



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária  
Programa de Pós-graduação em Saúde Animal

**ANÁLISE CINEMÁTICA DA ARTICULAÇÃO  
METACARPOFALANGEANA DURANTE A RECEPÇÃO  
DO SALTO EM EQUINOS**

Letiana da Silva Rehbein

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
EM SAÚDE ANIMAL

BRASÍLIA/DF  
FEVEREIRO/2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária  
Programa de Pós-graduação em Saúde Animal

**ANÁLISE CINEMÁTICA DA ARTICULAÇÃO  
METACARPOFALANGEANA DURANTE A RECEPÇÃO  
DO SALTO EM EQUINOS**

Letiana da Silva Rehbein

Orientador: Eduardo Maurício Mendes de Lima

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
EM SAÚDE ANIMAL

PUBLICAÇÃO: 179/2020

BRASÍLIA/DF  
FEVEREIRO/2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**ANÁLISE CINEMÁTICA DA ARTICULAÇÃO  
METACARPOFALANGEANA DURANTE A RECEPÇÃO  
DO SALTO EM EQUINOS**

Letiana da Silva Rehbein

Dissertação de mestrado submetida  
ao Programa de Pós-graduação em  
Saúde Animal, como parte dos  
requisitos necessários à obtenção do  
grau de mestre em “Saúde Animal”.

**APROVADA POR:**



---

Eduardo Maurício Mendes de Lima, Doutor (UnB)  
(Orientador)



---

Marcelo Ismar Silva Santana, Doutor (UnB)  
(Examinador interno)



---

André Rodrigues da Cunha Barreto Vianna, Doutor (UFPr)  
(Examinador externo)

Brasília/DF, 26 de fevereiro de 2021

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA E CATALOGAÇÃO

REHBEIN, L. S. Análise cinemática da articulação metacarpofalangeana durante a recepção do salto em equinos. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2021, 50 p. Dissertação de Mestrado.

Documento formal, autorizando reprodução desta dissertação de mestrado para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pelo autor à Universidade de Brasília e achase arquivado na Secretaria do Programa. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

## FICHA CATALOGRÁFICA

RR345a Rehbein, Letiana da Silva  
ANÁLISE CINEMÁTICA DA ARTICULAÇÃO METACARPOFALANGEANA  
DURANTE A RECEPÇÃO DO SALTO EM EQUINOS / Letiana da Silva  
Rehbein; orientador Eduardo Mauricio Mendes de Lima. --  
Brasília, 2021.  
48 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Saúde Animal) --  
Universidade de Brasília, 2021.

1. Análise cinemática. 2. Articulação  
metacarpofalangeana. 3. Brasileiro de Hipismo. I. Lima,  
Eduardo Mauricio Mendes de, orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família e aos meus amigos por todo suporte, motivação, companheirismo e paciência durante toda minha trajetória. Esse trabalho também é de cada um de vocês!

Ao meu orientador pelo profissionalismo, pela disposição em seguir com um projeto relacionado ao hipismo, minha paixão; pela condução do trabalho e por toda ajuda, disposição e orientação em todos os aspectos.

Aos membros da banca, pelo pronto aceite, disposição e pelos comentários que muito acrescentaram ao trabalho.

Ao Centro Hípico Gemerson Pereira, ao 1º Regimento de Cavalaria de Guarda e ao Parque Hípico de Brasília pela ajuda com toda a parte prática, aos respectivos cavaleiros que prontamente se dispuseram a ajudar e aos cavalos participantes.

À Faculdade de Agronomia e Veterinária, minha casa de formação, por todo acolhimento de sempre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

## RESUMO

A cinemática do salto apresenta variações morfológicas entre raças. Fatores específicos dos cavalos Brasileiros de Hipismo motivaram uma investigação buscando identificar fatores que podem influenciar no desempenho e capacidade atlética de animais desta raça. O objetivo foi avaliar, por meio de análise cinemática, a variação do ângulo metacarpofalangeano, durante a recepção do salto em diferentes alturas ou larguras. Para tanto, avaliaram-se 14 equinos da raça Brasileiro de Hipismo com marcadores reflexivos na face lateral esquerda da parede do casco dos membros torácicos, na articulação metacarpofalangeana e no carpo. Foram avaliados saltos verticais de 90 e 120 cm de altura (V 90 e V 120), e saltos do tipo oxer nas mesmas alturas (Ox 90 e Ox 120), com 100 cm de largura. As avaliações tomaram como base os ângulos em dois momentos, primeiro com o animal em estação; o segundo, durante a recepção do salto, no momento em que a articulação metacarpofalangeana atingiu sua maior hiperextensão. Os ângulos em estação variaram entre 140,17° e 162,37°, com média 151,35° ± 6,32°. Para o primeiro membro, a variação de percentual entre as médias, na comparação entre estação e saltos foi de 22,53 para Estação e V90; 25,4% para Estação e V 120; 24,1% para Estação e Ox 90; e 26,3% para Estação e Ox 120. Na comparação entre os saltos, a variação percentual foi de 3,7% entre V 90 e V 120; 2% entre V 90 e Ox 90; 4,8% entre V 90 e Ox 120; 1,8% entre V120 e Ox 90; 1,1% entre V 120 e Ox 120; e de 2,9% entre Ox 90 e Ox 120. Já para o segundo membro, a variação de percentual entre as médias foi de 17,36% para Estação e V 90; 18,23% para Estação e V 120; 18,61% para Estação e Ox 90; 19,56% para estação e Ox 120. Já entre os saltos, os valores encontrados foram de 1,05% entre V 90 e V 120; 1,51% entre V 90 e Ox 90; 2,65% entre V 90 e Ox 120; 0,46% entre V 120 e Ox 90; 1,62% entre V 120 e Ox 120; e 1,15% entre Ox 90 e Ox 120. Os resultados demonstraram que com o aumento da complexidade do salto, não houve diferença significativa na variação do ângulo da articulação durante a recepção.

## ABSTRACT

The kinematics of the jump has morphological variations between horse breeds. Specific characteristics of the Brazilian Equestrian horses motivated an investigation seeking to identify the factors that can influence the performance and athletic capacity of animals of this breed. The objective was to evaluate through kinematic analysis the metacarpophalangeal angle variation during the reception of the jump at different heights or widths. Fourteen Brazilian Equestrian horses were evaluated with reflective markers on the left lateral side of the hoof of the thoracic limbs, in the fetlock joint and the carpus. Vertical jumps of 90 and 120 cm in height (V 90 and V 120), and oxer-type jumps at the same heights (Ox 90 and Ox 120), 100 cm wide, were evaluated. The assessments were based on joint angles in two moments, first with the animal in standing position; and second during the reception of the jump, at the moment when the fetlock joint reached its greatest hyperextension. The standing position angles varied between  $140,17^\circ$  and  $162,37^\circ$ , with an average of  $151,35 \pm 6,32^\circ$ . For the first limb, the percentage variation between the averages, comparing standing position and jumping, was: 22,53% for Standing and V90; 25,4% for Standing and V120; 24,1% for Standing and Ox 90; and 26,3% for Standing and Ox 120. In the comparison between jumps, the percentage variation was 3,7% between V90 and V120; 2% between V90 and Ox90; 4,8% between V90 and Ox120; 1,8% between V120 and Ox90; 1.1% between V120 and Ox120; and 2,9% between Ox90 and Ox120. For the second limb, the percentage variation between the averages was 17,36% for Standing and V90; 18,23% for Standing and V120; 18,61% for Standing and Ox90; 19.56% for Standing and Ox120. Among the jumps, the values found were 1,05% between V90 and V120; 1,51% between V90 and Ox90; 2,65% between V90 and Ox120; 0.46% between V120 and Ox90; 1,62% between V120 and Ox120; and 1,15% between Ox90 and Ox120. The results showed that, with the increase in the complexity of the jump, there was no significant difference in the variation of the angle of the joint during reception.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>	
<b>Figura 1</b>	Vista dorsolateral e dorsomedial das extremidades distais dos membros torácicos esquerdo e direito demonstrando os locais de fixação dos adesivos reflexivos. Nos cascos, os locais foram nos terços médios da face lateral e medial da coroa do casco. No metacárpico III, na fossa de inserção dos ligamentos colateral lateral e medial. Já no carpo, nos ossos cárpicos ulnar e radial.	26
<b>Figura 2</b>	Sequência de obstáculos saltados.	27
<b>Figura 3</b>	Demonstrações dos locais de mensuração dos ângulos MCF, A: em estação; B: no momento de hiperextensão de MT2; C: no momento de hiperextensão de MT1; e D: pelo aplicativo Medidor de Ângulo (Smart Tool Factory).	28
<b>Figura 4</b>	Gráfico representativo das aferições obtidas para o MT1 com os animais em estação (EST) e no momento de hiperextensão do salto vertical 90cm (V90), vertical 120cm (V120), oxer 90cm (Ox 90), oxer 120cm (Ox 120).	30
<b>Figura 5</b>	Gráfico representativo das aferições obtidas para o MT2 com os animais em estação (EST) e no momento de hiperextensão do salto vertical 90cm (V90), vertical 120cm (V120), oxer 90cm (Ox 90), oxer 120cm (Ox 120).	31

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1</b> Apresentação dos animais utilizados no trabalho com suas características: sexo, idade (anos), peso (kg), altura (m), categoria em competição (m) e histórico de lesão (sim ou não).	25
<b>Tabela 2</b> Valores dos ângulos encontrados no MT1, no momento de hiperextensão, nos saltos: vertical de 90cm (V 90), vertical de 120cm (V 120), oxe de 90 cm de altura (Ox 90) e oxe de 120 cm de altura (Ox 120).	29
<b>Tabela 3</b> Teste de Turkey realizado para o MT1, para comparação dos saltos e estação, considerando valor $\alpha < 0,05$ . Vertical de 90cm (V 90), vertical de 120cm (V 120), oxe de 90 cm de altura (Ox 90) e oxe de 120 cm de altura (Ox 120), estação (Est).	30
<b>Tabela 4</b> Valores dos ângulos encontrados no MT2, no momento de hiperextensão, nos saltos: vertical de 90cm (V 90), vertical de 120cm (V120), oxe de 90 cm de altura (Ox 90) e oxe de 120 cm de altura (Ox 120).	31
<b>Tabela 5</b> Teste de Turkey realizado para o MT2, para comparação dos saltos e estação, considerando valor $\alpha < 0,05$ . Vertical de 90cm (V 90), vertical de 120cm (V 120), oxe de 90 cm de altura (Ox 90) e oxe de 120 cm de altura (Ox 120), estação (Est).	31

## LISTA DE ABREVIATURAS

3° MC	Osso metacárpico III
ABCCH	Associação Brasileira de Criadores de Cavalo de Hipismo
BH	Brasileiro de Hipismo
CM	Centro de massa
EST	Ângulo metacarpofalangeano medido com o animal em estação
FPS	Frames por segundo
IC	Índice corporal
Kg	Quilo
LSD	Ligamento sesamóide distal
M	Metro
MCF	Metacarpofalangeano(a)
MC	Metacarpo
MP	Membro pélvico
MT	Membro torácico
MT1	Membro torácico principal
MT2	Membro torácico de arrasto
Ox 90	Oxer com 90 centímetros de altura e 100 centímetros de largura
Ox 120	Oxer com 120 centímetros de altura e 100 centímetros de largura
OSP	Osso sesamóide proximal
PSI	Puro Sangue Inglês
TFDS	Tendão flexor digital superficial
TFDP	Tendão flexor digital profundo
TEDC	Tendão extensor digital comum
V 90	Vertical com 90 centímetros de altura
V 120	Vertical com 120 centímetros de altura
WBFSH	Federação Mundial para a Criação de Cavalos de Esporte

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO.....	14
REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
1. O cavalo Brasileiro de Hipismo .....	15
1.1. Histórico.....	15
1.2. Morfologia .....	16
2. Anatomia do membro torácico: articulação metacarpofalangeana e estruturas ssociadas.....	18
3. Cinesiologia.....	19
4. Biomecânica do salto .....	19
4.1 Decolagem .....	21
4.1.1 Membros torácicos .....	21
4.1.2 Membros pélvicos .....	22
4.1.3 Esqueleto axial.....	22
4.2 Suspensão.....	23
4.3 Pouso .....	25
4.3.1 Membros Torácicos .....	26
4.3.2 Membros Pélvicos .....	28
4.4 Influência do cavaleiro ou amazona sobre o salto .....	28
5. Estudo sobre os membros torácicos.....	30
5.1 Salto .....	30
6. Referências .....	31
 CAPÍTULO 2 - CINEMÁTICA DA ARTICULAÇÃO METACARPOFALANGEANA DURANTE A RECEPÇÃO DO SALTO EM EQUINOS BRASILEIRO DE HIPISMO	
INTRODUÇÃO .....	36
METODOLOGIA .....	38
RESULTADOS .....	42
DISCUSSÃO .....	45
CONCLUSÃO .....	47
REFERÊNCIAS .....	47

## INTRODUÇÃO

A análise cinemática é um método quantitativo que oferece boa exatidão sem a variabilidade ligada a avaliação qualitativa (CHRISTOVÃO et al., 2008), permitindo uma análise detalhada e precisa do movimento, este que seria de difícil visualização durante exame visual e em tempo real (CHRISTOVÃO et al., 2007). A análise do movimento se tornou uma ferramenta importante na avaliação do desempenho esportivo em esportes equestres. Diversos autores utilizaram a análise cinemática como método de investigação, como para análise individual em saltos, avaliação da influência do peso que o animal carrega quando supera um obstáculo e os efeitos de um cavaleiro na performance do cavalo (MEERSHOEK et al., 2001a; MEERSHOEK et al., 2001b; CASSIAT et al., 2004; POWER E HARRISON, 2005).

Os membros torácicos são os responsáveis por suportar cerca de 60% do peso do animal em repouso (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014). A articulação metacarpofalangeana tem seu suporte e estabilização durante a locomoção garantidos pelo aparelho suspensor, que impede sua hiperextensão quando o casco entra em contato com o solo (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014). Os ângulos articulares variam com idade (GODOI et al., 2013), raças e tipos de cavalos dentro de certos limites (MOLON, 2012). Com relação aos tendões, não foi demonstrada alteração relacionada à idade; no entanto houve diferenças nos tendões entre raças e entre diferentes tendões do mesmo animal, sugerindo que diferentes propriedades dos tendões são necessárias para realizar movimentos específicos em diferentes modalidades esportivas (VERKADE et al., 2020).

A recepção do salto é uma atividade assimétrica durante a qual os membros torácicos contralaterais são usados de forma diferente: o membro principal é colocado mais tarde e mais à frente do que o primeiro membro apoiado, este último chamado de membro de arrasto ou de fuga (MEERSHOEK et al., 2001b). Foi comprovada maior sobrecarga dos tendões flexores de MT1 durante a recepção do salto (MEERSHOEK et al., 2001b). Pousos repetidos com o mesmo membro podem, portanto, resultar em sobrecarga dos tendões flexores locais (MEERSHOEK et al., 2001b).

