

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA-UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ELASTOGRAFIA DE COMPRESSÃO DOS TENDÕES
FLEXORES DIGITAIS SUPERFICIAL E PROFUNDO EM
EQUINOS SUBMETIDOS A TREINAMENTO GUIADO POR
LACTATO**

Isabela Marques de Figueiredo

Médica Veterinária

2024

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

**ELASTOGRAFIA DE COMPRESSÃO DOS TENDÕES
FLEXORES DIGITAIS SUPERFICIAL E PROFUNDO EM
EQUINOS SUBMETIDOS A TREINAMENTO GUIADO POR
LACTATO**

Discente: Isabela Marques de Figueiredo

Orientador: Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Ciências Veterinárias.**

2024

F475e Figueiredo, Isabela Marques De
Elastografia de compressão dos tendões flexores digitais superficial e profundo em equinos submetidos a treinamento guiado por lactato / Isabela Marques De Figueiredo. -- Jaboticabal, 2024
41 f. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: José Corrêa de Lacerda Neto

1. Adaptação tendínea. 2. Cavalo atleta. 3. Exercício. 4. Tendinopatias. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ELASTOGRAFIA DE COMPRESSÃO DOS TENDÕES FLEXORES DIGITAIS SUPERFICIAL E PROFUNDO EM EQUINOS SUBMETIDOS A TREINAMENTO GUIADO POR LACTATO

AUTORA: ISABELA MARQUES DE FIGUEIREDO

ORIENTADOR: JOSÉ CORRÊA DE LACERDA NETO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Veterinárias, área: Saúde Animal pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSÉ CORRÊA DE LACERDA NETO (Participação Virtual)
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSÉ CORRÊA DE LACERDA NETO
Data: 13/04/2024 09:11:40-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. DANUTA PULZ DOICHE (Participação Virtual)
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br DANUTA PULZ DOICHE
Data: 15/04/2024 17:44:13-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. NARA SARAIVA BERNARDI (Participação Virtual)
Universidade de Araraquara (UNIARA) / Araraquara/SP

Documento assinado digitalmente
gov.br NARA SARAIVA BERNARDI
Data: 15/04/2024 11:33:08-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Jaboticabal, 16 de abril de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Isabela Marques de Figueiredo, nascida em São Sebastião do Paraíso-MG, no dia 6 de abril de 1999 é médica veterinária formada pela Faculdade Doutor Francisco Maeda-FAFRAM, em janeiro de 2022. Durante a graduação foi membro do Grupo de estudos de equinos e ruminantes- GEER e membro da equipe de criadores de conteúdos na plataforma digital de conteúdos equinos InfoEquestre. Obteve experiência na área de cavalos de esporte em empresas de renome como a clínica Equi Sport Center e Equine Center Jockey SP. Em 2022, ingressou no Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias com foco em medicina esportiva equina da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, câmpus de Jaboticabal, concluindo o mestrado em 2024.

“Tudo é possível ao que crê.”

Mc 9:23.

Dedico este trabalho à minha família, minha mãe Juliana e minha avó
Luzia, que me ampararam em toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à minha família por todo apoio e incentivo.

...ao meu orientador Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto, pelas conversas, conselhos, orientações e pela confiança de me inserir em sua equipe nesta jornada da pós-graduação.

...aos pós-graduandos colegas de laboratório, especialmente Maíra Moreira Santos e Gabriel Vieira Ramos, por todo auxílio, paciência e companheirismo durante o período do nosso experimento.

...ao Sr. Odair Ocan, funcionário do setor de equinocultura, por seu trabalho e auxílio durante o desenvolvimento do projeto.

...ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinária da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias- FCAV/UNESP.

...aos programas de financiamento de pesquisas FCAV pela bolsa a mim concedida e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processo nº 2020/11223-4), pelo auxílio à pesquisa.

SUMÁRIO

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. | REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 | Treinamento guiado pela concentração plasmática de lactato | 3 |
| 2.2 | Tensão flexor digital superficial (TFDS) e profundo (TFDP) | 4 |
| 2.3 | Elastografia por compressão | 6 |
| 3. | MATERIAL E MÉTODOS | 8 |
| 3.1 | Animais | 8 |
| 3.2 | Elastografia de compressão..... | 9 |
| 3.3 | Análise estatística | 12 |
| 4. | RESULTADOS | 13 |
| 5. | DISCUSSÃO | 20 |
| 6. | CONCLUSÃO..... | 23 |
| | REFERÊNCIAS | 24 |



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado “ADAPTAÇÕES TENDÍNEAS E LIGAMENTARES EM EQUINOS SUBMETIDOS A TREINAMENTO GUIADO PELO LACTATO”, protocolo nº 1063/2022, sob a responsabilidade do Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 16 de março de 2022.

| | |
|---------------------|--|
| Vigência do Projeto | 20/04/2022 a 20/08/2022 |
| Espécie / Linhagem | Puro Sangue Árabe |
| Nº de animais | 14 |
| Peso / Idade | 380 Kg / quatro à nove anos |
| Sexo | Machos e fêmeas |
| Origem | Adquiridos de criatório da raça e alojados junto ao Setor de Equinocultura da Faculdade de Ciências Agrárias Veterinárias/Unesp, Câmpus de Jaboticabal |

Jaboticabal, 16 de março de 2022.

Fabiana Pilarski
Profª Drª Fabiana Pilarski
 Coordenadora – CEUA

ELASTOGRAFIA DE COMPRESSÃO DOS TENDÕES FLEXORES DIGITAIS SUPERFICIAL E PROFUNDO EM EQUINOS SUBMETIDOS A TREINAMENTO GUIADO POR LACTATO

RESUMO – A elastografia de compressão é a técnica ultrassonográfica diagnóstica que consiste na avaliação qualitativa da rigidez a partir da deformidade sofrida pelo tecido decorrente de compressão externa ritmada, fornecendo um mapa de cores chamado elastograma. O objetivo deste estudo foi avaliar possíveis alterações de rigidez nos tendões flexores digitais superficial (TFDS) e profundo (TFDP) das regiões 2A e 2B, de cavalos jovens, sem histórico de treinamento antecedente, da raça Puro Sangue Árabe, após treinamento pelo período de seis semanas, guiado por lactato. O programa de treinamento foi realizado em dias alternados, consistindo em um dia de treinamento seguido por outro de descanso, a resultar em 15 sessões totais ao fim do período de seis semanas. Foram treinados 12 animais, com idade de $28,42 \pm 3,75$ meses, nove fêmeas e três machos castrados. Com base no teste de esforço incremental (TEI), foi determinada a velocidade em que a concentração do lactato plasmático foi igual $2,0 \text{ mmol/L}$ (V_2), utilizada para estabelecer a intensidade do programa de treinamento. As elastografias de compressão foram realizadas antes e após o treinamento utilizando o software SE “ElaXto” e os elastograma foram analisados pelo programa ImageJ. Foram encontradas alterações significativas em relação à rigidez tendínea ao final do período de treinamento no TFDP, região 2B, enquanto que a respeito da região 2A e o TFDS, não houve alterações significativas.

Palavras-chave: adaptação tendínea, cavalo atleta, exercício, tendinopatias.

COMPRESSION ELASTOGRAPHY OF SURFACE AND DEEP DIGITAL FLEXOR TENDONS IN EQUINES UNDERGOING LACTATE-GUIDED TRAINING

ABSTRACT – Compression elastography is a diagnostic ultrasound technique that consists of the qualitative assessment of stiffness based on the deformity suffered on the tissue resulted by a rhythmic external compression which provides a colorful map named elastogram. The aim of this study was to evaluate possible changes in stiffness, guided by lactate, in the superficial (SDFT) and in the deep digital flexor tendons (DDFT) of pure breed Arabian young horses' regions 2A and 2B with no previous training history, after training during a six-week period. The training program was performed on alternate days, with a training day followed by a rest day, which resulted in 15 total sessions at the end of the six-weeks period. 12 animals aged 28.42 ± 3.75 months, nine females and three castrated males were trained on this study. The speed at which the plasma lactate concentration was equal to 2.0 mmol/L (V₂) was determined based on the incremental exercise test (IET) which was used to establish the training program intensity. Compression elastographies were performed before and after training using SE "ElaXto" software and elastograms were analyzed by ImageJ program. Although significant changes were found in tendon stiffness in the DDFT (region 2B) at the end of the training period, there were no significant changes in the SDFT (region 2A).

Keywords: tendon adaptation, athlete horse, exercise, tendinopathies.

1. INTRODUÇÃO

A realização de atividades físicas está na essência do desenvolvimento de adaptações metabólicas e estruturais em cavalos de diferentes modalidades equestres sendo responsável pela melhoria do desempenho físico. Todavia, quando os protocolos de treinamento são empregados de forma inadequada, além de distúrbios metabólicos (NAGY et al., 2012), podem causar lesões ortopédicas (SHEARMAN et al., 2002; PERKINS et al., 2005; GOMIDE et al., 2006; MURRAY et al., 2010). Os problemas tendíneos da região metacarpiana, além de queda do desempenho devido ao longo tempo de afastamento do animal, podem culminar com o fim da carreira atlética (ÜLKE et al., 2020).

Em geral, o exercício físico promove alterações transitórias, mas quando efetuado de forma programada, com adequada frequência, duração e intensidade, é responsável por respostas adaptativas nos tecidos musculoesqueléticos (RIVERO, 2007; TURNER 2012). Além disso, cada modalidade esportiva e nível de competição apresenta exigências diferentes sobre as estruturas anatômicas, predispondo a lesões específicas. A inflamação dos tendões e ligamentos, tendinite e desmíte, ocorre frequentemente em animais atletas, e a acurácia e precocidade do diagnóstico, tanto clínico como ultrassonográfico, são de suma importância, visto que o período de recuperação das lesões pode ser longo, culminando com perda de massa muscular e de condicionamento (ÜLKE et al., 2020; ALZOLA et al., 2018; BERNARDI et al., 2022).

O exame de imagem é fundamental para verificar a gravidade da lesão, direcionar o tratamento e monitorar a recuperação (GENOVESE et al., 1986; ALZOLA et al., 2018). A ultrassonografia em Modo B é o método convencional de avaliação ultrassonográfica de tendões e ligamentos por diagnosticar a localização da lesão, sua extensão e gravidade, além de acompanhar o processo de reparação. Também é possível o diagnóstico de lesões agudas sem expressão clínica. Mas, essas informações estão relacionadas à morfologia e aos demais aspectos ultrassonográficos observados no Modo B (escala de cinza) (BAXTER, 2020; FEITOSA, 2020).

