

IMPACTOS BIOMECÂNICOS DE FERRADURAS DE ALUMÍNIO, PLÁSTICO E AÇO NA ANDADURA A TROTE

CAROLINA BICCA NOGUEZ MARTINS BITENCOURT¹; LEILA REGINA OLIVEIRA DE BORBA²; EULER VARGAS HARDT³ CHARLES FERREIRA MARTINS⁴

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – carolinamvet@outlook.com

²Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) - leiborba@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – euler.hardt@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – martinscf68@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O ferrageamento afeta tanto as estruturas externas quanto internas dos cascos e é amplamente utilizado para alinhar e equilibra a superfície da sola do casco (Clayton *et al.*, 2015; Naem *et al.*, 2020). Entretanto, as ferraduras podem ser fabricadas por diferentes materiais, como alumínio, plástico e aço, cada um com características de atrito específicas, além de diferenças no peso e comportamento mecânico durante o impacto com o solo (Kelleher *et al.*, 2021).

Apesar dos avanços na compreensão dos materiais, uma questão crucial permanece, o tempo necessário para que os cavalos se adaptem biomecanicamente ao uso de diferentes tipos de ferraduras. Essa adaptação pode afetar diretamente as variáveis cinemáticas da locomoção, influenciando a qualidade do movimento e o desempenho atlético dos animais, além de apresentar riscos à integridade física (Clayton *et al.*, 2015). Alterações repentinas nas características biomecânicas podem resultar em instabilidade, aumentando o risco de lesões musculoesqueléticas, especialmente naqueles submetidos a atividades intensas ou de alto desempenho (Clayton *et al.*, 2015).

Dessa forma, a investigação sobre o impacto imediato de diferentes materiais é essencial para fornecer informações precisas que possam orientar o uso adequado desses. A compreensão das adaptações biomecânicas associadas a cada tipo de ferradura pode otimizar a escolha dos materiais com base nas necessidades específicas de cada cavalo, melhorando não apenas o desempenho atlético, mas também a saúde e o bem-estar geral dos animais. Dentro desse contexto, este estudo tem como objetivo identificar e quantificar as alterações nas variáveis cinemáticas da andadura ao trote de equinos, induzidas pelo uso de ferraduras de alumínio, plástico e aço nos membros torácicos e pélvicos.

2. METODOLOGIA

Foram avaliadas seis fêmeas da espécie equina, com massa corporal média de 407 kg ± 23,16 e idade entre 5 e 9 anos. Esses animais são oriundos de uma propriedade de equinos, sendo localizada na região sul do estado do Rio Grande do Sul. Os cavalos foram mantidos em sistema extensivo em campo nativo durante 90 dias, sem ferrageamento. Previamente a coleta de dados, todos os animais passaram por um exame clínico específico do sistema locomotor para determinar o estado de saúde da amostra populacional, sendo considerados hígidos.

Os animais foram ferrados na seguinte ordem: ferradura de alumínio, plástico e aço e imediatamente, conduzidos a andadura a trote na superfície controlada para captura de dados cinemáticos. O espaço entre os intervalos de mudança das ferraduras foi de duas horas, com propósito de verificar os efeitos biomecânicos de adaptação do material ao casco/superfície. A fixação das ferraduras foi feita pelos

mesmos orifícios dos cravos da ferradura anterior, com propósito de evitar traumas excessivos ao estojo córneo.

O campo de estudo teve 10 metros de comprimento e 4 metros de largura (demarcada por cones para facilitar a identificação), sendo uma pista de areia macia posicionada dentro de um redondel. Após, se iniciou a colocação de 12 marcados reflexivos (30 mm de diâmetro), que foram fixados com fita dupla face pelo mesmo operador experiente no lado esquerdo dos animais, nas regiões anatômicas referente às protuberâncias ósseas nos membros torácico e pélvico.

A análise cinemática foi realizada utilizando a técnica de videografia 2D. Os vídeos foram capturados por uma câmera de alta velocidade (240 fps e resolução de 1280x550) posicionada a 7 metros do centro da pista e a 1 metro de altura, sobre um tripé. Uma luz LED de 72W foi colocada acima da câmera para acionar a refletividade dos marcadores. No centro da pista, uma régua de 1 metro foi posicionada horizontal e verticalmente para calibrar o sistema. Foram capturados seis vídeos de 10 segundos da andadura ao trote do lado esquerdo para cada ferradura (alumínio, plástico e aço).