O objetivo do trabalho foi avaliar, por meio de análise cinemática, a alteração de ângulo da articulação metacarpofalangeana, durante a recepção do salto em diferentes alturas ou larguras, na raça Brasileiro de Hipismo. A comparação foi realizada a partir das variações angulares da articulação metacarpofalangeana de cada membro torácico entre diferentes alturas e larguras de obstáculos, considerando o momento de recepção, e também a angulação da mesma articulação quando em repouso. A partir do conhecimento da hiperextensão da articulação metacarpofalangeana, da atividade assimétrica dos membros torácicos (MEERSHOEK et al., 2001b), e da individualidade racial e esportiva (VERKADE et al., 2020), se faz necessário que estudos sejam realizados dentro de cada raça e de esportes específicos, como o caso da recepção e salto na raça Brasileiro de Hipismo.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### 1. O cavalo Brasileiro de Hipismo:

#### 1.1 Histórico

O Brasil possui o maior rebanho de equinos da América Latina, com cerca de 5,8 milhões de cabeças, que mobiliza cerca de R\$16 bilhões de reais por ano (SANTOS et al., 2018). Este mercado engloba grandes assimetrias informacionais (Egbert, 2007). Um mercado com grandes assimetrias informacionais leva à venda de bens de baixa qualidade (AKERLOF, 1970). Assim, suscitou-se a criação de instituições que visem minimizar essa assimetria (SANTOS et al., 2018). A finalidade da criação de associações de criadores de cavalo é melhorar a habilidade do equino em competições e fornecer cavalos de qualidade (KOENEN e ALDRIDGE, 2002). São características importantes consideradas por um produtor: conformação, salto, adestramento, marcha, comportamento e saúde do animal (KOENEN et al., 2004) e o preço do animal também se mostra importante, sendo componentes da precificação raça, cor, idade, altura, temperamento e potencial de uso (ODDIE et al., 2014).

A Associação Brasileira de Criadores de Cavalo de Hipismo (ABCCH) foi fundada em 1977 com o objetivo de criar e desenvolver animais nacionais com aptidão esportiva para adestramento, salto ou concurso completo de equitação. Até 1970 não havia criação de cavalos de esportes hípicas para salto. Com a falta de animais para atender a procura, em virtude do grande desenvolvimento do hipismo no Brasil, os cavalos disponíveis eram os Puro Sangue de Corridas, que por sua vez eram descartados dos Jockeys, mestiços importantes da Argentina, e, em menor número do Uruguai, Chile e até alguns da Europa (MONTE, 2019).

A raça do cavalo Brasileiro de Hipismo (BH) é recente, quando comparada à raça Puro Sangue Inglês (PSI), por exemplo, que tem registros genealógicos com mais de três séculos (CUNNINGHAM et al. 2001). A raça BH foi formada a partir do acasalamento de um grupo de éguas base com garanhões nacionais ou importados, aprovados no serviço de registro genealógico da respectiva raça. A ABCCH define como “raças formadoras” aquelas reconhecidas pela Federação Mundial para a Criação de Cavalos de Esporte (WBFSH) e raças de esporte de sangue quente como Puro Sangue Inglês, Árabe e seus cruzamentos. As chamadas éguas base constituíram um grupo com ou sem genealogia conhecida, com características morfológicas e funcionais, consideradas capazes de produzir produtos dentro do Padrão Racial do Cavalo Brasileiro de Hipismo (REGULAMENTO S.B.B.C.H.).

Dias et al. (2000) analisaram dados da ABCCH, entre 1977 e 1998, e relataram vinte raças como formadoras do BH, sendo as principais: o próprio BH (22,5%), animais sem genealogia conhecida (21,9%), PSI (15,0%), Hanoveriana (8,1 %), Westfalen (5,2%), Holsteiner (4,8%) e Trakehner (4,1%). Os garanhões predominantemente utilizados até então foram oriundos das raças Puro Sangue Inglês (20,9%), Hanoveriana (16,1%), Westfalen (10,5%), Holsteiner (9,6%) e Trakehner (8,2%). As éguas base cadastradas representaram 42,8% do total de fêmeas disponíveis para a reprodução. Outras raças de contribuição na população de fêmeas foram a PSI (10,8%) e o próprio BH (36,2%).

Já Medeiros (2014) afirmou que pelo menos 37,52% dos genes BH recentes são de raças alemãs de cavalos de esporte. Outra constatação foi a baixa consanguinidade média estimada, devido ao grande tamanho populacional e ao grande número de animais fundadores de raças geneticamente diversas. Recentemente, também houve aumento na contribuição genética de ancestrais antigos, acompanhado por uma tendência de aumento da endogamia ao longo dos anos, sugerindo que as mesmas linhagens foram trazidas novamente para a população de BH, indicando preferência do criador por algumas linhagens genéticas, o que pode levar a um aumento ainda maior na endogamia (MEDEIROS, 2014).

Atualmente, todas as éguas BH e das raças formadoras registradas consideradas morfológicamente adequadas são admitidas como matrizes. Já os garanhões BH são escolhidos em julgamentos anuais segundo análises morfológicas, funcionais e genealógicas descritas no regulamento da raça. Garanhões de raças formadoras do cavalo BH podem ser utilizados desde que seja aprovado pelo Stud Book Brasileiro do Cavalo de Hipismo (REGULAMENTO S.B.B.C.H.)

Santos et al. (2018) avaliaram fatores motivadores para a aquisição de cavalos BH no estado de São Paulo (SP), e os maiores atrativos dos entrevistados foram: primeiramente a qualidade do animal, e em segundo lugar sua saúde, versatilidade e sua performance em competições, sendo tais dados um reflexo da aptidão competitiva do animal, seja para competição amadora ou profissional. Assim, fatores como preço adquiriram um papel secundário, sendo sobrepostos por fatores como a qualidade e saúde do animal BH (SANTOS et al., 2018), o que endossa sua boa capacidade como competidor. Importantes animais BH foram criados, como Alpes Itapuã, representante nas Olimpíadas de Los Angeles; Aspen, medalha de bronze nas Olimpíadas de Atlanta e Sidney; dentre outros que vieram posteriormente (MONTE,2019), bem como nos jogos Pan-Americanos de 2015 em Toronto e nas olimpíadas de 2016 do Rio de Janeiro (SANTOS et al., 2018).

## 1.2 Morfologia

As avaliações morfológicas são fundamentais na seleção de animais e devem ser amplamente compreendidas por criadores, cavaleiros, veterinários e outros profissionais envolvidos com o BH. Dessa forma, busca-se o reconhecimento de animais com aptidão para o esporte e compreende-se como melhor extrair todo o seu potencial (ALVES, 2017). Ao analisar a conformação e a movimentação espera-se estabelecer o prospecto de saúde do animal. Bons aprumos e boa estrutura física são indicadores de longevidade esportiva. Dessa maneira, animais com potencial para desempenhar bom papel no esporte, tanto com cavaleiros amadores quanto com profissionais, serão reconhecidos (ALVES, 2017).

O índice corporal (IC) relaciona o comprimento do corpo com o perímetro torácico dos equinos:  $IC = \text{Comprimento do corpo (cm)} / \text{Perímetro torácico (cm)} \times 100$ , classificando-os em longilíneos, mediolíneos e brevilíneos: quando IC é superior a 0,9 (ou 90), o animal é classificado como longilíneo; quando IC consta entre 0,86 e 0,88 (86 a 88) o animal é considerado mediolíneo, enquanto um animal com  $IC < 0,85$  (85) é considerado brevilíneo (MCMANUS et al., 2005). Através do IC tem-se informação sobre a aptidão mais adequada para

velocidade (longilíneo), força (brevilíneos) e intermediária entre força e velocidade (mediolíneos) (REZENDE et al., 2018). O IC do cavalo BH variou entre 88,04 até 89,59 (GODOI et al., 2013), podendo ser o BH considerado um cavalo medilíneo de aptidão intermediária entre velocidade e força. O cavalo campeiro, por exemplo, possui IC de 84,9, o que foi considerado como medilíneo e ideal para equitação (MCMANUS et al., 2005).

Um Índice Dáctilo-Torácico (IDT) médio (10,5) indica que o cavalo é intermediário entre sela e tração leve (MCMANUS et al., 2005). O IDT relaciona o perímetro da canela com o perímetro torácico e indica correlação existente entre a massa dos equinos e os membros:  $IDT = \text{Perímetro da canela (cm)} / \text{Perímetro torácico (cm)}$ , classificando-os em hipermétricos, eumétricos e hipométricos. Os equinos hipermétricos apresentam IDT maior que 10,8 (GODOI et al., 2013). Para que se tenha uma proporção adequada, têm-se a necessidade do desenvolvimento dos membros de acordo com o desenvolvimento do tronco (REZENDE et al., 2018). A classificação do BH foi de hipermétrico, com IDT variando de 11,41 a 11,98 (GODOI et al., 2013).

Outras raças de equinos, como a raça Pantaneira e Campeira, apresentaram IDT de 10,5 e 10,9 respectivamente, indicando correlação entre essas duas raças, como cavalos intermediários entre sela e tração leve (GODOI et al., 2013). Quando os cavalos BH são comparados com cavalos Mangalarga Marchador, por exemplo, um animal tipo sela, o IDT do Mangalarga, em machos e fêmeas, foi de 10,9 e 10,83, respectivamente sendo um cavalo classificado como eumétrico. Em equinos da raça Alter, o IDT de machos e fêmeas foi de, respectivamente, 10,8 e 10,19, sendo classificados respectivamente como eumétricos e hipométricos (GODOI et al., 2013).

Com relação à altura de cernelha (AC), o BH apresenta altura que varia, em potros, dos 22 aos 39 meses de idade, de 1,50m até 1,59m (GODOI et al., 2013), e segundo REZENDE et al. (2014), o BH apresenta AC de 1,61m, apresentando porte médio de acordo com MCMANUS et al. (2005). São animais mais altos que o cavalo Campeiro, por exemplo, que em média apresenta AC de 1,44m (MCMANUS et al., 2005). O BH também apresenta AC maior que outras raças sul-americanas, como por exemplo o a raça Crioula e Pantaneira, com AC inferior à 1,50m (MCMANUS et al., 2005), e também possui AC maior que o PSI (1,59m), Quarto de Milha (1,51m) e o cavalo Árabe (1,51m) (REZENDE et al., 2014).

Potros da raça BH entre 22 e 39 semanas de idade apresentaram Altura da Garupa (AG) variando entre 1,51m na 22ª semana e até 1,59m na 39ª semana de vida (GODOI et al., 2013), enquanto REZENDE et al. (2014) encontrou AG de 1,60m para o BH. A AG do cavalo BH é superior à do cavalo da raça Campeiro (1,45m) (MCMANUS et al., 2005), do PSI (1,59m), do Quarto de Milha (1,53m), do Árabe (1,50m) e do Crioulo (1,43m) (REZENDE et al., 2014).

Pelas características descritas até agora, o cavalo da raça BH pode ser, então, classificado como um cavalo medilíneo, hipermétrico e de médio porte (MCMANUS et al., 2005; GODOI et al., 2013).

Rezende et al. (2014) compararam a morfologia do BH com outras raças, dentre elas PSI, quarto de milha e crioulo, e concluiu que o BH era a raça com maior impulso, enquanto o PSI ficou com a maior velocidade. Em outra comparação, Rezende et al. (2016) classificou o BH como tendo a maior

capacidade de suportar peso sem esforço exagerado sobre o dorso, trabalhando a passo e ao galope.

No site da ABCCH há o livro “Brasileiro de Hipismo - Morfologia” (ALVES, 2017) sobre o BH, porém a parte de quartela e articulação metacarpofalangeana traz apenas a angulação ideal para a quartela, não para a articulação metacarpofalangeana, o estudo deste, foi com base em outros trabalhos, explícitos a seguir. Os valores 131,7°; 140,9°; 138,98° foram encontrados para animais da raça BH entre 22-25, 23-32 e 36-39 meses de idade (GODOI et al., 2013); e para cavalos adultos, nove anos ( $\pm 3,54$ ), também BH, foram determinados os valores mínimo 149°, máximo 170°, e média 157,14°, em um estudo com 28 animais (CUNHA et al, 2020).

## **2. Anatomia do membro torácico: articulação metacarpofalangeana e estruturas associadas:**

Os membros torácicos são os responsáveis por suportar cerca de 60% do peso do animal em repouso. A articulação metacarpofalangeana é formada pela extremidade distal do terceiro metacarpiano, extremidade proximal da falange proximal e ossos sesamóides proximais (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014). Seu suporte e a sua estabilização durante a locomoção são dados pelo Aparelho Suspensor da Articulação metacarpofalangeana (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014).

O aparelho suspensor da articulação metacarpofalangeana é constituído pelo musculo interósseo, junto com os ossos sesamóides proximais e os ligamentos sesamóideos. O musculo interósseo tem origem no ligamento palmar do carpo e desliza distalmente na superfície palmar do terceiro metacarpiano, entre o 2º e 4º metacarpianos, para se dividir em dois ramos extensores, que se unem ao tendão extensor digital comum ao nível dos ossos sesamóides proximais (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014). Os ligamentos sesamóideos são os metacarpo-intersesamóideos, colaterais, distais (reto, oblíquo e cruzados) e curto (SISSON, 1986).

O tendão flexor digital profundo se forma logo acima do carpo e segue em sentido distal entre o musculo interósseo e o tendão flexor digital superficial, continuando no sentido palmar ao osso sesamóide distal inserindo-se na superfície flexora da falange distal; há uma bolsa sinovial navicular que protege o tendão flexor digital profundo de atrito e pressões excessivas contra o osso navicular (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014).

O tendão flexor digital superficial provém da parte palmar do carpo e continua distalmente sobre o tendão flexor digital profundo. Ao nível da articulação metacarpofalangeana divide-se em dois pequenos tendões que vão unir-se à parte distal da falange proximal e à parte proximal da falange média (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014). Ao nível da articulação metacarpofalangeana, os tendões flexores são mantidos na sua devida posição anatômica pelo ligamento anular palmar, que surge a poucos centímetros proximalmente, terminando na falange média (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014).

Foi comprovado que o Tendão Flexor Digital Superficial equino possui o órgão tendíneo de golgi (WATANABE et al., 2004), assim como gatos e humanos (LYLE e NICHOLS, 2019), um mecanorreceptor presente na junção musculotendínea, que atua na mensuração da tensão local, ativando um interneurônio que inibe a tensão muscular, protegendo o músculo de uma

eventual sobrecarga (HANSEN e KOEPPEN 2002). A estabilização da articulação metacarpofalangeana se dá, principalmente, pelo músculo interósseo associado ao tendão flexor digital profundo e superficial, impedindo a hiperextensão da articulação metacarpofalangeana quando o casco encontra o solo (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014).

Os ângulos articulares, medidos com o animal em estação e repouso, variam com idade (GODOI et al., 2013), raças e tipos de cavalos dentro de certos limites. Quando os ângulos articulares não estão adequados ocorre uma sobrecarga dos tendões (estruturas compostas de tecido conjuntivo denso que ligam os músculos aos ossos promovendo o movimento articular), e este excesso de esforço pode ocasionar inflamação destas estruturas (MOLON, 2012). Para o ângulo metacarpofalangeano (MCF), alguns valores foram encontrados, dentre eles: 145° a 159° sem raça ou idade especificadas (MOLON, 2012).

### **3. Cinesiologia**

A análise cinemática é um método quantitativo que oferece boa exatidão sem a variabilidade ligada a avaliação qualitativa (CHRISTOVÃO et al., 2008). Assim, se permite uma análise detalhada e precisa do movimento, este que seria de difícil visualização durante exame visual e em tempo real (CHRISTOVÃO et al., 2007). A análise do movimento se tornou uma ferramenta importante na avaliação do desempenho esportivo em esportes equestres. Diversos autores utilizaram a análise cinemática como método de investigação, como para análise individual em saltos, avaliação da influência do peso que o animal carrega quando supera um obstáculo, os efeitos de um cavaleiro na performance do cavalo (MEERSHOEK et al., 2001a; MEERSHOEK et al., 2001b; CASSIAT et al., 2004; POWER E HARRISON, 2005).

