M.T., CAI, T., CHEN, A., MELENDEZ-FERRO, M., DU, F., WHETSELL, W.O., GUIDETTI, P., SCHWARCZ, R., TAGLE, D.A. Biochemical and phenotypic abnormalities in kynurenine aminotransferase II-deficient mice. **Molecular and Cellular Biology**, v. 24, n. 16, p. 6919-6930, 2004.
- YUEN, M., SANDARADURA, S. A., DOWLING, J. J., KOSTYUKOVA, A. S., MOROZ, N., QUINLAN, K. G., CLARKE, N.F. Leiomodlin-3 dysfunction results in thin filament disorganization and nemaline myopathy. **The Journal of Clinical Investigation**, v. 124, n. 11, p. 4693-4708, 2014.
- ZHANG, H., WANG, Z., WANG, S., LI, H. Progress of genome wide association study in domestic animals. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2012.
- ZHANG, N., ZHAO, C., ZHANG, X., CUI, X., ZHAO, Y., YANG, J., GAO, X. Growth arrest-specific 2 protein family: Structure and function. **Cell Proliferation**, v. 54, n. 1, p. e12934, 2021.

CONCLUSÕES GERAIS

Portanto, com os resultados obtidos nesta pesquisa, considera-se que as medidas morfométricas podem ser utilizadas como ferramentas a serem analisadas no aperfeiçoamento da raça Campolina, e então melhorar o padrão da marcha. Com maior atenção, principalmente, para o melhoramento do padrão das medidas angulares.

Além disso, com os genes observados, se mais estudos forem realizados, é possível encontrar como estes genes modificam estas medidas e então, auxiliar a iniciativa de criação de programas de melhoramento genético para esta raça, com o objetivo de tornar os equinos da raça Campolina geneticamente superiores e com melhorias na qualidade de marcha.