Por esses motivos, iniciou-se os estudos em relação a elastografia de compressão, que oferece informações sobre a propriedade mecânica dos tendões, sua elasticidade. Por meio deste método, é possível mensurar a rigidez tecidual a partir da estimativa da deformação tecidual. O transdutor do aparelho de ultrassom emite ondas sonoras e nos tecidos lesionados ocorre maior deslocamento dessas ondas do que nos tecidos rígidos. Assim, a elastografia avalia a alteração no comprimento da onda do tecido devido à aplicação de uma força externa (WASHBURN et al., 2018; DRANKONAKI et al., 2012). Esse método possibilitou a detecção de lesões, assim como o monitoramento detalhado do processo cicatricial externa (WASHBURN et al., 2018). Esse exame complementa os achados da ultrassonografia convencional e oferece resultados úteis com indicação de lesão até 270 dias, o que reforça o uso desta técnica na avaliação de casos de tendinite, melhorando o manejo dos pacientes (LUSTGARTEN et al., 2015; TAMURA et al., 2017; SECCHI et al., 2021).

O uso de imagens ultrassonográficas e exames físicos do aparelho locomotor são recomendados durante atividades que apresentem esforço excessivo e/ou repetitivo, com o objetivo de avaliar e monitorar as estruturas distais dos membros (PLUIM et al., 2018). De acordo com a literatura, a maior ocorrência de lesões tendíneas na zona metacárpica média do tendão flexor digital superficial (TFDS) e tendão flexor digital profundo (TFDP) (REEF, 1998; DOWLING, 2005; STASHAK, 2006).

A fim de evitar lesões e melhorar o condicionamento físico do animal, a duração do exercício, sua carga e frequência são elementos fundamentais durante o planejamento do protocolo de treinamento (LINDNER, 2010). Estudos demonstram que a concentração de lactato é um marcador de intensidade de esforço utilizado em diversos protocolos de treinamento já relatados, sendo o mesmo determinado durante a realização de testes de esforço progressivo (CAMPBELL, 2011; SOARES et al., 2014; LINDNER et al., 2009). O limiar anaeróbio é definido como o momento em que a produção de lactato ultrapassa a taxa de remoção e há então o excesso de lactato no sangue (Snow, 1987). Em humanos o limiar anaeróbio é considerado 4 mmol/L, a este limiar denomina-se V_4 , em equinos esse limiar foi delimitado em 2 mmol/L e chamado de V_2 (LINDNER, 2010).

Além de visar a melhoria de desempenho físico, alguns autores iniciaram estudos avaliando a adaptabilidade tendínea em relação ao exercício utilizando técnicas como ultrassonografia em Modo B e aferições de diâmetro das fibras (BIRCH et al., 1999; PATTERSON-KANE et al., 1999). Desta forma, tendo em vista que a elastografia nos oferece importantes informações em relação a rigidez tendínea e que, o esforço físico realizado durante um programa de treinamento predispõe a adaptação tendínea dos tendões flexores digitais superficial e profundo, o objetivo deste trabalho foi avaliar por meio da elastografia de compressão as regiões 2A e 2B das estruturas citadas acima, em equinos jovens, sem histórico de treinamento antecedente, da raça Puro Sangue Árabe, antes e após treinamento guiado pela concentração de lactato em esteira rolante pelo período de seis semanas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Treinamento guiado pela concentração plasmática de lactato

Treinamentos ideais necessitam que a velocidade, aceleração e a duração do exercício sejam controladas (HINCHCLIFF et al., 2008). Tais testes podem ser realizados em programas de esteira rolante ou a campo (EVANS, 2008). Para determinar um bom programa de treinamento e aptidão física dos animais utiliza-se a relação entre frequência cardíaca, velocidade e a produção de lactato (WILSON; ISLER; THORNTON, 1983). A aferição de lactato sanguíneo é um teste de escolha para testes de exercícios em cavalos atleta. O lactato é um importante marcador do processo anaeróbio, pois é produzido durante essa fase do metabolismo (HINCHCLIFF et al., 2008). Quando o metabolismo deixa de ser aeróbico e passa a ser anaeróbio determinamos o limiar anaeróbio descrito por Lindner (2010) em um nível fixo de 2 mmol/L, marcando então o início do exercício anaeróbio. A determinação do limiar anaeróbio é realizada por meio da definição da máxima fase estável do lactato (MFEL), velocidade máxima na qual a concentração de lactato sanguíneo entre o 5º e o 25º min de exercício contínuo não aumentou em mais de 1 mmol/L (LINDNER, 2010). A concentração de lactato é um dado importante para

determinar a intensidade ideal de treinamento, para isso são utilizados os dados referentes as velocidades alcançadas entre 2 e 4 mmol/l de lactato, chamadas respectivamente, de V_2 e V_4 (GALLOUX et al., 1993; AGUERA et al., 1995).

2.2 Tendão flexor digital superficial (TFDS) e profundo (TFDP)

O tendão é constituído por tecido conjuntivo denso modelado. É a estrutura responsável por transmitir força do músculo ao osso, é uma estrutura conectiva que transmite a contração do sistema muscular para o sistema articular e ósseo, Além de desempenhar outras funções mecânicas essenciais, como a amplificação dinâmica nas contrações musculares rápidas, a reserva de energia elástica e a atenuação de forças de tensão em movimentos inesperados e velozes (BAXTER, 2020).

O ponto em que o tendão se une ao osso é chamado de entese ou inserção. Composto predominantemente por fibras de colágeno e tenócitos, que são fibroblastos diferenciados (alongados). O colágeno tipo I, é o principal encontrado nos tendões. A água representa 55% do peso do tendão, presente na matriz extracelular, apresenta como função a redução do atrito para facilitar o deslizamento de fibrilas durante a resposta a cargas mecânicas. Também se encontra outros componentes como elastina, proteoglicanos e componentes inorgânicos (ZACHARY, 2018; JUNQUEIRA, 2023).

Os tendões são envoltos por uma estrutura de tecido conjuntivo, as bainhas tendíneas ou sinoviais, os quais auxiliam no deslizamento das fibras e contém um líquido similar ao sinovial. O tecido de transição entre o tendão e a estrutura óssea é denominado fibrocartilagem e tem como função fortificar o ponto de origem e/ou inserção. Em relação ao suprimento sanguíneo, a demanda sanguínea do tendão é semelhante ao da musculatura em repouso. Durante exercício não há aumento significativo de requerimento sanguíneo, enquanto o requerimento metabólico tende a diminuir com o passar da idade, já que tenócitos maduros são consideravelmente inativos (FEITOSA, 2023).

O tendão flexor digital superficial origina-se na face caudal do úmero, passa distal ao canal do carpo, superficialmente ao tendão flexor digital profundo, partilhando

a bainha sinovial. Se divide em dois ramos na região distal do boleteo, cada ramo passa lateralmente ao tendão flexor digital profundo, se inserindo na porção proximal da falange média e na porção distal da falange proximal. Já o tendão do músculo flexor digital profundo está localizado na região palmar do canal do carpo, se origina na altura do epicôndilo medial do úmero, passando o boleteo e superficialmente aos sesamóides (proximais e distais) e se inserindo na extremidade palmar da falange distal (FAILS, 2019).

A força de tensão do tendão se iguala a óssea, entretanto se apresenta flexível e discretamente extensível. O rearranjo das fibras colágenas paralelas faz com que o tendão resista a tensão sem que a energia contrátil seja dissipada no decorrer da transferência do músculo ao osso. Sabe-se que o alinhamento das fibras colágenas está intimamente ligado a força de tensão (ZACHARY, 2018; JUNQUEIRA, 2023).

Ao exame físico dos TFDS e TFDP na face palmar próximo ao terceiro metacarpiano, avalia-se pela palpação presença de aumento de volume, resposta a dor, calor, consistência e presença de aderências, primeiramente com o membro apoiado e posteriormente semiflexionado, diminuindo a tensão e facilitando a identificação das estruturas e o exame. Além do deslizamento das fibras colágenas com movimentos de flexão do membro (FEITOSA, 2023; ASHDOWN; DONE, 2021).

A tendinite é o processo inflamatório do tendão segundo Baxter (2020) as causas mais comuns de tendinite no TFDS são o excesso de tensão (sobrecarga) e traumas repetitivos. A idade e o aumento de exercício são fatores predisponentes para sua ocorrência. No TFDP, a tensão excessiva, além de fatores anatômicos como a relativa imobilização do tendão devido a anatomia da bainha digital com o ligamento anular, assim como as injúrias de interferência são citadas como causas desta lesão.

A ocorrência da tendinite e outras lesões tendíneas são prejudiciais a equinos de esporte, pois resultam em longo tempo de afastamento de suas atividades e, conseqüente, perda de condicionamento físico, diminuição da vida útil do animal no meio esportivo e grandes perdas econômicas (BAXTER, 2020; ALZOLA et al., 2018; ÜLKE; DENIZ; NUREDDIN, 2020). Infelizmente, as lesões por tensão excessiva nos tendões são frequentes na ortopedia de equinos atletas. Estudos realizados em cavalos de corrida no Reino Unido revelaram que entre 1996 e 1998, 46% dos

incidentes estavam relacionados a lesões nos tendões flexores e ligamento suspensor do boleto.

Essas lesões tendíneas por excesso de tensão podem ocorrer de duas formas distintas. A primeira é devido a uma sobrecarga repentina sobre o tendão, ultrapassando sua capacidade de resistência. A segunda forma de lesão ocorre por presença de degenerações no tendão seguida pela tensão excessiva (WILLIAMS et al., 2001). Um dos fatores que favorecem ocorrências de degenerações, como ocorre na tendinite, é o aumento da velocidade do animal, acompanhada, conseqüentemente, de elevações no pico de carga de impacto (HINCHCLIFF et al., 2008).

Quando a lesão ocorre, há inicialmente hemorragia dentro do tendão, seguida de rápida reação inflamatória, resultando em aumento do volume sanguíneo, edema e liberação de enzimas proteolíticas. Posteriormente, há a fase de reparação, ou resposta angiogênica, responsável pela cicatrização, aumento da quantidade de colágeno na área afetada e, finalmente, a fase de reparação com a transformação do colágeno tipo III em tipo I, à medida que o tecido de cicatrização amadurece (SMITH et al., 2008). Estudos sugerem que durante as lesões, há aumento relativo do fluxo sanguíneo para os tendões (HINCHCLIFF et al., 2008).

Embora o treinamento tenha papel importante na preparação dos cavalos, é válido ressaltar que, de acordo com HINCHCLIFF et al. (2008), ele não exerce efeito significativo sobre a adaptabilidade tendínea após a maturidade esquelética. Estudos indicam que a maturidade tendínea ocorre próximo aos 3 anos de idade e que tendões de cavalo de idade superior a esta têm rigidez significativamente maior (GILLIS et al., 1995; PATTERSON-KANE et al., 1997).

