

**CAMILA ARRIVABENE NEVES**

**FUNÇÃO CARDÍACA DE EQUINOS DA RAÇA QUARTO-DE-MILHA ATLETAS DE  
VAQUEJADA**

**Teresina  
Piauí – Brasil  
2022**

**CAMILA ARRIVABENE NEVES**

**FUNÇÃO CARDÍACA DE EQUINOS DA RAÇA QUARTO-DE-MILHA  
ATLETAS DE VAQUEJADA**

Tese a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutorado em Ciência Animal.

Área de concentração: **Sanidade e Reprodução Animal**

Orientador: **Prof. Dr. Flávio Ribeiro Alves**

**Teresina**

**Piauí – Brasil**

**2022**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco  
Serviço de Processos Técnicos

N518f Neves, Camila Arrivabene.  
Função cardíaca de equinos da raça quarto-de-milha atletas  
de vaquejada. / Camila Arrivabene Neves. – 2022.  
101 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Pós-  
Graduação em Ciência Animal, Teresina, 2022.  
“Orientador: Prof. Dr. Flávio Ribeiro Alves.”

1. Ecocardiograma. 2. Eletrocardiograma. 3. *Strain*.  
4. Cavalo atleta. 5. Função miocárdica. I. Neves, Camila  
Arrivabene. II. Título.

CDD 636.108

Bibliotecário: Gésio dos Santos Barros – CRB-3/1469

**FUNÇÃO CARDÍACA DE EQUINOS DA RAÇA QUARTO-DE-MILHA  
ATLETAS DE VAQUEJADA**

**CAMILA ARRIVABENE NEVES**

**Tese aprovada em: 24/02/2022**

**Banca Examinadora:**



---

**Prof. Dr. Flávio Ribeiro Alves (Presidente) / DMV/CCA/UFPI**



---

**Prof. Dr. Antônio Augusto Nascimento Machado Junior (Interno) /  
DMV/CCA/UFPI**



---

**Prof. Dr. Bruno Leandro Maranhão Diniz (Interno) / DCCV/CCA/UFPI**



---

**Prof. Dr. Francisco das Chagas Araújo Sousa (Externo) / UESPI**



---

**Prof. Dr. Osmar Ferreira da Silva Filho (Externo) / NASSAU**

## *Agradecimentos,*

Agradeço primeiramente a Deus, por mais essa oportunidade de evolução. Senhor de todas as coisas, sem o Qual absolutamente nada seria possível. Minha eterna gratidão por todas as bênçãos que já me foram concedidas.

Aos meu pais, Willams Costa Neves e Mônica Arrivabene, minha base, minha fortaleza e meu refúgio. São deles também todas as minhas conquistas, pois elas são frutos de seus esforços, suas orientações e suas renúncias. Hoje eu lhes entendo muito mais do que antes e, por isso, não tenho palavras para agradecer tudo que já fizeram e fazem por mim. Amo vocês!

À minha irmã, Tábatta Arrivabene Neves, pela amizade incondicional, companheirismo e cumplicidade! Pelos momentos de descontração e por nossas confidências.

Ao meu marido, Marcelo Félix, que me acompanha desde o início da minha trajetória na veterinária, meu maior incentivador! Sempre acreditou na minha capacidade, muitas vezes até mais do que eu mesma, sempre esteve me estimulando a dar e fazer o meu melhor. Agradeço ainda por termos constituído uma família linda, da qual tenho muito orgulho e gratidão por termos recebido o maior presente de Deus, nossa filha Lara, que todos os dias nos dá motivos para sorrir e agradecer.

Ao meu orientador, professor Flávio Ribeiro Alves, por toda paciência, compreensão, empatia e tempo a mim disponibilizados. Para muitos um curso de Doutorado é uma tarefa árdua e complicada, mas felizmente não foi para mim, já que ele fez tudo transcorrer de uma forma tranquila e leve. Minha admiração a esse profissional incansável no que diz respeito à busca pelo conhecimento atualizado e de qualidade.

Agradeço ainda aos vários professores e colegas de profissão que em algum momento se propuseram a ajudar no projeto. Em especial, professores Luís Augusto, Acrísio Sampaio, Aécio Bezerra e médicas veterinárias Roselma Moura e Andrezza Aragão.

Aos colegas do NUDIVE, pela acolhida e auxílio na execução do projeto. Em particular ao Renan Paraguassú e Andrezza Braga, os quais me ajudaram em vários momentos ao longo desses quatro anos, tiraram dúvidas, deram sugestões, aconselharam e me ensinaram muito.

A todos os técnicos e funcionários do laboratório de Anatomia Animal, em especial ao Arnaldo, que sempre esteve presente, sendo muito prestativo e solícito a tudo.

A todos os demais amigos e familiares que contribuíram de alguma forma nessa jornada, muitas pessoas sequer sabem, mas por vezes uma palavra amiga, de incentivo ou um momento de lazer é uma grande ajuda.

A Universidade Federal do Piauí que sempre deu todo o suporte necessário para minha formação acadêmica e profissional, tenho muito orgulho de ser egressa dessa instituição, que hoje tornou-se minha segunda casa.

A toda a banca examinadora pelo aceite do convite e atenção prestada ao nosso projeto na intenção de seu aperfeiçoamento. Com certeza todas as considerações levantadas enriquecerão nossas pesquisas e conhecimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal (PPGCA-UFPI) que sempre se fez presente e solícito nos momentos de dúvidas e resolução de contratempos. Bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da transformação da bolsa nível mestrado para nível doutorado, por todo o tempo que foi necessário para a conclusão do projeto.

A todos, meu muito obrigada!

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1 O coração: aspectos anatomofisiológicos .....	13
2.2 O esporte vaquejada.....	16
2.3 Respostas e alterações cardíacas do equino atleta .....	16
2.4 Métodos diagnósticos na cardiologia.....	19
2.5 Técnicas avançadas na ecocardiografia: <i>strain (speckle tracking)</i> .....	21
<b>3. CAPÍTULO I</b> .....	<b>25</b>
<b>4. CAPÍTULO II</b> .....	<b>57</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>96</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>97</b>

## RESUMO

O eletrocardiograma (ECG) é um método diagnóstico cardiológico centenário e atualmente é o exame de eleição para diagnóstico de arritmias cardíacas e padronização de dados eletrocardiográficos em categorias de indivíduos ainda não estudados. A ecocardiografia trata-se de um método diagnóstico cardiológico não invasivo que consiste na aquisição de imagens bi e tridimensionais em tempo real, bem como obtenção de informações hemodinâmicas cardiovasculares através de ultrassons. Sabe-se que os dados cardiológicos podem variar em função da espécie, raça, gênero, idade, estilo de vida e outros, por esse motivo o objetivo deste trabalho foi estudar a função cardiovascular de equinos da raça quarto-de-milha atletas de vaquejada, por meio de exames eletro e ecocardiográficos, a fim de caracterizar dados que possam servir de referência na prática clínica. Vinte e dois equinos saudáveis da raça quarto-de-milha foram submetidos ao exame de eletrocardiograma nesse estudo. Os animais foram divididos em dois grupos quanto ao gênero, bem como em três grupos quanto ao tempo de prática esportiva em vaquejada. No eletrocardiograma foram coletadas as seguintes variáveis: ritmo, frequência cardíaca média, duração das ondas P, S, T, intervalo PR, complexo QRS, intervalo QT, intervalo QT corrigido e segmento ST e amplitude das ondas P, Q, R, S, T e nivelamento do segmento ST; todos analisados na derivação bipolar II (DII). O ecocardiograma seguiu o protocolo descrito por Reef (1998). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e, quando significativos ( $P < 0.05$ ), as médias foram confrontadas por teste de múltipla amplitude. No ECG foram observadas diferentes morfologias de ondas P e T, não houve diferença significativa entre as variáveis quanto ao gênero e, quanto ao tempo de prática esportiva notou-se um aumento significativo na duração da onda P em animais que praticam vaquejada há mais tempo, não havendo diferenças nas demais variáveis. No ecocardiograma, houve correlação negativa ( $p < 0.05$ ) entre tempo de relaxamento isovolumétrico (IVRT) e a idade do animal ( $B = -20.908$ ), entre  $E/E'$  e tempo de esporte ( $B = -2.299$ ) e  $E/IVRT$  e tempo de esporte ( $B = -0.210$ ). E correlação positiva ( $p < 0.05$ ) entre tempo de relaxamento isovolumétrico (IVRT) e tempo que o animal pratica o esporte vaquejada, entre  $E/E'$  e a idade e entre  $E/IVRT$  e a idade. Quanto ao gênero, não foram encontradas diferenças significativas e quanto ao tempo de esporte o diâmetro do átrio esquerdo (LA) é significativamente maior ( $p < 0.05$ ) nos animais do grupo C, que praticam vaquejada há mais de 3 anos, quando comparado aos animais dos grupos A e B, que praticam vaquejada há menos tempo. As frações de ejeção (EF%) e encurtamento (FS%) também são estatisticamente maiores ( $p < 0.05$ ) nos animais que praticam vaquejada há mais de dois anos, grupos B e C. As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas entre esses grupos ( $p > 0.05$ ). A metodologia aplicada e resultados obtidos nessa pesquisa permitiram o estudo da função cardiovascular de equinos da raça quarto-de-milha atletas de vaquejada, possibilitando inclusive o emprego de métodos diagnósticos cardiológicos avançados como o uso do Strain e Strain Rate por Speckle Tracking. Os valores alcançados em todas as variáveis consistem em dados que podem ser utilizados como valores normais de referência na cardiologia médica equina de um modo geral, mas em particular para esta categoria de indivíduos. Mostram ainda que esse esporte é capaz de estimular a longo prazo alterações fisiológicas que remetem às mesmas alterações observadas nos corações atletas de seres humanos, não evidenciando alterações a níveis patológicos.

**Palavras-chave:** ecocardiografia, eletrocardiografia, *Strain*, cavalo atleta, função miocárdica.

## ABSTRACT

The electrocardiogram (ECG) is a centenary cardiological diagnostic method and is currently the test of choice for diagnosing cardiac arrhythmias and standardizing electrocardiographic data in categories of individuals not yet studied. Echocardiography is a non-invasive cardiological diagnostic method that consists of the acquisition of two- and three-dimensional images in real time, as well as obtaining cardiovascular hemodynamic information through ultrasound. It is known that cardiological data may vary depending on the species, race, gender, age, lifestyle and others, for this reason the objective of this work was to study the cardiovascular function of quarter-mile horses, vaquejada athletes, through electro and echocardiographic examinations, in order to characterize data that can serve as a reference in clinical practice. Twenty-two healthy quarter horses were submitted to an electrocardiogram in this study. The animals were divided into two groups regarding gender, as well as into three groups regarding the time of sports practice in vaquejada. The following variables were collected on the electrocardiogram: rhythm, mean heart rate, duration of P, S, T waves, PR interval, QRS complex, QT interval, corrected QT interval and ST segment and amplitude of P, Q, R, S, T and ST segment flattening; all analyzed in the bipolar II lead (DII). The echocardiogram followed the protocol described by Reef (1998). The data obtained were submitted to analysis of variance and, when significant ( $P < 0.05$ ), the means were compared using a multiple amplitude test. In the ECG, different morphologies of P and T waves were observed, there was no significant difference between the variables regarding gender and, regarding the time of sports practice, a significant increase in the duration of the P wave was observed in animals that practice vaquejada for a longer time, with no differences in the other variables. In the echocardiogram, there was a negative correlation ( $p < 0.05$ ) between isovolumetric relaxation time (IVRT) and the age of the animal ( $B = -20,908$ ), between E/E' and sport time ( $B = -2,299$ ) and E/IVRT and sport time ( $B = -0.210$ ). And positive correlation ( $p < 0.05$ ) between isovolumetric relaxation time (IVRT) and time that the animal practices the vaquejada sport, between E/E' and age and between E/IVRT and age. Regarding gender, no significant differences were found and regarding the time of sport, the diameter of the left atrium (LA) is significantly greater ( $p < 0.05$ ) in the animals of group C, which practice vaquejada for more than 3 years, when compared to the animals from groups A and B, who have been practicing vaquejada for less time. Fractional ejection (EF%) and shortening (FS%) are also statistically higher ( $p < 0.05$ ) in animals that have been vaquejada for more than two years, groups B and C. The other variables did not show significant differences between these groups ( $p > 0.05$ ). The methodology applied and results obtained in this research allowed the study of the cardiovascular function of quarter-mile horses, vaquejada athletes, even allowing the use of advanced cardiological diagnostic methods such as the use of Strain and Strain Rate by Speckle Tracking. The values achieved in all variables consist of data that can be used as normal reference values in equine medical cardiology in general, but in particular for this category of individuals. They also show that this sport is capable of stimulating physiological changes in the long term that refer to the same changes observed in human athletes' hearts, not showing changes at pathological levels.

**Keywords:** echocardiography, electrocardiography, Strain, athlete horse, myocardial function.

## 1. INTRODUÇÃO

A cardiologia ainda é uma especialidade tímida na clínica médica de equinos, embora as doenças cardiovasculares estejam entre os maiores responsáveis pela queda no desempenho atlético de cavalos, podendo levar inclusive à morte súbita durante as competições (MARTIN et al., 2000; LYLE et al., 2011; NAVAS DE SOLIS, 2016).

É possível que o principal motivo do pouco uso de exames cardiológicos no mundo equestre seja a falta de parâmetros na literatura que sirvam de referência, visto que os índices cardiológicos são dependentes de fatores como: espécie, raça, gênero, idade, estilo de vida, estado gestacional e condições climáticas (MACEDO et al., 2017; CASA et al., 2018; LI et al., 2018). Dessa forma, para que se aplique a cardiologia na prática clínica, obtendo-se diagnósticos fidedignos, são necessários estudos que padronizem os índices cardiológicos particulares de cada categoria de indivíduos.

O eletrocardiograma (ECG) é um método diagnóstico cardiológico centenário idealizado por Willen Einthoven. Consiste na captação e registro de correntes elétricas originadas no coração, gerando gráficos com ondas, intervalos e segmentos regulares (EINTHOVEN, 1925). Desde então esse exame foi aperfeiçoado e modernizado, tanto no que diz respeito aos aparelhos utilizados, quanto à análise e interpretação dos dados obtidos e suas possíveis aplicações. Atualmente o ECG é o exame de eleição para diagnóstico de arritmias cardíacas e padronização de dados eletrocardiográficos em grupos de indivíduos ainda não estudados (FELDMAN e GOLDWASSER, 2004; SCHWARZ, 2009).

O ecocardiograma também é um método diagnóstico cardiológico não invasivo que consiste na aquisição de imagens bi e tridimensionais em tempo real, bem como obtenção de informações hemodinâmicas cardiovasculares através de ultrassons. Portanto, permite analisar estruturas do coração, mensurar dimensões e avaliar as funções das câmaras cardíacas, o que também possibilita estudos para determinar valores de referência, assim como o diagnóstico de alterações cardiovasculares (SCHWARZWALD, 2019). Por sua relevância, a ecocardiografia tornou-se parte dos protocolos de avaliação cardiovascular na medicina humana há décadas (FEIGENBAUM, 1996) e acredita-se que siga esse mesmo propósito na medicina veterinária (SCHWARZWALD, 2019).

O emprego da eletro e ecocardiografia na padronização de dados cardiológicos está bem fundamentado no âmbito científico, e estudos mais recentes adicionam ainda novas tecnologias do ecocardiograma, como *doppler* tecidual e aferição da deformidade miocárdica por mapeamento de

pontos ou *strain (speckle tracking)*. Esses métodos diagnósticos de imagem mais avançados nem sempre serão aplicados na rotina clínica, mas por serem capazes de diagnosticar alterações patológicas que muitas vezes passam despercebidas nos métodos diagnósticos convencionais, é necessário que também tenham seus parâmetros estabelecidos (WIJNBERG e FRANKLIN, 2017; EBERHARDT, 2020).