Na cinemática, os movimentos são descritos por variáveis lineares e angulares que relacionam tempo, deslocamento, velocidade e aceleração (BARREY e GALLOUX, 1999). São utilizados marcadores colados ao corpo, que são filmados, e estas imagens obtidas são analisadas a fim de medir os parâmetros de interesse (CHRISTOVÃO et al., 2007; DE GODOI, 2014). Os marcadores são compostos de pequenos adesivos reflexivos colados na pele sobre padrões anatômicos de interesse (GODOI et al., 2014).

Após as filmagens, o operador precisa rastrear manualmente, de forma semi-automática ou automática, as coordenadas dos marcadores em cada imagem. Além disso, os marcadores não são sempre facilmente detectáveis de forma automática, fazendo-se necessária supervisão manual, especialmente para segmentos distais e marcadores ocultos (BARREY e GALLOUX, 1999). A análise das imagens varia de acordo com os autores, Godoi et al.(2015) usaram o aplicativo Simi Reality Motion Systems® 4.7 para processar as imagens, já Christovão (2007) usou o Dvideow para identificar os marcadores.

### **4. Biomecânica do salto**

O salto exige que o cavalo eleve o centro de massa (CM) alto o suficiente para todas as partes do corpo ultrapassarem a altura e largura de um

obstáculo. A fase da passada em que o cavalo salta é uma suspensão prolongada. O padrão de decolagem dos membros pélvicos e a aterrissagem dos membros torácicos são mais facilmente incorporados ao galope, embora os cavalos também possam saltar a partir do trote, passo ou mesmo parados (BACK e CLAYTON, 2013).

A terminologia para as fases do salto foi descrita por Clayton (1989) e desde então essa terminologia foi utilizada em trabalhos com equinos. Os componentes do salto são a decolagem, suspensão e pouso (recepção). A decolagem compreende as fases de apoio dos MP's imediatamente antes do salto. A suspensão de salto começa quando o último MP deixa o solo na decolagem e termina no primeiro contato do MT com o solo durante aterrissagem. A aterrissagem compreende as fases de apoio dos dois membros torácicos após a suspensão do salto. Os passos que precedem o salto são as passadas de aproximação e aquelas que seguem o salto são de partida. Ambos os passos de aproximação e de partida são numerados do salto para fora (CLAYTON, 1989).

Cada cavalo tem sua própria técnica de salto, que é repetida de salto em salto e produz uma aceleração característica (BACK e CLAYTON, 2013). O animal pode mudar a posição relativa de seus segmentos corporais: axial (cabeça, pescoço, tronco e pelve) e estruturas apendiculares (membros) (DENOIX, 2014) - tais mudanças serão exploradas no tópico "suspensão".

Sobre um pequeno obstáculo de 0,8m de altura, cavalos com boa técnica, que dobram seus membros pélvicos durante a suspensão, tem forças de suspensão vertical e longitudinal semelhantes em forma e magnitude às forças de um galope. No entanto, um cavalo com técnica de salto ruim possui forças consideravelmente maiores tanto na decolagem quanto na aterrissagem (BACK e CLAYTON, 2013).

As forças usadas por um saltador sem habilidade sobre um obstáculo de 0,8 m de altura são semelhantes em magnitude às usadas por um saltador habilidoso sobre um obstáculo de 1,3 m de altura (BACK e CLAYTON, 2013). Pode ser esperado que cavalos com técnica defasada demonstrem sinais de lesões por desgaste mais rápido que cavalos com técnica adequada (BACK e CLAYTON, 2013). Saltadores sem habilidade, mesmo quando saltam sem cometer faltas, tendem a ter uma proporção maior entre a aceleração fornecida durante a decolagem pelos membros torácicos e os membros pélvicos (BACK e CLAYTON, 2013). Em outras palavras, eles aumentam a ação de frenagem dos MT's na passada de abordagem 1, para compensar um fraco impulso de aceleração dos membros posteriores na decolagem (BACK e CLAYTON, 2013).

Quando um cavalo salta um obstáculo com menos de 1 m de altura, é necessário pouca ou nenhuma elevação do CM e, conseqüentemente, as forças necessárias não são muito maiores do que aqueles em um galope (BACK e CLAYTON, 2013). Por exemplo, ao saltar um obstáculo de 0,8 m de altura, os impulsos verticais aumentam apenas cerca de 8% no lado da decolagem e 3% no lado de pouso (BACK e CLAYTON, 2013). Para os superiores a 1,0 m, a necessidade de elevar o CM aumenta progressivamente com a altura do obstáculo, com um conseqüente aumento nas forças verticais na decolagem e pouso (BACK e CLAYTON, 2013).

Não se sabe a porcentagem necessária de impulso para oxer na mesma altura, mas Murariu (2014) concluiu que cavalos bem sucedidos em salto do tipo oxer tiveram um CM mais alto e mais distante do obstáculo durante a

decolagem. Tais animais tiveram, também, menor velocidade horizontal, maior velocidade vertical e maior flexão de carpo, quando comparados aos maus sucedidos (MURARIU, 2014)

## **4.1 Decolagem**

O caminho do CM do cavalo é determinado durante a decolagem, depois que a suspensão do salto começa, essa propriedade não pode ser alterada até que o cavalo faça contato com outro objeto ou com o solo. Portanto, a abordagem e a decolagem são extremamente importantes na determinação do resultado do salto (BACK e CLAYTON, 2013).

### **4.1.1 Membros torácicos**

Durante a última passada antes da decolagem, os MT's encontram-se totalmente alongados em posição avançada a fim de preparar a elevação da frente do animal na decolagem (DENOIX, 2014). Os MT's têm uma ação mecânica semelhante àquela de um salto com vara, onde o movimento horizontal se torna traduzido em movimento vertical (DENOIX, 2014).

Ambos os MT's exercem um grande impulso de frenagem, que desacelera o movimento para frente (BACK e CLAYTON, 2013). A ação de frenagem causa uma redução na velocidade horizontal, convertendo o movimento para a frente em movimento vertical e iniciando o movimento ascendente (BACK e CLAYTON, 2013). Depois que os MT's deixam o solo, a cabeça e o pescoço são elevados, o que ajuda a estabelecer uma posição vantajosa durante o impulso pelos MP's (BACK e CLAYTON, 2013).

O apoio dos MT's é acompanhado por deslocamento ventral de cabeça, pescoço e tronco. No tórax, o deslocamento ventral ocorre devido ao impulso do corpo e contração muscular concêntrica (DENOIX, 2014). Ao mesmo tempo, ocorre flexão das articulações do ombro, cotovelo e interfalangeanas, bem como extensão do carpo e articulação metacarpofalangeana (DENOIX, 2014). Isso coloca as estruturas passivas e elásticas sob tensão (a exemplo de tendões flexores, ligamentos acessórios e o musculo interósseo), o que resulta em um acúmulo de energia armazenada que, em combinação sinérgica com a atividade muscular, irá contribuir para alcançar propulsão vertical (DENOIX, 2014).

A propulsão horizontal resulta da oscilação do ombro e braço. Já a vertical é resultado de uma combinação de impulsão dos MT's e deslocamento dorsal do tronco entre eles (DENOIX, 2014). Deslocamento dorsal da frente (e, portanto, da cernelha) precede o contato com o solo dos membros pélvicos, e é rápido, com ações articulares do MT junto com contração concêntrica da cintura muscular suspendendo o tórax entre os MT's (DENOIX, 2014).

O movimento em que os MT's se dobram é resultado final da tração para frente da escápula e do úmero, e flexão de todas as articulações do membro (DENOIX, 2014). A extremidade superior da escápula é puxada caudalmente, enquanto sua extremidade inferior e o úmero vão em direção dorsal (DENOIX, 2014). Este movimento, portanto, resulta na horizontalização do ombro. A flexão de todas as articulações do MT ocorre devido a contrações musculares concêntricas e a inércia geral do membro (DENOIX, 2014).

#### **4.1.2. Membros pélvicos**

Na decolagem, os MP's frequentemente entram em contato com o solo de forma síncrona e a distâncias quase iguais do obstáculo (BACK e CLAYTON, 2013). Suas funções são fornecer propulsão para cima e para frente (BACK e CLAYTON, 2013).

O engajamento da extremidade posterior ocorre durante a fase de balanço do passo de aproximação 1, enquanto os membros não suportam peso (DENOIX, 2014). Durante esta fase, a articulação do quadril é flexionada, enquanto as outras articulações (joelho, jarrete e demais distais) estão em transição de flexão à extensão (DENOIX, 2014). A protração dos MP's é auxiliada por propulsão horizontal e vertical dos MT's, que puxam os MP's em direção cranial. (DENOIX, 2014).

A elevação frontal, em combinação com o apoio dos MP's, é acompanhada por uma queda na parte traseira do cavalo (DENOIX, 2014). Durante o breve período entre a absorção da força do impacto e a propulsão, ocorre que a carga máxima dos elementos ativos e passivos da fase de propulsão (DENOIX, 2014). Os músculos glúteos e femorais craniais sofrem alongamento intenso; esta contração excêntrica será traduzida em uma poderosa contração concêntrica durante a propulsão (DENOIX, 2014). As estruturas elásticas e passivas do MP também são acentuadamente alongadas, armazenando energia que contribuirá para a propulsão (DENOIX, 2014).

#### **4.1.3. Esqueleto axial**

As estruturas do esqueleto axial e as estruturas associadas têm um papel importante no salto, especialmente durante a decolagem (DENOIX, 2014). Eles estendem a ação dos MT's e preparam a extremidade posterior para propulsão (DENOIX, 2014). Três fases podem ser identificadas na decolagem para um salto: 1) Início da decolagem onde a flexão toracolombar e lombossacra predominam em conjunto com engajamento dos MP's; a propulsão dos MT's é facilitada pela extensão (deslocamento dorsal) do pescoço; 2) Estabilização das regiões axiais como resultado de atividade muscular durante o apoio dos MP's; 3) Propulsão dos MP's em sincronia com extensão lombossacra e flexão torácica (DENOIX, 2014).

Durante a decolagem, a flexão toracolombar é acompanhada por flexão lombossacra, enquanto a região cervical inferior e as regiões torácicas estão em extensão, facilitando o deslocamento dorsal do pescoço e, portanto, da região frontal do cavalo (DENOIX, 2014).

Já na propulsão, última fase de decolagem, há flexão na região cervicotorácica, que precede e potencializa a flexão toracolombar (DENOIX, 2014). A flexão cervical e torácica ocorre pois há contração dos músculos cervicais ventrais: eles promovem tensão no ligamento nucal, puxando os processos espinhosos dorsais da cernelha para a frente, então, esses movimentos resultam em achatamento da coluna vertebral e a preparam para o impulso da extremidade traseira (DENOIX, 2014). A extensão lombossacra potencializa a propulsão da extremidade posterior. Durante toda esta fase, a contração isométrica dos músculos da parede abdominal contribui para o suporte e estabilidade vertebral (DENOIX, 2014).

A biomecânica do pescoço contribui efetivamente para movimentos de todo o tronco: quando os MT's tocam o solo e o pescoço se abaixa, ocorre o engajamento dos membros pélvicos e alongamento da cintura muscular que sustenta a frente, o que potencializa a contração concêntrica desses músculos durante a propulsão vertical pelos MT's (DENOIX, 2014). A elevação rápida do pescoço durante a propulsão dos MT's auxilia no impulso vertical e libera os ligamentos nucal e supraespinhoso, isso facilita a flexão toracolombar e engajamento dos posteriores (DENOIX, 2014).

Durante a propulsão dos MP's, há flexão cervicotorácica, resultando em endireitamento e estabilização toracolombar (DENOIX, 2014). A flexão cervicotorácica também está associada à contração dos músculos cervicais dorsais e coloca a nuca e os ligamentos supraespinhosos sob tensão, e essas duas ações puxam os processos espinhosos da cernelha para a frente, resultando na flexão da coluna torácica, que por sua vez potencializa a extensão lombossacra (DENOIX, 2014).

## **4.2. Suspensão**

A suspensão é definida como a fase no ar, desde a decolagem do membro pélvico guia (aquele que se eleva por último) até o impacto do primeiro membro torácico, sendo antigamente definida como fase aérea (Clayton, 1989). Após a decolagem, os movimentos dos segmentos do corpo e dos membros são coordenados de modo que a velocidade angular do tronco permaneça quase constante em toda a suspensão de salto (BACK e CLAYTON, 2013). Todos os segmentos atuam sinergicamente com as contribuições aproximadas dos diferentes segmentos ao momento angular sendo 50% do tronco, 25% dos MP's, 2% da cabeça-pescoço e 5% dos MT's (BACK e CLAYTON, 2013).

A presença do cavaleiro não tem efeito na rotação do corpo do cavalo (BACK e CLAYTON, 2013). Conforme o cavalo passa por cima do obstáculo, os MT's geralmente têm menos folga (espaço sobrando entre o membro e o obstáculo) do que os MP's, e folga de todos os membros diminui com o aumento da altura do obstáculo (BACK e CLAYTON, 2013).

A fase de suspensão é dividida em 3 partes, ascendente, pico e descendente (DENOIX, 2014). Na fase ascendente, a articulação lombossacra continua em extensão e o pescoço abaixa, alinhando-se com as costas e iniciando a flexão torácica (DENOIX, 2014). A flexão da parte inferior do pescoço ocorre no final da propulsão dos MP's e continua durante a fase ascendente (DENOIX, 2014). Esta flexão resulta em um achatamento da curvatura normal da coluna na junção cervicotorácica: seu efeito é uma leve flexão da coluna torácica (DENOIX, 2014). Assim que os membros pélvicos levantam da superfície do solo há um rápido alívio das forças compressivas (geradas durante a propulsão) na coluna toracolombar, ela passa, então, por uma extensão leve e progressiva enquanto o corpo do cavalo está se movendo para cima (DENOIX, 2014).

No pico de suspensão não há ação muscular que possa afetar a trajetória do centro de massa do cavalo (DENOIX, 2014). No entanto, o animal pode mudar a posição relativa de seus segmentos corporais: axial (cabeça, pescoço, tronco e pelve) e estruturas apendiculares (membros) - os movimentos vertebrais podem ocorrer em dois planos diferentes: mediano (ou longitudinal) e transversal (DENOIX, 2014).

Os movimentos no plano mediano dos segmentos vertebrais ocorrem em torno de duas principais regiões móveis: a junção cervicotorácica e a lombossacra (DENOIX, 2014). A ação da junção cervicotorácica depende do tipo de salto e do estilo do cavalo, em um salto em distância, a coluna cervicotorácica adota um certo grau de extensão (DENOIX, 2014). Em um salto vertical, há deslocamento ventral do pescoço, acompanhado por flexão torácica (DENOIX, 2014). A junção lombossacra amplifica a extensão iniciada durante a decolagem. Esta extensão é aparente mais cedo quando a posição dos MP's na decolagem está longe do obstáculo (DENOIX, 2014). Dependendo do posicionamento dos membros durante a fase de aproximação do salto, o cavalo pode então empreender a flexão toracolombar e lombossacra para auxiliar passagem dos MP's sobre o salto, especialmente se já está tendo alguma dificuldade (DENOIX, 2014).

Nos movimentos no plano transversal a maioria dos cavalos demonstra movimentos vertebrais rotacionais durante a suspensão (DENOIX, 2014). A rotação da coluna ocorre principalmente no meio da região torácica entre a T9 e T14 (DENOIX, 2014). Associando a flexão posterior da coluna, que ocorre no mesmo local. Este movimento rotacional é controlado principalmente pela contração concêntrica dos músculos abdominais oblíquos externos, e em menor escala, pela porção toracolombar do músculo multifídus (DENOIX, 2014).