2.3 Elastografia por compressão

A ultrassonografia se mostra como método de diagnóstico avançado para diagnosticar casos de tendinite, mas o autor não dispensa realização de um exame clínico minucioso (BAXTER, 2020).

O método diagnóstico complementar padrão para reconhecimento e acompanhamento de lesões de tendões é a ultrassonografia em escala de cinza (Modo B), mas esta oferece apenas informações morfológicas de tais estruturas. Para

análise ultrassonográfica dos tendões, são subdivididos em 7 regiões longitudinais iguais, as quais receberão as marcações específicas (1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B e 3C) (STASHAK, 2006). De acordo com Reef (1998), as lesões mais graves e com maior incidência ocorrem na região metacarpal média, envolvendo as zonas de análise 2A, 2B e 3A.

Segundo Ülke; Deniz e Nureddin (2020), pode-se observar áreas hipoecoicas, que correspondem a hemorragias e/ou edemas em casos agudos ou até mesmo rupturas em casos crônicos de tendinite no TFDS. Já no TFDP, são observáveis pequenas áreas hipoecoicas, focais e circulares (BAXTER, 2020).

A técnica de elastografia permite a obtenção de dados sobre a tensão tecidual, fornecendo então importantes informações sobre a característica mecânica, sendo esta de extremo interesse para a avaliação da higidez dos tendões (LUSTGARTEN et al., 2014). Na elastografia de compressão, segundo Bowler, Drinkwater e Wilcox (2011), a tensão é definida como a mudança fracional no comprimento de um tecido quando uma força externa é aplicada. A elastografia por compressão então consiste em uma quantificação da deformidade do tecido baseado em uma força aplicada.

Para realizar a técnica primeiramente o animal é preparado. Os membros devem ser devidamente posicionados e apoiados para melhor qualidade da imagem e confiabilidade nos dados de rigidez da estrutura avaliada, onde inicialmente em Modo B o ultrassonografista adquire imagens da estrutura a ser analisada para obter uma referência anatômica adequada. Após dada a referência em Modo B, com o transdutor o operador aplica leve compressão sob a área ou região de interesse (ROI), assim o aparelho de ultrassom registra as alterações de deformação do tecido e apresenta um mapa de cores (elastograma) onde tecidos mais rígidos são apresentados em vermelho e os mais elásticos em tons de verde a azul. O operador então realiza uma análise qualitativa das imagens do elastograma (ÜLKE; DENIZ; NUREDDIN, 2020; TAMURA et al., 2017; SECCHI et al., 2021; JOHNSON et al., 2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Animais

O protocolo experimental do estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV)/ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) – Câmpus de Jaboticabal (protocolo nº 1063/2022). Foram utilizados 12 equinos, com idade de $28,42 \pm 3,75$ meses, da raça Puro Sangue Árabe, sem nenhum tipo de treinamento anterior, sendo destes, nove fêmeas e três machos castrados, os quais foram cedidos temporariamente para o experimento junto a criatórios da espécie. Os equinos foram alojados no Setor de Equinocultura da FCAV/Unesp e incluídos em programa regular de controle de endo e ectoparasitas e vacinados contra influenza, encefalomielite e tétano. No período de três semanas antes do início do experimento e durante seu transcorrer, os equinos foram mantidos em piquetes de Tifton 85, sendo oferecido feno de *coast cross* e água *ad libitum*. Receberam diariamente 40% da demanda energética para trabalho moderado em concentrado comercial (National Research Council, 2024), dividido em duas porções diárias.

Ao início do experimento foram realizados exames físicos gerais e do sistema locomotor. Os animais foram considerados hígidos à auscultação pulmonar e cardíaca. O exame do aparelho locomotor foi realizado primeiramente de forma visual, em repouso, para serem observadas possíveis lesões e edemas. Posteriormente, os animais foram postos em movimento (passo, trote e galope), para verificar a presença de claudicação. Também foram realizados testes de flexões, em que os membros são flexionados em média por 60 segundos e após esse período, o animal é colocado em andamento de trote para ser observado possível claudicação, ou demais sinais de dores ou desconfortos. No exame de palpação dos tendões e membros, foi avaliado a presença de aderência, edema, aumento de temperatura ou resposta a dor. Os animais foram adaptados à esteira, sendo submetidos a recorrentes passagens pela esteira em um período de três dias, a diferentes velocidades para desenvolver diferentes andamentos (passo, trote e galope).

As avaliações ultrassonográficas foram realizadas antes e após seis semanas de treinamento guiado pela concentração de lactato determinada em Teste de Esforço Incremental (TEI). O programa de treinamento foi realizado no total de seis semanas, as sessões foram realizadas em dias alternados (um dia de treinamento e outro de descanso), resultando em 15 sessões totais ao fim do treinamento. Ademais, os animais do presente estudo, completaram o cronograma de treinamento sem intercorrências, tendo como resultado após o treinamento o aumento da V_4 (de $5,8 \pm 0,4$ para $7,6 \pm 0,5$ m/s) ($p = 0,000$) e da V_2 (de $5,2 \pm 0,3$ para $6,7 \pm 0,4$ m/s) ($p = 0,000$), o que sugere um aumento da capacidade aeróbia e conseqüentemente melhoria em seu desempenho físico.

3.2 Elastografia de compressão

Conforme já citado, é recomendado que para realizar análise ultrassonográfica de tendões, os mesmos sejam divididos em sete áreas 1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B e 3C (Figura 1).

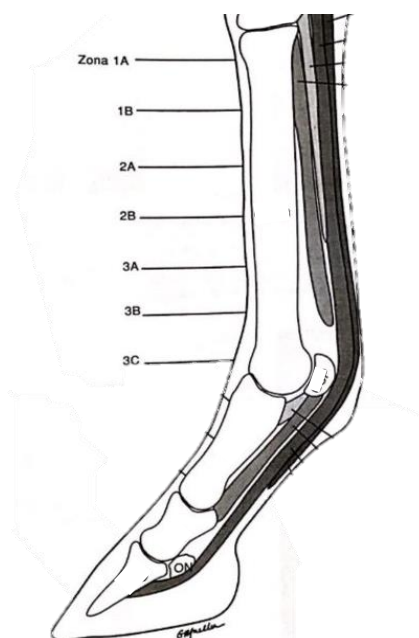


Figura 1. Divisão dos tendões do membro anterior equino em áreas. A imagem demonstra as sete áreas em que os tendões são divididos para avaliação ultrassonográfica convencional e elastografia em equinos (Snow, 1987).

Foram avaliadas as regiões 2A e 2B, devido à alta ocorrência de lesões nessas regiões (REEF, 1998; STASHAK, 2006; DOWLING, 2005), dos tendões flexores digitais superficial e profundo, dos dois membros anteriores de 12 animais, antes e após o período de treinamento, totalizando 96 imagens de elastografia analisadas.

Para obtenção das imagens, os equinos foram mantidos em posição quadrupedal, sem sedação e com os membros apoiados ao solo. Previamente à realização da elastografia de compressão dos tendões, foi realizada tricotomia e higienização da área correspondente à porção palmar dos membros anteriores, desde a região do carpo até a articulação metacarpofalangeana. Em seguida, o gel acústico foi aplicado para se obter melhor contato entre a probe do ultrassom e a área a ser avaliada.

As elastografias foram realizadas no aparelho ultrassonográfico modelo MyLabAlpha (Esaote, Génova, Itália), equipado com o software SE “ElaXto” e transdutor linear multifrequencial de 18 MHz. As imagens pré e pós treinamento foram obtidas e analisadas por um único avaliador. O transdutor foi posicionado longitudinalmente ao membro e as imagens capturadas após 10 ciclos contínuos de compressão e descompressão da probe ao membro em que o marcador de qualidade de compressão obtinha seu maior índice.

Desta forma, foram realizados os elastogramas (Figura 2), mapa de cores que demonstram a rigidez relativa do tecido variando de áreas vermelhas (tecidos pouco rígidos), verdes ou amarelas (rigidez intermediária), e azuis (tecidos rígidos). Os arquivos foram posteriormente transferidos para um notebook para análise off-line (software MyLab Desk), onde as regiões referentes aos tendões em estudo no elastograma foram recortadas individualmente e salvas, conforme os métodos de Secchi et al. (2021).

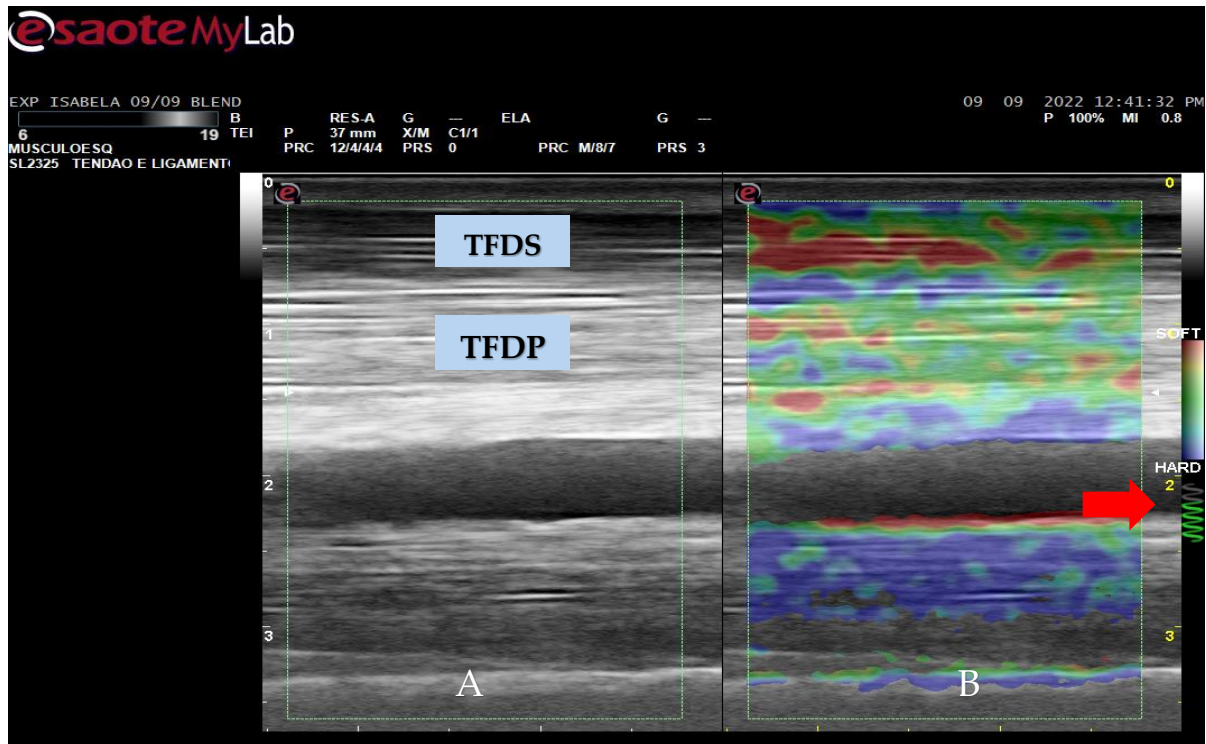


Figura 2. Imagem de elastograma dos tendões flexores digitais superficial (TFDS) e profundo (TFDP) após o período de treinamento, área 2B, membro anterior de equinos. A imagem de ultrassonografia convencional em escala de cinza (Modo B) está apresentada no lado A, enquanto que no lado B há um elastograma dos tendões flexores digitais superficiais e profundos, em que o mapa de cores indica o nível de rigidez do tecido avaliado. A seta indica o marcador de qualidade de compressão.