A espécie equina pode ser subdivida em numerosas raças com características distintas. Essas diferenças são perceptíveis desde a conformação corporal, predispondo cada raça à uma aptidão particular, como por exemplo: animais de tração, velocidade, resistência e explosão. Atualmente, os equinos podem ser considerados em sua maioria como animais atletas, existindo uma infinidade de esportes equestres no mundo inteiro, isso significa que mesmo para uma raça e aptidão específicas há variadas opções de esportes diferentes a serem praticados e que precisam ser estudados. Pois essa diversidade racial e funcional pode sugerir padrões cardiológicos diferentes para cada raça, aptidão e/ou modalidade esportiva praticada (BOMFIM et al., 2017; LI et al., 2018).

A vaquejada é um esporte equestre típico do nordeste brasileiro, que requer explosão de velocidade e força dos animais. Exercícios físicos nessas condições de alta intensidade podem induzir um remodelamento cardíaco, o qual, dependendo das circunstâncias, podem ser considerados patológicos ou fisiológicos. Na espécie humana, já existem dados concretos comprovando esse fato, mas na medicina veterinária a literatura acerca desse tema ainda é escassa (SHAVE et al., 2017).

Em humanos, as adaptações cardíacas fisiológicas induzidas pelo exercício foram denominadas “síndrome do coração atleta” e, entre estas alterações destacam-se o aumento das dimensões, volumes e massa cardíaca e a melhoria de parâmetros funcionais como: redução da frequência cardíaca (FC), aumento do volume sistólico (VS), e redução da resistência vascular sistêmica (GALDERISI et al., 2015).

Considerando que cavalos esportistas de vaquejada sejam atletas de alta performance, e comparando-os a atletas humanos, acredita-se que a síndrome do coração atleta também possa acontecer nesses animais e, portanto, os índices cardiológicos seriam diferentes dos encontrados em cavalos não atletas ou praticantes de esportes mais leves, como animais de companhia, passeio e afins. Partindo desse pressuposto, o objetivo deste trabalho foi estudar a função cardiovascular de equinos da raça quarto-de-milha atletas de vaquejada, por meio de exames eletro e ecocardiográficos, a fim de caracterizar dados que possam servir de referência na prática clínica.

A organização estrutural dessa tese se apresenta da seguinte forma: Introdução, Revisão de literatura, Capítulo I, Capítulo II, Considerações Finais e Referências. O capítulo I, intitulado **“Características eletrocardiográficas de equinos da raça quarto-de-milha atletas de vaquejada”** e o capítulo II intitulado **“Índices de referências ecocardiográficas de equinos da raça quarto-de-milha atletas de vaquejada”**, ambos foram organizados conforme as normas do periódico **“Acta Scientiae Veterinariae”** Qualis B1 em Medicina Veterinária e Fator de impacto 0,337.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O coração: aspectos anatomofisiológicos

Para compreender as alterações decorrentes tanto de processos fisiológicos como patológicos, é necessário o conhecimento da anatomia e fisiologia normal de qualquer que seja o órgão a ser estudado. Esse discernimento garante agilidade e confiança no estabelecimento de um diagnóstico. O coração é um órgão que pode sofrer uma infinidade de alterações que acarretam não só em modificações no seu funcionamento, bem como na morfologia das suas estruturas. Portanto, é fundamental o estudo anatômico e fisiológico cardíaco como ponto de partida (KÖNIG & LIEBICH, 2016).

O coração, anatomicamente, compreende um arranjo muscular multicavitário, que funciona como uma “bomba propulsora”, impulsionando sangue para o todo organismo por meio de movimentos involuntários de contração e relaxamento. Por esse motivo é considerado o principal órgão do sistema cardiovascular. Externamente é revestido por um saco pericárdico que o mantém em sua posição topográfica (mediastino) e livre de atritos externos (KÖNIG & LIEBICH, 2016).

Internamente, o coração pode ser dividido em quatro câmaras receptoras e ejetoras de sangue: dois átrios e dois ventrículos. Os átrios direito e esquerdo, localizados mais próximos à base do coração, dorsalmente aos ventrículos, são separados pelo septo interatrial e possuem uma parede muscular relativamente mais delgada e com menor complacência, sofrendo menos alterações de volume durante as contrações cardíacas. O átrio direito (AD) recebe sangue pobre em oxigênio oriundo dos tecidos de todo o corpo, inclusive do próprio coração; os vasos responsáveis pela chegada do sangue nessa câmara são as veias cavas cranial e caudal e veia coronária. Do átrio direito o sangue segue em direção ao ventrículo direito (VD), passando pela valva atrioventricular direita ou tricúspide. Já o átrio esquerdo (AE) recebe sangue rico em oxigênio proveniente dos pulmões, após hematose, por meio das veias pulmonares e o envia ao ventrículo esquerdo (VE) através da valva atrioventricular esquerda, bicúspide ou mitral (KLEIN, 2015; HALL e GUYTON, 2017).

Os ventrículos são câmaras piramidais, localizados ventralmente aos átrios, revestidos por uma extensa camada muscular que permite elevada força de propulsão. O ventrículo esquerdo é separado do direito por um septo interventricular espesso e, externamente, é maior, além de conter o ápice cardíaco. Ambos apresentam internamente cordoalhas ou cordas tendíneas (feixes

fibrosos que ligam as valvas aos músculos papilares), trabéculas cárneas, também denominadas bandas moderadoras (feixes irregulares do miocárdio que atravessam a câmara transversalmente, desde a parede livre ao septo interventricular, com função de moderar a diástole) e músculos papilares (projeções do miocárdio, na forma de papilas, onde as cordas tendíneas encontram-se inseridas e, por esse motivo, possuem função de mantê-las retesadas durante a sístole, auxiliando na abertura e fechamento das valvas atrioventriculares). Ao receber sangue pouco oxigenado do átrio direito, o ventrículo direito contrai-se conduzindo o sangue para a artéria tronco-pulmonar atravessando a valva semilunar pulmonar, em direção aos pulmões, para que sejam realizadas as trocas gasosas. Já o ventrículo esquerdo, que possui uma parede muscular bem espessa comparada as demais câmaras, quando recebe o sangue oxigenado do AE, durante a sístole o ejeta para a artéria aorta mediante abertura da valva semilunar aórtica, impulsionando, dessa forma, sangue rico em oxigênio para todo o organismo (CONTI, 2015).

A passagem do sangue dos átrios para os ventrículos, em ambos os antímeros, ocorre em virtude de dois eventos consecutivos, o primeiro evento se dá por diferença no gradiente de concentração, onde o sangue naturalmente passa da câmara com maior pressão interna (em condições fisiológicas, o átrio ao receber sangue das veias pulmonares) para a câmara com menor pressão interna (ventrículos em relaxamento), vencendo a resistência das valvas atrioventriculares; logo após, quando as pressões das câmaras se aproximam, ocorre uma contração atrial auxiliando o impulsionamento de todo o restante do sangue que ainda permanece no átrio para o ventrículo (KONIG e LIEBICH, 2016; HALL e GUYTON, 2017).

O miocárdio tem papel fundamental nos movimentos de contração (sístole) e relaxamento (diástole), possibilitando o fluxo sanguíneo contínuo para todo o corpo. Sua atividade é controlada e conduzida por um sistema elétrico próprio do coração, que consiste em uma cadeia de células musculares especializadas capazes de gerar e conduzir impulsos elétricos pelo músculo cardíaco (KLEIN, 2015). Fazem parte desse sistema: nodo sinoatrial, nodo atrioventricular, feixe átrio ventricular e fibras condutoras terminais. O primeiro, nodo sinoatrial, é composto por células especializadas cardíacas que tem a propriedade de despolarizar espontaneamente para a formação de potenciais de ação, é onde se inicia o impulso elétrico. Uma vez formado, o potencial de ação rapidamente se espalha através dos átrios promovendo sua contração e posteriormente transmite esse impulso para o nodo atrioventricular, um sistema especial de células que se localizam entre os átrios e ventrículos, e promove a contração ventricular (CONTI, 2015).

A atividade muscular cardíaca consiste em movimentos de contração (sístole) e relaxamento (diástole), desempenhadas pelo miocárdio a partir dos impulsos elétricos acima

mencionados; esses movimentos em situações fisiológicas acontecem de maneira alternada e em uma sequência rítmica, formando o ciclo cardíaco. Para tanto, estruturalmente, a parede do coração organiza-se em três camadas histológicas distintas: epicárdio, miocárdio e endocárdio. O endocárdio é a camada mais interna, que reveste as câmaras cardíacas por dentro, consiste em endotélio e tecido conjuntivo subendotelial, onde está abrigado o sistema de condução elétrico do coração. O miocárdio é a camada intermediária e o principal componente ativo dos movimentos cardíacos, formado por tecido muscular estriado cardíaco. E o pericárdio, porção mais externa, consiste em uma camada de células mesoteliais anexa ao tecido conjuntivo externo, onde acomodam-se os vasos sanguíneos e nervos cardíacos (EYNARD, VALENTICH e ROVASIO, 2011; KONIG e LIEBICH, 2016).

Durante o exercício físico, a dinâmica cardiovascular pode se alterar, reagindo de diversas maneiras, principalmente no aumento das funções de quatro propriedades cardíacas clássicas: cronotropismo, inotropismo, batmotropismo e dromotropismo; a nível circulatório, há aumento da pressão arterial e do fluxo sanguíneo e essas reações são reguladas por diferentes mecanismos. O Sistema Nervoso Central (SNC) é um dos responsáveis por essas alterações, pois o hipotálamo se integra às respostas vegetativas mediante reflexos simpáticos e parassimpáticos que chegam aos centros localizados na medula oblonga e na medula espinhal em forma de estímulos e responde regulando órgãos efetores como o coração e os vasos sanguíneos (BILLMAN et al., 2015). Outras reações podem ser mediadas por mecanismos hormonais e humorais que circulam no sangue e sobre os componentes do sistema vascular sanguíneo (HALL et al., 2015). Fatores locais, produzidos pelo próprio metabolismo do tecido, também podem desencadear respostas cardíacas durante a atividade física, quando há modificações nos valores constantes de determinadas substâncias (HERRING e PATERSON, 2018). E por fim, respostas hemodinâmicas podem ser verificadas também quando ocorre modificações e variações físicas, obedecendo as leis que regem a dinâmica dos fluidos, como por exemplo o incremento do tônus simpático atuante sobre as veias, que aumenta a pressão intravascular e faz com que haja aumento do retorno venoso (CRANDALL e WILSON, 2015). Dessa forma, está comprovado cientificamente que o exercício físico é capaz de alterar aspectos morfofuncionais diversos do sistema cardiovascular e ainda assim permanecer dentro da normalidade.

## 2.2 O esporte Vaquejada

A vaquejada é considerada uma prática esportiva, além de manifestação cultural nacional e de patrimônio cultural imaterial de acordo com a lei federal nº 13.364, de 29 de novembro de 2016. Oriunda do nordeste brasileiro, essa modalidade consiste basicamente na tentativa de dois vaqueiros, emparelhados e montados em cavalos distintos, derrubarem um boi ou um touro puxando-o pelo rabo nos exatos limites de uma área previamente demarcada, denominada faixa (DE SANTANA GORDILHO & FIGUEIREDO, 2016).

De acordo com o regulamento geral da vaquejada, produzido pela Associação Brasileira De Vaquejada – ABVAQ, a inscrição para competir nessa modalidade acontece na forma de “senhas”, cada senha, dependendo do evento, dá direito de três a seis tentativas de derrubar o boi, essa fase é considerada classificatória. As rodadas seguintes são eliminatórias, quando as duplas correrão um boi de cada vez, até o final da disputa. A dupla vencedora é determinada por eliminação, aqueles que não derrubarem o boi, estão automaticamente fora da competição, e aqueles que derrubam seguem competindo entre si em diversas rodadas sucessivas, sem ser permitida a substituição do cavalo, até restar apenas uma dupla. Desse modo, nota-se que a competição não tem horário de término, nem limite de quantidades de vezes que cada cavalo corre em apenas uma competição. Cada tentativa ocorre em segundos e a prova poderia ser considerada leve se não fosse pela explosão exigida ao cavalo logo no início da corrida, a força impulsionada no momento da derrubada do boi ou touro e, principalmente pela quantidade de vezes que um mesmo cavalo, para vencer, precisa correr; isso sem levar em consideração que os competidores normalmente não fazem uma única senha. Portanto, a vaquejada é um esporte que requer alto rendimento e excelentes aptidão e condicionamento físico dos animais (DE SANTANA GORDILHO & FIGUEIREDO, 2016).

## 2.3 Respostas e alterações cardíacas do equino atleta

O termo “coração atleta” tem sido empregado para retratar as adaptações morfológicas e funcionais sofridas pelo coração de atletas humanos que realizam exercícios repetitivos e extenuantes. As principais alterações constatadas são: aumento do tamanho da câmara do ventrículo esquerdo, aumento da espessura da parede ventricular e o aumento da massa do coração como um todo, mas outras tantas modificações podem surgir também (GALDERISI et al., 2015).

Acredita-se que essas mesmas respostas possam ser encontradas em equinos atletas também, uma vez que relatos de grandes corações em atletas equinos datam de várias centenas de anos. Após a morte de Eclipse em 1789, um cavalo que estava invicto ao longo de 26 corridas, seu coração foi extraído e supostamente pesado, com uma medida de aproximadamente 6,3kg (POOLE e ERICKSON, 2011). Da mesma forma, na autópsia, o coração do bem-sucedido Secretariat, cavalo de corrida americano, foi estimado em cerca de 10kg. Em comparação com cavalos normais, cujos corações pesam em torno de 3,9kg, os corações desses tamanhos seriam capazes de gerar resultados cardíacos extremamente grandes e, estudos já puderam comprovar essa relação entre o desempenho de corrida e tamanho do coração, especificamente em cavalos onde o desempenho é dependente da capacidade aeróbica e, portanto, do débito cardíaco (SLEEPER et al., 2014; SHAVE et al., 2017). Por outro lado, em determinadas circunstâncias, esportes equestres de alta intensidade podem desencadear ou agravar alterações cardíacas patológicas que geram enormes transtornos, sejam eles físicos, econômicos e até mesmo psíquicos, uma vez que podem trazer riscos para cavalos e cavaleiros durante os treinamentos e competições, como por exemplo, no caso de morte súbita de cavalos cardiopatas.

Vários estudos já demonstraram as adaptações na estrutura e função cardíaca de equinos das raças *Standardbred* e *Thoroughbreds* (Puro Sangue Inglês) decorrentes de treinamento intenso por longos períodos, dessas adaptações as principais são o aumento nos diâmetros ventriculares internos em diástole, massa do ventrículo esquerdo e espessura média das paredes ventriculares. Esse remodelamento cardíaco provavelmente está relacionado à carga de volume vivenciada pelo lado direito do coração, induzida por frequentes elevações no retorno venoso, e aumentos no volume sanguíneo total (LIGHTFOOT et al., 2006; BUHL e ERSBØLL, 2012).

Outra alteração cardíaca que pode ser frequentemente encontrada em equinos é a regurgitação valvar. Essa variação pode se apresentar de maneira fisiológica ou patológica; a forma fisiológica é definida como a regurgitação que ocorre em válvulas estruturalmente normais, sem alterações cardíacas secundárias e é considerada como consequência de treinamento atlético (BUHL e ERSBØLL, 2012), enquanto a regurgitação patológica está associada às alterações hemodinâmicas e estruturais, bem como alterações e anormalidades da válvula. Em equinos é frequente o diagnóstico de regurgitação valvar fisiológica, especialmente das válvulas mitral e tricúspide, sendo considerada benigna e não progressiva, com maior incidência em cavalos atletas quando comparada à população em geral (MARR e BOWEN, 2010; REEF et al., 2014; CHOPE, 2018). Em um estudo prospectivo realizado por Lightfoot e colaboradores (2006), um aumento nos diâmetros do ventrículo direito foi observado concomitantemente com um aumento da

incidência de regurgitação tricúspide, avaliada por doppler colorido. Embora seja impossível sugerir causa e efeito, parece provável que a remodelação do VD experimentada pelos equinos altere a hemodinâmica ventricular e, conseqüentemente, leve à regurgitação valvar nessa população de cavalos da raça *Thoroughbreds*.