Após a coleta, os vídeos foram processados e analisados por meio do sistema de análise de movimento 2D Quintic Biomechanics® v33, onde as variáveis de duração de apoio (s), duração de suspensão (s), tempo de breakover (s) e altura máxima do casco em relação ao solo (m) foram testadas e quantificadas para os membros torácico e pélvico considerando a média dos três vídeos do lado esquerdo. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, seguido por teste não paramétrico de Wilcoxon, na análise de comparação das variáveis cinemáticas, entre os diferentes momentos imediatamente (M1) e duas horas após ferrageamento (M2), para cada tipo de ferradura na andadura a trote. Para todas as análises estatísticas, foi utilizado o software IBM SPSS Statistics® 20 e se considerou um nível um nível mínimo de confiança de 95% ($P < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante o trote, na análise cinemática do membro torácico dos equinos nos momentos específicos dentro de cada ferradura (M1 e M2), estão demonstradas na Tabela 1. As variáveis de tempo de breakover e altura máxima do casco com relação ao solo, apresentaram valores superiores duas horas após ao ferrageamento ($P < 0,05$).

Tabela 1: Valores médios e desvio padrão dos parâmetros cinemáticos de membro torácico de equinos (n=6) imediatamente e duas horas após o ferrageamento com ferraduras de três materiais distintos durante o trote.

VC	Alumínio		Plástico		Aço	
	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂
DA (s)	0,32±	0,35±	0,31±	0,33±	0,34±	0,36±
	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
DS (s)	0,34±	0,34±	0,34±	0,34±	0,34±	0,35±
	0,01	0,01	0,01	0,10	0,12	0,01
TB (s)	0,05±	0,20±	0,07±	0,06±	0,15±	0,06±
	0,01 ^a	0,32 ^b	0,03	0,01	0,23	0,01
AM (m)	0,12±	0,14±	0,14±	0,15±	0,17±	0,16±
	0,02 ^a	0,03 ^b	0,01 ^a	0,02 ^b	0,02	0,01

VC: Variáveis Cinemáticas; M₁: Coletas realizadas imediatamente após ao ferrageamento dos cavalos; M₂: Coletas realizadas após 2 horas dos animais com as ferraduras; DA: Duração de Apoio; DS: Duração de Suspensão; TB: Tempo de Breakover; AM: Altura máxima do casco com relação

ao solo. Letras minúscula, em mesma linha, mostram diferenças estatísticas entre os distintos momentos (M1 e M2), dentro de cada ferrageamento com mesmo material pelo teste de *Wilcoxon*.

A fase de retirada do contato do casco com o solo, chamada de **breakover**, é crucial para a precisão e eficiência do movimento. Quanto mais rápido o breakover, maior a precisão. O material da ferradura pode interferir na adaptação às diferentes superfícies, conforme demonstrado em estudos anteriores (Amitrano *et al.*, 2016; Clayton *et al.*, 2017). No presente estudo, observou-se que o tempo de breakover aumentou com o uso de ferraduras de alumínio após duas horas de ferrageamento, sugerindo uma adaptação mais lenta a esse material, refletindo em menor eficiência do movimento e maior estresse ao sistema musculoesquelético. Esse atraso faz com que o cavalo reduza velocidade e fluidez, tornando o movimento menos econômico, especialmente em atividades de alto desempenho, onde o animal precisa gastar mais energia para completar cada passo, resultando em fadiga mais rápida durante exercícios prolongados, principalmente no período de adaptação biomecânica. Em contrapartida, as ferraduras de plástico e aço apresentaram uma resposta mais estável ao longo do tempo, indicando que a biomecânica, para essa variável do movimento, é influenciada de maneira distinta pelos diferentes materiais (Clayton *et al.*, 2017).

A altura máxima do casco em relação ao solo reflete a amplitude de movimento dos membros dos equinos durante a fase de suspensão (Chateau *et al.*, 2006; Amitrano *et al.*, 2016). Essa variável cinemática foi influenciada pelo peso e material das ferraduras, com o alumínio apresentando valores superiores após duas horas de adaptação (Tabela 1), interferindo na mecânica do movimento. De acordo com Chateau *et al.* (2006), com o tempo, o cavalo realiza movimentos mais amplos, elevando mais o casco, e a leveza do alumínio facilita essa elevação com menor esforço muscular. Em contraste, as propriedades elásticas do plástico afetam a absorção de impacto, especialmente após duas horas de uso, promovendo maior compressão e redução da altura do casco (Chateau *et al.*, 2006; Amitrano *et al.*, 2016). As ferraduras de aço, por serem mais densas, proporcionam superior controle e estabilidade em andaduras de alta performance, oferecendo maior consistência em comparação aos materiais mais leves (Setterbo *et al.*, 2009; Horan *et al.*, 2022).