A técnica de elastografia de compressão consiste em uma avaliação qualitativa, assim para maior confiabilidade, as imagens foram submetidas à análise quantitativa no software ImageJ (Figura 3). Neste programa a área recortada é definida como região de interesse (ROI), que foi avaliada segundo as tonalidades observadas pelo plug-in “Threshold Color” no software ImageJ. Para selecionar as cores de interesse a ferramenta Hue foi utilizada, sendo então tons vermelhos (de 0 a 255 Hue) indicam tecidos moles ou deformáveis (elásticos ou pouco rígidos), enquanto, verdes ou amarelos (de 30 a 100 Hue), indicam rigidez intermediária, e áreas azuis (de 100 a 220 Hue), representam tecidos duros ou não deformáveis (rígidos). As áreas de verde e azul são então expressas em número de pixels e a área da tonalidade vermelha foi obtida a partir da subtração das áreas das demais cores (verde e azul) em relação à área total.

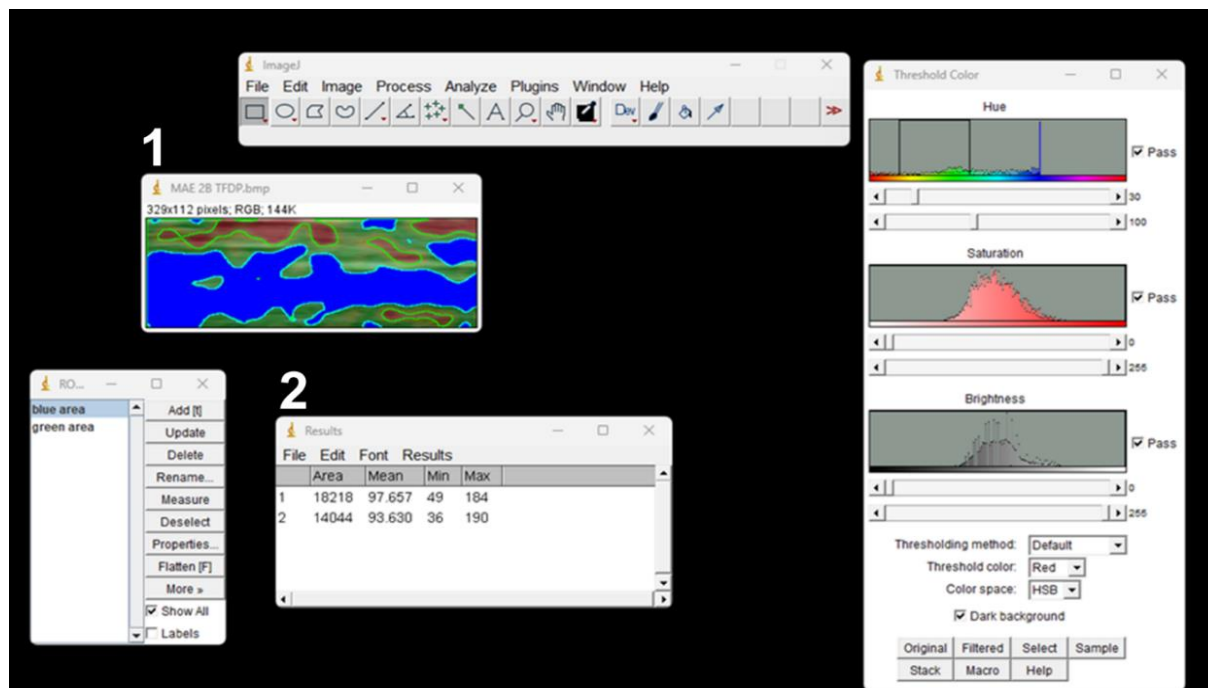


Figura 3. Exemplo de análise de um elastograma da área 2B do tendão flexor digital superficial no software ImageJ. 1: As setas azuis e verdes indicam as áreas referentes às suas respectivas cores, obtidas do elastograma. 2: Obtenção dos valores das duas áreas em pixels.

3.3 Análise estatística

Foram avaliadas três variáveis, x^{vermelho} , x^{verde} e x^{azul} , em que cada uma respectivamente, significa a razão entre a variável (cor) e a área total da imagem em pixels, sendo então o resultado expresso em porcentagem. Estes dados são denominados composicionais, pois são restritos a somar 100%. Essa restrição impossibilita a realização de muitos métodos estatísticos por violar suas premissas, assim os dados foram submetidos a transformação ILR (Isometric Logratio Transformation), que proporciona as coordenadas ILR Y^1 e Y^2 , onde Y^1 representa a diferença logarítmica entre as proporções de verde e vermelho e Y^2 representa a diferença logarítmica entre as proporções de verde e azul, maiores informações sobre este método podem ser encontradas em Egozcue et al. (2003). Desta forma, tornou-se possível a realização da análise multivariada de variância (MANOVA) (FRIEDRICH et al., 2018) e o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, seguido pelo método Wald-type Statistic (WTS). Também foi realizado o teste de Esfericidade de Bartlett, com o objetivo de avaliar se há interdependência entre as variáveis e a homogeneidade das

matrizes de covariância foi testada usando o teste M de Box como citado por Secchi et al. (2021).

As análises estatísticas foram realizadas usando o software R (v. 4.2.1) e o nível de significância considerado foi de 5%.

4. RESULTADOS

Ao analisar os elastogramas das imagens de elastografia de compressão, realizadas antes do período de treinamentos podemos afirmar que, em relação ao tendão flexor digital superficial (TFDS), os animais em estudo apresentaram maior concentração da cor vermelha, a indicar um tecido com maior deformação e, conseqüentemente, menos rígido em ambos os membros anteriores e áreas estudadas, 2A e 2B. Por outro lado, o tendão flexor digital profundo (TFDP) exibiu maior proporção das cores verdes e azuis, que, respectivamente, indicam tecido de rigidez intermediária (pouco deformável) e tecidos rígidos (não deformáveis), como demonstrado na Figura 4.

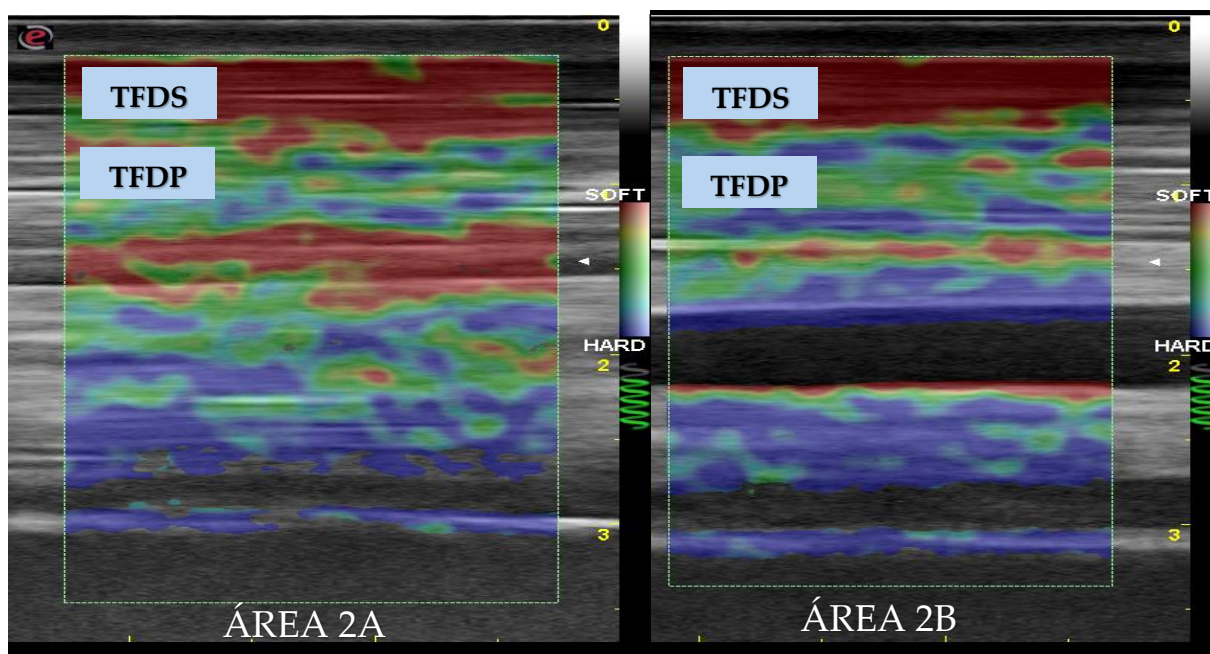


Figura 4. Elastogramas dos membros anteriores de equinos das áreas 2A e 2B antes do período de treinamento, representando os tendões flexores digitais superficial (TFDS) e profundo (TFDP). O elastograma apresenta um mapa de cores, onde

vermelho indica tecidos deformáveis, verde e amarelo tecidos de deformação intermediária e azul, tecidos não deformáveis.

Após o período de treinamento, observou-se aumento da proporção das cores verde/azul das regiões 2A e 2B, de ambos os membros (direito e esquerdo) no TFDS (Figura 5), à medida que o TFDP se manteve constante nas colorações verdes e azuis como observado no período antes do treinamento.