As arritmias, irregularidades encontradas no ritmo dos batimentos cardíacos, estão entre as alterações patológicas mais comuns em cavalos esportistas, e possuem elevada importância por resultarem em queda no desempenho atlético, e em alguns casos mais graves contribuir para episódios de colapso ou morte súbita, apresentando um risco para cavalo e cavaleiro. No entanto, as arritmias podem ser isoladas, e realmente estarem ligadas a problemas cardiológicos, como podem ser secundárias, estando relacionadas a vários outros fatores que não doença cardíaca estrutural, o que inclui distúrbios metabólicos, endócrinos, inflamação, hemorragia, influências autonômicas, toxicoses e drogas; e todos esses fatores podem estar presentes em cavalos atletas e, por vezes, as arritmias devem-se ao remodelamento cardíaco proveniente da atividade física, podendo aparecer apenas durante alguns momentos específicos do exercício, sendo considerada clinicamente insignificante. Portanto, para alcançar um diagnóstico diferencial e preciso, é necessário um exame clínico e cardiológico minuciosos antes, durante e após o exercício, bem como uma anamnese bem elaborada (REEF et al., 2014; CHOPE, 2018).

A fibrilação atrial (FA) é uma das causas mais comuns de arritmias em equinos e os efeitos desse desarranjo cardíaco sobre o cavalo esportista depende da tolerância individual do animal e das exigências cardiovasculares da atividade física praticada por ele. Essa patologia resulta em enchimento ventricular inadequado, conseqüente redução do volume sistólico e aumento da frequência cardíaca durante o exercício, que pode ser 40 a 60 bpm a mais que o esperado para cada nível de atividade. Todas essas complicações podem ser clinicamente inaparentes em animais praticantes de esportes com menor demanda cardiovascular, mas em animais que trabalham em ou próximo do débito cardíaco máximo, como cavalos de corrida, pode haver uma queda significativa no desempenho atlético (DECLOEDT et al., 2020). A fibrilação atrial pode ser classificada em FA solitária ou FA persistente, a primeira tem reversão espontânea para um ritmo sinusal normal em 24 a 48 horas e está ausente doença cardíaca detectável; já a segunda está geralmente relacionada com o aumento atrial esquerdo, tem probabilidade de reversão reduzida, pois com o tempo ocorre remodelamento elétrico e estrutural dentro dos átrios, e por isso é nomeada persistente. Na ausculta, a FA é um ritmo irregular sem som S4 discernível, portanto, os animais devem ser cuidadosamente avaliados para quaisquer murmúrios sugestivos de doença cardíaca. Na avaliação do ECG, a FA é confirmada pelas ondas de fibrilação na linha

de base, nenhuma onda P discernível associada a um complexo QRS, e intervalos RR irregulares. O ecocardiograma deve ser realizado com ênfase na avaliação do tamanho do átrio esquerdo, presença de regurgitação mitral e função ventricular (REEF et al., 2014).

### 2.3 Métodos diagnósticos na cardiologia

Os métodos diagnósticos na cardiologia incluem exames invasivos e não invasivos, sendo estes últimos geralmente mais econômicos, rápidos e com menor desconforto aos pacientes (SOARES et al., 2009; THRALL, 2014). Dentre esses métodos estão: a radiografia, eletrocardiograma, ecocardiograma (diagnóstico por imagem), histopatologia e exames sorológicos (FARROW, 2006; THRALL, 2007).

A radiografia convencional, um método diagnóstico de imagem que surgiu com a descoberta dos raios-X no século XIX e nos anos seguintes foi considerado método diagnóstico de eleição para a cardiologia. Esse exame faz o uso de radiação por meio da penetração de raios-X no organismo, e de acordo com a absorção desses raios pelos tecidos corpóreos uma imagem é gerada em um filme, que é revelado e apresenta a impressão diagnóstica do órgão radiografado em tons de cores que variam entre o preto e o branco. Esse método, assim como qualquer um que emita energia ionizante, tem caráter nocivo e quando exposto ao corpo por diversas vezes podem desencadear danos celulares. Ainda assim, a radiografia ainda é considerada um método não invasivos e seguros para uso no diagnóstico de enfermidades e bastante utilizado na medicina veterinária (EISENBERG, 1992; THRALL, 2013).

O eletrocardiograma (ECG) é um método diagnóstico cardiológico centenário idealizado por Willen Einthoven, cujo papel fundamental é a avaliação da atividade elétrica do coração. Com auxílio de um galvanômetro (instrumento utilizado para medir e detectar correntes elétricas de baixa intensidade), esse exame consiste na captação e registro de correntes elétricas originadas no coração durante a sístole e diástole, gerando um gráfico de tira contínua representado por uma onda P, complexo QRS e uma onda T (SCHWARZ, 2009). Desde sua criação até os dias atuais esse exame foi aperfeiçoado e modernizado, tanto no que diz respeito aos aparelhos utilizados, quanto à análise e interpretação dos dados obtidos e suas possíveis aplicações clínicas. Por ser um método diagnóstico de baixo custo, não invasivo e de fácil realização, atualmente o ECG é o exame de eleição para diagnóstico de arritmias cardíacas e padronização de dados eletrocardiográficos em categorias de indivíduos ainda não estudados (FELDMAN e GOLDWASSER, 2004; SCHWARZ, 2009), sendo capaz de apontar alterações cardíacas antes que ocorram mudanças

estruturais observadas em outros exames, como os radiológicos e os ecocardiográficos (THALER, 2008; MARTIN, 2010). No entanto, o ECG como qualquer exame complementar, apresenta limitações, o que inclui a dificuldade em reconhecer intervalos e voltagens baixas, a dependência da análise dedutiva e a probabilidade de diagnósticos múltiplos. Na medicina equina, pode ser considerado de grande utilidade para a realização da triagem inicial para veterinários que trabalham com cavalos atletas, sendo empregado, principalmente, na verificação da existência de arritmias e avaliação do efeito do treinamento, já que algumas arritmias aparecem por um breve intervalo durante ou imediatamente após o exercício moderado ou intenso em muitos animais (SHAVE et al., 2017).

A ecocardiografia trata-se de um método diagnóstico cardiológico não invasivo que consiste na aquisição de imagens bi e tridimensionais em tempo real, bem como obtenção de informações hemodinâmicas cardiovasculares através de ultrassons. Portanto, permite analisar estruturas do coração, mensurar dimensões e avaliar as funções das câmaras cardíacas, o que possibilita estudos para determinar valores de referência, assim como o diagnóstico de alterações cardiovasculares, incluindo aquelas que fazem parte do processo de remodelamento adaptativo de corações de indivíduos submetidos a treinamento físico intenso e respostas agudas do miocárdico frente ao exercício (KOENIG, MITCHELL e SCHWARZWALD, 2017; SCHWARZWALD, 2019). Para aprimoramento do ecocardiograma foram desenvolvidas tecnologias como a ferramenta Doppler e suas diversas modalidades (contínuo, pulsátil, colorido, tecidual e power doppler), que permite a detecção e avaliação de estruturas em movimento, especialmente fluxo sanguíneo (CARVALHO, CHAMMAS e CERRI, 2008; OTTO, CHWAEGLER e FREEMAN, 2012). Métodos mais recentes de ecodoppler permitem refinar a análise da função dos ventrículos, é o caso do *strain* e *strain rate*, que são índices clínicos de deformação miocárdica regional e global que podem ser aferidos pela técnica do rastreamento de pontos (*speckle tracking*) através da ecocardiografia bidimensional (GEYER, 2010; EBERHARDT, 2020). Por sua relevância, a ecocardiografia tornou-se parte dos protocolos de avaliação cardiovascular na medicina humana há décadas (FEIGENBAUM, 1996) e tem seguido esse mesmo propósito no âmbito da medicina veterinária, tanto que atualmente a ecocardiografia é o teste de escolha para avaliar a doença cardíaca no equino, naqueles grupos onde já existem parâmetros científicos bem estabelecidos, visto que esse exame fornece informações semi-quantitativas e quantitativas sobre estrutura cardíaca, tamanho, função e gravidade da doença, se presente (SCHWARZWALD, 2019).

Quanto aos métodos diagnósticos cardiológicos por meio de exames sorológicos, é possível identificar alterações cardiovasculares analisando determinadas biomoléculas, nesses casos são

avaliados em humanos: o perfil lipídico (colesterol total, HDL, LDL, VLDL e triglicérides), lipoproteínas, proteína C reativa (PCR) ultrasensível e a microalbuminúria. Já na medicina veterinária, mais especificamente na área da clínica médica de pequenos animais, as biomoléculas averiguadas são as troponinas (TnT, TnI, inibidora de actina TnC) por serem altamente específicas em detectar dano celular no músculo cardíaco. É comum a avaliação das troponinas juntamente com a isoenzima MB da proteína creatinina quinase, sendo a mesma encontrada no tecido cardíaco e é a enzima de eleição para diagnóstico de infarto agudo do miocárdio. (VASAN, 2006; MANGGE, 2016).

Por fim, os exames histopatológicos buscam a análise microscópica do tecido injuriado, por esse motivo é considerado um método invasivo, uma vez que inclui uma abordagem cirúrgica quando realizado em pacientes vivos, nesses casos é necessário que se extraia um fragmento do tecido por biópsia ou peça cirúrgica, mas também pode ser realizado post-mortem após a fixação celular. Para que a amostra do tecido seja analisada são necessários alguns procedimentos de preparo do fragmento, feito com soluções que mantêm a integridade das células e a utilizando corantes acidobásicos que facilitam o reconhecimento das estruturas e a identificação das possíveis lesões (BANCROFT & GAMBLE, 2008; MCCANN et al., 2015).

## 2.1 Técnicas avançadas na Ecocardiografia

A ferramenta *Doppler* permite a visualização em tempo de real de estruturas em movimento, sendo possível a obtenção de dados a partir da movimentação do fluxo sanguíneo e caracterizando, dessa forma, a hemodinâmica cardíaca. Por esse motivo, no que diz respeito a métodos de diagnósticos por imagem, o *Doppler* trouxe inúmeras possibilidades para o ecocardiograma favorecendo a precisão nos diagnósticos clínicos e padronização de índices (GASPAR, AZEVEDO e RONCON-ALBUQUERQUE, 2018).

Atualmente, são diversas técnicas empregadas de efeito *Doppler*: contínuo, pulsátil, colorido, *power doppler* e tecidual. O *Doppler* contínuo foi o primeiro a surgir e a ser aplicado na prática clínica, nele a transmissão e a recepção dos ecos são ininterruptas, o que torna possível a vantagem de captar fluxos de qualquer velocidade. O *doppler* contínuo informa o somatório das velocidades de todos os fluxos em uma determinada faixa do coração, porém pode haver sobreposição dos dados obtidos e, diante disso, outros métodos devem ser recomendados. Essa modalidade é indicada principalmente nos casos de estenose e grave regurgitação das valvas (DROST, 2014; AHMAD et al., 2022).

Já o *Doppler* pulsátil, foi desenvolvido com a finalidade de avaliar a velocidade do fluxo sanguíneo de uma área determinada com profundidade específica, mas, por conta dessa precisão na localização, possui dificuldade de mensurar fluxos com velocidades elevadas. A mensuração baseia-se nos tempos de recepção dos sinais de eco e, caso as velocidades excedam o limite máximo (limite de Nyquist), as informações obtidas podem não ser fidedignas (POPESCU e GINGHINA, 2011). Por essas características, o *doppler* pulsátil é indicado para avaliação de áreas pequenas, diagnosticando bem regurgitações de válvulas atrioventriculares, por exemplo; e sendo contraindicado para diagnóstico de doenças valvulares mais graves ou estenoses onde as velocidades dos fluxos são mais elevadas (SOUSA, 2015).

O *Doppler* colorido segue os princípios do *Doppler* pulsátil, mas adicionalmente mostra o mapeamento do fluxo em cores, sobreposto à uma imagem bidimensional. À medida que as hemácias se aproximam do transdutor o fluxo apresentar-se-á em vermelho e, quando o contrário ocorrer, ou seja, quanto mais o fluxo se afastar do transdutor mais tons de azul serão visualizados; fluxos turbulentos, onde a velocidade das hemácias varia, serão visualizados como uma mistura de azul e vermelho, gerando outros tons de cores, sendo denominado como mosaico de cores (EVANS, JENSEN e NIELSEN, 2011).

O modo '*power doppler*' assemelha-se ao *doppler* colorido, porém supera as limitações desse último, possuindo uma sensibilidade de três a cinco vezes maior e, portanto, obtém maior precisão de dados de baixo fluxo e consegue ângulos geralmente impossíveis em outros de modos (HAMPER et al., 1997). Por essas características, há uma melhor avaliação de fluxo parenquimatoso, redução no tempo dos exames e aumento na confiança do diagnóstico (ABMA et al, 2019).

O *Doppler* tecidual ou tissular, recorre ao mesmo princípio utilizado na avaliação dos fluxos sanguíneos, porém nessa modalidade obtém-se a velocidade de movimentação do tecido cardíaco, mais especificamente das fibras miocárdicas, complementando, dessa forma, os métodos anteriormente descritos. A codificação em cores das velocidades de movimentação dos miócitos permite enxergar as diferenças estruturais do miocárdio durante a contratilidade cardíaca, o que possibilita uma melhor compreensão das funções sistólica e diastólica do coração (DE CARVALHO STUDART et al., 2006). Todavia, por ser uma técnica que utiliza a mesma tecnologia do *Doppler* convencional, suas limitações também são as mesmas. Diante disso, para que se obtenha dados confiáveis, é necessário que no momento da realização do exame o cursor esteja o mais paralelo possível à direção presumida do movimento miocárdico, o que impossibilita a avaliação de todas as porções do músculo cardíaco; ademais, é bastante influenciado por

movimentos translacionais e não é capaz de diferenciar a presença de contração ativa de um segmento normal, da contração passiva de um segmento acinético, que está apenas se deslocando às custas de uma porção muscular normal adjacente. Essas limitações têm sido responsáveis pela substituição do *doppler* tecidual por métodos ainda mais avançados e recentes, como o *speckle tracking*, que independe do recurso *doppler* (PIVETA et al., 2014; PEIXOTO et al., 2021).

O método do *speckle tracking* tem como objetivo aumentar a sensibilidade diagnóstica do ecocardiograma convencional no que diz respeito à disfunção miocárdica, principalmente a disfunção sistólica do ventrículo esquerdo (VE); para tanto, são analisados, nessa modalidade, dois índices: a deformação miocárdica (*strain*), que consiste na mudança fracional no comprimento de um segmento do miocárdio, normalmente expresso em porcentagem; e a taxa de deformação miocárdica (*strain rate*) que se traduz na velocidade em que ocorre essa deformação (GEYER, 2010).

A tecnologia do *speckle tracking* já foi validada por diversos estudos científicos, tanto em humanos, classificados em diferentes categorias, como idosos (TRUONG et al., 2019) e atletas (SILVA, 2020), como animais domésticos (SANTARELLI et al., 2019) e até mesmo silvestres (RODRIGUES et al., 2017), e consiste na captura e rastreamento de pontos do ecocardiograma bidimensional ao longo do ciclo cardíaco, gerando vetores de movimento e curvas de deformação em um gráfico. Para interpretação desse gráfico, é preciso conhecer a conformação da banda miocárdica, que, por sua vez, apresenta duas curvaturas: uma basal e outra apical. Essa última, é formada por dois segmentos de fibras oblíquas: um descendente no sentido horário, que possui fibras a partir dos anéis aórtico e pulmonar até o ápice, ponto em que inicia o outro segmento que se volta para o sentido anti-horário e segue de forma ascendente. Já a curvatura basal, é formada por fibras transversais que envolvem os segmentos ascendente e descendente englobando os dois terços superiores, sem incluir o terço inferior ou apical (TORRENT-GUASP et al., 2001).