Durante a suspensão, todas as articulações dos MT's são flexionadas. A horizontalização do ombro auxilia no deslocamento dorsal dos joelhos (DENOIX, 2014). Há flexão máxima do cotovelo e ombro. Flexão do carpo e articulação metacarpofalangeana trazem a mão em contato com o cotovelo (DENOIX, 2014). Existem variações individuais no gesto durante a flexão do membro anterior: 1) adução dos MT's por meio da ação dos músculos peitoral descendente e braquiocefálico, 2) joelhos em abdução leve (DENOIX, 2014). Em geral, flexão do cotovelo e deslocamento dorsal do ombro aproximam os carpos, este é um movimento de adução, ele induz uma rotação medial do úmero, é frequente acompanhado por desvio lateral das mãos (DENOIX, 2014). Em alguns cavalos, essa adução não ocorre; e em alguns casos, a adução é seguida rapidamente por abdução dos membros durante o mesmo salto (DENOIX, 2014).

O posicionamento ideal dos MP's durante a fase de pico é intensa flexão da articulação fêmurotibiopatelar e das distais a ela (DENOIX, 2014). A extremidade distal do membro é levantada através da extensão do quadril e junção lombossacra (DENOIX, 2014). A flexão dos MP's é combinada com movimentos rotacionais, ainda mais do que nos MT's (DENOIX, 2014). O músculo íliaco traciona a parte medial do fêmur, resultando em uma rotação lateral. Isso induz um desvio medial da tíbia e do jarrete (DENOIX, 2014). Ação simultânea do músculo glúteo profundo resulta em abdução da articulação femurotibiopatelar. A flexão da articulação femurotibiopatelar é sempre associada a uma rotação da tíbia. Isso se deve à forma irregular dos côndilos femorais, bem como a ação do músculo poplíteo (DENOIX, 2014).

A fase descendente requer extensão máxima da coluna vertebral, isso ocorre em três localizações: 1) extensão cervicotorácica: entre a coluna cervical e torácica inferior, auxilia na preparação para pouso (DENOIX, 2014). Isso é possível através contração concêntrica dos músculos cervicais dorsais e a porção torácica do eretor da espinha (DENOIX, 2014). 2) extensão toracolombar: alcançam rapidamente a extensão máxima com os processos espinhosos dorsais tornando-se muito próximos, este movimento pode ser responsável por

dor vertebral em cavalos, pelo choque dos processos espinhosos dorsais ou artrite das articulações facetárias (DENOIX, 2014). A contração de todo o comprimento do o músculo eretor da espinha resulta nesta extensão e facilita liberação dos MP's sobre o obstáculo (DENOIX, 2014). 3) Extensão lombossacra, é possível por causa da natureza divergente dos processos espinhosos entre a última vértebra lombar e primeiro processo espinhoso sacral (DENOIX, 2014). Resulta da contração concêntrica da porção lombar do músculo eretor da espinha (DENOIX, 2014). Uma vez que a extensão máxima foi alcançada, é iniciada uma rápida da flexão da região lombossacra e coxofemoral (DENOIX, 2014). Esta alternância entre extensão máxima e a flexão pode ocorrer antes dos membros anteriores entrarem em contato com o solo (DENOIX, 2014).

A extensão das articulações, preparando o cavalo para o pouso, às vezes ocorre ainda na fase de pico da suspensão de salto, a extensão escapulo-umeral e do carpo ocorrem antes do cotovelo, que é seguida pelas demais articulações (DENOIX, 2014). As extensões da articulação metacarpofalangeana e da quartela são atrasadas em relação às articulações proximais, e quando avaliada em câmara lenta, a extensão é semelhante a uma onda e as mais distais ocorrem apenas logo antes do pouso (DENOIX, 2014). Este movimento é o resultado de tensão gradual colocada nos músculos flexores digitais, que se contraem, preparando-se para absorção das forças que são inerentes da aterrissagem (DENOIX, 2014).

Para diminuir a queda do tronco entre os MT's na aterrissagem, os ombros sofrem um deslizamento para baixo, o que precipita o toque com o solo e aumenta tempo de contato dos membros anteriores (DENOIX, 2014).

A ação geral dos MP's durante a suspensão está sujeita à velocidade, pois em velocidade, o cavalo deve garantir uma propulsão eficiente através da extensão adequada dos membros, e em seguida, preparar-se rapidamente para o pouso, o que resulta em menos flexão das articulações (DENOIX, 2014). Finalmente, como nos MT's, a biomecânica dos MP's pode ser interrompida quando o cavalo está experimentando dificuldades durante um salto, pois quando o salto é muito alto, muito largo ou o ponto de decolagem é muito longe do obstáculo, o cavalo pode hiperflexionar seus membros para evitar uma falta (DENOIX, 2014).

### **4.3. Pouso**

Existe o membro torácico que toca primeiro o solo no pouso e o que toca por último, bem como existe o membro pélvico que toca o solo primeiro e o outro que toca o solo por último. O pouso é definido como o período entre o toque do primeiro membro torácico no solo, e o toque do último membro pélvico no solo (CLAYTON, 1989). A recepção do salto é um aspecto importante, pois o cavalo precisa fazer uma recuperação bem sucedida e ser capaz de partir rapidamente sem alterar drasticamente o comprimento e a frequência da passada (POWERS e HARRISON, 2005). Durante o pouso, três fases podem ser identificadas: 1) apoio dos MT's, durante o qual a coluna vertebral sofre uma progressiva flexão; 2) suspensão, que é muito breve e é caracterizada por flexão vertebral; e 3) postura dos MP's, que facilita o reestabelecimento do equilíbrio (DENOIX, 2014).

Ao nível do tronco, a primeira fase é caracterizada por uma flexão rápida e significativa da coluna vertebral, muitas vezes iniciada durante a fase

descendente da suspensão de salto (DENOIX, 2014). A região lombossacra é a primeira a fazer a transição para flexão durante a fase descendente do salto (DENOIX, 2014). Assim que os MT's pousam, a queda espontânea dos MP's contribui passivamente para a flexão toracolombar e lombossacra, enquanto o deslocamento ventral do pescoço contribui significativamente para a absorção de carga pelos MT's na aterrissagem e corresponde à flexão cervicotorácica (DENOIX, 2014). Essa flexão não é resultado da atividade dos músculos flexores do pescoço, é um movimento espontâneo que ocorre devido à inércia da massa da cabeça e do pescoço, sendo este movimento, limitado, entretanto, pela elasticidade do ligamento nugal e pela contração excêntrica dos músculos cervicais dorsais (DENOIX, 2014). Portanto, o apoio dos MT's na aterrissagem é a única fase durante o salto em que todas as junções vertebrais estão sofrendo flexão simultaneamente, e além disso, a flexão cervicotorácica reduz o risco de compressão dos processos espinhosos da cernelha (DENOIX, 2014).

A duração da segunda fase é altamente variável, dependendo do cavalo e da duração da fase de apoio dos MT's, o que, por sua vez, depende da altura do salto e da velocidade (DENOIX, 2014). Há sempre um estado intermediário entre a fase de postura dos MT's e a fase de postura subsequente dos MP's (DENOIX, 2014). As junções lombossacra e toracolombar alcançam a flexão máxima, que muitas vezes é maior do que na decolagem, resultando em compressão intensa da coluna vertebral (DENOIX, 2014). A junção cervicotorácica sofre uma primeira extensão, que auxilia na elevação do pescoço e conseqüentemente e auxilia no estabelecimento do equilíbrio (DENOIX, 2014).

A terceira fase consiste em apoio dos MP's e suspensão da frente, o que resulta em contração intensa da coluna vertebral dorsal e aumento da compressão dos discos intervertebrais (DENOIX, 2014). Na propulsão dos MP's e início do movimento para a frente, a extensão lombossacra e toracolombar é sincronizada com a flexão cervicotorácica (DENOIX, 2014). Durante a suspensão do MT (o tronco não é suportado pelos MT's), a concentração de estresse intervertebral é maior na região lombar (DENOIX, 2014). Essas tensões reduzem progressivamente em direção cranial e tornam-se relativamente fracas na cernelha (DENOIX, 2014).

#### **4.3.1. Membros Torácicos**

A função principal do membro torácico é sustentar a maior parte do peso do corpo do equino (55% a 60%), o que se reflete através da redução da estrutura esquelética da cintura escapular, onde apenas permanece a escápula e, em algumas espécies, uma clavícula reduzida; os membros torácicos também representam os principais amortecedores de impacto, necessários especialmente nos pousos de salto (DYCE et al., 2010; MAIERL et al., 2016). A função de absorção de choque dos MT's é assegurada em dois níveis: primeiramente, pelas estruturas musculares que conectam o tronco aos membros; em segundo lugar, através dos vários ossos e articulações sendo que uma falha ou lesão de qualquer uma dessas estruturas irá resultar na sobrecarga das outras (DENOIX, 2014)

As forças às quais os membros torácicos estão submetidos aumentam significativamente quando um animal atinge o solo após um salto (MAIERL et al., 2016). Durante o pouso, o movimento do corpo muda de direção, e o equino começa a rebalancear e restaurar o padrão de passada, sendo a fase

de pouso parte integral da performance do salto equino, e o balanceamento do cavalo durante o pouso afeta diretamente sua performance em competição (Clayton, 1989).

A queda do tronco entre os MT's no pouso é controlada por cintas musculares que prendem a parte superior dos membros à parede do tórax – a escápula se fixa ao tronco na extremidade cranial da configuração de arco e corda mediante uma sinsarcose, sendo que os músculos e tendões formam uma suspensão como uma tipóia para o tronco (DENOIX, 2014; MAIERL et al., 2016). Durante a descida do salto, esses músculos (serrátil, peitorais ascendentes e subclávios) sofrem uma contração concêntrica, puxando para baixo a escápula e o úmero e a contração continua até o contato com o solo, conferindo a esses músculos uma grande quantidade de alongamento elástico reserva e, portanto, a capacidade de absorver energia, e assim que os membros tocam o solo, o tronco começa a cair entre os MT's (DENOIX, 2014).

O grau de queda é retardado e limitado pela contração excêntrica das cinturas musculares torácicas sendo que este mecanismo muitas vezes é subestimado, mas possui papel fundamental na absorção de choque na aterrissagem, pois absorve uma grande parte das forças no impacto, assim protegendo as estruturas mais vulneráveis nas extremidades dos membros (DENOIX, 2014).

A fase de absorção de carga começa com o contato com o solo havendo fechamento controlado dos ângulos articulares e ativação das cinturas musculares torácicas, ambos contribuindo para a absorção de grandes forças associadas ao pouso vertical e à queda do CM do cavalo (DENOIX, 2014). No pouso, os dois MT's agem separadamente em termos de tempo de impacto e seu deslocamento do obstáculo (Clayton, 1989).

A fase média é caracterizada pelo fechamento máximo dos ângulos articulares; os músculos que atuam na fase de absorção de carga sofrem intensa contração excêntrica e terminam sua ação em estado alongado acentuado (DENOIX, 2014). Duas zonas que sofrem estresse particular precisam ser mencionadas: o ombro e a parte distal do membro. No ombro, o fechamento do ângulo da articulação escapulo-umeral está associado com o início da extensão da articulação do cotovelo; já na articulação metacarpofalangeana e metacarpo, a queda pronunciada da articulação metacarpofalangeana e horizontalização dos metacarpos colocam uma tensão significativa no aparelho suspensor da articulação metacarpofalangeana, nos tendões flexores e em seus ligamentos acessórios (DENOIX, 2014).

A propulsão pelos MT's na aterrissagem após um salto envolve a abertura dos ângulos das articulações e requer deslocamento dorsal da frente, por causa da contração concêntrica da cintura do tórax (músculos serráteis e peitorais) em sinergia com os músculos extensores do ombro e articulação do cotovelo, bem como os músculos flexores e tendões elevando a articulação metacarpofalangeana (DENOIX, 2014). O deslocamento dorsal da articulação metacarpofalangeana e a verticalização do metacarpo são resultados de ações passivas (reco elástico dos tendões e ligamentos acessórios) e ativas (músculos flexores em contração concêntrica) (DENOIX, 2014). Além disso, as tensões de compressão e tensão em todo aparelho podotrocLEAR (osso sesamóide distal, ligamentos sesamóideos e tendão flexor digital profundo) são mais intensas durante a propulsão do que durante as fases anteriores de pouso (DENOIX, 2014).

### **4.3.2. Membros pélvicos**

A articulação sacroilíaca une o sacro e a pelve em uma ligação rígida, sendo que o sacro fica suspenso sobre a face interna das asas ilíacas, o que assegura uma transmissão eficaz do impulso do membro pélvico para o tronco (MAIERL et al., 2016). Os membros pélvicos sustentam pouco mais de 40% do peso do corpo, e sem dúvida fornecem a maior parte do impulso para a frente na locomoção (DYCE et al., 2010).

O estágio inicial antes do pouso dos MP's é a protração, que ocorre durante a fase de postura dos MT's; após o pouso, o apoio e a propulsão dos MP's ocorrem enquanto os MT's não suportam peso, estando os MT's em suspensão (DENOIX, 2014).

A fase de engajamento dos MP's no pouso é caracterizada por alta velocidade e movimentos articulares em transição de flexão intensa para extensão máxima, enquanto a fase de absorção de cargas é sincronizada com o final da propulsão ou início da suspensão dos MT's (DENOIX, 2014). A pelve está diretamente ligada ao tronco através da articulação sacroilíaca e, portanto, o apoio da extremidade posterior não se beneficia da flexibilidade do suporte de músculos do tronco como na anterior (DENOIX, 2014), sendo que o membro pélvico é o responsável por impulsionar a progressão do corpo, possuindo musculatura bem mais desenvolvida que a musculatura do membro torácico (MAIERL et al., 2016). Portanto, o apoio e a absorção de forças dos MP's dependem de fechamento das articulações devido a contração excêntrica regulado pelos músculos da coxa (DENOIX, 2014). Mecanismos internos, como a elasticidade da cartilagem articular, deslizamento dos meniscos nos joelhos e dos ossos do jarrete, também contribuem para a absorção (DENOIX, 2014).

A fase intermediária e a de propulsão são as duas últimas fases do salto em si, e intensas contrações ocorrem no nível do eixo vertebral e dos MP's, o que influencia a direção do movimento (da vertical para horizontal) e auxilia no estabelecimento de uma velocidade horizontal adequada (DENOIX, 2014).

### **4.4. Influência do cavaleiro ou amazona sobre o salto**

O movimento do equino impõe perturbações no cavaleiro/amazona que diferem em direção e magnitude de acordo com a maneira de andar: quando se adota uma maneira de andar mais rápida, onde fases de suspensão estão presentes, o cavaleiro precisa acomodar acelerações horizontais e verticais maiores no tronco do cavalo através de movimentos tridimensionais de seus segmentos corporais axiais (CLAYTON & HOBBS, 2017).

Powers e Harrison (2005), em estudo realizado com dez animais, que saltaram em liberdade e com cavaleiro, comprovaram que o principal efeito do cavaleiro na cinemática linear de salto foi um efeito comportamental, ou seja, devido ao controle e instrução. Houve uma diferença mínima entre as condições com e sem o peso extra para as variáveis do centro de gravidade, indicando um efeito inercial mínimo do cavaleiro na cinemática linear do salto, implicando que a massa e a posição corporal têm efeito mínimo sobre o movimento do cavalo (POWERS e HARRISON, 2005). Isso apoia o fato de tanto os cavaleiros quanto as amazonas participarem das mesmas competições na maioria dos esportes equestres, e que a massa do cavaleiro tem uma influência mínima sobre o

sucesso ou fracasso de um cavalo durante a competição (POWERS e HARRISON, 2005).