Tabela 2: Valores médios e desvio padrão dos parâmetros cinemáticos de membro pélvico de equinos (n=6) imediatamente e duas horas após o ferrageamento com ferraduras de três materiais distintos durante o trote.

VC	Alumínio		Plástico		Aço	
	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂
DA (s)	0,31±	0,31±	0,32±	0,35±	0,33±	0,33±
	0,35	0,01	0,02	0,05	0,01	0,01
DS (s)	0,36±	0,35±	0,37±	0,36±	0,38±	0,38±
	0,08	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01
TB (s)	0,06±	0,06±	0,05±	0,06±	0,06±	0,06±
	0,04	0,06	0,03	0,01	0,01	0,01
AM (m)	0,13±	0,12±	0,13±	0,12±	0,11±	0,11±
	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01

VC: Variáveis Cinemáticas; M₁: Coletas realizadas imediatamente após ao ferrageamento dos cavalos; M₂: Coletas realizadas após 2 horas dos animais com as ferraduras; DA: Duração de Apoio; DS: Duração de Suspensão; TB: Tempo de Breakover; AM: Altura máxima do casco com relação ao solo.

Os resultados da análise cinemática do membro pélvico dos equinos, apresentados na Tabela 2, indicam que não houve variações nas variáveis

cinemáticas ao comparar os momentos imediatamente após o ferrageamento (M1) e duas horas depois (M2) entre os diferentes materiais ($P < 0,05$). Estes achados sugerem que o membro pélvico, responsável por grande parte da propulsão do movimento, pode ser menos suscetível a alterações induzidas por mudanças no ferrageamento, especialmente a curto prazo. A estabilidade observada entre os momentos M1 e M2 pode estar relacionada à biomecânica específica dos membros pélvicos, que, conforme apontado por estudos anteriores (Horan *et al.*, 2022; Setterbo *et al.*, 2009), tendem a ser menos influenciados pelo material das ferraduras. Isso apoia a hipótese de que as alterações no ferrageamento afetam mais intensamente os membros torácicos, enquanto os membros pélvicos mantêm um padrão de movimento mais estável e consistente, independentemente do tipo de ferradura. No entanto, estudos futuros poderiam explorar o impacto de intervalos mais longos após o ferrageamento em uma amostra mais ampla de equinos, a fim de verificar se alterações biomecânicas ocorrem em períodos prolongados ou se a estabilidade observada a curto prazo se mantém.

4. CONCLUSÕES

Os resultados do estudo demonstram que o ferrageamento afeta de forma distinta a cinemática dos membros torácicos e pélvicos dos equinos a trote, dependendo do material da ferradura e do intervalo de tempo após a sua aplicação.

Os membros pélvicos, são menos sensíveis às mudanças no ferrageamento a curto prazo.

As ferraduras de alumínio, apesar de sua leveza, podem levar a uma adaptação biomecânica mais lenta. Já as ferraduras de plástico e aço mostraram maior estabilidade cinemática, sugerindo adaptação mais rápida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMITRANO, F. N. *et al.* Effect of hoof boots and toe-extension shoes on the forelimb kinetics of horses during walking. **American journal of veterinary research**, v. 77, n. 5, p. 527-533, 2016.
- CHATEAU, H. *et al.* Effects of egg-bar shoes on the 3-dimensional kinematics of the distal forelimb in horses walking on a sand track. **Equine Veterinary Journal**, v. 38, n. S36, p. 377-382, 2006.
- CLAYTON, H. M. *et al.* Stance phase kinematics and kinetics of horses trotting over poles. **Equine veterinary journal**, v. 47, n. 1, p. 113-118, 2015.
- CLAYTON, H. M.; HOBBS, S. J. An exploration of strategies used by dressage horses to control moments around the center of mass when performing passage. **PeerJ**, v. 5, p. e3866, 2017.
- HORAN, K. *et al.* Hoof Impact and Foot-Off Accelerations in Galloping Thoroughbred Racehorses Trialling Eight Shoe–Surface Combinations. **Animals**, v. 12, n. 17, p. 2161, 2022.
- KELLEHER, M. E. *et al.* The immediate effect of routine hoof trimming and shoeing on horses' gait. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 102, p. 103633, 2021.
- NAEM, A. M. *et al.* Hoof kinetic patterns differ between sound and laminitic horses. **Equine Veterinary Journal**, 2020.
- SETTERBO, J. J. *et al.* Hoof accelerations and ground reaction forces of Thoroughbred racehorses measured on dirt, synthetic, and turf track surfaces. **American journal of veterinary research**, v. 70, n. 10, p. 1220-1229, 2009.