De acordo com planos ortogonais, podem ser obtidos três índices de *strain*: *strain* radial, longitudinal e circunferencial. O primeiro refere-se ao espessamento da parede miocárdica para o interior do ventrículo durante o movimento e, como a espessura do miocárdio normalmente aumenta, o valor é tradicionalmente positivo. O *strain* longitudinal se refere à deformação ao longo do comprimento do miocárdio durante a sístole enquanto a base se move predominantemente em direção ao ápice e, como há diminuição do comprimento durante a sístole, seu valor é negativo. Por fim, o *strain* circunferencial mede a alteração do comprimento ao longo do perímetro circular ou circunferencial e, como o perímetro do VE diminui durante a sístole em estados normais, seu valor também é negativo (GEYER, 2010).

Esses parâmetros de *strain* podem ser descritos de maneira individualizada para cada segmento miocárdico ou podem ser expressos como *strain* global, quando se obtém a média dos valores de todos os segmentos em cada modalidade (global radial, global longitudinal e global circunferencial). E independente da forma de apresentação dos dados, os achados clínicos são potenciais indicadores de diversas cardiopatias e, portanto, de fundamental importância para a cardiologia (GEYER, 2010).

### **3. CAPÍTULO I\***

---

\* Artigo elaborado de acordo com as normas do periódico “**Acta Scientiae Veterinariae**” (Qualis B1, Fator de impacto: 0,337).

1 **Características Eletrocardiográficas de Equinos da Raça Quarto-de-Milha Atletas de**  
2 **Vaquejada\***

3  
4 Camila Arrivabene Neves<sup>1</sup>, Renan Paraguassu de Sá Rodrigues<sup>1</sup>, Andrezza Braga Soares da  
5 Silva<sup>1</sup>, Laecio da Silva Moura<sup>2</sup> & Flávio Ribeiro Alves<sup>3</sup>

6  
7 \*Article based on a thesis submitted by the senior author in partial fulfillment of requirements for  
8 the Doctor's Degree. <sup>1</sup>Animal Science Post-Graduate Program, <sup>3</sup>Department of Veterinary  
9 Morphophysiology, Federal University of Piauí (UFPI), Teresina, PI, Brazil.  
10 CORRESPONDENCE: F.R. Alves [flavioribeiro@ufpi.edu.br]. Department of Veterinary  
11 Morphophysiology - UFPI. Bairro Ininga. CEP 64.049-550 Teresina, PI, Brazil.

12  
13  
14 **RESUMO**

15 **Introdução:** O eletrocardiograma (ECG) é um método diagnóstico cardiológico centenário e  
16 atualmente é o exame de eleição para diagnóstico de arritmias cardíacas e padronização de dados  
17 eletrocardiográficos em categorias de indivíduos ainda não estudados. Sabe-se que os dados  
18 eletrocardiográficos podem variar em função da espécie, raça, gênero, idade, estilo de vida e  
19 outros, por esse motivo o objetivo deste estudo foi caracterizar traçados de ECG de equinos da  
20 raça quarto-de-milha atletas de vaquejada. **Materiais, Métodos e Resultados:** Vinte e dois equinos  
21 saudáveis da raça quarto-de-milha foram submetidos ao exame de eletrocardiograma nesse estudo.  
22 Os animais foram divididos em dois grupos quanto ao gênero, bem como em três grupos quanto  
23 ao tempo de prática esportiva em vaquejada. As variáveis analisadas incluíram ritmo, frequência  
24 cardíaca média (HR) em batimentos por segundo (bpm), duração em milissegundos (ms) das ondas  
25 P, S, T, intervalo PR, complexo QRS, intervalo QT, intervalo QT corrigido (QTc) e segmento ST  
26 e amplitude em milivolts (mV) das ondas P, Q, R, S, T e nivelamento do segmento ST. Os dados  
27 obtidos foram submetidos à análise de variância, e, quando significativos ( $P < 0.05$ ), as médias  
28 foram confrontadas pelo teste de múltipla amplitude de Tukey ou pelo teste t Student. Foram

29 observadas diferentes morfologias de ondas P e T, não houve diferença significativa entre as  
30 variáveis quanto ao gênero e, quanto ao tempo de prática esportiva notou-se um aumento  
31 significativo na duração da onda P em animais que praticam vaquejada há mais tempo, não  
32 havendo diferenças nas demais variáveis. **Discussão:** Os resultados demonstram valores médios  
33 bem próximos dos parâmetros observados para cavalos atletas de outras modalidades e  
34 distinguem-se dos índices encontrados para cavalos sedentários ou com aptidões não esportivas.  
35 Mostram ainda que esse esporte é capaz de estimular a longo prazo alterações fisiológicas que  
36 remetem às mesmas alterações observadas nos corações atletas de seres humanos, não  
37 evidenciando alterações a níveis patológicos.

38 **Palavras-chave:** electrocardiogram, ECG, heart, cardiovascular function, horse, exercise.

39

40

## INTRODUÇÃO

41 O eletrocardiograma (ECG) é um método diagnóstico cardiológico centenário idealizado  
42 por Willen Einthoven. Consiste na captação e registro de correntes elétricas originadas no coração,  
43 gerando gráficos com ondas, intervalos e segmentos regulares [Schwarz, 2009]. Desde então esse  
44 exame foi aperfeiçoado e modernizado, tanto no que diz respeito aos aparelhos utilizados, quanto  
45 à análise e interpretação dos dados obtidos e suas possíveis aplicações. Atualmente o ECG é o  
46 exame de eleição para diagnóstico de arritmias cardíacas e padronização de dados  
47 eletrocardiográficos em categorias de indivíduos ainda não estudados [Feldman & Goldwasser,  
48 2004; Schwarz, 2009].

49 Diversos trabalhos já demonstraram que fatores como: espécie, raça, gênero, idade, estilo  
50 de vida, estado gestacional e condições climáticas podem levar a diferentes traçados  
51 eletrocardiográficos [Macedo et al., 2017; Casa et al., 2018; Li et al., 2018]. A espécie equina é  
52 subdivida em numerosas raças com características distintas. Essas diferenças são perceptíveis  
53 desde a conformação corporal, predispondo cada raça à uma aptidão particular (tração, velocidade,

54 resistência e explosão). Essa versatilidade pode sugerir padrões eletrocardiográficos diferentes  
55 para cada modalidade [Bomfim et al., 2017.; Li et al., 2018].

56 A vaquejada é uma prática esportiva amplamente difundida no nordeste do Brasil [de  
57 Santana Gordilho & Figueiredo, 2016]. Essa atividade requer esforços extenuantes por parte dos  
58 equinos, condições que podem levar ao remodelamento cardíaco e possivelmente dados  
59 eletrocardiográficos que diferem de outras modalidades esportivas [de Santana Gordilho &  
60 Figueiredo, 2016; Shave et al., 2017].

61 Considerando que cavalos esportistas de vaquejada sejam atletas de alta performance, e  
62 comparando-os a atletas humanos, acredita-se que a síndrome do coração atleta também possa  
63 acontecer nesses animais e, portanto, os índices cardiológicos seriam diferentes dos encontrados  
64 em cavalos não atletas ou praticantes de outros esportes. Destarte, faz-se necessário estudos da  
65 atividade elétrica do coração em grupos categorizados, a fim de padronizar valores normais para  
66 cada um deles. O objetivo deste estudo foi caracterizar traçados de ECG de equinos da raça quarto-  
67 de-milha atletas de vaquejada.

68

## 69 **MATERIAIS E MÉTODOS**

### 70 *Animais*

71 Vinte e dois equinos saudáveis da raça quarto-de-milha, provenientes de quatro haras  
72 distintos localizados no município de Teresina-Piauí, foram examinados nesse estudo. É  
73 importante destacar que o clima dessa região é tropical semiúmido com duas estações  
74 características: o período das chuvas (que ocorrem no verão e outono) e o período seco (que ocorre  
75 no inverno e primavera), os exames foram realizados no período seco.

76 Os animais eram alimentados com ração comercial para equinos atletas duas vezes ao dia  
77 e volumoso três vezes ao dia, a água era fornecida *ad libitum*, bem como sal mineral. Pesavam

78 entre 400 kg e 500 kg e a faixa etária variou de 4 a 21 anos de idade. Todos os animais eram atletas  
79 de vaquejada há pelo menos seis meses, com treinamento regular de no mínimo duas vezes por  
80 semana.

81 Os animais foram divididos quanto ao gênero e tempo que praticam o esporte vaquejada.  
82 De acordo com gênero os animais foram separados em dois grupos: machos (n = 11) e fêmeas (n  
83 = 11). Quanto ao tempo de prática esportiva em vaquejada, os animais foram divididos em três  
84 grupos: grupo A, de animais que praticam há no mínimo 1 ano e no máximo 2 anos (n = 7), grupo  
85 B, de animais que praticam há no mínimo 2 anos e no máximo 3 anos (n = 8) e grupo 3, dos animais  
86 que praticam vaquejada há mais de 3 anos (n = 7).

87

#### 88 *Crítérios de Inclusão e Exclusão*

89 Indivíduos com histórico clínico e exame físico normais e que estavam há 24 horas em  
90 descanso foram incluídos no estudo. Para tanto foram realizadas auscultas cardíaca e respiratória,  
91 inspeção das mucosas oculares e orais, verificados tempo de perfusão capilar, pulso arterial e  
92 temperatura retal.

93 Animais com evidências de doenças sistêmicas, anormalidades cardiovasculares (sopros  
94 ou arritmias), ou qualquer grau de insuficiência valvar observada no ecocardiograma e animais  
95 que haviam treinado nas 24 horas antecedentes ao exame ou exibiram estresse excessivo durante  
96 o eletrocardiograma foram excluídos das análises estatísticas.

97

#### 98 *Eletrocardiografia computadorizada*

99 Para a realização dos testes os animais permaneceram em repouso e contidos em tronco  
100 próprio para equinos, posicionados em estação, com os membros torácicos e pélvicos paralelos  
101 entre si. Não houve tranquilização química.

102 Os exames de ECG foram realizados utilizando um método computadorizado com o  
103 eletrocardiógrafo veterinário digital (Módulo de Aquisição de ECG Para Computador (Incardio@  
104 Inpulse), de 12 derivações, composto por um circuito eletrônico ligado externamente a um  
105 notebook, e de um software instalado no disco rígido do computador. Os eletrodos tipo “jacaré”  
106 foram fixados na pele do animal com algodão umedecido com álcool 70% e posicionados  
107 conforme a técnica de base-ápice (Figura 1) [Young & van Loon, 2013]. Foram realizadas  
108 gravações numa velocidade de 50 mm por segundo, com calibração de tensão de 1 cm para cada  
109 milivolt (1 mV = 1 cm), durante 3 minutos.

110 Após a captura automática realizada por software, as análises e mensurações das ondas dos  
111 traçados de cada animal foram realizadas no próprio computador, na derivação bipolar II (DII),  
112 bem como a mensuração da frequência cardíaca. As variáveis analisadas incluíram ritmo,  
113 frequência cardíaca média (HR) em batimentos por segundo (bpm), duração em milissegundos  
114 (ms) das ondas P, S, T, intervalo PR, complexo QRS, intervalo QT, intervalo QT corrigido (QTc)  
115 e segmento ST e amplitude em milivolts (mV) das ondas P, Q, R, S, T e nivelamento do segmento  
116 ST.

117

#### 118 *Análises Estatísticas*

119 Os dados obtidos foram analisados utilizando dois programas estatísticos SISVAR e  
120 BioEstat 5.0, com prévia verificação da normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk. Os  
121 dados originais ou transformados (raiz quadrada) foram submetidos à análise de variância  
122 (ANOVA), e, quando significativos ( $P < 0.05$ ), as médias foram confrontadas pelo teste de  
123 múltipla amplitude de Tukey (entre os grupos de tempo de esporte) e pelo teste t Student (entre os  
124 grupos de gênero). Para todas as análises estatísticas, o nível de significância considerado foi 5 %.  
125 As variáveis qualitativas de ritmo e conformação das ondas P foram comparadas entre os grupos  
126 de forma descritiva, conforme a frequência de ocorrência.

## RESULTADOS

127

128           Nesse estudo, 23 animais foram submetidos ao eletrocardiograma. Os registros foram  
129 realizados nas seguintes derivações: DI, DII, DIII, aVR, aVL e aVF, sendo a DII utilizada para as  
130 mensurações (Figura 2). Do total de animais examinados, apenas 22 foram incluídos nas análises  
131 estatísticas por apresentarem ritmo sinusal, um animal foi excluído por apresentar bloqueio  
132 atrioventricular de segundo grau Mobitz tipo II (Figura 03).

133

134           Com o protocolo utilizado foi possível a obtenção de traçados de ECG de alta qualidade,  
135 com medidas confiáveis de ondas e intervalos, permitindo a avaliação com clareza do ritmo  
136 cardíaco e da frequência. Em nenhum exame houve dificuldades nas mensurações devido a  
137 artefatos de respiração, tremores musculares ou complexos mal captados.

138

139           A tabela 1 mostra o número de animais e a frequência relativa (%) das características  
140 morfológicas, bem como polaridade das ondas P, Q, R, S e T observadas nos traçados. As ondas  
141 P, em DII, foram visualizadas em dois modos: bífida ou simples, porém, sempre com polaridade  
142 positiva. As ondas P bífidas, no quesito amplitude (mV), foram divididas em duas variáveis,  
143 denominadas onda P<sub>RA</sub> (equivalente à despolarização do átrio direito) e onda P<sub>LA</sub> (equivalente à  
144 despolarização do átrio esquerdo). Quanto à duração de onda P, as duas ondas (P<sub>LA</sub> e P<sub>RA</sub>) foram  
145 mensuradas em conjunto. Contudo, dos 22 animais estudados, apenas 1 apresentou onda P simples,  
146 o que inviabilizou a comparação do valor encontrado no seu traçado de amplitude de onda P (0.260  
147 mV), com os demais animais.

148

149           O mesmo ocorreu para as amplitudes das ondas T, que puderam ser observadas de três  
150 maneiras em DII: bifásicas, simples positiva e simples negativa. Como apenas um animal  
151 apresentou amplitude de onda T negativa (-0.770 mV), também não foi possível a comparação  
152 com outros animais. Mas aqueles que apresentaram onda T bifásica, tiveram mensuradas as  
153 amplitudes de cada fase: negativa e positiva; a fase negativa está representada na tabelas 2, 3 e 4  
154 por T (-) e a fase positiva por T(+). Quanto à duração de onda T, nas ondas bifásicas, as duas fases

152 (positiva e negativa) foram mensuradas em conjunto. Já para aqueles que apresentaram onda T  
153 simples positiva, a variável foi representada apenas pela letra T.

154 Já as ondas do complexo QRS, foram visualizadas em DII da seguinte maneira: a onda Q  
155 estava presente em apenas 10 animais, nos demais sua visualização não foi possível e, quando  
156 presente apresentava-se pequena e com polaridade negativa. A onda R foi vista em 100% dos  
157 animais mostrando-se sempre positiva, bem como a onda S, onda de maior amplitude, que também  
158 estava presente no ECG de todos os animais e sempre com polaridade negativa.

159 A tabela 2 apresenta a média e desvio padrão geral dos animais examinados (n=22),  
160 incluindo todos os grupos estudados, das seguintes variáveis: frequência cardíaca média (HR) em  
161 batimentos por segundo (bpm), duração em milissegundos (ms) das ondas P, S, T, intervalo PR,  
162 complexo QRS, intervalo QT, intervalo QT corrigido (QTc) e segmento ST e amplitude em  
163 milivolts (mV) das ondas P, Q, R, S, T e nivelamento do segmento ST, além dos valores mínimos  
164 e máximos encontrados para cada uma delas.