Porém, Clayton (1997) em estudo realizado com 6 cavalos com cavaleiro com e sem um peso extra de 18kg, demonstrou que houve aumento significativo do grau de extensão do carpo e articulação metacarpofalangeana do MT2 quando carregado o peso extra. Essa hiperextensão foi avaliada como sendo um mecanismo seletivo para não sobrecarregar MT1, que ainda manteve o maior grau de hiperextensão. Também foi notado, com o peso extra, o aumento da fase de apoio dos membros pélvicos na primeira passada da decolagem. A última alteração notada com o aumento do peso foi o pouso de MT2 mais próximo do obstáculo, porém nesse caso não houve diferença estatística. (CLAYTON, 1997).

A magnitude do efeito total do cavaleiro e suas contribuições comportamentais e inerciais podem variar dependendo da experiência e habilidade do cavaleiro e de sua massa (Clayton, 1997). Clayton e Hobbs (2017) afirmam que, cavaleiros mais experientes posicionam seus troncos de forma mais vertical, com a coxa e as porções inferiores da perna mais retraídas, resultando em um ângulo de quadril mais abrangente e o braço se mantendo mais à frente do tronco, enquanto os menos experientes apresentam maior instabilidade do tronco, em resposta à grandes mudanças de forças longitudinais e velocidade durante trote.

Além disso, a habilidade do cavaleiro de antecipar e acomodar os movimentos do cavalo afetam o relacionamento entre ambos, sendo que os cavaleiros mais experientes possuem padrões de movimento mais consistente e se movimentam de acordo com os movimentos do cavalo de forma mais sinérgica, enquanto cavaleiros inexperientes possuem padrões de movimento mais inconsistentes (CLAYTON & HOBBS, 2017). As diferenças nos ângulos articulares e distribuição de peso do cavaleiro durante as várias etapas do salto são características que diferenciam cavaleiros de diferentes níveis de habilidade (Clayton, 1989).

Os resultados de Clayton e Hobbs (2017) indicam que a habilidade do cavaleiro frente à condução do cavalo fazem diferença durante a realização do esporte, enquanto Clayton (1997) defende que a massa do cavaleiro possui fatores que influenciam no desempenho físico do animal. Logo, a participação de cavaleiros e amazonas em mesmas competições como citado por Powers e Hobbs (2005) se justifica por fatores não relacionados à massa, mas sim pela habilidade dos competidores em posicionar seu corpo e seu relacionamento com o cavalo garantindo assim o máximo desempenho.

Deve-se analisar, também, que os trabalhos que avaliaram massa dos cavaleiros não avaliaram sua habilidade em competição, portanto, é mais provável que o peso do cavaleiro e sua habilidade influenciem, o que confirmaria as observações de Clayton e Hobbs (2015) e Clayton (1997) em detrimento dos resultados de Powers e Harrison (2005), sendo o mais provável que a presença de um cavaleiro, levando em consideração sua experiência bem como a massa e a dinâmica deste, influenciam diretamente nos resultados durante a prática do esporte.

## 5. Estudo sobre os membros torácicos

### 5.1. Salto

Comprovou-se que a recepção do salto é uma atividade assimétrica durante a qual os MT's contralaterais são usados de forma diferente. O membro principal (MT2) é colocado mais tarde e mais à frente do que o primeiro membro apoiado, este último chamado de membro de arrasto ou de fuga (MT1) (MEERSHOEK et al., 2001a). Durante o pouso, os dois MT's são separados por uma curta distância. O metacarpo do MT1 é quase vertical quando o casco entra em contato com o solo, enquanto o MT2 entra em contato com o solo com angulação mais aguda (BACK e CLAYTON, 2013).

Os momentos articulares flexores das articulações da quartela e da articulação metacarpofalangeana foram comprovados maiores no MT1, indicando maior sobrecarga dos tendões flexores neste membro durante a recepção do salto (MEERSHOEK et al., 2001a). Pousos repetidos com o mesmo membro podem, portanto, resultar em sobrecarga dos tendões flexores (MEERSHOEK et al., 2001a). A articulação da articulação metacarpofalangeana é hiperextendida durante toda a fase de apoio com pico em 55-65% da fase de apoio (MEERSHOEK et al., 2001a).

O grau de hiperextensão depende de vários fatores, dentre eles o tipo de piso, fadiga e peso carregado. Os valores encontrados para a recepção na areia foram  $247,5^{\circ} \pm 4,5^{\circ}$ ;  $257,0^{\circ} \pm 4,8^{\circ}$  para a superfície sintética não irrigada e  $250,0^{\circ} \pm 4,5^{\circ}$  para a sintética irrigada, tais valores foram aferidos para os ângulos palmares (THIO, 2016). Já com relação à fadiga, cavalos trotadores em estado fadigado aumentaram entre  $6^{\circ}$  a  $8^{\circ}$  na hiperextensão (JOHNSTON et al., 1999). De acordo com Clayton (1997), em um trabalho com os cavaleiros com e sem um peso extra de 18 kg, foi demonstrado que houve aumento significativo para o grau de extensão do MT2 quando carregado o peso extra (CLAYTON, 1997), sendo este resultado oposto aos de Powers e Harrison (2005), onde a presença de cavaleiro não teve influência significativa. Os resultados de Clayton (1997) e Clayton e Hobbs (2017) sugerem influência do cavaleiro no desempenho do cavalo, sendo mais provável que estes resultados expliquem melhor as dinâmicas do salto.

Quando comparado MT1 e MT2, a fase de apoio do segundo é 27% mais longa que do primeiro (MEERSHOEK et al., 2001a). A força de reação do solo (FRS) vertical teve um padrão semelhante em ambos os membros, diferente da horizontal (MEERSHOEK et al., 2001a). Nesta, o MT2 travava o movimento para frente durante os primeiros 60% da fase de apoio e impulsionava o corpo nos 40% finais, enquanto o MT1 mal travava o movimento e a propulsão era maior (MEERSHOEK et al., 2001a).

Meershoek et al. (2001b) analisaram cavalos saltando obstáculos de 0,8 m, 1,0 m e 1,2 m e calcularam as forças no músculo interósseo, no TFDP e seu ligamento acessório, e no TFDS. Quando comparando os valores registrados com a carga máxima na ruptura dessas estruturas, ficou claro que o TFDS é sobrecarregado perto de seu limite, possivelmente explicando a alta incidência de lesões nesta estrutura em cavalos de salto (MEERSHOEK et al., 2001b). Com o aumento da altura do obstáculo, as amplitudes das forças de reação do solo, juntamente com as forças dos tendões tenderam a aumentar

sem mudanças substanciais na forma dos padrões e a duração do tempo de apoio diminuiu (MEERSHOEK et al., 2001b).

A influência da altura nas forças exercidas difere entre os tendões, para TFDS, a força aumenta acentuadamente com o aumento altura, para o músculo interósseo muda pouco e para a parte distal do TFDP juntamente com o ligamento acessório, não muda (MEERSHOEK et al., 2001b). Isso mostra que a distribuição de carga entre tendões não é fixa e depende da altura (MEERSHOEK et al., 2001b).

## 6. REFERÊNCIAS

ALVES, V. C., DE MIRANDA, A. L. S. **Brasileiro de Hipismo – Morfologia**. <https://abcch.com.br>, 2017. Disponível em <https://abcch.com.br/?p=|abcch|biblioteca>. Acesso em 10/11/2020.

BACK W.; CLAYTON H.M. **Equine Locomotion-E-Book**. 2ª ed. Elsevier Health Sciences, 2013.

BARREY, E.; GALLOUX, P. Analysis of the equine jumping technique by accelerometry. **Equine veterinary journal**. Suppl. 23, p.45-49. 1999.

CASSIAT, G.; POURCELOT, P.; TAVERNIER, L.; GEIGER, D.; DENOIX, J. M.; DEGUEURGE, D. Influence of individual competition level on back kinematics of horses jumping a vertical fence. **Equine veterinary journal** 36,8, p. 748-753. 2004.

CHRISTOVÃO, F. G.; BARROS, R. M. L.; MARTINS, C. B.; SILVA, M. A. G.; FREITAS, E. V. V.; LACERDA-NETO, J. C.; QUEIROZ-NETO, A. Three-dimensional kinematic analysis of head and limb movements of lame and non-lame colts. **Equine and Comparative Exercise Physiology** 4,1, p. 31–36 2007.

CHRISTOVÃO, F. G.; BASILE, R. C.; QUEIROZ-NETO, A.; LACERDA-NETO, J. C.; BARROS, R. M. L. Videographic kinematic analysis of lame hindlimb equine movements. **ARS Veterinária**, Jaboticabal,SP ,v.24, n.3, p.166-171, 2008.

CLAYTON, H. M. Effect of added weight on landing kinematics in jumping horses. **Equine veterinary journal**. Suppl. 23, p. 50-53. 1997.

CLAYTON, H. M. Terminology for the description of equine jumping kinematics. **Equine sports medicine**, november – december, p.341. 1989.

CLAYTON, H. M.; HOBBS, S.-J. The role of biomechanical analysis of horse and rider in equitation science. **Applied Animal Behaviour Science**, 190, 123–132. doi:10.1016/j.applanim.2017.02.011. 2017.

CUNHA I.M.; TUCHOLSKI, I.R.; DE ANDRADE SILVA, M.C.; PIVATO, I.; GARCIA, J.A.; NEPOMUCENO, L.L.; DE OLIVEIRA BUSSIMAN, F.; FERREIRA, J.L. Medidas lineares e angulares de equinos destinados ao hipismo clássico na região de Brasília, Distrito Federal. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. Jun 25;8(2), p.88-97. 2020.

CUNNINGHAM, E.P.; DOOLEY, J.J.; SPLAN, R.K.; BRADLEY, D.G. Microsatellite diversity, pedigree relatedness and the contributions of founder lineages to thoroughbred horses. **International Society for Animal Genetics Animal Genetics**, v. 32, p.360-364. 2001.

DIAS, I.M.G.; BERGMANN, J.A.G.; REZENDE, A.C.C; CASTRO, G.H.F. Formação e estrutura populacional do equino Brasileiro de Hipismo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 52, p. 647-654. 2000.

DE GODOI, F.N.; DE ALMEIDA, F.Q.; TORAL, F.L.; DE MIRANDA, A.L.; KAIPPER, R.R.; BERGMANN, J.A. Repeatability of kinematics traits of free jumping in Brazilian sport horses. **Livestock Science**. Oct 1;168: p1-8. 2014.

DENOIX, J.M. **Biomechanics and physical training of the horse**. 1<sup>a</sup> ed. CRC Press; 2014.

DOS SANTOS AZEVEDO, D.F. "**Biomecânica da Parte Distal do Membro Anterior**." (2014). 41p. Universidade de Porto. Porto. 2014.

DYCE, K.M; SACK, W.O.; WENSING, C.J.G. **Tratado de Anatomia Veterinária**. 4<sup>a</sup> Edição. Elsevier; 2010.

GODOI, F.N.; BERGMANN, J.A.; ALMEIDA, F.Q.; SANTOS, D.C.; MIRANDA, A.L.; VASCONCELOS, F.D.; OLIVEIRA, J.E.; KAIPPER, R.R.; ANDRADE, A.M. Morfologia de potros da raça Brasileiro de Hipismo. **Ciência Rural**. Apr;43,4, p.736-42. 2013.

GODOI, F.N.; BERGMANN, J.G.; ALMEIDA, F.; MIRANDA, A.S.; SANTOS, D.C.; SIQUEIRA, A.B.; PEREIRA, M.B.; ANDRADE, A.M. Características cinemáticas de potros da raça Brasileiro de Hipismo nos sucessos e insucessos dos saltos em liberdade. **Archivos de zootecnia** 64, no. 247, p 229-236. 2015.

HANSEN, J.; KOEPPEN, B. **Atlas of neuroanatomy and neurophysiology**. Aubrey Durkin; 2002.

JOHNSTON, C.; GOTTLIEB-VEDI, M.A.; DREVEMO, S.; ROEPSTORFF, L. The kinematics of loading and fatigue in the Standardbred trotter. **Equine Veterinary Journal**. 31, S30, p. 249-253. 1999.

LYLE, M.A.; NICHOLS, T.R. Evaluating intermuscular Golgi tendon organ feedback with twitch contractions. **The Journal of physiology**. Sep;597,17, p 4627-4642. 2019.

MAIERL, J.; WEISSENGRUBER, G.; PEHAM, C.; KONIG, H.E. Cap. 5: Estática e Dinâmica. In: **Anatomia dos Animais Domésticos** – Texto e Atlas Colorido. 6ª Edição, Ed. Artmed, Porto Alegre, 2016.

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. Caracterização morfológica de equinos da raça campeiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l], v. 34, n. 5, p. 1553-1562, 2005.

MEDEIROS, B.D.R. **Análise da estrutura populacional e estimativa de parâmetros genéticos para medidas de desempenho esportivo na modalidade salto de cavalos da raça brasileiro de hipismo**. 2014. 119 p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MEERSHOEK, L. S.; ROEPSTORFF, L.; SCHAMHARDT, H.; JOHNSTON, C.; BOBBERT, M. F. Joint moments in the distal forelimbs of jumping horses during landing. **Equine veterinary journal**, 33 ,4, p. 410-415. 2001 (a).

MEERSHOEK, L. S.; SCHAMHARDT, H.; ROEPSTORFF, L.; JOHNSTON, C. Forelimb tendon loading during jump landings and the influence of fence height. **Equine veterinary journal**, 33, S33, p.6-10. 2001 (b).

MOLON, D. **Avaliação dos ângulos articulares do sistema locomotor de equinos utilizando biofotogrametria**. 2012. 36 p. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2012.

MONTE, E. **Cavalo Brasileiro de Hipismo – Histórico do BH**. <https://abcch.com.br/>. 2019. Disponível em <https://abcch.com.br/?p=|abcch|biblioteca>. Acesso em 10/11/2020.

MURARIU F. Research Regarding the Kinematics Analysis of an Oxer Jumping in Young Horses from Dumbrava, Timișești Stallionsâ€™™ Storage, Romania. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. **Animal Science and Biotechnologies**. May 13,71,1, p.71-72. 2014.

POWERS, P.; HARRISON, A. Effects of the Rider on the Linear Kinematics of Jumping Horses. **Sports Biomechanics** Vol.1, 2, p. 135-146. 2005

**Regulamento do S.B.B.C.H.** <https://abcch.com.br/>. Disponível em <https://abcch.com.br/?p=|comunicado|regulamento>. Acesso em 13/11/2020.

REZENDE, M.P.G.; SOUZA, J.C.; MOTA, M.F.; JARDIM, R.J.D.; RAMIRES, G.G.; SILVA, R.M.; SOUZA, C.F. Morfometria corporal de equinos utilizados em trabalho, esporte e lazer em três municípios do Mato Grosso do Sul. **Vet. e Zootec.**, dez.; 21,4, p. 569-583. 2014.

REZENDE, M.P., SOUSA, J.C., MOTA, M.F., OLIVEIRA, N.M.; Jardim R.J. Conformação corporal de equinos de diferentes grupos genéticos. **Ciência Animal Brasileira**. Jul 29,17,3, p. 316-326. 2016.

REZENDE, M.P.; SOUZA, J.C.; OLIVEIRA, N.M. Índices de conformação corporal de equídeos criados no pantanal. **Archives of Veterinary Science**. Sep 30,23,3. 2018.