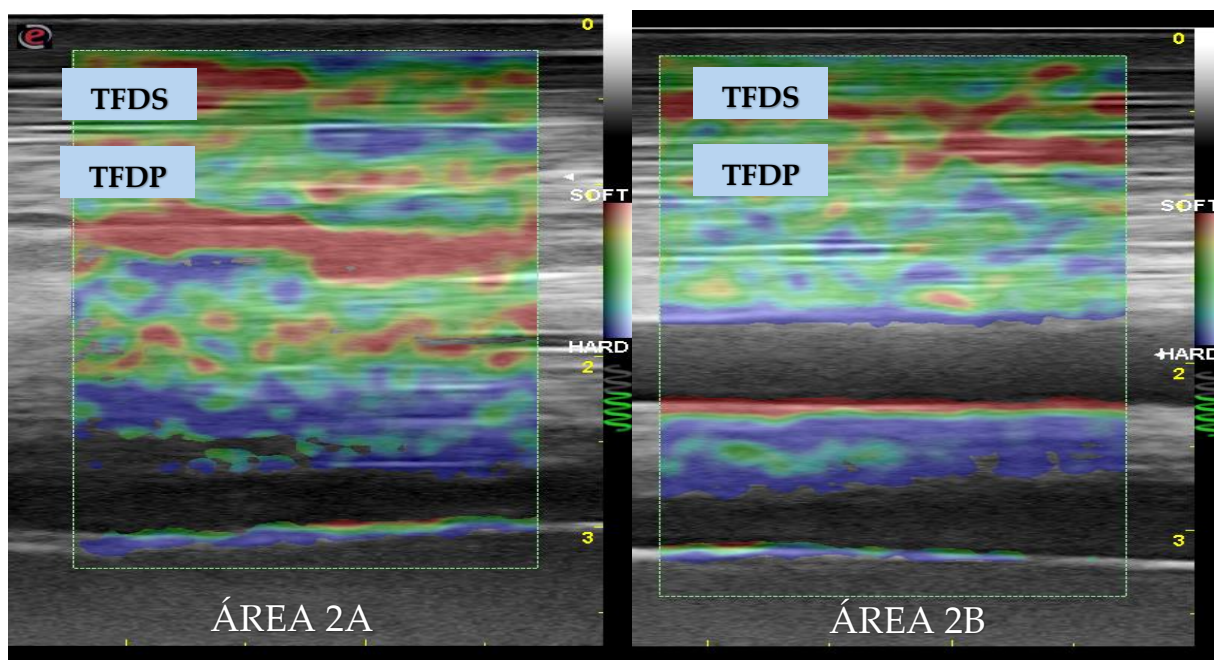


Figura 5. Elastogramas dos membros anteriores de equinos das áreas 2A e 2B após o período de treinamento, representando os tendões flexores digitais superficial (TFDS) e profundo (TFDP). O elastograma apresenta um mapa de cores, onde vermelho indica tecidos deformáveis, verde e amarelo tecidos de deformação intermediária e azul, tecidos não deformáveis.

Além das análises dos elastogramas, também foram observadas tais informações a partir da porcentagem da distribuição das cores vermelhas, verdes e azuis analisadas no software ImageJ e demonstradas nos gráficos ternários abaixo. As análises referentes ao TFDS estão demonstradas nas Figuras 6 e 7, onde observa-se maior porcentagem das cores azul e verde após o período de treinamento.

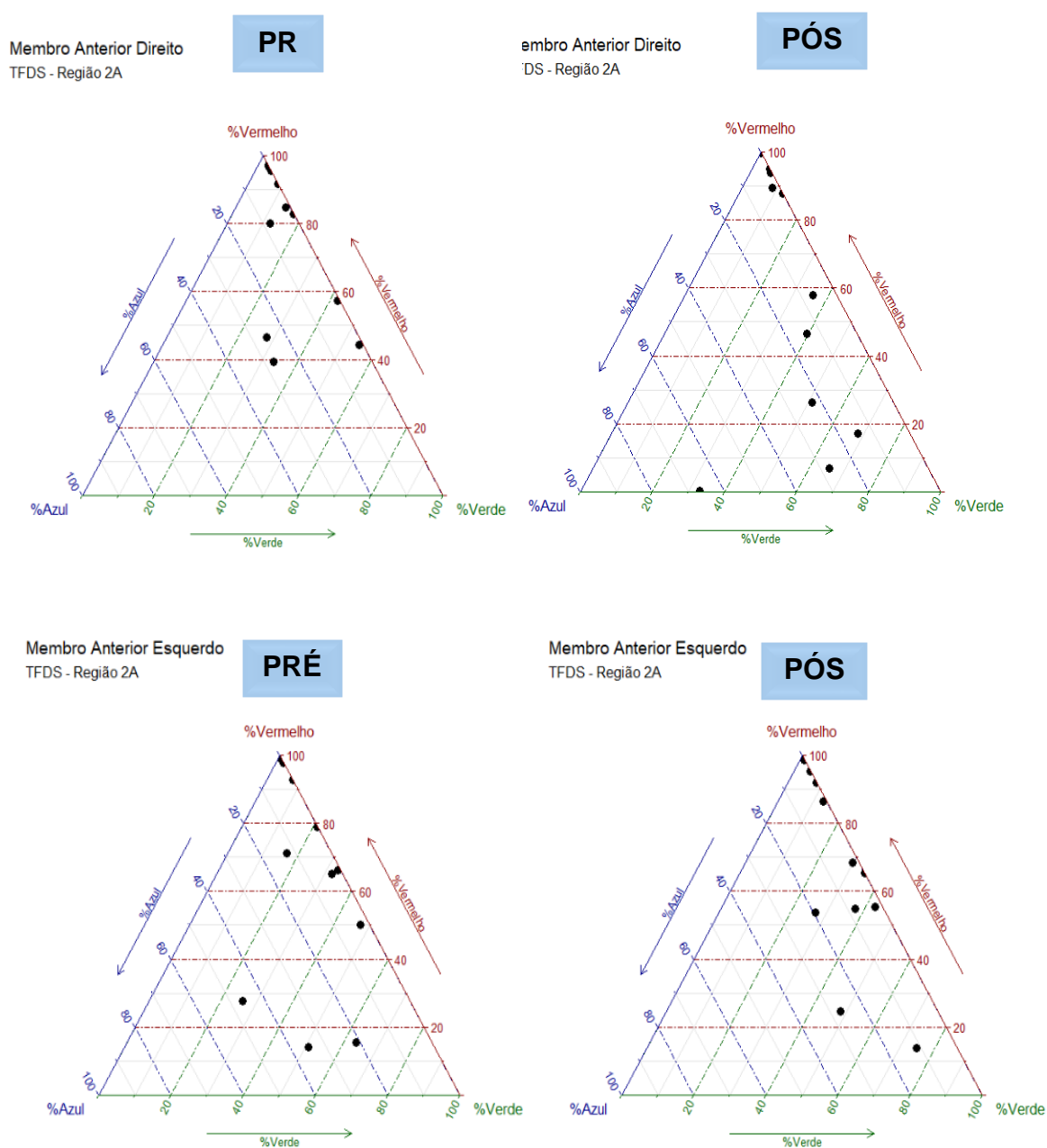
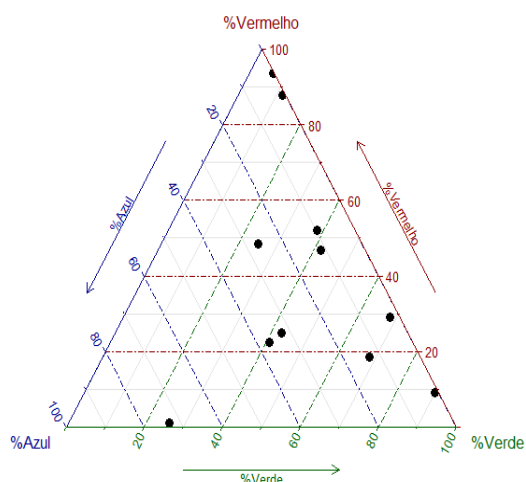


Figura 6. Gráfico ternary plot representando a disposição das proporções das cores do elastograma do tendão flexor digital superficial (TFDS), membro anterior direito e esquerdo, região 2A, pré e pós-período de treinamento.

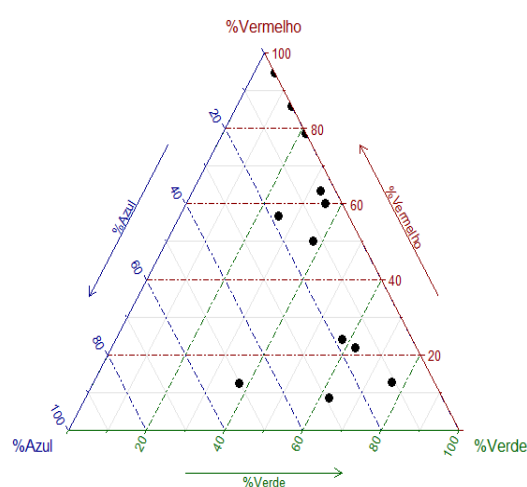
Membro Anterior Direito
TFDS - Região 2B

PR



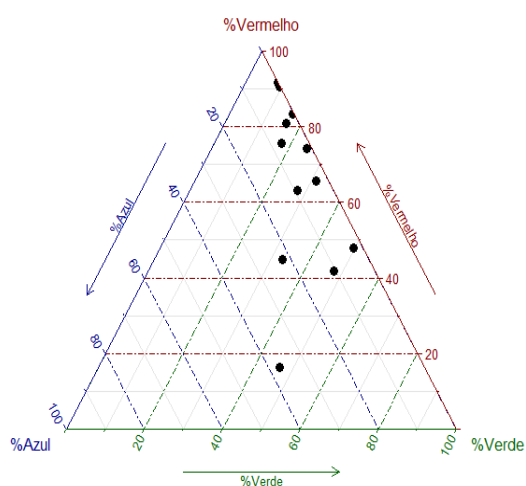
Membro Anterior Direito
TFDS - Região 2B

PÓS



Membro Anterior Esquerdo
TFDS - Região 2B

PR



Membro Anterior Esquerdo
TFDS - Região 2B

PÓS

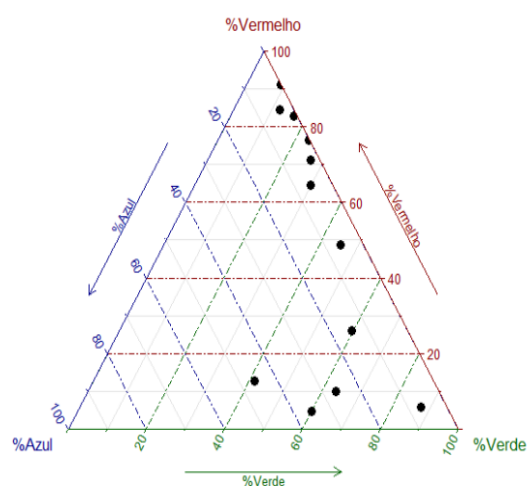
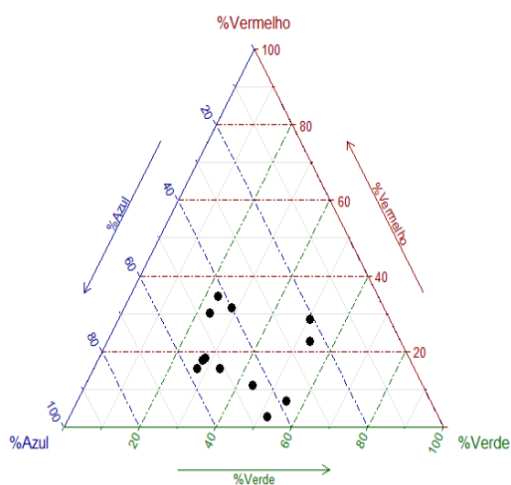


Figura 7. Gráfico ternary plot representando a disposição das proporções das cores do elastograma do tendão flexor digital superficial (TFDS), membro anterior direito e esquerdo, região 2B, pré e pós-período de treinamento.