165 Na tabela 3, estão representados as médias e desvio padrão de cada variável para cada  
166 gênero. Os resultados estatísticos indicam se houve diferença entre as médias dos machos e das  
167 fêmeas, de modo que letras iguais sobrescritas na mesma linha indicam que não foram observadas  
168 diferenças estatísticas ( $p > 0.05$ ); sendo assim, nesse estudo, estatisticamente não houve diferenças  
169 entre as médias dos machos e das fêmeas em qualquer um dos parâmetros avaliados.

170 Também foram comparadas as médias de cada variável em relação ao tempo que o animal  
171 pratica o esporte vaquejada; nesse caso, os 22 animais foram divididos em três grupos descritos  
172 anteriormente. Os resultados obtidos estão demonstrados na tabela 04, onde pode-se observar que  
173 para a maioria das variáveis não houve diferença significativa entre os grupos ( $p > 0.05$ ), com  
174 exceção da variável “duração de onda P (ms)”, que demonstra que os animais que praticam  
175 vaquejada há mais de 3 anos apresentam uma duração de onda P significativamente maior do que  
176 aqueles que praticam há menos de 2 anos ( $p < 0.05$ ).

## DISCUSSÃO

177

178

179 A eletrocardiografia encontra-se amplamente discutida na literatura e com índices bem  
180 padronizados para animais domésticos, mais especificamente cães e gatos [Varshney, 2020; Willis  
181 et al., 2018]. Já em outras espécies domésticas e na área de animais silvestres, muitas pesquisas  
182 vêm sendo desenvolvidas a fim de padronizar dados [Moura et al, 2019; de Sousa et al., 2020].

183 Para a medicina equina, já existe diversos estudos eletrocardiográficos; contudo, essa é  
184 uma espécie extremamente versátil e, como já mencionado, muitos fatores influenciam nos  
185 resultados de índices cardiológicos. Até o momento, têm-se conhecimento dos parâmetros  
186 encontrados em equinos da raça puro sangue árabe submetidos ao exercício de esteira [Yonezawa  
187 et al., 2009], em éguas da raça crioula em diferentes fases do período gestacional [Casa et al.,  
188 2018], em cavalos utilizados para tração [Bonfim et al., 2017], cavalos da raça puro sangue  
189 espanhol em diferentes idades [Ayala et al., 1999], cavalos atletas de salto em condições tropicais  
190 [Macedo et al., 2017] e diversas outras categorias. Esses estudos, tão específicos, reforçam a  
191 importância da padronização de dados para cada grupo de indivíduos levando em consideração  
192 suas características em comum; e esse é o primeiro trabalho que descreve dados  
193 eletrocardiográficos para equinos da raça quarto-de-milha esportistas de vaquejada.

194 Como já relatado, apenas animais completamente hípidos foram incluídos nas análises  
195 estatísticas, de modo que, uma égua, com 12 anos de idade, atleticamente ativa no esporte  
196 vaquejada há oito anos, foi excluída por apresentar bloqueio atrioventricular de segundo grau  
197 Mobitz tipo II, em repouso; restando assim 22 animais com ritmo sinusal (95.65 %). O bloqueio  
198 atrioventricular (AV-block) é a interrupção parcial ou completa da transmissão do impulso elétrico  
199 dos átrios aos ventrículos; o AV-block de primeiro grau apresenta todas as ondas de um ECG  
200 normal, porém um intervalo PR mais longo, já no de segundo grau são observadas algumas ondas

201 P não sucedidas por um complexo QRS [Mitchell, 2019]. Esse último pode ser subclassificado em  
202 outros dois tipos: Mobitz tipo I e Mobitz tipo II.

203 O Mobitz tipo I é configurado por um padrão repetitivo de aumento progressivo do  
204 intervalo PR até que haja uma falta de condução no nó atrioventricular (AV). Pode ser considerado  
205 fisiológico em indivíduos mais jovens e atléticos em decorrência de um aumento do tônus vagal e  
206 consequente fadiga de condução. É relatado com frequência em estudos cardiológicos de equinos,  
207 porém não corresponde ao caso da égua excluída desse estudo [Mesirca et al., 2021; Paśławska et  
208 al., 2018; Reef et al., 2014].

209 Já no Mobitz tipo II o intervalo PR permanece constante, mas os batimentos deixam de ser  
210 conduzidos de forma intermitente e os complexos QRS não ocorrem geralmente em um ciclo  
211 repetitivo a cada 3 (bloqueio 3:1) ou 4 (bloqueio 4:1) ondas P. Nesse caso, condizente com o da  
212 égua referida anteriormente, para alguns autores, o AV-block é patológico, sendo comumente  
213 associado à doença miocárdica em nível de His-Purkinje e, em humanos, desencadeia sintomas  
214 como sensação de desfalecimento, pré-síncope e síncope, dependendo da razão dos batimentos  
215 conduzidos e bloqueados [Felicioni & Meneghelo, 2019]; já em equinos pode estar associado às  
216 mortes súbitas nas pistas de competição [de Solis et al., 2018]. Mas outros estudos afirmam que o  
217 AV-block Mobitz tipo II também pode ser considerado fisiológico, caso desapareça quando o  
218 animal for submetido ao exercício e não forem registradas mais de duas ondas P consecutivas  
219 bloqueadas [Reef et al., 2014]. Como há divergência entre autores e o animal em questão não foi  
220 exercitado, seus dados foram eliminados das análises estatísticas.

221 Ademais, vale ressaltar que estudos que utilizam curtas gravações de ECG, assim como  
222 este, geralmente apresentam uma baixa ocorrência de arritmias comparados a ensaios que utilizam  
223 Holter de 24 horas. Isso se deve ao fato de que algumas arritmias só surgem em momentos de  
224 aumento do tônus vagal, o que nem sempre ocorre durante um eletrocardiograma de três minutos  
225 [Durando, 2010; Saljicv et al., 2020]. No entanto, estudos prévios já informam que arritmias nessas

226 situações, sem queixas clínicas ou associações com outros achados diagnósticos, dificilmente terão  
227 correlações clínicas significativas e, portanto, são consideradas fisiológicas, o que valida o  
228 protocolo aqui utilizado [Mitchell, 2019; Reef et al., 2014].

229       As morfologias da onda P encontradas nesse estudo em DII foram apenas do tipo bífidas e  
230 simples e apresentaram sempre polaridade positiva, sendo as bífidas com maior representatividade,  
231 95.45 % dos animais (Tabela 1). Outras pesquisas, com equinos, já observaram a onda P em mais  
232 formatos: simples, bífida, entalhada e bifásica, sendo as simples e entalhadas as mais frequentes  
233 [Mathapati et al., 2019; Paśławska et al., 2018]. No presente estudo, também foram encontradas  
234 ondas P entalhadas, porém foram inclusas na mesma categoria de bífidas, uma vez que as  
235 entalhadas também se referem à uma bipartição da onda P.

236       A onda P, para a maioria das espécies animais, é representada no ECG por uma deflexão  
237 habitualmente arredondada, de baixa amplitude e positiva em quase todas as derivações e,  
238 fisiologicamente, corresponde à despolarização atrial. Em humanos, o aumento na duração e  
239 amplitude dessa onda, bem como com o surgimento de entalhe (onda P *mitrale*) em DII, estão  
240 associados à sobrecarga atrial esquerda (SAE) [Pastore et al., 2016], causada geralmente por uma  
241 estenose mitral que promove uma diminuição da mobilidade dos folhetos da valva mitral,  
242 retardando o enchimento do ventrículo esquerdo, com subsequente aumento retrógrado das  
243 pressões em átrio esquerdo, veias pulmonares e câmaras direitas [Tarasoutchi et al., 2011].

244       No entanto, em equinos, ao contrário do observado em humanos e cães, até o momento não  
245 existe correlações entre o surgimento de onda P bífida/entalhada e condições patológicas. A  
246 presença desse formato em cavalos justifica-se pelo fato desses possuírem um menor índice de  
247 ativação simultânea para os átrios em comparação com outras espécies, ou seja, apesar da rápida  
248 velocidade de condução da banda interatrial, em virtude de uma massa cardíaca consideravelmente  
249 maior, assim como uma condução realizada exclusivamente pelo feixe de Bachmann, grande parte  
250 do átrio direito já foi despolarizado antes do átrio esquerdo começar a despolarizar, refletindo em

251 ondas P entalhadas no ECG [Van Steenkiste et al., 2020]. Além disso, sabe-se que, nessa espécie,  
252 a morfologia da onda P não é uma característica fixa e individual, pois em um mesmo indivíduo  
253 pode haver variação do formato em decorrência do aumento ou diminuição da HR [Mathapati et  
254 al., 2019].

255 À propósito, a HR média observada nesse estudo foi de  $43.34 \pm 10.46$  bpm (Tabela 2), sem  
256 diferenças significativas entre machos e fêmeas (Tabela 3) e, embora tenha-se notado um leve  
257 aumento da frequência em animais que praticam o esporte há mais tempo, essa diferença não foi  
258 significativa estatisticamente ( $p > 0.05$ ) (Tabela 4). Essa média está dentro dos parâmetros normais  
259 estabelecidos para a espécie de um modo geral, em repouso, assemelhando-se à HR encontrada  
260 em cavalos de salto ( $40.20 \pm 13,33$  bpm) [Diniz et al., 2011], cavalos de enduro da raça puro  
261 sangue árabe ( $35,85 \pm 7,05$  bpm) [Dumont et al., 2010] e cavalos da raça mangalarga marchador  
262 ( $42.18 \pm 1,65$  bpm) [Diniz et al., 2008].

263 A duração da onda P representa o tempo em milissegundos de uma contração atrial.  
264 Geralmente, em humanos, esse índice aumentado, associado às alterações morfológicas da onda,  
265 sugere a presença de bloqueio interatrial, que é descrito como um retardo na condução elétrica  
266 entre o átrio direito e o esquerdo [Bayés de Luna et al., 2012]. A longo prazo, a consequência desse  
267 tipo de arritmia é uma sobrecarga atrial que posteriormente pode desencadear fibrilação atrial (AF)  
268 que, por sua vez, estimula a formação de trombos e pode culminar com um infarto ou acidente  
269 vascular cerebral. O aumento da duração da onda P, em humanos, está associado ao:  
270 envelhecimento, tabagismo, consumo de álcool, obesidade, doença pulmonar obstrutiva crônica,  
271 e outros fatores de risco e doenças sistêmicas [Moreira, 2018]. Em cães, o aumento dessa variável  
272 geralmente está relacionado à raça e porte, à obesidade, à doença mixomatosa valvar mitral [Pedro  
273 et al., 2020] e doenças infecciosas como doença de chagas [Santana et al, 2012] e leishmaniose  
274 [Erdogan et al., 2020].

275           Para os equinos avaliados nesse estudo, a duração da onda P foi a única variável que  
276   apresentou diferença significativa entre os grupos quanto ao tempo de prática esportiva. Os  
277   animais do grupo C, que são atletas há mais tempo apresentaram uma duração de onda P ( $150 \pm$   
278    $9.45$  ms) estatisticamente maior ( $p < 0.05$ ) do que aqueles do grupo A, que praticam vaquejada há  
279   menos de 2 anos ( $126.29 \pm 18.63$  ms) (Tabela 4). Sabe-se que onda P com morfologia bífida ou  
280   entalhada são achados normais no ECG de equinos, porém, assim como nas espécies supracitadas,  
281   o aumento da duração dessa onda aliado à queixas de queda de desempenho também pode  
282   significar sobrecarga atrial com surgimento futuro de AF [Van Loon, 2019]; daí a importância do  
283   estabelecimento de valores de referências.

284           A AF em equinos é a arritmia mais comum concernente ao baixo desempenho atlético e a  
285   sua importância depende do seu impacto hemodinâmico (alterações de pressão arterial e débito  
286   cardíaco) e da probabilidade de desencadear um ritmo mais perigoso; uma vez que a AF pode  
287   induzir uma resposta ventricular anormal e as arritmias ventriculares geralmente apresentam um  
288   risco maior [Van Loon, 2019]. Nesse estudo, levando-se em consideração que não houve relatos  
289   de animais com baixo desempenho esportivo, mesmo aqueles que são atletas há mais tempo, que  
290   os animais eram completamente hígidos e que também não houve registros de AF nos traçados de  
291   ECG avaliados, caracterizados pela substituição de ondas P por ondas de fibrilação (f) e intervalos  
292   RR irregulares; pode-se inferir que há diferença fisiológica na duração de onda P dependendo do  
293   tempo de prática esportiva na vaquejada e que essa distinção não está relacionada a fatores  
294   patológicos [Van Loon, 2019]. Portanto os índices aqui obtidos apontam valores de referência para  
295   cada categoria específica avaliada nesse trabalho.

296           Um estudo comparando cavalos sedentários, cavalos de tração e atletas demonstrou que,  
297   embora os cavalos de tração desempenhem um trabalho árduo fisicamente, não apresentaram as  
298   alterações eletrocardiográficas observadas nos cavalos atletas, que possuíam maior duração de  
299   onda P [Bonfim et al., 2017]. Em contrapartida, um ensaio com cavalos Crioulos treinados e não

300 treinados, não atestou diferenças significativas para essa variável [Schade et al., 2014]. Destarte,  
301 uma possível justificativa para tal diferença entre os grupos, descartando-se fatores patológicos, é  
302 a correlação positiva entre idade e duração de onda P; haja vista os cavalos alocados no grupo C  
303 serem, em sua maioria, animais mais velhos e, é exatamente por isso que possuem maior tempo  
304 de atividade esportiva, uma vez que, geralmente nesse esporte, os cavalos iniciam a vida atlética  
305 muito cedo e quase nunca são provenientes de outras modalidades. Essa correlação já é bem  
306 alicerçada na cardiologia humana [Moreira, 2018] e já foi mencionada para equinos [Van Loon,  
307 2019].

308 Enquanto aumento na duração indica SAE, na amplitude de P sugere sobrecarga atrial  
309 direita (SAD) e, em humanos, frequentemente está associada à uma sobrecarga ventricular direita  
310 [Pastore et al., 2016]. Em equinos, SAD é raramente citado em literatura, porém a falta de  
311 referências pode estar mais associada a falta de diagnóstico pela ausência de parâmetros do que  
312 por falta de casuística. Os valores médios de amplitude de onda P obtidos nesse estudo, tanto  $P_{RA}$   
313 como  $P_{LA}$ , em todos os grupos analisados (Tabela 3 e 4), não apresentaram diferenças ( $p > 0.05$ ) e  
314 corroboram com os valores achados em literatura para equinos hípidos com diferentes aptidões.  
315 Assemelham-se, principalmente, por apresentar uma amplitude de  $P_{AR}$  que corresponde muitas  
316 vezes a um valor próximo da metade de  $P_{LA}$ , sendo esta última sempre maior; o que se deve à  
317 disparidade de volume e massa cardíaca dos átrios, já que o esquerdo contém as maiores  
318 proporções [Bonfim et al., 2017; Casa et al., 2018; Yonezawa et al., 2009].

319 O período do início da onda P ao início do QRS determina o intervalo PR, tempo em que  
320 o impulso elétrico passa pelos átrios, provocando sua despolarização e, logo em seguida, passa  
321 para os ventrículos, exclusivamente através do nó AV, o qual propositadamente desacelera a  
322 condução elétrica, causando um retardo fisiológico, também denominado “condução decremental”  
323 [Pastore et al., 2016]. Esse retardo permite o enchimento dos átrios antes da sístole ventricular,  
324 otimizando a pré-carga e, portanto, o débito cardíaco. No ECG, esse momento não se caracteriza

325 por uma deflexão, sendo mensurado pelo intervalo PR [Mitchell, 2019]. Nos animais aqui  
326 examinados, a média geral foi equivalente a  $294.09 \pm 47.33$  ms (Tabela 2) assemelhando-se às  
327 médias de cavalos quarto-de-milha que praticam provas de tambor e baliza ( $289.7 \pm 56.4$  ms)  
328 [Binda et al., 2016], relativamente menor do que as médias encontradas para cavalos de salto que  
329 ficam entre  $314 \pm 74$  ms e  $363.9 \pm 97.4$  ms [Diniz et al., 2011; Macedo et al., 2017] e maior que a  
330 média de animais não praticantes de atividades esportivas que, dependendo da raça fica entre  $234,1$   
331  $\pm 41,76$  ms e  $272 \pm 40$  ms [Bonfim et al., 2017; Lázaro et al., 2015; Schade et al., 2014].