SANTOS, B.E.S.; BRANDI, R.A.; GAMEIRO, A.H. Estudo do mercado e produção do cavalo brasileiro de hipismo no estado de São Paulo. **Pubvet: Medicina Veterinária e Zootecnia**, Maringá, v. 12, n. 2, p. 1-11, 2018.

SISSON, S.; GROSSMAN, J.D.; GETTY, R. **Anatomia dos animais domésticos**. Guanabara Koogan. 1986.

THIO, C.Y. The **Effects of Arena Surface on Fore-and Hind-Limb Kinematics of Show Jumping Horses at Take Off**, 2016. University of California, Davis; 2016.

VERKADE, M.E.; BACK, W.; BIRCH, H.L. Equine digital tendons show breed-specific differences in their mechanical properties that may relate to athletic ability and predisposition to injury. **Equine Veterinary Journal**. Mar; 52, 2, p.320-325. 2020.

WATANABE, T.; HOSAKA, Y.; YAMAMOTO, E.; UEDA, A. H.; TANGKAWATTANA, P.; TAKEHANA, K. Morphological study of the Golgi tendon organ in equine superficial digital flexor tendon. **Okajimas folia anatomica Japonica**. 81, 2.3, p33-38. 2004.

# **ANÁLISE CINEMÁTICA DA ARTICULAÇÃO METACARPOFALANGEANA DURANTE A RECEPÇÃO DO SALTO EM EQUINOS DA RAÇA BRASILEIRO DE HIPISMO**

## **1. INTRODUÇÃO**

A raça do cavalo Brasileiro de Hipismo (BH) é recente, quando comparada à raça Puro Sangue Inglês (PSI), por exemplo, que tem registros genealógicos com mais de três séculos (CUNNINGHAM et al. 2001). A Associação Brasileira de Criadores de Cavalo de Hipismo (ABCCH) foi fundada em 1977 com o objetivo de criar e desenvolver animais nacionais, com aptidão esportiva para adestramento, salto ou concurso completo de equitação. Até 1970 não havia criação de cavalos de esportes hípicos para salto (MONTE, 2019). A raça foi formada a partir do acasalamento de um grupo de éguas base com garanhões nacionais ou importados, aprovados no serviço de registro genealógico da respectiva raça. Atualmente, todas as éguas BH e das raças formadoras registradas consideradas morfologicamente adequadas são admitidas como matrizes. Já os garanhões BH são escolhidos em julgamentos anuais segundo análises morfológicas, funcionais e genealógicas descritas no regulamento da raça. Garanhões de raças formadoras do cavalo BH podem ser utilizados desde que o seja aprovado pelo Stud Book Brasileiro do Cavalo de Hipismo (REGULAMENTO S.B.B.C.H.).

Criadores, cavaleiros, veterinários e outros profissionais envolvidos com o BH devem compreender as avaliações morfológicas, pois elas são um primeiro e importante passo na seleção de animais. Dessa forma, busca-se o reconhecimento de animais com aptidão para o esporte e compreende-se como melhor extrair todo o seu potencial (ALVES, 2017). Por ser uma raça ainda jovem, estudos ainda estão sendo realizados sobre sua morfologia. Sabe-se que o BH apresenta características em comum com as raças formadoras, por exemplo a altura de cernelha e da garupa, como estudado por Rezende et al. (2014). Outro estudo do mesmo autor (REZENDE et al., 2016) também comparou raças e classificou o BH como tendo a maior capacidade de suportar peso sem esforço exagerado sobre o dorso, trabalhando a passo e ao galope.

Já para medidas angulares, Godoi et al. (2013) determinaram medidas ao longo de todo o corpo do animal, para potros em três idades diferentes. No site da ABCCH há o livro “Brasileiro de Hipismo - Morfologia” (ALVES, 2017) sobre o BH, porém a parte de quartela e articulação metacarpofalangeana traz apenas a angulação ideal para a quartela, não para a articulação metacarpofalangeana, o estudo deste, foi com base nos estudos de Godoi et al. (2013) e Cunha et al. (2020). Godoi et al. (2013), que determinaram os valores 131,7°; 140,9°; 138,98° para animais da raça BH entre 22-25, 23-32 e 36-39 meses de idade. Para cavalos BH adultos, nove anos ( $\pm 3,54$  anos), foram determinados os valores: mínimo 149°, máximo 170° e médio de 157,14°, em um estudo com 28 animais (CUNHA et al., 2020).

Os membros torácicos são os responsáveis por suportar cerca de 60% do peso do animal em repouso (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014). A articulação metacarpofalangeana tem seu suporte e a sua estabilização durante a locomoção dados pelo aparelho suspensor, impedindo sua hiperextensão quando o casco entra em contato com o solo (DOS SANTOS AZEVEDO, 2014).

Os ângulos articulares variaram de acordo com a idade (GODOI et al., 2013), raças e tipos de cavalos dentro de certos limites (MOLON, 2012). Já para a avaliação tendínea, não foi observada alteração devido a idade, no entanto, houve variação entre raças e diferentes tendões do mesmo animal, sugerindo que diferentes propriedades dos tendões são necessárias para realizar movimentos específicos, conforme as modalidades esportivas (VERKADE et al., 2020).

A recepção do salto foi considerada um aspecto importante, pois o cavalo precisava fazer uma recuperação bem sucedida e ser capaz de partir rapidamente sem alterar drasticamente o comprimento e a frequência da passada (POWERS e HARRISON, 2005). A função de absorção de choque dos MT's na recepção foi assegurada em dois níveis primeiramente, pelas estruturas musculares que conectavam o tronco aos membros; em segundo lugar, através dos vários ósseos e articulações (DENOIX, 2014). Durante o pouso, os dois MT's estiveram separados por uma curta distância. O metacarpo do MT1 era quase vertical quando o casco entrou em contato com o solo, enquanto o MT2 contactou o solo com angulação mais aguda (BACK e CLAYTON, 2013). O membro principal (MT2) tocou o piso mais tarde e mais à frente do que o primeiro membro apoiado, este último chamado de membro de arrasto ou de fuga (MT1) (MEERSHOEK et al., 2001b).

MEERSHOEK (2001b) analisou cavalos saltando obstáculos de 0,8m, 1,0 m e 1,2 m e calculou as forças no musculo interósseo, no tendão flexor digital profundo e seu ligamento acessório, e no tendão flexor digital superficial. Com o aumento da altura do obstáculo, as amplitudes das forças de reação do solo, juntamente com as forças dos tendões tenderam a aumentar sem mudanças substanciais na forma dos padrões e a duração do tempo de apoio diminuiu (MEERSHOEK et al., 2001b). A influência da altura nas forças exercidas diferiu entre os tendões, para o tendão flexor digital superficial a força aumentou acentuadamente com o aumento altura, para o musculo interósseo mudou pouco e para a parte distal do tendão flexor digital profundo juntamente com o ligamento acessório, não mudou (MEERSHOEK et al., 2001b). Isso mostra que a distribuição de carga entre tendões não era fixa e dependia da altura (MEERSHOEK et al., 2001b).

O objetivo do trabalho foi delimitado a partir dos conhecimentos sobre hiperextensão da articulação metacarpofalangeana, atividade assimétrica dos membros torácicos (MEERSHOEK et al., 2001b), individualidade racial e esportiva (VERKADE et al., 2020) e influência da altura do salto sobre estruturas anatômicas (MEERSHOEK et al., 2001b). Empregando para tanto, a análise cinemática, a alteração de ângulo metacarpofalangeano, durante a recepção do salto em diferentes alturas ou larguras de obstáculos, na raça Brasileiro de Hipismo (BH). A comparação foi realizada a partir das variações angulares da articulação metacarpofalangeana de cada membro torácico entre diferentes alturas e larguras de obstáculos, e também em comparação à mesma em repouso.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Animais e ambiente de trabalho

Foram utilizados 14 equinos da raça Brasileiro de Hipismo, todos livres de claudicação evidente. Eram oito machos e seis fêmeas; com altura entre 1,58cm e 1,70cm, média 1,64cm; com idade entre 6 e 20 anos, média 8,4 anos; já o peso, variou entre 450 kg e 595 kg, com média 488 kg. Os animais foram examinados previamente por um veterinário e não apresentavam tendinopatias nos exames clínico e ultrassonográfico (LOPES et al., 2014). O manejo de todos era semelhante, com acesso a baia e piquete, treinos principalmente em pista de areia e esporádicos em pista de grama. A alimentação era baseada em ração e feno de tifton.

As alturas saltadas em competição, por cada um deles, variaram entre 90cm e 130cm, sendo que sete competiam na altura de 120cm, quatro em 130cm, dois em 110cm e um em 90cm.

Foram avaliados dois animais do Primeiro Regimento de Cavalaria de Guardas, cinco do Parque Hípico de Brasília e sete do Centro Hípico Gemerson Pereira. Todos atletas de salto, localizados em Brasília, Distrito Federal. Para cada local foi utilizado um cavaleiro, habituado aos respectivos animais. A utilização de mais de um cavaleiro é vista em diversos trabalhos (MEERSHOEK, 2001a; MEERSHOEK, 2001b; DYSON et al., 2018; HERNLUND et al., 2010). Os três eram profissionais, a fim de evitar influência decorrente da habilidade e técnica, efeito estudado por Powers e Harrison (2005). Estimou-se entre 70 e 80kg o peso de cada cavaleiro somado ao do material utilizado pelo animal.

Tabela 1: Apresentação dos animais utilizados no trabalho com suas características: sexo, idade (anos), peso (kg), altura (m), categoria em competição (m) e histórico de lesão (sim ou não).

Número do animal	Sexo	Idade (anos)	Peso (kg)	Altura (m)	Categoria em competição (m)	Histórico em MT
1	M	6	513	1,62	1,2	Não
2	F	6	595	1,66	1,2	Não
3	M	6	450	1,62	1,2	Não
4	F	7	485	1,58	1,2	Não
5	F	8	500	1,6	1,3	Não
6	M	8	460	1,61	1,1	Não
7	F	12	490	1,6	1,2	Não
8	M	10	460	1,65	1,3	Não
9	M	7	490	1,62	1,2	Não
10	F	9	400	1,64	1,3	Não
11	M	20	450	1,69	0,9	Não
12	F	6	450	1,65	1,1	Não
13	M	7	550	1,7	1,3	Não
14	M	6	550	1,66	1,2	Não

## 2.2. Coleta de dados

Uma única câmera de vídeo de alta velocidade foi montada em uma posição nivelada em um tripé, a aproximadamente três metros do centro do obstáculo e entre um e dois metros a frente do obstáculo, essa distância foi ajustada de modo que a recepção do salto fosse filmada na sua lateral e centralizada na câmera (WALKER et al., 2018). A câmera coletou dados com resolução 4K (2160p), a 960 frames por segundo (FPS), com um campo de visão de aproximadamente 3 metros (HERNLUND et al., 2010; DYSON et al., 2018).

O ângulo de interesse foi medido através de marcadores quadrados reflexivos, medindo 10 mm de lado foram fixados nas faces laterais esquerdas usando uma fita reflexiva autocolante disponível no mercado, semelhante à Godoi et al. (2015), exceto pelo tamanho, que foi reduzido dada a proximidade da câmera com os membros. O tamanho foi próximo ao utilizado por McGuigan e Wilson (2003). As localizações anatômicas de interesse foram definidas como os terços médios da face lateral e medial da coroa do casco; fossa de inserção dos ligamentos colaterais lateral e medial, no osso metacárpico III; ossos cárpicos ulnar e radial (MYASHIRO, 2012).



Figura 1: Vista dorsolateral e dorsomedial das extremidades distais dos membros torácicos esquerdo e direito demonstrando os locais de fixação dos adesivos reflexivos. Nos cascos, os locais foram nos terços médios da face lateral e medial da coroa do casco. No metacárpico III, na fossa de inserção dos ligamentos colateral lateral e medial. Já no carpo, nos ossos cárpicos ulnar e radial.

Os equinos foram brevemente aquecidos ao passo, trote e galope e saltaram obstáculos de menor altura (0,70m e 0,90m) antes das gravações (CASSIAT et al., 2004; MYASHIRO, 2012). Todos os animais trabalharam na pista de areia em que já estavam habituados (McGUIGAN e WILSON, 2003).

A sequência que o animal passava era formada por uma vara no chão, três metros depois, um obstáculo em “X”, com 70cm de altura, 6,5m a seguir (permitindo um lance de galope) o obstáculo que foi filmado (figura 2) (MYASHIRO, 2012; GODOI et al., 2015).

O salto do primeiro obstáculo, em formato de “X”, é chamado de salto de ajuste e faz com que diminua a variabilidade entre os animais, já que influencia a velocidade e local de apoio dos membros para a decolagem do segundo salto (CASSIAT et al., 2004). O espaço entre o obstáculo de referência e o filmado permite exatamente um lance de galope, evitando erros de distância para saída do salto; a vara no chão antes do “X” serve para marcar também a distância para a decolagem do primeiro salto, permitindo um quique nesse espaço (CASSIAT et al., 2004; MYASHIRO, 2012; SCHLUP et al., 2014).

No último obstáculo, composto por varas na vertical com largura (oxer) e sem (vertical), a altura foi aumentada gradativamente (MYASHIRO, 2012). Para distância vertical, a medida é feita do topo da vara até o chão, já para a largura, a medida é feita entre as varas. Os saltos foram filmados na seguinte sequência: vertical 90cm, oxer 90 cm de altura e 100cm de largura, vertical 120cm e oxer 120cm de altura e 100cm de largura. As abordagens cinemáticas foram feitas ao galope (DYSON et al., 2018).



Figura 2: Sequência de obstáculos saltados.

Os animais saltaram duas vezes cada tipo de obstáculo; saltos nos quais os animais derrubaram alguma das varas foram descartados e novamente realizados, sendo este critério utilizado em todas as alturas (MEERSHOEK et al., 2001b). Os cavaleiros foram orientados para não indicar o lado da curva para o animal durante o salto, a fim de não definir qual membro tocaria o chão primeiro.

A avaliação foi feita em dois momentos, com base no ângulo formado entre o casco, articulação metacarpofalangeana e carpo (MYASHIRO et al., 2012). O primeiro foi do animal em estação (figura 3A), com os quatro membros apoiados no solo, sem declive. Para essa análise, foram utilizados os marcadores que estavam laterais dos membros. O segundo foi durante a recepção do salto, no momento em que a articulação metacarpofalangeana atingiu seu ponto mais próximo ao solo (maior hiperextensão), para MT1 (figura 3C) e MT2 (figura 3B).

### 2.3 Análise de dados

Os vídeos obtidos foram transferidos para o computador, reproduzidos no Windows Media Player e pausados no momento de maior extensão da articulação metacarpofalangeana (CASSIAT et al., 2004; DYSON et al., 2018). A imagem foi salva, os marcadores foram rastreados manualmente (MYASHIRO, 2012) e o ângulo foi medido através de imagens obtidas por meio de câmera de alta resolução, gerando imagens de alta resolução, garantindo assim a avaliação cinemática adequada para as análises, sendo empregado o Medidor de ângulos da Smart Tool Factory®, para a obtenção dos ângulos da articulação de interesse, baseando-se no trabalho de TORRES-PÉREZ et al. (2017). Cada animal teve duas mensurações de ângulos para cada tipo de salto e cada membro, além da mensuração em estação.