Os dados relacionados ao TFDP, demonstrados nas Figuras 8 e 9, indicam que as porcentagens das cores, em sua maioria azul e verde, também apresentaram aumento em suas proporções em relação ao período pós treinamento de seis semanas.

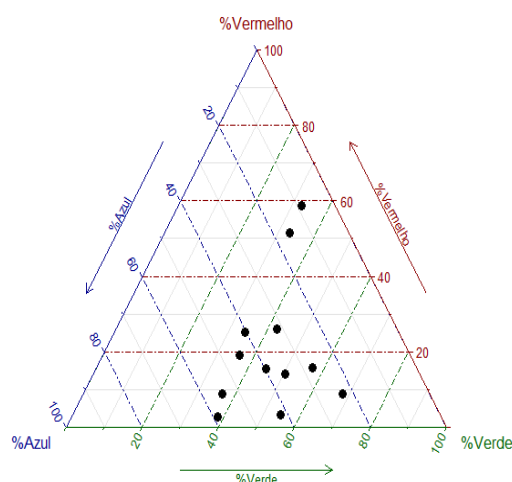
Membro Anterior Direito
TFDP - Região 2A

PRÉ



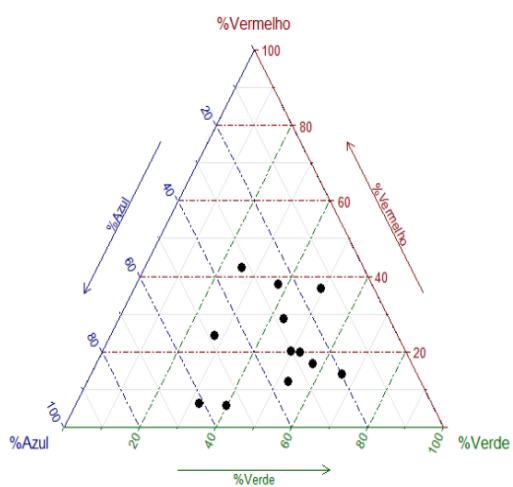
Membro Anterior Direito
TFDP - Região 2A

PÓS



Membro Anterior Esquerdo
TFDP - Região 2A

PRÉ



Membro Anterior Esquerdo
TFDP - Região 2A

PÓ

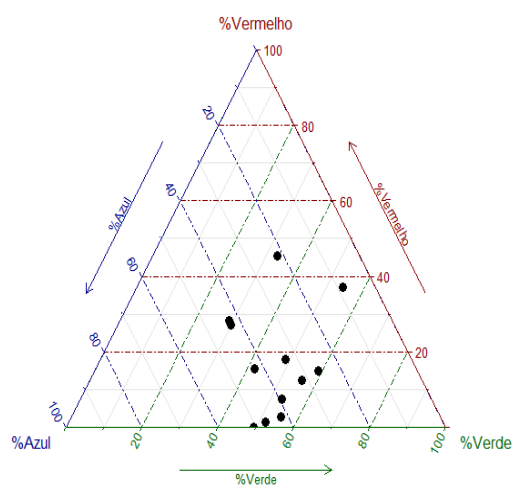
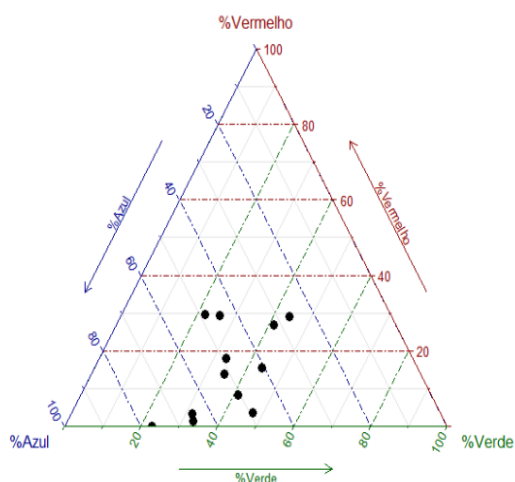


Figura 8. Gráfico ternary plot representando a disposição das proporções das cores do elastograma do tendão flexor digital superficial (TFDP), membro anterior direito e esquerdo, região 2A, pré e pós-período de treinamento.

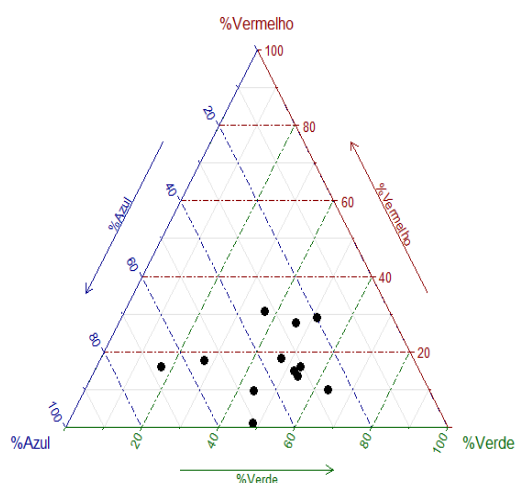
Membro Anterior Direito
TFDP - Região 2B

PR



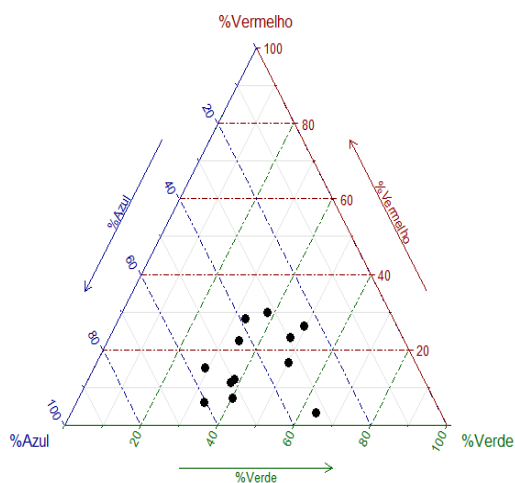
Membro Anterior Direito
TFDP - Região 2B

PÓS



Membro Anterior Esquerdo
TFDP - Região 2B

PR



Membro Anterior Esquerdo
TFDP - Região 2B

PÓS

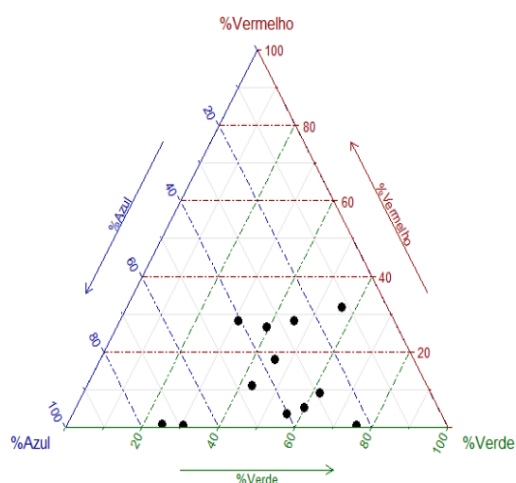


Figura 9. Gráfico ternary plot representando a disposição das proporções das cores do elastograma do tendão flexor digital superficial (TFDP), membro anterior direito e esquerdo, região 2B, pré e pós-período de treinamento.

A Tabela 1 relata os dados referentes a transformação ILR e a Tabela 2 contém o resultado do teste Wald-type Statistic (WTS), que revela a existência de diferença estatística significativa no tendão flexor digital profundo (TFDP) região 2B ($p = 0,045$).

Isto significa que, após o período de treinamento de seis semanas houve adaptabilidade tendínea, indicando aumento da rigidez tecidual, na região indicada.

Tabela 1. Resultados (média, desvio padrão- DP e coeficiente de variação- CV) dos dados submetidos a transformação ILR (Isometric Logratio Transformation).

| Tendão | Área | y1 (Dimensões das coordenadas ILR) | | | y2 (Dimensões das coordenadas ILR) | | |
|--------|------|------------------------------------|----------|----------|------------------------------------|----------|----------|
| | | Média | DP | CV | Média | DP | CV |
| TFDS | 2A | 1,075 | 1,669 | 1,552 | -3,387 | 2,746 | -0,81 |
| TFDS | 2A | 0,179817 | 1,107509 | 6,15909 | -2,018781 | 2,225087 | -1,10219 |
| TFDP | 2B | -0,76746 | 0,892681 | -1,16317 | 0,280944 | 0,713405 | 2,539312 |
| TFDP | 2B | -0,98557 | 0,907694 | -0,92098 | 0,550825 | 0,772115 | 1,401743 |

* TFDS: tendão flexor digital superficial; TFDP: tendão flexor digital profundo.

Tabela 2. Resultados do teste Wald-type Statistic (WTS).

| Tendão | Área | Variáveis | Estatística do teste | Graus de liberdade | p valor |
|--------|------|----------------|----------------------|--------------------|--------------|
| TFDS | 2A | Membro | 0,728 | 2 | 0,695 |
| | | Momento | 5,948 | 2 | 0,051 |
| | | Membro:momento | 4,726 | 2 | 0,094 |
| TFDS | 2B | Membro | 1,285 | 2 | 0,526 |
| | | Momento | 4,428 | 2 | 0,109 |
| | | Membro:momento | 1,226 | 2 | 0,542 |
| TFDP | 2A | Membro | 4,116 | 2 | 0,128 |
| | | Momento | 4,847 | 2 | 0,089 |
| | | Membro:momento | 2,868 | 2 | 0,238 |
| TFDP | 2B | Membro | 1,787 | 2 | 0,409 |
| | | Momento | 6,224 | 2 | 0,045 |
| | | Membro:momento | 3,856 | 2 | 0,145 |

* TFDS: tendão flexor digital superficial; TFDP: tendão flexor digital profundo.