332 Entre machos e fêmeas as médias obtidas para intervalo PR foram estatisticamente  
333 similares,  $298.4 \pm 43.3$  ms e  $289.8 \pm 52.8$  ms respectivamente (Tabela 3); já entre os grupos de  
334 tempo de prática esportiva, embora também não haja diferenças significativas, notou-se um  
335 aumento à medida que aumenta os anos de vida atlética (Tabela 4), o que poderia ser justificado  
336 pelo fato do intervalo PR variar em função da HR, da idade e intensidade de prática esportiva,  
337 tanto em humanos, como em equinos [Mesirca et al., 2021; Pastore et al., 2016]. Isso porque  
338 cavalos saudáveis e treinados, geralmente têm alto tônus parassimpático, o que pode atrasar ainda  
339 mais ou mesmo bloquear (bloqueio autonômico completo) a condução nodal AV, apresentando  
340 assim intervalos PR mais longos. Esse evento, considerado de caráter fisiológico na espécie  
341 equina, como já mencionado anteriormente, é conhecido por AV-block de primeiro grau [Mesirca  
342 et al., 2021; Mitchell, 2019].

343 Após deixar o nodo AV, o impulso elétrico passa rapidamente através do feixe His-  
344 Purkinje para despolarizar todo o miocárdio ventricular, o que resulta na maior deflexão registrada  
345 no ECG de superfície: o complexo QRS. Esse momento ocorre em três fases, por isso está  
346 simbolizado por três letras [Mitchell, 2019].

347 A primeira onda desse complexo, a onda Q, corresponde especificamente à despolarização  
348 septal. Em DII, configura uma deflexão negativa que raramente é visualizada no eletrocardiograma  
349 de equinos, tanto que nem sempre é mensurada de forma isolada nos trabalhos. Um estudo sugere

350 ainda que a presença da onda Q, dentro da espécie equina, é uma particularidade da raça  
351 Mangalarga Marchador, uma vez que a onda Q foi observada em 3,3% dos animais desse ensaio  
352 [Diniz et al., 2008]. No entanto, os achados do presente estudo contrariam essa informação, posto  
353 que foram visualizadas ondas Q, embora bem pequenas, com amplitude média de  $0.02 \pm 0.03$  mV,  
354 no ECG de 45.45 % dos cavalos da raça Quarto-de-Milha (Tabela 1). Corroborando ainda com  
355 outro estudo, com cavalos da raça *Silesian*, que também observou a presença dessa onda e também  
356 verificou baixas amplitudes em DII,  $0.06 \pm 0.07$  mV [Pawlowska et al., 2018]. Em humanos, uma  
357 onda Q anormal, tanto em duração como amplitude, sugere bloqueio peri-infarto, correlacionando-  
358 se com área eletricamente inativa (necrose) ventricular [Feldman &Goldwasser, 2004; Pastore et  
359 al., 2016], mas na medicina veterinária esse é um tema ainda pouco discutido.

360 A onda R é uma deflexão negativa em DII e representa a maior onda registrada no ECG de  
361 humanos e pequenos animais, já nos equinos, essa onda é positiva e a maior deflexão pertence à  
362 onda S, que é negativa. A primeira refere-se à despolarização das paredes ventriculares e a segunda  
363 à despolarização da região basal posterior do VE [Mitchell, 2019]. Para todos os grupos avaliados,  
364 tanto em gênero como tempo de esporte, não houve diferença significativa ( $p > 0.05$ ) nas  
365 amplitudes das ondas Q, R e S, tampouco na duração da onda S e complexo QRS como um todo  
366 (Tabela 3 e 4).

367 No entanto, é importante ressaltar que nos grupos divididos por tempo de esporte nota-se  
368 que em todas as variáveis supracitadas, com exceção da amplitude de Q, os valores aumentam  
369 progressivamente do grupo A ao grupo C, assim como, por consequência, aumentam também a  
370 duração dos intervalos QT e QTc (Tabela 4). Em humanos e cães, é relatado que alterações no  
371 QRS decorrentes de maior amplitude de onda R refletem sobrecarga de VE, já aumento de  
372 amplitude de onda S, significa sobrecarga do VD; no que toca as durações, quando as  
373 irregularidades são em virtude de ondas R lentas, traduz-se clinicamente em bloqueio de ramo de  
374 feixe esquerdo e, caso seja aumento na duração da onda S associa-se a bloqueio de ramo de feixe

375 direito [FriedmannI, 2018; Tilley & Burtnick, 2004]. Para humanos, o bloqueio incompleto de  
376 ramo direito é considerado um achado normal em atletas sendo considerado resultado do aumento  
377 do tamanho do VD devido ao treino [Drezner et al., 2017]; um estudo, inclusive, chegou a registrar  
378 a presença dessa característica em mais de 80 % dos atletas [Dores et al., 2014]. Já o completo é  
379 visto como uma alteração relacionada à prática desportiva que deve ser estudada em pormenor  
380 quando associado a duas ou mais alterações eletrocardiográficas [Serratos-Fernández et al.,  
381 2017]. É possível que essas informações justifiquem o aumento progressivo observado do grupo  
382 A ao grupo C, uma vez que os animais de grupo C são atletas há mais tempo, ainda que  
383 estatisticamente os resultados não tenham apresentado diferenças.

384 Toda despolarização deve ser seguida de repolarização. A repolarização atrial, na maioria  
385 das vezes tem sua deflexão sobreposta pela despolarização ventricular, por isso nem sempre é  
386 perceptível no ECG. Mas todo QRS deve ser seguido por uma onda T, que corresponde à  
387 repolarização ventricular [Mitchell, 2019]. Nesse estudo, em DII, foram encontradas ondas T de  
388 padrões variados: simples negativo, simples positivo e bifásico, sendo os dois últimos  
389 correspondendo a maioria dos animais, 40.91 % e 54.55 % respectivamente (Tabela 1); essas  
390 mesmas formas foram observadas em outros estudos [Mathapati et al., 2019; Pasławska et al.,  
391 2018].

392 A média geral para duração de onda T encontrada nesse estudo foi de  $125.73 \pm 33.24$  ms,  
393 sendo importante mencionar que esse valor inclui a mensuração de ondas simples e bifásicas; já  
394 as amplitudes variaram de acordo com a morfologia da onda (Tabela 2). Em humanos, a análise  
395 da onda T possibilita reconhecer doença miocárdica ou desequilíbrio eletrolítico. Nos cavalos,  
396 porém, isso ainda é impossível, uma vez que a onda T possui morfologia extremamente variável,  
397 desde a polaridade à duração, sendo facilmente alterada em função do tônus parassimpático e da  
398 frequência cardíaca. Por esse motivo, a morfologia da onda T, em equinos, não é tão relevante para  
399 diagnóstico de doença cardíaca, sendo úteis apenas na percepção de irregularidades no ritmo de

400 um modo geral, como presença de complexos atriais e ventriculares prematuros, bem como de  
401 artefatos quando há ausência dessa onda [Broux et al., 2016].

402 Por fim, o desnivelamento do segmento ST maiores que o normal, em humanos, sejam por  
403 supradesnivelamento com aspecto convexo para cima ou infradesnivelamento com aspecto  
404 côncavo para cima, sugerem lesão miocárdica, permitindo a identificação de infarto do miocárdio  
405 recente [Feldman & Goldwasser, 2004]. O mesmo ocorre para equinos; estudos relataram que  
406 desnível do segmento ST acima de 0.3 mV poderia ser um indicativo de choque, endotoxemia ou  
407 dor abdominal, bem como, distúrbios eletrolíticos, uma vez que verificaram esta anormalidade em  
408 43 % dos cavalos de enduro que foram desclassificados por exaustão. Apontam como justificativa  
409 o fato de a desidratação promover choque hipovolêmico, reduzindo substancialmente o volume e  
410 o tempo de diástole, diminuindo assim o suprimento sanguíneo e o fornecimento de oxigênio ao  
411 miocárdio [Dumont et al., 2010]. Já em cavalos de enduro finalistas, os valores médios de desnível  
412 do segmento ST permaneceram abaixo de 0.3 mV [Dumont et al., 2011], assim como os resultados  
413 obtidos nesse estudo para cavalos esportistas de vaquejada com boa performance, em que o valor  
414 médio geral foi de  $0.14 \pm 0.05$  mV.

415

416

## CONCLUSÕES

417

418 Os registros eletrocardiográficos obtidos nesse estudo foram caracterizados de forma  
419 extremamente satisfatória, consistindo em dados que podem ser utilizados como valores normais  
420 de referência na cardiologia médica equina de cavalos da raça quarto-de-milha atletas de  
421 vaquejada.

422 Os resultados demonstram que os valores médios encontrados para todas as variáveis  
423 analisadas no ECG de equinos da raça Quarto-de-Milha esportistas de vaquejada estão bem

424 próximos dos parâmetros observados para cavalos atletas de outras modalidades e distinguem-se  
425 dos índices encontrados para cavalos sedentários ou com aptidões não esportivas.

426 O aumento significativo na duração da onda P em animais que praticam vaquejada há mais  
427 tempo demonstra que esse esporte é capaz de estimular a longo prazo alterações fisiológicas que  
428 remetem às mesmas alterações observadas nos corações atletas de seres humanos. Acredita-se  
429 ainda, que uma nova pesquisa com um número maior de animais pode ser capaz de evidenciar  
430 alterações em outras variáveis.

431

432 *Acknowledgments.* The authors thank the Diagnosis by Imaging Sector of the University  
433 Veterinary Hospital, Federal University of Piauí (UFPI). They also thank the Coordenação de  
434 Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the doctoral grant.

435

436 *Ethical approval.* The protocols used in this study were approved by the Committee on Ethics in  
437 Animal Experimentation - CEAA/UFPI (No. 633/20).

438

439 *Declaration of interest.* The authors report no conflicts of interest. The authors alone are  
440 responsible for the content and writing of paper.

441

## 442 REFERÊNCIAS

443

- 444 1. Ayala I., Gutierrez C., Benedito J. L., Hernandez J., Castillo C., Lopez Alonso M. et al.  
445 1999. Morphology and Amplitude Values of the P and T Waves in the Electrocardiograms of  
446 Spanish-Bred Horses of Different Ages. *Journal of Veterinary Medicine Series A.* 46(4): 225-  
447 230.

- 448 2. **Bayés de Luna A., Platonov P., Cosio F.G., Cygankiewicz I., Pastore C., Baranowski**  
449 **R. et al. 2012.** Interatrial blocks: a separate entity from left atrial enlargement: a consensus  
450 report. *J Electrocardiol.* 45(5): 445-51.
- 451 3. **Binda M. B., Teixeira F. A., Carvalho R. S., Macedo L. P., Conti L. M., Manso Filho H.**  
452 **C., & Coelho C. S. 2016.** Effects of 3-barrel racing exercise on electrocardiographic and on  
453 blood parameters of quarter horses. *Journal of Equine Veterinary Science.* 47: 71-76.
- 454 4. **Bomfim M.M., Sattin W.R., Carvalho S.F., Gobesso A.AO., Dória R.S.G. & Leite-**  
455 **Dellova D.C.A. 2017.** Physical and electrocardiographic evaluation of horses used for  
456 wagon traction. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.* 69: 371-376.
- 457 5. **Broux B., De Clercq D., Declodt A. et al. 2016.** Atrial premature depolarization-induced  
458 changes in QRS and T wave morphology on resting electrocardiograms in horses. *Journal*  
459 *of veterinary internal medicine.* 30(4): 1253-1259.
- 460 6. **Casa G., Oliveira M.D., Regianini C.R., Lovatel M., Cancelier C.D.L., Xavier M.G.N.,**  
461 **Volpato J., Saito M.E. & Yonezawa L.A. 2018.** Características eletrocardiográficas de  
462 éguas da raça Crioula em diferentes fases do período gestacional. *Arquivo Brasileiro de*  
463 *Medicina Veterinária e Zootecnia.* 70: 1641-1644.
- 464 7. **de Santana Gordilho H.J. & Figueiredo F.J.G. 2016.** A vaquejada à luz da Constituição  
465 Federal. *Revista de Biodireito e Direito dos Animais.* 2(2): 78-96.
- 466 8. **de Solis C. N., Althaus F., Basieux N., & Burger D. 2018.** Sudden death in sport and riding  
467 horses during and immediately after exercise: A case series. *Equine veterinary journal.* 50(5):  
468 644-648.
- 469 9. **de Souza A. B., de Sá Rodrigues R. P., Pessoa G. T., da Silva A. B. S., da Silva Moura**  
470 **L., Souza F. D. C. A. et al. 2020.** Standard Electrocardiographic Data of Peccaries (*Tayassu*  
471 *tajacu*). *Acta Scientiae Veterinariae.* 48.

- 472 **10. Diniz M.P., Michima L.E. & Fernandes W.R. 2011.** Estudo eletrocardiográfico de equinos  
473 de salto sadios. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 31: 355-361.
- 474 **11. Diniz M.P., Muzzi R.A.L., Muzzi L.A.L. & Alves G.E.S. 2008.** Estudo eletrocardiográfico  
475 de equinos da raça Mangalarga Marchador. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e*  
476 *Zootecnia*. 60(3): 536-542.
- 477 **12. Dores H, Freitas A, Mendes M. 2014.** Interpretação do eletrocardiograma do atleta: os  
478 'Critérios de Seattle. *Rev. Medicina Desportiva*. 2(5): 11-15.
- 479 **13. Drezner J.A., Sharma S., Baggish A. et al. 2017.** International criteria for  
480 electrocardiographic interpretation in athletes: Consensus statement. *British Journal of*  
481 *Sports Medicine*. 51(9): 704–731.
- 482 **14. Dumont C.B.D.S., Leite C.R., Moraes J.M.D., Alves R.D.O., Godoy R. D.F. & Lima**  
483 **E.M.M.D. 2010.** Parâmetros eletrocardiográficos de equinos Puro Sangue Árabe  
484 submetidos a exercício prolongado de enduro. *Ciência Rural*. 40: 1966-1973.
- 485 **15. Dumont C.B.S., Moraes J.M., Leite C.R., Alves R.O., Moreira M., Moscardini A.R.C.,**  
486 **Godoy R.F. & Lima E.M.M. 2011.** Parâmetros eletrocardiográficos de equinos  
487 desclassificados por exaustão em competições de enduro. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*  
488 63(1):20-27.
- 489 **16. Durando M. 2010.** Exercise and stress testing. In: Marr C.M., Bowen I.M. *Cardiology of*  
490 *the horse*. 2.ed. London: WB Saunders, pp.139-149.
- 491 **17. Erdogan S., Erdogan H., Pasa S.E.R.D.A.R., & Ural K. 2020.** P-wave dispersion and  
492 renal biomarkers in canine visceral leishmaniasis stage III and IV infected dogs. *Veterinárni*  
493 *medicina*. 65(3): 111-115.
- 494 **18. Feldman J., & Goldwasser G.P. 2004.** Eletrocardiograma: recomendações para a sua  
495 interpretação. *Revista da SOCERJ*. 17(4): 251-256.