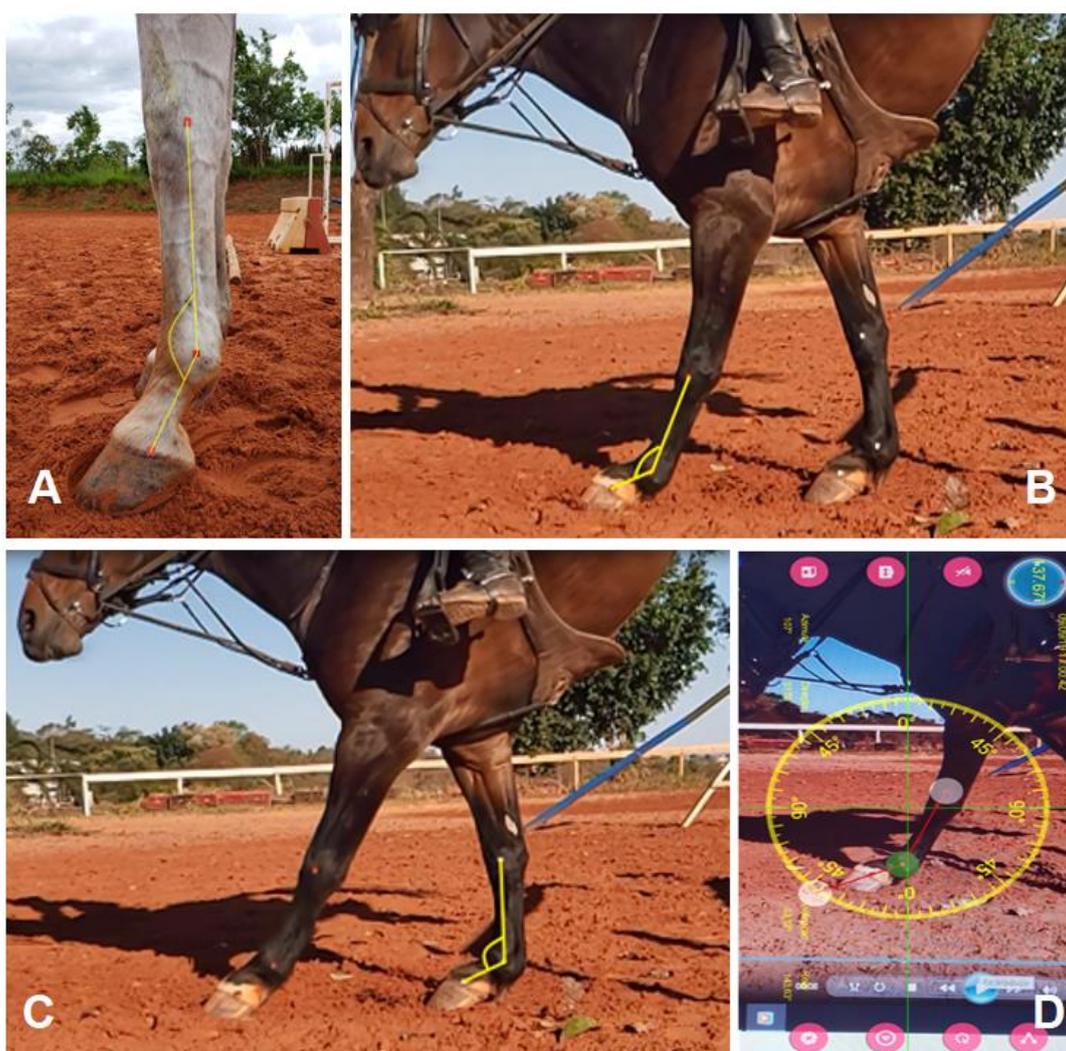


Figura 3: Demonstrações do local de mensuração dos ângulos MCF, A: em estação; B: no momento de hiperextensão de MT2; C: no momento de hiperextensão de MT1; e D: pelo aplicativo Medidor de Ângulo (Smart Tool Factory).

## 2.4. Estatística

Os dados relativos às características dos animais foram avaliados por meio de análise descritiva para a obtenção de média para altura, idade e peso. Já para os ângulos em estação e durante os saltos, foi definida a média e o desvio padrão para cada categoria (V 90, V 120, Ox 90, Ox 120). Os dados obtidos dos ângulos foram submetidos a aplicação do teste Kolmogorov-Smirnov, visando avaliar a normalidade, considerado um nível de significância  $P \leq 0,05$ . Os valores para estação e para a V120 do MT1 não apresentaram distribuição normal. Em seguida, as médias foram comparadas entre si, através do teste de Tukey's de múltipla comparação, também considerado um nível de significância  $P \leq 0,05$ . Cada membro foi analisado separadamente.

## 3.RESULTADOS

Para a avaliação em estação, os ângulos variaram entre  $140,17^\circ$  e  $162,37^\circ$ , com média  $151,35^\circ \pm 6,32^\circ$ . Os valores encontrados para MT1 no momento de maior hiperextensão (tabela 2) foram  $117,2^\circ \pm 7,14^\circ$ ,  $112,8^\circ \pm 4,98^\circ$ ,  $114,9^\circ \pm 5,92^\circ$  e  $111,6^\circ \pm 5,56^\circ$  para V90, V120, Ox 90 e O 120, respectivamente. Após o teste de Tukey's, diferenças significativas encontradas foram nas comparações entre estação e os saltos ( $P < 0,0001$ ), e entre a V90 e o Ox120 ( $P = 0,0051$ ) (tabela 3). A variação de percentual entre as médias, quando comparado estação e os saltos ficou entre 22,5% (entre estação e V90) e 26,3% (entre estação e o Ox 120). Já entre os saltos, ficou entre 1,1% (entre V120 e Ox120) e 4,8% (entre V90 e Ox120).

Já para MT2 (tabela 4), foram encontrados os valores  $125,1^\circ \pm 6,8^\circ$ ,  $123,7^\circ \pm 8,2^\circ$ ,  $123,2^\circ \pm 8,6^\circ$ ,  $121,7^\circ \pm 6,9^\circ$  para V90, V120, Ox 90 e O 120, respectivamente. Assim como, para MT1, foram encontradas diferenças significativas entre estação e os saltos ( $P < 0,0001$ ), mas nesse caso, não houve entre os saltos (tabela 5). A variação de percentual dos ângulos, quando comparado estação e os saltos ficou entre 17,36% (entre estação e V90) e 19,56% (entre estação e o Ox 120). Já entre os saltos, ficou entre 0,46% (entre V120 e Ox120) e 2,65% (entre V90 e Ox120).

Tabela 2: Valores dos ângulos encontrados no MT1, no momento de hiperextensão, nos saltos: vertical de 90cm (V 90), vertical de 120cm (V 120), oxer de 90 cm de altura (Ox 90) e oxer de 120 cm de altura (Ox 120).

<b>Critério</b>	<b>V 90</b>	<b>V 120</b>	<b>Ox 90</b>	<b>Ox 120</b>
<b>Quantidade de valores</b>	28	28	28	28
<b>Média (°)</b>	117,2	112,8	114,9	111,6
<b>Desvio padrão (°)</b>	7,14	4,98	5,92	5,56

Tabela 3: Teste de Turkey realizado para o MT1, para comparação dos saltos e estação, considerando valor  $p \leq 0,05$ . Vertical de 90cm (V 90), vertical de 120cm (V 120), oxer de 90 cm de altura (Ox 90) e oxer de 120 cm de altura (Ox 120), estação (Est).

Comparação	Diferença na média	Percentual de variação	Significância	Valor P
Est vs. V 90	34,1°	22,5%	Sim	<0,0001
Est vs. V 120	38,5°	25,4%	Sim	<0,0001
Est vs. Ox 90	36,4°	24,1%	Sim	<0,0001
Est vs. Ox 120	39,8°	26,3%	Sim	<0,0001
V 90 vs. V 120	4,4°	3,7%	Não	0,0549
V 90 vs. Ox 90	2,3°	2%	Não	0,5947
V90 vs. Ox 120	5,7°	4,8%	Sim	0,0051
V 120 vs. Ox 90	2,0°	1,8%	Não	0,7064
V 120 vs. Ox 120	1,3°	1,1%	Não	0,9298
Ox 90 vs. Ox 120	3,3°	2,9%	Não	0,236

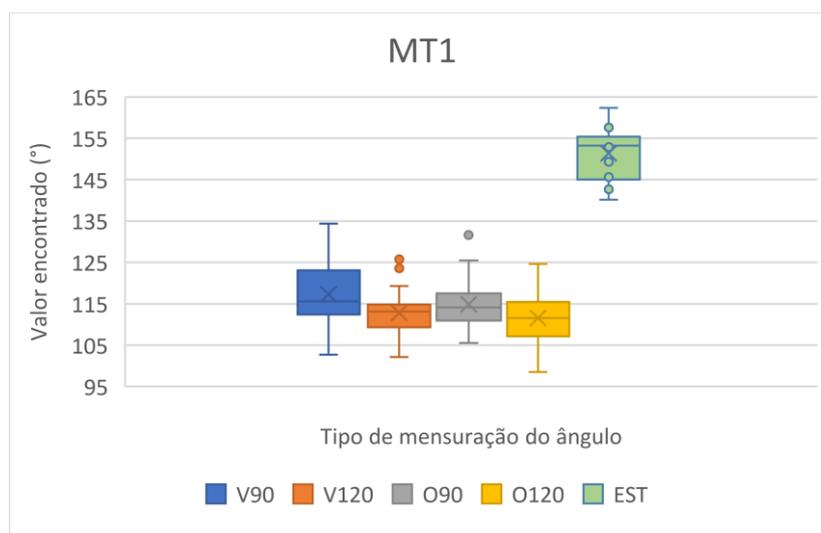


Figura 4: Gráfico representativo das aferições obtidas para o MT1 com os animais em estação (EST) e no momento de hiperextensão do salto vertical 90cm (V90), vertical 120cm (V120), oxer 90cm (Ox 90), oxer 120cm (Ox 120).

Tabela 4: Valores dos ângulos encontrados no MT2, no momento de hiperextensão, nos saltos: vertical de 90cm (V 90), vertical de 120cm (V120), oxer de 90 cm de altura (Ox 90) e oxer de 120 cm de altura (Ox 120).

<b>Critério</b>	<b>V 90</b>	<b>V 120</b>	<b>Ox 90</b>	<b>Ox 120</b>
<b>Quantidade de valores</b>	28	28	28	28
<b>Média (°)</b>	125,1	123,7	123,2	121,7
<b>Desvio padrão (°)</b>	6,8	8,2	8,6	6,9

Tabela 5: Teste de Turkey realizado para o MT2, para comparação dos saltos e estação, considerando valor  $p \leq 0,05$ . Vertical de 90cm (V 90), vertical de 120cm (V 120), oxer de 90 cm de altura (Ox 90), oxer de 120 cm de altura (Ox 120) e estação (Est).

<b>Comparação</b>	<b>Diferença na média</b>	<b>Percentual de variação</b>	<b>Significância</b>	<b>Valor P</b>
Est vs. V 90	26,3°	17,36%	Sim	<0,0001
Est vs. V 120	27,6°	18,23%	Sim	<0,0001
Est vs. Ox 90	28,2°	18,61%	Sim	<0,0001
Est vs. Ox 120	29,6°	19,56%	Sim	<0,0001
V 90 vs. V 120	1,3°	1,05%	Não	0,9633
V 90 vs. Ox 90	1,9°	1,51%	Não	0,8737
V 90 vs. Ox 120	3,3°	2,65%	Não	0,4522
V 120 vs. Ox 90	0,6°	0,46%	Não	0,9984
V 120 vs. Ox 120	2,0°	1,62%	Não	0,8505
Ox 90 vs. Ox 120	1,4°	1,15%	Não	0,9519

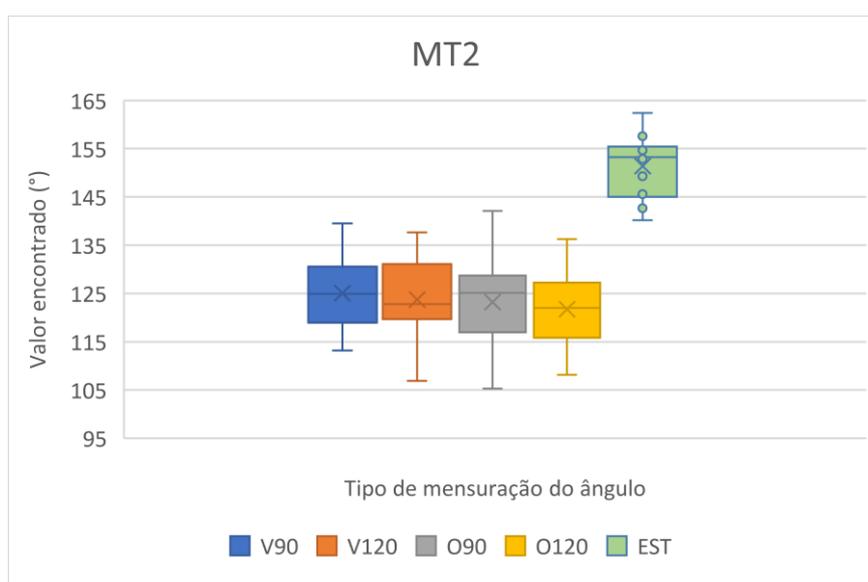


Figura 5: Gráfico representativo das aferições obtidas para o MT2 com os animais em estação (EST) e no momento de hiperextensão do salto vertical 90cm (V90), vertical 120cm (V120), oxer 90cm (Ox 90), oxer 120cm (Ox 120).

#### 4. DISCUSSÃO

Foi possível especular que os ângulos articulares têm a capacidade de sofrer variações de acordo com a idade, de forma geral, tomando os equinos como modelo. O ângulo MCF em estação foi determinado para cavalos BH e as médias encontradas foram 131,7°; 140,9°; 138,98° para animais entre 22-25, 23-32 e 36-39 meses de idade (GODOI et al., 2013). Para cavalos BH adultos, nove anos ( $\pm 3,54$ ), foram determinados o valor mínimo 149°, máximo 170°, e média 157,14°, conforme proposto em um estudo com 28 animais (CUNHA et al., 2020). No presente trabalho, também com BH adultos (8,4 anos em média), os ângulos em estação variaram entre 140,17° e 162,37°, com média 151,35°  $\pm 6,32^\circ$ . Os valores encontrados nos dois trabalhos com adultos, indicaram grande alteração do obtido para animais mais jovens da mesma raça; reafirmando a influência da idade. Porém, ambos os trabalhos com adultos apresentaram diferenças quanto ao ângulo mínimo e máximo, o que não se justifica pela idade, já que o animal que apresentou o menor ângulo tinha oito anos no momento do estudo. Essa variação poderia ser uma particularidade individual do animal.

Foi possível verificar que a raça também seria um outro fator capaz de modificar ângulos articulares (MOLON, 2012). Esse mesmo autor encontrou variação entre 145° e 159° para a articulação MCF. No entanto, sabendo-se da importância da raça, pode se justificar a variação encontrada para o ângulo mínimo, entre o trabalho de Cunha et al. (2020) e o presente. O BH pode ser considerado uma raça aberta, que permite o uso de éguas e garanhões de outras raças, desde que de acordo com as regras da associação. Dessa forma, os animais avaliados por Molon (2012) e Cunha et al. (2020) revelam que houve influência racial, ou até mesmo, decorrente de linhagens no que diz respeito aos ângulos avaliados.