Aos demais dados avaliados, como a diferença entre membros (direito e esquerdo), e o momento (antes e após o treinamento), respectivamente, no TFDS região 2A ($p = 0,695$ e $0,051$) e 2B ($p = 0,526$ e $0,109$) e TFDP região 2A ($p = 0,128$ e $0,089$), não foram encontradas diferenças estatísticas significativas. Vale ressaltar

que, não houve diferença estatística entre membros e entre membro e momento na avaliação do TFDP região 2B ($p = 0,409$ e $0,145$).

5. DISCUSSÃO

Os dados demonstram uma importante informação em relação a rigidez em animais em fase de maturação tendínea, já que tanto o TFDS, quanto o TFDP, apresentaram maior proporção da cor vermelha, que indica tecido com maior capacidade de deformação (menos rígido), antes do período de treinamento. Também observou-se que em decorrência do programa de treinamento realizado houve aumento da rigidez do TFDP, região 2B.

Trabalhos demonstraram que a elastografia de compressão é uma técnica viável, repetível, reprodutível e útil como método de imagem complementar para diagnóstico precoce e acompanhamento de lesões dos tendões flexores em equinos a partir da avaliação de sua rigidez (LUSTGARTEN et al., 2014; LUSTGARTEN et al., 2015).

Secchi et al. (2021) apresentaram em seu trabalho a avaliação de cavalos de corrida já inseridos em programas de treinamento profissionais para este esporte e que apresentavam lesão central no TFDS e afirmaram que o TFDS saudável, é originalmente mais rígido (apresentando tons de azul). Isso condiz com os dados apresentados por Lustgarten et al. (2014) que avaliaram cavalos clinicamente saudáveis e obtiveram os mesmos resultados. Ambos afirmam em seus estudos que em avaliação elastográfica de cavalos maduros e hígidos (com idade acima de três anos), apresentam tendões mais rígidos. No presente estudo, foi observada a presença e maior proporção de tons vermelhos, a indicar tendões mais deformáveis e, conseqüentemente, menos rígidos, nos animais avaliados neste experimento, já que se tratava de potros com idade inferior a citada pelos demais estudos e nunca treinados.

Trabalhos sugerem que até aproximadamente dois anos de idade os tendões ainda apresentam capacidade adaptativa ao exercício e que o TFDS em potros apresenta maior capacidade adaptativa quando submetido a um treinamento

adequado em relação a sua intensidade e duração (Dowling, 2005; Gillis et al., 1993; Patterson-Kane et al., 1997).

Cherdchutham et al. (2001a, 2001b, 1999) avaliaram sob diferentes perspectivas a maturação tendínea, sua adaptabilidade e a quantidade de fibrilas de colágeno em animais submetidos ao exercício em seu experimento. Utilizando 43 potros, com idade de um mês a cinco semanas, separados em três grupos, onde no primeiro 14 animais foram alojados em baias e não eram exercitados, no segundo grupo outros 14 animais mantidos em baia eram diariamente exercitados e 15 mantidos ao regime de pasto. Com exceção dos potros mantidos em confinamento, dos 5 aos 11 meses de idade, os demais praticaram o mesmo nível de exercício. Oito potros de cada grupo foram eutanasiados após o desmame (aos cinco meses) e os demais permaneceram juntos em uma baia solta com capacidade limitada a um pequeno piquete até os 11 meses de idade, quando foram eutanasiados. No segundo e no terceiro grupo houve o aumento do número fibrilas de colágeno de 2 para 5 meses. Em relação à maturação tendínea, foi observada tendência ao retardo relacionada ao repouso forçado no grupo um, que poderia ser reversível se os mesmos fossem expostos a exercícios leves dos cinco aos 11 meses. Além do mais, o TFDS de potros submetidos ao regime de pasto aos cinco meses de idade foi considerado mais forte e mais elásticos quando comparados aos demais grupos. Os resultados indicam, respectivamente, que há a capacidade de adaptabilidade dos tendões de potros ao exercício e que o tipo de exercício, a intensidade e a duração, também influenciam na adaptabilidade.

Em seu trabalho, Birch et al. (1999) desenvolveram um estudo seis animais da raça Puro Sangue Inglês, com média de 20 meses de idade, que nunca haviam sido treinados, por um período de cinco meses em esteira rolante, com treinamento de alta intensidade. O tendão flexor digital profundo (TFDP) foi avaliado antes e após o fim do período de treinamento pela técnica de ultrassonografia em Modo B e posteriormente calculada a área transversal. Os resultados demonstraram que o TFDP não sofreu hipertrofia induzida pelo exercício de alta intensidade. Mas, os autores ressaltaram que o TFDP tem sua maturidade próximo aos dois anos de idade do animal, além de que o número de animais avaliados foi pequeno e a técnica de elastografia é preferível para análise de rigidez tecidual.

A carga do treinamento é um fator de importância para hipertrofia, Patterson-Kane et al. (1998) indicam que a inexistência de dados significativos à hipertrofia do TFDP em seu trabalho pode ser resultado de um exercício com carga insuficiente, não exigindo adaptação já que o exercício não aproximou o tendão de seus limites mecânicos para levar a tal objetivo.

Os estudos da elastografia de compressão em humanos iniciaram-se avaliando o tendão de Aquiles e demonstraram que a técnica oferece importantes informações em relações às características da elasticidade deste tendão, já que os achados coincidem com os demais encontrados nos exames clínicos dos pacientes avaliados. O tendão de Aquiles sadio apresentou-se como um tecido de rigidez intermediária a rígido e o tecido com maior grau de deformação foi classificado como doente. Em humanos, os tendões que apresentam maior grau de deformidade apresentam maior concentração da cor vermelha no elastograma, enquanto que tecidos de deformidade intermediária ou não deformáveis possuem, respectivamente, as cores verde e azul (DRANKONAKI et al., 2012; LI, 2011).

O presente estudo apresentou limitações devido à ausência de grupo controle, mas os indivíduos formavam um grupo homogêneo pela raça, idade e a inexistência de treinamento anterior. Além do mais, o pouco uso do software ImageJ na medicina veterinária, assim como da elastografia de compressão para avaliar a adaptabilidade tendínea em equinos jovens nos dá escassos modelos para avaliação deste parâmetro.

Sendo este estudo pioneiro na avaliação por elastografia de compressão da adaptação tendínea de cavalos submetidos a treinamento guiado pelo lactato, realizado com equinos jovens da raça Puro Sangue Árabe, nunca anteriormente treinados, são necessários estudos para avaliar demais programas de treinamento e a técnica de elastografia de compressão relacionada as respostas da adaptabilidade tendínea ao condicionamento equino em animais jovens.

6. CONCLUSÃO

Em conclusão, o programa de treinamento trouxe adaptações de rigidez tendíneas significativas ao tendão flexor digital profundo (TFDP), região 2B. São necessários estudos futuros para melhor avaliação desta característica em animais jovens e possíveis alterações com relação ao período de treinamento, mas a elastografia de compressão demonstrou-se método complementar viável e reprodutível ao uso da ultrassonografia em Modo B para avaliar tendões de equinos e que traz informações relevantes em relação a propriedade mecânica da rigidez dos tendões.

REFERÊNCIAS

AGUERA, E. I.; RUBIO, D.; VIVO, R.; SANTISTEBAN, R.; AGUERA, S.; MUÑOZ, A. E CASTEJÓN, F. M. Heart Rate And Plasma Lactate Responses To Training In Andalusian Horses. **Journal Of Equine Veterinary Science**, v. 15, v. 12, P. 532- 536, 1995.

ALZOLA, R.; EASTER, C.; RIGGS C.M.; GARDNER, D.S.; FREEMAN, S.L. Ultrasonographic-based predictive factors influencing successful return to racing after superficial digital flexor tendon injuries in flat racehorse: retrospective cohort study in 469 Thoroughbred racehorses in Hong Kong. **Equine Vet. J.**, v. 50, p. 602-608, 2018.

ASHDOWN, R. R.; DONE, S. H. **Atlas colorido de anatomia veterinária do cavalo**. vol. 2. Rio de Janeiro : GEN | Grupo Editorial Nacional. Editora Guanabara Koogan Ltda., 2021.

BAXTER, G. M. *Adams and Stashak's Lameness in Horses*. 7 ed. Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA, 2020.

BERNARDI, N.S.; CRUZ, I.C.K.; MARONEZI, M.C.; SANTOS, M.M.; LERA, K.R.J.L.; GASSER, B.; AIRES, L.P.N.; LACERDA-NETO, J.C.; POZZOBON, R.; USCATEGUI, R.A.R.; FELICIANO, M.A.R. Applicability of ARFI elastography in detecting elasticity changes of the equine superficial digital flexor tendon with induced injury. **Vet. Radiol. Ultrassound**, p.1-8, 2022.

BIRCH, H.L.; MCLAUGHLAN, L.; SMITH, R.K.W.; GOODSHIP, A.E. Treadmill exercise-induced tendon hypertrophy: assessment of tendons with different mechanical functions. **Equine Veterinary Journal**. Suppl. 30, 222–226, 1999.

BOWLER AI, DRINKWATER BW, WILCOX PD. An investigation into the feasibility of internal strain measurement in solids by correlation of ultrasonic images. In: Lustgarten, M; Redding, W. R.; Labens, R.; Morgan, M.; Davis W.; Seiler G.S. Elastographic characteristics of the metacarpal tendons in horses without clinical evidence of tendon injury. **Vet. Radiol. Ultrasound**, v. 55, n. 1, p. 92-101, 2014.

CAMPBELL, E.H. Lactate-driven equine conditioning programs. **Vet. J.**, v. 190, n. 2, p. 199-207, 2011.

CHERDCHUTHAM, W.; BECKER, C.; SMITH, R.K.W.; BARNVELD, A.; VAN WEEREN, P.R. Age-related changes and effect of exercise on molecular composition of immol/Lature equine superficial flexor tendons. **Equine Veterinary Journal**, v. 31, p. 86–94, 1999.

CHERDCHUTHAM, W.; BECKER, C.; SPEK, E.R.; VOORHOUT, W.F.; WEEREN, P.R. Effects of exercise on the diameter of collagen fibrils in the central and periphery of the superficial digital flexor tendon in foals. **American Journal of Veterinary Research**, v.62, p.1563–1570, 2001. a

CHERDCHUTHAM, W.; LIDUIN, S.; MEERSHOEK, L.S.; VAN WEEREN, P.R.; BARNEVELD, A. Effects of exercise on biomechanical properties of the superficial digital flexor tendon in foals. **American Journal of Veterinary Research**. 2001b ,v.62, p.1859–1864, 2001. b

DOWLING B.A; DART A. J. Mechanical and functional properties of the equine superficial digital flexor tendon. **Vet J** 2005;170:184–192.