- 496 **19. Felicioni S.P., Meneghelo R.S. 2019.** Significado do bloqueio atrioventricular induzido no  
497 teste de esforço. *Rev DERC*. 25(4): 123-129.
- 498 **20. Friedmann I A.A. 2018.** Síncope e bloqueios de ramo. *I NEURO-DOR*. 98.
- 499 **21. Lázaro M.A., Conti L.M.C., Oliveira Á., Figueiró G.M., Coelho C.S., Ferreira F.S. &**  
500 **Champion T. 2015.** Estudo comparativo da eletrocardiografia convencional e  
501 computadorizada em equinos das raças Quarto de Milha e Mangalarga Marchador. *Arquivo*  
502 *Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 67: 1025-1032.
- 503 **22. Li M., Chadda K.R., Matthews G.D., Marr C.M., Huang C.L.H. & Jeevaratnam K.**  
504 **2018.** Cardiac electrophysiological adaptations in the equine athlete—Restitution analysis  
505 of electrocardiographic features. *Plos one*. 13(3): e0194008.
- 506 **23. Macedo L.P., Binda M.B., Teixeira F.A., Carvalho R.S., Conti L.M., Manso Filho H.C.,**  
507 **& Coelho C.S. 2017.** Electrocardiographic and blood parameters in show jumping horses  
508 submitted to a field test under tropical conditions. *Journal of Equine Veterinary Science*. 58:  
509 1-6.
- 510 **24. Mathapati P.V., Saini N., Uppal S. & Anand A. 2019.** Effect of exercise on haemato-  
511 biochemical and electrocardiographic parameters in indian thoroughbred horses. *Haryana*  
512 *Vet*. 58(1): 56-59.
- 513 **25. Mesirca P., Nakao S., Nissen S. D., Forte G., Anderson C., Trussell T. et al. 2021.**  
514 Intrinsic Electrical Remodeling Underlies Atrioventricular Block in Athletes. *Circulation*  
515 *research*. 129 (1): 3–5.
- 516 **26. Mitchell K. J. 2019.** Equine electrocardiography. *Veterinary Clinics: Equine Practice*. 35(1):  
517 65-83.
- 518 **27. Moreira D.A.R. 2018.** Alterações eletrocardiográficas que identificam pacientes com risco  
519 para fibrilação atrial. *Journal of Cardiac Arrhythmias*. 31(2): 45-51.

- 520 **28. Moura L. S., Rodrigues R. P. S., Silva A. B. S., Pessoa G. T., Sousa F. C. A., Barbosa M.**  
521 **A. P. S. et al. 2019.** Echocardiographic reference ranges for sedated healthy peccaries  
522 (*Tayassu tajacu*, Linnaeus, 1758). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*.  
523 71: 68-76.
- 524 **29. Pasławska U., Michlik K., Janus I., Pasławski R., Zyśko D., & Noszczyk-Nowak A. 2018.**  
525 Physiological values of ECG parameters in Silesian horses. *Medycyna Weterynaryjna*. 74(9):  
526 577-580.
- 527 **30. Pastore C.A., Pinho J.A., Pinho C., Samesima N., Pereira Filho H.G., Kruse J.C.L. et**  
528 **al. 2016.** III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre análise e emissão de  
529 laudos eletrocardiográficos. *Arquivos brasileiros de cardiologia*. 106(4): 1-23.
- 530 **31. Pedro B., Fontes-Sousa A.P., & Gelzer A.R. 2020.** Canine atrial fibrillation:  
531 Pathophysiology, epidemiology and classification. *The Veterinary Journal*. 265: 105548.
- 532 **32. Reef V.B., Bonagura J., Buhl R. et al. 2014.** Recommendations for management of equine  
533 athletes with cardiovascular abnormalities. *J Vet Intern Med*. 28(3):749–61.
- 534 **33. Saljic E., Seric-Haracic S., Hodzic A., Tandir F., Cutuk A., & Hadzimusic N. 2020.**  
535 Electrocardiography Parameters Recorded With Holter Monitoring in Sport and Work  
536 Horses Before and After Physical Activity. *Acta Veterinaria Eurasia*. 46(1): 24-30.
- 537 **34. Santana V.L., Souza A.P., Lima D.A., Araújo A.L., Justiniano S.V., Dantas R.P. et al.**  
538 **2012.** Caracterização clínica e laboratorial de cães naturalmente infectados com  
539 *Trypanosoma cruzi* no semiárido nordestino. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 32: 536-541.
- 540 **35. Schade J., Schade M.F., & Fonteque J.H. 2014.** Auscultatory and electrocardiographic  
541 characteristics of crioulo horses. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 34(3): 281-289.
- 542 **36. Schwarz L. 2009.** Artigo de revisão: eletrocardiograma. *Revista Ilha Digital*. 1: 3-19.

- 543 **37. Serratos-Fernández L., et al. 2017.** Comentarios a los nuevos criterios internacionales  
544 para la interpretación del electrocardiograma del deportista. *Rev. Esp. Cardiologia.* 70(11):  
545 983-990.
- 546 **38. Shave R., Howatson G., Dickson D. & Young L. 2017.** Exercise-induced cardiac  
547 remodeling: lessons from humans, horses, and dogs. *Veterinary sciences.* 4(1): 9.
- 548 **39. Tarasoutchi F., Montera M.W., Grinberg M., Barbosa M.R., Piñeiro D.J., Sánchez**  
549 **C.R.M. & Barbosa M.M. 2011.** Diretriz brasileira de valvopatias-sbc 2011/i diretriz  
550 interamericana de valvopatias-siac. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia.* 97(5): 01-67.
- 551 **40. Tilley L.P. & Burtnick N.L. 2004.** *ECG Eletrocardiografia para o clínico de pequenos*  
552 *animais.* São Paulo: Roca, pp. 90-91.
- 553 **41. Van Loon G. 2019.** Cardiac arrhythmias in horses. *Veterinary Clinics: Equine Practice.*  
554 35(1): 85-102.
- 555 **42. Van Steenkiste G., Vera L., Decloedt A., Schauvliege S., Boussy T. & van Loon G. 2020.**  
556 Endocardial electro-anatomic mapping in healthy horses: Normal sinus impulse propagation  
557 in the left and right atrium and the ventricles. *The Veterinary Journal.* 258: 105452.
- 558 **43. Varshney J. P. 2020.** Electrocardiography in Cats. In: *Electrocardiography in Veterinary.*  
559 Singapore: Medicine. Springer, pp. 223-242.
- 560 **44. Willis R., Oliveira P., & Mavropoulou A. 2018.** Electrocardiography. In: *Guide to Canine*  
561 *and Feline Electrocardiography.* United States: John Wiley & Sons. pp. 35 – 56.
- 562 **45. Yonezawa L. A., Machado L. P., da Silveira V. F., Watanabe M. J., Saito M. E.,**  
563 **Kitamura S. S., & Kohayagawa A. 2009.** Exame eletrocardiográfico em equinos da raça  
564 puro sangue árabe submetidos ao exercício em esteira de alta velocidade e à suplementação  
565 com vitamina E. *Archives of Veterinary Science.* 14(3).

566 **46. Young L., & van Loon G. 2013.** Diseases of the heart and vessels. In: Hinchcliff K.W.,  
567 Kaneps A.J. & Geor R.J. (Eds). *Equine sports medicine and surgery: basic and clinical*  
568 *sciences of equine athlete. 2.ed.* Philadelphia: Saunders, pp. 695-744.

569

## 570 **LEGENDAS**

571

### 572 **Figuras**

573 Figure 1. Fotografia mostrando a disposição de quatro eletrodos adequados para registro de  
574 eletrocardiograma de equinos em repouso. Esta configuração usada é um sistema base-ápice  
575 modificado e as derivações são rotuladas e coloridas de acordo com o sistema Einthoven. (A)  
576 Braço direito, eletrodo vermelho colocado à direita do animal. (B) Neutro, eletrodo preto colocado  
577 na cernelha à esquerda. Perna esquerda, eletrodo verde colocado no tórax ventral esquerdo. Braço  
578 esquerdo, eletrodo amarelo disposto 15 a 20 cm dorsal ao eletrodo da perna esquerda.

579

580 Figure 2. Traçado eletrocardiográfico digital normal registrado nas derivações DI, DII, DIII, aVR,  
581 aVL e aVF em 50 mm/s de equino da raça Quarto-de-Milha atleta de Vaquejada.

582

583 Figure 3. Traçados eletrocardiográficos digitais registrados na derivação DII, em 25 mm/s de  
584 equinos da raça Quarto-de-Milha atletas de Vaquejada. (A) Traçado normal, com a presença das  
585 ondas: P, Q, R, S e T. (B) Traçado com bloqueio atrioventricular (AV-Block) de segundo grau  
586 Mobitz tipo II, com intervalos PR constantes e onda P com ausência de complexo QRS em  
587 intervalos irregulares (\*).

588

589

590

**591 Tabelas**

592 Tabela 1. Número (n) e frequência relativa (%) das ondas Q, R e S e a representação morfológica  
593 das ondas P e T do traçado eletrocardiográfico de 22 animais da raça Quarto-de-Milha (Teresina,  
594 Piauí, Brasil, 2021).

595

596 Tabela 2. Valores médios (x), desvio padrão (DP), valores máximos e mínimos da frequência  
597 cardíaca, duração (ms) e amplitude (mV) das ondas e complexos, comprimento do intervalo (ms)  
598 e supradesnivelamento ST (mV) observados no traçado eletrocardiográfico de 22 animais da raça  
599 Quarto-de-Milha. Os parâmetros foram registrados na derivação DII a uma velocidade de 50 mm/s  
600 e em modo N (Teresina, Piauí, Brasil, 2021).

601

602 Tabela 3. Média, desvio padrão e resultados da análise estatística das características  
603 eletrocardiográficas de Quarto-de-Milha por sexo. Os parâmetros foram registrados na derivação  
604 DII a uma velocidade de 50 mm/s e em modo N (Teresina, Piauí, Brasil, 2021).

605

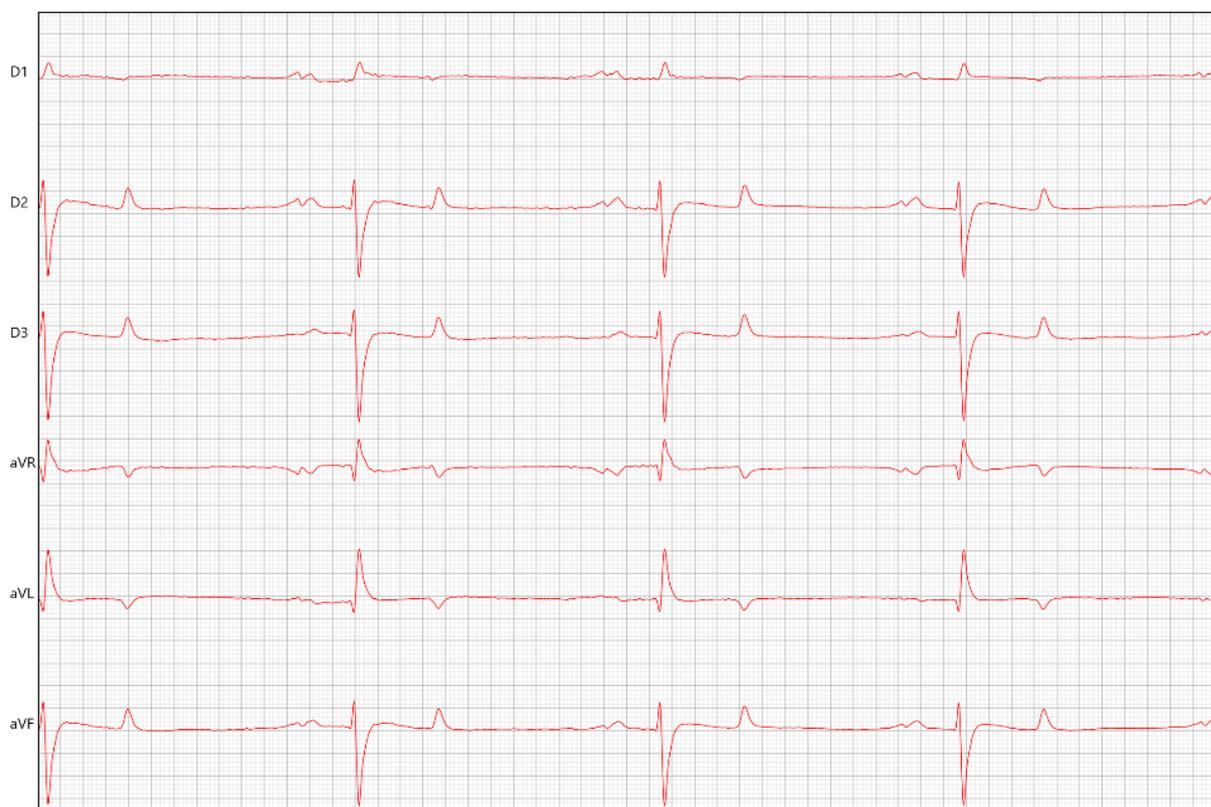
606 Table 4. Média, desvio padrão e resultados da análise estatística das características  
607 eletrocardiográficas de Quarto-de-Milha por tempo de esporte. Os parâmetros foram registrados  
608 na derivação DII a uma velocidade de 50 mm/s e em modo N (Teresina, Piauí, Brasil, 2021).

## ANEXOS DO CAPÍTULO I

FIGURA 1



FIGURA 2



**FIGURA 3****TABELA 1**

Parameters	Number (n)	Percentage (%)
P positive single wave (+)	1	4.55
P positive bifid wave (+ +)	21	95.45
T negative wave (-)	1	4.55
T biphasic wave (- +)	12	54.55
T positive wave (+)	9	40.91
Q wave (-)	10	45.45
R wave (+)	9	40.91
S wave (-)	13	59.09

**TABELA 2**

Parameters*	Mean	Standart deviation	Maximum value	Minimum value
Heart rate (bpm)	43.34	± 10.46	72	30
P wave duration (ms)	139.18	± 17.90	160	102
P <sub>RA</sub> wave height (mV)	0.15	± 0.05	0.28	0.08
P <sub>LA</sub> wave height (mV)	0.32	± 0.05	0.39	0.20
PR interval (ms)	294.09	± 47.33	378	210
QRS complex duration (ms)	114	± 10.87	132	96
Q wave height (mV)	0.02	± 0.03	0.00	0.13
R wave height (mV)	0.33	± 0.24	0.59	0.06
S wave height (mV)	1.5	± 0.54	2.69	0.03
S wave duration (ms)	85.73	± 10.91	104	66
QT interval duration (ms)	481.36	± 52.29	560	378
QTc interval duration (ms)	425.18	± 35.91	478	360
T wave duration (ms)	125.73	± 33.24	180	80
T wave height (mV)	0.52	± 0.13	0.77	0.37
T (+) wave height (mV)	0.33	± 0.10	0.53	0.15
T (-) wave height (mV)	0.52	± 0.28	1.13	0.22
ST segment deviation (mV)	0.14	± 0.05	0.24	0.05

\*bpm = beats per minute; ms = milliseconds; mV = milivolts; P<sub>RA</sub> = first component of P bifida wave (right atrium); P<sub>LA</sub> = second component of P bifida wave (left atrium).

**TABELA 3**

Parameters*	Male N = 11	Female N = 11
Heart rate (bpm)	42.8 ± 11.6	43.9 ± 9.7
P wave duration (ms)	146 ± 15.2	132.4 ± 18.4
P <sub>RA</sub> wave height (mV)	0.159 ± 0.054	0.140 ± 0.044
P <sub>LA</sub> wave height (mV)	0.315 ± 0.067	0.324 ± 0.040
PR interval (ms)	298.4 ± 43.3	289.8 ± 52.8
QRS complex duration (ms)	115.1 ± 11.8	112.9 ± 10.3
Q wave height (mV)	0.01 ± 0.02	0.31 ± 0.04
R wave height (mV)	0.313 ± 0.148	0.347 ± 0.313
S wave height (mV)	1.718 ± 0.515	1.312 ± 0.512
S wave duration (ms)	86.4 ± 10.9	85.1 ± 11.4
QT interval duration (ms)	495.1 ± 52.7	467.6 ± 50.5
QTc interval duration (ms)	435.5 ± 38.2	414.9 ± 31.9
T wave duration (ms)	126.36 ± 37.6	125.09 ± 30.1
T wave height (mV)	0.44 ± 0.05	0.59 ± 0.16
T (+) wave height (mV)	0.36 ± 0.11	0.29 ± 0.08
T (-) wave height (mV)	0.32 ± 0.27	0.49 ± 0.33
ST segment deviation (mV)	0.125 ± 0.049	0.146 ± 0.049

\*bpm = beats per minute; ms = milliseconds; mV = milivolts; P<sub>RA</sub> = first component of P bifida wave (right atrium); P<sub>LA</sub> = second component of P bifida wave (left atrium).