Nos equinos BH, em relação a MT1 e MT2, houve diferença significativa entre os valores de estação e todos os saltos realizados. As diferenças entre as médias angulares de cada tipo de salto comparados com estação foram maiores para MT1 do que MT2, e demonstraram-se ainda maiores para alturas ou larguras distintas. As diferenças angulares encontradas, quando comparados com estação, foram em média (juntando todos os tipos de saltos) 37,21°  $\pm 2,48^\circ$  para MT1 e 27,92°  $\pm 1,38^\circ$  para MT2. Fato que vai de encontro em parte com o proposto por Becker et al. (2019), que encontraram variação de 48,3° para um ângulo inicial, em estação, de 154°, durante a recepção do salto de 1m. Deve se ressaltar que Becker et al. (2019) avaliou apenas um animal da raça Sela Francesa e não foi avaliado o membro, se MT1 ou MT2. Revelando assim, certas fragilidades na generalização dos dados, quando aplicados em equinos atletas. Considerando a partir de então, que as variações das médias de MT1 e MT2 indicaram maior estresse dos tecidos moles adjacentes em MT1, visto que a diferença angular foi maior. Tal resultado é condizente com a atividade assimétrica dos membros torácicos, já descrita por Meershoek et al. (2001a), que indicou maior sobrecarga dos tendões flexores em MT1, em decorrência da recepção proveniente do salto.

Já na comparação entre os saltos, a única diferença significativa foi para MT1 quando comparada a vertical de 90cm com o oxer de 120cm. Essa análise, no entanto, não foi considerada já que a proposta do trabalho era comparar apenas um parâmetro (alterando altura e mantendo a largura, ou o contrário). De outra forma, McGuigan e Wilson (2003) comprovaram que há

correlação positiva entre a força de reação do solo e o ângulo palmar da articulação metacarpofalangeana, para passo, trote e galope; ou seja, com o aumento do ângulo, a força também aumenta. Dessa maneira, como não houve diferença significativa entre os saltos, acredita-se que também não houve grande aumento da força de reação do solo. Tal conclusão vai de encontro ao comprovado por Meershoek et al. (2001b), que demonstrou um aumento na força de reação do solo, com o aumento da altura do salto, usando as alturas de 80cm, 100cm e 120cm. Acredita-se que essa diferença possa ser explicada pela seleção genética para animais mais aptos ao salto, dada a diferença temporal entre os estudos.

A ausência de diferença significativa nas comparações entre saltos sugere que não há aumento considerável de hiperextensão quando se aumenta a complexidade do salto (aumentando a largura ou a altura). Isso pode ocorrer por se tratar do limite da capacidade de extensão da MCF. Meershoek et al. (2001b) detalhou que durante a fase de apoio da recepção do salto ocorre uma variação de aproximadamente 40°, porém não foram definidos os ângulos iniciais e finais dessa fase no respectivo trabalho. Outra possível explicação para a ausência de significância na comparação de saltos pode se dar pela habilidade atlética dos cavalos BH, o que faz com que eles tenham facilidade para saltar obstáculos. Uma boa variável para a análise de aptidão para o salto nessa raça é a angulação escapulo-umeral, abordada por Godoi et al. (2013), onde afirmaram que tal ângulo é importante para equinos de aptidão para salto, pois influencia na extensão do pescoço e no recolhimento dos membros torácicos durante salto de obstáculo, relevantes ainda na absorção do impacto durante a aterrissagem, uma vez que as partes anatômicas envolvidas estão diretamente conectadas. Uma alternativa para sanar tal questionamento seria a avaliação cinemática da hiperextensibilidade da MCF com os ângulos escapulo-umerais.

Sabe-se que cavalos com boa técnica saltam obstáculos de 80cm com forças vertical e longitudinal semelhantes às do galope, e saltam um obstáculo de 130cm com força semelhante à exercida por um cavalo sem técnica para saltar 80cm (BACK e CLAYTON, 2013). Todos os cavalos utilizados nesse trabalho tinham experiência com salto, mesmo o que saltava 90cm em competições já havia competido em categorias mais altas em anos anteriores, porém mudou de categoria para acompanhar sua nova proprietária.

O suporte da articulação metacarpofalangeana e a sua estabilização durante a locomoção são dados pelo aparelho suspensor, especialmente pelo músculo interósseo, associado aos tendões flexores digitais profundo e superficial, impedindo maior hiperextensão da articulação metacarpofalangeana quando o casco toca o solo (BUDRAS et al., 2008; KAINER e FAILS, 2011). Vale ressaltar que o equino desenvolveu mecanismos de sustentação tendoligamentosas, ou seja, mecanismo de estática e dinâmica, presente tanto nos membros torácicos quanto pélvicos, permitindo que essa espécie sustente seu peso corporal com um mínimo de esforço muscular, reduzindo a fadiga muscular (MAIERL et al., 2016). Apesar de não ter tido diferença significativa no ângulo dorsal da MCF com o aumento da dificuldade do salto, houve uma diminuição dele para ambos os membros, entre 1,1% e 4,8% para MT1, e entre 0,46% e 2,65% para MT2. Isso pode ser esperado visto que a fadiga tendínea pode levar a maior hiperextensão e pela atuação da junção miotendínea.

O órgão tendíneo de golgi (OTG) é um mecanorreceptor presente na junção musculotendínea e mensura a tensão local, então ativa um interneurônio que inibe a tensão muscular, dessa maneira ele protege o músculo de uma sobrecarga (HANSEN e KOEPPEN 2002). Já se comprovou que o tendão flexor digital superficial equino possui o órgão tendíneo de golgi (WATANABE et al., 2004). A ação da junção miotendínea pode, inclusive, ser um dos fatores que determinantes na maior hiperextensão após a fadiga, conforme o trabalho de Johnston et al. (1999) e também nos animais do presente estudo. A ausência de diferença angular encontrada pode ter sido favorecida pelo uso de animais em fase avançada de treinamento, com aptidão atlética comprovada e adequadamente submetidos a treinamentos, determinadas pela raça avaliada.

Para cavalos trotadores, foi realizado um trabalho em esteira, por Johnston et al. (1999), no qual os animais foram exercitados até que não estivessem mais dispostos a acompanhar o ritmo da esteira apesar do encorajamento; enquanto isso, uma filmagem lateral era realizada. Os ângulos foram aferidos e dessa forma foi demonstrado que a fadiga pode aumentar em até 8° a hiperextensão da articulação metacarpofalangeana (JOHNSTON et al., 1999). No entanto, mesmo a maior variação (4,85%), não foi equivalente ao apresentado por Johnston et al. (1999), mas sim a 5,68°. Esta diferença pode ter sido causada, ou pelas diferentes raças avaliadas, ou pelo fato da intensidade imposta por Johnston et al. (1999).

## 5. CONCLUSÃO

No presente estudo, não foi possível avaliar diferença significativa nos graus de hiperextensão da articulação metacarpofalangeana na recepção do salto, quando comparados saltos com obstáculos de mesma altura e diferentes larguras, ou na comparação entre saltos com obstáculos de diferentes larguras e mesma altura. Com os dados obtidos e os poucos estudos encontrados sobre a raça, é possível que isso tenha ocorrido devido ao bom treinamento e condicionamento dos animais, além da seleção racial para animais de aptidão esportiva. Por ser uma raça recente e importante no cenário do hipismo, estudos ainda serão necessários para se definir outras características importantes, tais como, capacidade elástica e carga máxima pré-ruptura tendínea, além de parâmetros morfológicos, como as angulações em estação.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVES, V. C., DE MIRANDA, A. L. S. **Brasileiro de Hipismo – Morfologia**. <https://abcch.com.br>, 2017. Disponível em <https://abcch.com.br/?p=|abcch|biblioteca>. Acesso em 10/11/2020.

BACK W.; CLAYTON H.M. **Equine Locomotion-E-Book**. 2ª ed. Elsevier Health Sciences, 2013.

BECKER, J.; EMMANUEL, M.; JEAN-MARC, L. Joint loading estimation method for horse forelimb high jerk locomotion: jumping. **Journal of Bionic Engineering**. Jul 1,16,4, p. 674-685. 2019.

BUDRAS, K.D.; Sack W.O.; Rock S. "Thoracic Limb", **Anatomy of the Horse**, 5ª Ed, Schlutersche. 2008.

CASSIAT, G.; POURCELOT, P.; TAVERNIER, L.; GEIGER, D.; DENOIX, J. M.; DEGUEURGE, D. Influence of individual competition level on back kinematics of horses jumping a vertical fence. **Equine veterinary journal** 36,8, p. 748-753. 2004.

CLAYTON, H. M. Terminology for the description of equine jumping kinematics. **Equine sports medicine**, november – december, p.341. 1989.

CUNHA I.M.; TUCHOLSKI, I.R.; DE ANDRADE SILVA, M.C.; PIVATO, I.; GARCIA, J.A.; NEPOMUCENO, L.L.; DE OLIVEIRA BUSSIMAN, F.; FERREIRA, J.L. Medidas lineares e angulares de equinos destinados ao hipismo clássico na região de Brasília, Distrito Federal. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. Jun 25;8(2), p.88-97. 2020.

CUNNINGHAM, E.P.; DOOLEY, J.J.; SPLAN, R.K.; BRADLEY, D.G. Microsatellite diversity, pedigree relatedness and the contributions of founder lineages to thoroughbred horses. **International Society for Animal Genetics Animal Genetics**, v. 32, p.360-364. 2001.

DOS SANTOS AZEVEDO, D.F. "**Biomecânica da Parte Distal do Membro Anterior**." (2014). 41p. Universidade de Porto. Porto. 2014.

DYSON, S.; TRANQUILLE, C.; WALKER, V.; GUIRE, R.; FISHER M.; MURRAY, R. A subjective descriptive study of the warm-up and turn to a fence, approach, take-off, suspension, landing and move-off in 10 showjumpers. **Equine Veterinary Education**. Jan, 30, 1, p. 41-52. 2018.

GODOI, F.N.; BERGMANN, J.A.; ALMEIDA, F.Q.; SANTOS, D.C.; MIRANDA, A.L.; VASCONCELOS, F.D.; OLIVEIRA, J.E.; KAIPPER, R.R.; ANDRADE, A.M. Morfologia de potros da raça Brasileiro de Hipismo. **Ciência Rural**. Apr;43,4, p.736-42. 2013.

GODOI, F.N.; BERGMANN, J.G.; ALMEIDA, F.; MIRANDA, A.S.; SANTOS, D.C.; SIQUEIRA, A.B.; PEREIRA, M.B.; ANDRADE, A.M. Características cinemáticas de potros da raça Brasileiro de Hipismo nos sucessos e insucessos dos saltos em liberdade. **Archivos de zootecnia** 64, no. 247, p 229-236. 2015.

HANSEN, J.; KOEPPEN, B. **Atlas of neuroanatomy and neurophysiology**. Aubrey Durkin; 2002.

HERNLUND, E.; EGENVALL, A.; ROEPSTORFF, L. Kinematic characteristics of hoof landing in jumping horses at elite level. **Equine Veterinary Journal**. Nov; 42, p.462-467. 2010.

JOHNSTON, C.; GOTTLIEB-VEDI, M.A.; DREVEMO, S.; ROEPSTORFF, L. The kinematics of loading and fatigue in the Standardbred trotter. **Equine Veterinary Journal**. 31, S30, p. 249-253. 1999.

KAINER, R.A.; Fails A.D. Functional anatomy of the equine musculoskeletal system. Baxter GM. **Adams and Stashak's lameness in horses**. 6th ed. Iowa: Wiley-Blackwell, p. 3-72. 2011.

LOPES, P.R.; DUMONT, C.D.; VIANNA, A.D.; MARANHÃO, R.D.; OKIYAMA, F.T.; NOGUEIRA, K.; DE LIMA, E.M. Effect of age and exercise on morphometric structural changes in surface and deep digital flexor tendons of quarter horses. **Online Journal of Veterinary Research**, 18,2, p. 167-175. 2014.

MAIERL, J.; WEISSENGRUBER, G.; PEHAM, C.; KONIG, H.E. Cap. 5: Estática e Dinâmica. In: **Anatomia dos Animais Domésticos** – Texto e Atlas Colorido. 6ª Edição, Ed. Artmed, Porto Alegre, 2016.

MCGUIGAN, M.P.; WILSON, A.M. The effect of gait and digital flexor muscle activation on limb compliance in the forelimb of the horse *Equus caballus*. **Journal of Experimental Biology**, 206, 8, p. 1325 - 1336. 2003.

MEERSHOEK, L. S.; ROEPSTORFF, L.; SCHAMHARDT, H.; JOHNSTON, C.; BOBBERT, M. F. Joint moments in the distal forelimbs of jumping horses during landing. **Equine veterinary journal**, 33,4, p. 410-415. 2001 (a).

MEERSHOEK, L. S.; SCHAMHARDT, H.; ROEPSTORFF, L.; JOHNSTON, C. Forelimb tendon loading during jump landings and the influence of fence height. **Equine veterinary journal**, 33, S33, p.6-10. 2001 (b).

MIYASHIRO, P. **Comparação entre julgamento tradicional e avaliação cinemática do salto de cavalos da raça Brasileiro de Hipismo**. 2012. 88 p. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MOLON, D. **Avaliação dos ângulos articulares do sistema locomotor de equinos utilizando biofotogrametria**. 2012. 36 p. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2012.

MONTE, E. **Cavalo Brasileiro de Hipismo – Histórico do BH.** <https://abcch.com.br/>. 2019. Disponível em <https://abcch.com.br/?p=|abcch|biblioteca>. Acesso em 10/11/2020.

POWERS, P.; HARRISON, A. Effects of the Rider on the Linear Kinematics of Jumping Horses. **Sports Biomechanics** Vol.1, 2, p. 135-146. 2005.

**Regulamento do S.B.B.C.H.** <https://abcch.com.br/>. Disponível em <https://abcch.com.br/?p=|comunicado|regulamento>. Acesso em 13/11/2020.

REZENDE, M.P.G.; SOUZA, J.C.; MOTA, M.F.; JARDIM, R.J.D.; RAMIRES, G.G.; SILVA, R.M.; SOUZA, C.F. Morfometria corporal de equinos utilizados em trabalho, esporte e lazer em três municípios do Mato Grosso do Sul. **Vet. e Zootec.**, dez.; 21,4, p. 569-583. 2014.

REZENDE, M.P., SOUSA, J.C., MOTA, M.F., OLIVEIRA, N.M.; Jardim R.J. Conformação corporal de equinos de diferentes grupos genéticos. **Ciência Animal Brasileira**. Jul 29,17,3, p. 316-326. 2016.

SCHLUP, E. et al. Efeito do treinamento sobre a cinemática de equinos no salto de obstáculos. **Arg. Bras. Med. Vet. Zootec.**, Belo Horizonte, v. 66, n. 6, p. 1647-1654, Dec. 2014

TORRES-PEREZ, Y.; GOMEZ-PACHON, E.Y.; MIRO-RODRIGUEZ, F. Two-Dimensional Kinematics of Horses at Trot Through Videometry and Mathematical Modeling. **Rev. Fac. ing.**, Tunja, v. 26, n. 45, p. 83-96, Aug. 2017.

VERKADE, M.E.; BACK, W.; BIRCH, H.L. Equine digital tendons show breed-specific differences in their mechanical properties that may relate to athletic ability and predisposition to injury. **Equine Veterinary Journal**. Mar; 52, 2, p.320-325. 2020.

WALKER, V.A.; TRANQUILLE, C.A.; HARRIS, P.; ROBERTS, C.; MCEWEN, J.; MURRAY, R.C. Back kinematics at take-off in elite showjumping horses over an upright and parallel-spread fence forming part of a three-fence combination. **Comparative Exercise Physiology**. Sep 6, 14, 3, p.161-171. 2018.

WATANABE, T.; HOSAKA, Y.; YAMAMOTO, E.; UEDA, A. H.; TANGKAWATTANA, P.; TAKEHANA, K. Morphological study of the Golgi tendon organ in equine superficial digital flexor tendon. **Okajimas folia anatomica Japonica**. 81, 2.3, p33-38. 2004.