DRANKONAKI E. E.; ALLEN G. M.; WILSON D. J. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. **Br J Radiol**, v.85, p.1435–1445, 2012.

EGOZCUE, J.J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; MATEU-FIGUERAS, G.; BARCELÓ-VIDAL, C. Isometric Logratio Transformations for Compositional Data Analysis. **Math. Geol.** 2003, 35, 279–300.

EVANS, D. Exercise Testing In The Field. In: Hinchcliff, K. W.; Geor, R. J.; Kaneps, A. J. **Equine Exercise Physiology – The Science Of Exercise In The Athletic Horse**. Philadelphia: Elsevier, 2008. Cap.2, P. 10-27.

FAILS, A. D. **FRANDSON**: anatomia e fisiologia dos animais de produção. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.

FEITOSA, F. L. F. **Semiologia veterinária**: a arte do diagnóstico. 4. ed. Rio de Janeiro: Roca, 2023.

FRIEDRICH, S.; KONIETSCHKE, F.; PAULY, M. Resampling-Based Analysis of Multivariate Data and Repeated Measures Designs with the R Package MANOVA.RM. **R J.**, v. 11, n. 380, 2018.

GALLOUX P, VALETTE JP, BARREY E, AUVINET B, WOLTER R. Exercise test in saddle horse. 1: comparison of step test on a track and an inclined treadmill. In: AGUERA, E. I.; RUBIO, D.; VIVO, R.; SANTISTEBAN, R.; AGUERA, S.; MUÑOZ, A. E CASTEJÓN, F. M. HEART RATE AND GENOVESE, R.L.; RANTANEM, N.W.; HAUSER, M.L.; SIMPSON, B.S. Diagnostic ultrasonography of equine limbs. **Vet. Clin. Equine**, v. 2, p. 145-226, 1986.

GILLIS, C., SHARKEY, N., STOVER, S., POOL, R.R., MEAGHER, D.M.; WILLITS, N. Effect of maturation and aging on material and ultrasonographic properties of equine superficial digital flexor tendon. **Am. J. vet.**, 1995. Res. 56, 1345- 1350.

GILLIS, C.L.; MEAGHER, D.M.; POOL, R.R.; STOVER, S.M.; CRAYCHEE, T.J.; WILLITS, N. Ultrasonographically detected changes in equine superficial digital flexor tendons during the first months of race training. **American Journal of Veterinary Research**, v.54, p.1797– 1802, 1993.

GOMIDE, L.M.; SILVA, M.A.G.; MARTINS, C.B.; ALBERNAZ, R.M.; OROZCO, C.A.G.; LACERDA-NETO, J.C. Musculoskeletal injuries of Arabian horses during endurance training. In: Conference on Equine Sport Medicine and Science, **Proceedings**, Cambridge, UK, p. 185-188, 2006.

JOHNSON, S.A.; BISCOE, E.W.; EILERTSON, K. E.; LUTTER, J. D.; SCHNEIDER, R. K.; ROBERTS, G. D.; CARY, J. A.; FRISBIE, D.D. Tissue predictability of elastography is low in collagenase induced deep digital flexor tendinopathy. **Vet. Radiol. Ultrasound**, v. 63, n. 1, p. 111-123, 2021.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia básica**. 14 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2023.

LI, Y. S. J. Elastography: modality-specific approaches, clinical applications, and research horizons. **Skeletal Radiol**, v.40: p. 389–397, 2011.

LINDNER, A.; MOSEN, H.; KISSENBECK, S.; FUHRMANN, H.; SALLMANN, H. P. Effect of blood lactate-guided conditioning of horses with exercises of differing durations and intensities on heart rate and biochemical blood variables. **Journal of Animal Science**, v.87, n.10, p.3211–3217, 2009.

LINDNER, A.E. Maximal lactate steady state during exercise in blood of horses. **J. Anim. Sci.**, v. 88, p. 2038-2044, 2010.

LUSTGARTEN, M.; REDDING, W.R.; LABENS, R.; DAVIS, W.; DANIEL, T.M.; GRIFFITH, E.; SEILER, G.S. Elastographic evaluation of naturally occurring tendon and ligament injuries of the equine distal limb. **Vet. Radiol. Ultrasound**, v. 56, n. 6, p. 670-679, 2015

LUSTGARTEN, M.; REDDING, W.R.; LABENS, R.; MORGAN, M.; DAVIS W., SEILER, G.S. Elastographic characteristics of the metacarpal tendons in horses without clinical evidence of tendon injury. **Vet. Radiol. Ultrasound**, v. 55, n. 1, pp 92–101, 2014.

MURRAY, R.C.; WALTERS, J.M.; SNART, H.; DYSON, S.J.; PARKIN, T.D. Identification of risk factors for lameness in dressage horses. **Vet. J.**, v. 184, p. 27-36, 2010.

NAGY, A.; DYSON, S.J.; MURRAY, J.K. A veterinary review of endurance riding as an international competitive sport. **Vet. J.**, v. 194, p. 288-293, 2012.

National research council. Nutrient requirements of horses. Disponível em: <<https://webassets.nationalacademies.org/nrh/>>. Acesso em: 07 mar. 2024.

PATTERSON-KANE, J.C.; FIRTH, E.C.; GOODSHIP, A.E.; PARRY, D.A.D. Age-related differences in collagen crimp patterns in the superficial digital flexor tendon core region of untrained horses. **Australian Veterinary Journal**, v.75, p. 39–44, 1997.

PATTERSON-KANE, J.C.; FIRTH, E. C. Parry, D. A. D.; WILSON, A. M.; GOODSHIP, A. E. Effects of training on collagen fibril populations in the suspensory ligament and deep digital flexor tendon of young thoroughbreds. **Am. J. Vet. Res.**, v.59, p.64-68, 1998.

Perkins, N.R.; Reid, S.W.; Morris, R.S. Profiling the New Zealand Thoroughbred racing industry. Part 2: conditions interfering with training and racing. **NZ Vet. J.**, v. 53, p. 69-76, 2005.

Plasma Lactate Responses To Training In Andalusian Horses. **Journal Of Equine Veterinary Science**, v. 15, n. 12, P. 532- 536, 1995.

PLUIM, M.; MARTENS, A.; VANDERPERREN, K.; SARRAZIN, S.; KOENE, M.; LUCIANI, A.; VAN WEEREN, P.R.; DELESALLE, C. Short- and long term follow-up of 150 sports horses diagnosed with tendinopathy or desmopathy by ultrasonographic

examination and treated with high-power laser therapy. **Res. Vet. Sci.**, v. 119, p. 232-238, 2018.

REEF, V. B. 1998. **Equine diagnostic ultrasound**. Philadelphia: Saunders, 560 p.
Rivero, J.L.L. A scientific background for skeletal muscle conditioning in equine practice. **J. Vet. Med. Assoc.**, v. 54, p. 321-332, 2007.

SECCHI, V., MASALA, G.; CORDA, A.; CORDA, F.; POTOP, E.; FERNÁNDEZ, A. B.; PARGAGLIA, M. L. P.; PASSINO, E. S. Strain elastography of injured equine superficial digital flexor tendons: a reliability study of manual measurements. **Animals**, v.11, n. 3, p. 1-15, 2021.

SHEARMAN, J.P.; HAMLIN, M.J.; HOPKINS, W.G. Effect of tapered normal and interval training on performance of Standardbred pacers. **Equine Vet. J.**, v. 34, n. 4, p. 395-399, 2002.

SMITH, R.K.W.; ZUNINO, L., WEBBON, P.M.; HEINEGARD, D. The distribution of cartilage oligomeric matrix protein (CMP) in tendon and its variation with tendon site, age and load. In: Hinchcliff, K. W.; Geor, R. J.; Kaneps, A. J. **Equine Exercise Physiology – The Science Of Exercise In The Athletic Horse**. Philadelphia: Elsevier, 2008.

SNOW, D.H. Assessment of fitness in the horse. **Vet. Clin. N. Am.**, Equine Pract. 1987, 9:26-30.

SOARES, O.A.B.; FERRAZ, G.C.; MARTINS, C.B.; DIAS, D.P.M.; LACERDA-NETO, J.C.; QUEIRO-NETO, A. Comparison of maximal lactate steady state with V2, V4, individual anaerobic threshold and lactate minimum speed in horses. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 66, n. 1, p. 39-46, 2014.

STASHAK, T. D. **Claudicação em equinos segundo Adams**. 5. ed. São Paulo: Roca, 2006.

TAMURA, N.; NUKADA, T.; KATO, T.; KURODA, T.; KOTOYORI, Y.; FUKUDA, K.; KASASHIMA, Y. The use of sonoelastography to assess the recovery of stiffness after equine superficial digital flexor tendon injuries: A preliminary prospective longitudinal study of the healing process. **Equine Vet. J.**, v. 49, p. 590-595, 2017.

TURNER, M.; FULLER, C.W.; EGAN, D.; LE MASSON, B.; MCGOLDRICK, A.; SPENCE, A.; WIND, P.; GADOT, P.-M. European consensus on epidemiological studies of injuries in the thoroughbred horse racing industry. **Br. J. Sports Med.**, v. 46, p. 704–708, 2012.

ÜLKE, Ç.G.; DENİZ, S.I.; NUREDDİN, Ç. Evaluation of return rates to racing in racehorses after tendon injuries: lesion-related parameters. **J. Equine Vet. Sci.**, v.87, p. 1-8, 2020.

WASHBURN, N.; ONISHI, K.; WANG, J.H. C. Ultrasound elastography and ultrasound tissue characterisation for tendon evaluation. **J. Orthop. Translate.**, v. 15, p. 9-20, 2018.

WILLIAMS, R.B.; HARKINS, I.S.; HAMMOND, C.J.; WOOD, J.L.N. Racehorse injuries. clinical problems and fatalities recorded on British racecourses from fat racing and National

WILSON, R.G.; ISLER, R.B.; THORNTON, J.R. Heart rate, lactic acid production and speed during a standardized exercise test in standardbred horses. In: Aguera, E. I.; Rubio, D.; Vivo, R.; Santisteban, R.; Aguera, S.; Muñoz, A. E Castejón, F. M. Heart Rate And Plasma Lactate Responses To Training In Andalusian Horses. **Journal Of Equine Veterinary Science**, V. 15, N. 12, P. 532- 536, 1995.

ZACHARY, J. F. **Bases em patologia veterinária**. 6.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.