**TABELA 4**

	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C
Parameters*	1 to 2 years	2 to 3 years	> 3 years
	N = 7	N = 8	N = 7
Heart rate (bpm)	39.43 ± 7.85	44.81 ± 10.64	45.57 ± 12.77
P wave duration (ms)	126.29 ± 18.63 <sup>a</sup>	141 <sup>a</sup> ± 17.30 <sup>b</sup>	150 ± 9.45 <sup>b</sup>
P <sub>RA</sub> wave height (mV)	0.14 ± 0.33	0.15 ± 0.07	0.16 ± 0.44
P <sub>LA</sub> wave height (mV)	0.29 ± 0.05	0.33 ± 0.06	0.34 ± 0.04
PR interval (ms)	279.71 ± 60.83	286.75 ± 44.53	316.86 ± 30.13
QRS complex duration (ms)	111.75 ± 11.13	112 ± 10.20	118.57 ± 11.35
Q wave height (mV)	0.016 ± 0.020	0.038 ± 0.050	0.013 ± 0.024
R wave height (mV)	0.21 ± 0.14	0.27 ± 0.15	0.37 ± 0.13
S wave height (mV)	1.30 ± 0.81	1.60 ± 0.36	1.63 ± 0.37
S wave duration (ms)	79.75 ± 7.67	86 ± 12.54	92.29 ± 9.62
QT interval duration (ms)	469.43 ± 56.46	471.50 ± 58.05	504.57 ± 39.07
QTc interval duration (ms)	415.57 ± 39.78	421 ± 35.82	439.57 ± 32.59
T wave duration (ms)	115.50 ± 34.72	131.43 ± 34.87	131.71 ± 32.05
T wave height (mV)	0.54 ± 0.21	0.53 ± 0.12	0.44 ± 0.21
T (+) wave height (mV)	0.27 ± 0.08	0.29 ± 0.08	0.39 ± 0.09
T (-) wave height (mV)	0.35 ± 0.10	0.52 ± 0.56	0.38 ± 0.26
ST segment deviation (mV)	0.12 ± 0.04	0.14 ± 0.06	0.15 ± 0.04

\*bpm = beats per minute; ms = milliseconds; mV = milivolts; P<sub>RA</sub> = first component of P bifida wave (right atrium); P<sub>LA</sub> = second component of P bifida wave (left atrium).

<sup>a</sup>For the same letters there is no significantly difference (<0.05) in the same line.

#### **4. CAPÍTULO II\***

---

\* Artigo elaborado de acordo com as normas do periódico “**Acta Scientiae Veterinariae**” (Qualis B1, Fator de impacto: 0,337).

1 **Índices de Referências Ecocardiográficas de Equinos da Raça Quarto-de-Milha Atletas de**  
2 **Vaquejada\***

3 Camila Arrivabene Neves<sup>1</sup>, Renan Paraguassu de Sá Rodrigues<sup>1</sup>, Andrezza Braga Soares da  
4 Silva<sup>1</sup>, Laecio da Silva Moura<sup>2</sup> & Flávio Ribeiro Alves<sup>3</sup>

5  
6 \*Article based on a thesis submitted by the senior author in partial fulfillment of requirements for  
7 the Doctor's Degree. <sup>1</sup>Animal Science Post-Graduate Program, <sup>3</sup>Department of Veterinary  
8 Morphophysiology, Federal University of Piauí (UFPI), Teresina, PI, Brazil.  
9 CORRESPONDENCE: F.R. Alves [flavioribeiro@ufpi.edu.br]. Department of Veterinary  
10 Morphophysiology - UFPI. Bairro Ininga. CEP 64.049-550 Teresina, PI, Brazil.

11  
12 **RESUMO**

13  
14 **Introdução:** A ecocardiografia trata-se de um método diagnóstico cardiológico não invasivo que  
15 permite analisar estruturas do coração, mensurar dimensões e avaliar as funções das câmaras  
16 cardíacas. Métodos mais recentes permitem refinar essas análises, é o caso da ferramenta Doppler  
17 e *strain* e *strain rate*. Contudo, o uso dessas tecnologias no diagnóstico de alterações cardíacas e  
18 prováveis correlações clínicas só é possível quando já existe a padronização dos índices  
19 ecocardiográficos para um determinado grupo de indivíduos. O objetivo dessa pesquisa foi estudar  
20 a função cardiovascular de equinos da raça quarto-de-milha atletas de vaquejada, por meio de  
21 exames ecocardiográficos em modo B, M e Doppler e mensuração do *Strain* e *Strain Rate* por  
22 *Speckle Tracking*, a fim de caracterizar dados que possam servir de referência na prática clínica.

23 **Materiais, Métodos & Resultados:** Dezenove equinos saudáveis da raça quarto-de-milha foram  
24 submetidos ao exame ecocardiográfico nesse estudo. Os animais foram divididos em dois grupos  
25 quanto ao gênero, bem como em três grupos quanto ao tempo de prática esportiva em vaquejada.  
26 Foram mensuradas diversas variáveis para avaliação das funções sistólica e diastólica, bem como  
27 deformação miocárdica. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e, quando

28 significativos ( $P < 0.05$ ), as médias foram confrontadas pelo teste t Student e Kruskal-Wallis.  
29 Foram observadas correlações positivas e negativas das variáveis analisadas com parâmetros não  
30 identificados nesse estudo, assim como com idade e tempo de esporte, não houve diferença  
31 significativa entre as variáveis quanto ao gênero e, quanto ao tempo de prática esportiva notou-se  
32 aumento significativo do diâmetro do átrio esquerdo, fração de ejeção e fração de encurtamento  
33 nos animais que são atletas de vaquejada há mais tempo. **Discussão:** Os resultados demonstram  
34 valores médios bem próximos dos parâmetros observados para cavalos atletas de outras  
35 modalidades e mostram ainda que esse esporte é capaz de estimular a longo prazo alterações  
36 fisiológicas que remetem às mesmas alterações observadas nos corações atletas de seres humanos,  
37 não evidenciando alterações a níveis patológicos.

38 **Palavras-chave:** ultrasound, heart, myocardial function, *strain*, *speckle tracking*, horse, exercise.

39

40

## INTRODUÇÃO

41 A ecocardiografia trata-se de um método diagnóstico cardiológico não invasivo que  
42 consiste na aquisição de imagens bi e tridimensionais em tempo real, bem como obtenção de  
43 informações hemodinâmicas cardiovasculares através de ultrassons. Portanto, permite analisar  
44 estruturas do coração, mensurar dimensões e avaliar as funções das câmaras cardíacas, o que  
45 possibilita estudos para determinar valores de referência, assim como o diagnóstico de alterações  
46 cardiovasculares [Schwarzwalld, 2019]. Por sua relevância, a ecocardiografia tornou-se parte dos  
47 protocolos de avaliação cardiovascular na medicina humana há décadas [Feigenbaum, 1996] e tem  
48 seguido esse mesmo propósito no âmbito da medicina veterinária [Schwarzwalld, 2019].

49 Para aprimoramento do ecocardiograma foram desenvolvidas tecnologias como a  
50 ferramenta Doppler e suas diversas modalidades (contínuo, pulsátil, colorido, tecidual e power  
51 doppler), que permite a detecção e avaliação de estruturas em movimento, especialmente fluxo  
52 sanguíneo. Métodos mais recentes de ecodoppler permitem refinar a análise da função dos

53 ventrículos, é o caso do *strain* e *strain rate*, que são índices clínicos de deformação miocárdica  
54 regional e global que podem ser aferidos pela técnica do rastreamento de pontos (*speckle tracking*)  
55 através da ecocardiografia bidimensional [Geyer et al., 2010; Eberhardt, Mitchell & Schwarzwald,  
56 2020].

57 Contanto, o uso dessas tecnologias no diagnóstico de alterações cardíacas e prováveis  
58 correlações clínicas só é possível quando já existe a padronização dos índices ecocardiográficos  
59 para um determinado grupo de indivíduos. É sabido que fatores como: espécie, raça, gênero, idade,  
60 estado gestacional e condições climáticas alteram os padrões eletrocardiográficos e acredita-se que  
61 o mesmo ocorra nos exames ecocardiográficos [Macedo et al., 2017; Casa et al., 2018; Li et al.,  
62 2018].

63 O objetivo dessa pesquisa foi estudar a função cardiovascular de equinos da raça quarto-  
64 de-milha atletas de vaquejada, por meio de exames ecocardiográficos em modo B, M e Doppler e  
65 mensuração do *Strain* e *Strain Rate* por *Speckle Tracking*, a fim de caracterizar dados que possam  
66 servir de referência na prática clínica.

67

## 68 **MATERIAIS E MÉTODOS**

### 69 *Animais*

70 Dezenove equinos saudáveis da raça quarto-de-milha, provenientes de quatro haras  
71 distintos localizados no município de Teresina-Piauí, foram examinados nesse estudo. Os animais  
72 eram alimentados com ração comercial para equinos atletas duas vezes ao dia e volumoso três  
73 vezes ao dia, a água era fornecida *ad libitum*, bem como sal mineral. Pesavam entre 400 kg e 500  
74 kg e a faixa etária variou de 5 a 21 anos de idade. Todos os animais eram atletas de vaquejada há  
75 pelo menos um ano, com treinamento regular de no mínimo duas vezes por semana.

76 Os animais foram divididos quanto ao gênero e tempo que praticam o esporte vaquejada.  
77 De acordo com gênero os animais foram separados em dois grupos: machos (n = 10) e fêmeas (n

78 = 9). Quanto ao tempo de prática esportiva em vaquejada, os animais foram divididos em três  
79 grupos: animais que praticam há no mínimo 1 ano e no máximo 2 anos (n = 5), animais que  
80 praticam há no mínimo 2 anos e no máximo 3 anos (n = 7) e animais que praticam vaquejada há  
81 mais de 3 anos (n = 7).

82

### 83 *Critérios de Inclusão e Exclusão*

84 Indivíduos com histórico clínico e exame físico normais e que estavam há 24 horas em  
85 descanso foram incluídos no estudo. Para tanto foram realizadas ausculta cardíaca e respiratória,  
86 inspeção das mucosas oculares e orais, verificados tempo de perfusão capilar, pulso arterial e  
87 temperatura retal.

88 Animais com evidências de doenças sistêmicas, anormalidades cardiovasculares (sopros  
89 ou arritmias), ou qualquer grau de insuficiência valvar observada no ecocardiograma e animais  
90 que haviam treinado nas 24 horas antecedentes ao exame e/ou exibiram estresse excessivo durante  
91 o eletro e ecocardiograma foram excluídos das análises estatísticas.

92

### 93 *Standard Echocardiographic assessment*

94 Para a realização dos exames, fez-se tricotomia e limpeza na região torácica, na área da  
95 janela paraesternal direita (3° a 5° espaços intercostais), dorsal ao olécrano. Em seguida os animais  
96 foram contidos em tronco próprio para equinos, onde permaneceram em repouso durante toda a  
97 duração do exame. Foi feita a aplicação de álcool 70% e gel de contato para evitar a presença de  
98 ar e o membro anterior direito do animal foi posicionado um pouco à frente do membro  
99 contralateral para aquisição de boas imagens [Reef, 1998]. Deu-se preferência para ambientes  
100 tranquilos e sem muita luminosidade para a realização do ecocardiograma, não havendo  
101 necessidade de tranquilização química dos animais.

102 O exame ecocardiográfico transtorácico foi realizado utilizando-se um equipamento de  
103 ultrassonografia portátil<sup>1</sup>, acoplado a um transdutor setorial 3S-RS na frequência de 1,5 a 3,6  
104 MHz<sup>2</sup>. Foram obtidas imagens em modo B, M e Doppler para obtenção das mensurações padrões,  
105 por protocolos previamente estabelecidos para equinos [Reef, 1998].

106 Todos os exames foram realizados pelo mesmo examinador experiente (Ph.D. in diagnostic  
107 imaging from the State University of São Paulo, member of the Brazilian College of Veterinary  
108 Radiology and member and Scientific Director of the Brazilian Society of Veterinary Cardiology-  
109 PiauÍ State) e simultaneamente à monitorização eletrocardiográfica em DII.

110 Três ciclos cardíacos representativos foram analisados e a média foi calculada para cada  
111 variável, todas obtidas pela janela paraesternal direita. Foram realizadas imagens pelo corte  
112 paraesternal longitudinal direito da via de saída do ventrículo esquerdo e paraesternal transversal  
113 direito do ventrículo esquerdo a nível de músculo papilar, da valva mitral, da base cardíaca no  
114 nível da aorta e átrio esquerdo e no nível da artéria pulmonar.

115 No modo-M, foram mensurados em sístole (s) e diástole (d): a espessura do septo  
116 interventricular (IVST), a espessura da parede livre do ventrículo esquerdo (LVWT) e o diâmetro  
117 interno do ventrículo esquerdo (LVID); a partir dessas mensurações foram obtidos os valores da  
118 fração de encurtamento (FS%) e fração de ejeção (EF%) (Figura 1).

119 No modo 2D, em corte paraesternal transversal direito foram obtidos o diâmetro da valva  
120 aórtica (Ao), diâmetro do átrio esquerdo (LA) e relação átrio esquerdo/aorta (LA/Ao) (Figura 1).  
121 E em corte paraesternal longitudinal direito, foi mensurado o diâmetro da via de saída do ventrículo  
122 esquerdo no momento de abertura da valva aórtica (LVOTd) (Figura 1).

123 No modo Doppler de onda pulsada (PW), em corte paraesternal longitudinal direito da via  
124 de saída do ventrículo esquerdo, foi possível a obtenção do gráfico espectral velocidade-tempo do  
125 fluxo aórtico (com insonação na região do arco aórtico), determinando assim a velocidade máxima  
126 do fluxo sanguíneo aórtico (AVmax), a integral velocidade-tempo (Ao-VTI), o tempo de

127 relaxamento isovolumétrico (IVRT), mensurado desde o fechamento da válvula aórtica até a  
128 abertura da válvula mitral e o fluxo transmitral (E wave e A wave) (Figura 2). As relações E/A e  
129 E/IVRT foram derivadas automaticamente a partir das medidas previamente calculadas para  
130 ondas E e A da válvula mitral e IVTR.

131 Utilizando o Doppler tecidual do ventrículo esquerdo, em corte paraesternal longitudinal  
132 quatro câmaras, foram mensuradas as ondas E' e A'.

133 As velocidades do fluxo sanguíneo pulmonar (Pvmax) foram registradas com o Doppler  
134 PW, a partir do eixo curto (plano pulmonar), na janela paraesternal direita. O volume da amostra  
135 foi posicionado imediatamente após a válvula pulmonar (Figura 2).

136 A frequência cardíaca (HR) foi obtida para cada ciclo durante a aquisição automática pelo  
137 software na máquina, medindo-se a distância dos espectros de fluxo em Doppler pulsado da artéria  
138 pulmonar (Figura 2). A média de todos os batimentos cardíacos registrados durante o exame de  
139 cada animal foi definida como a HR. Os valores máximos e mínimos de HR também foram  
140 registrados.

141 O débito cardíaco (CO) foi medido pela multiplicação do volume sistólico pela frequência  
142 cardíaca.

143

#### 144 *Mensuração do strain por speckle tracking*

145 O exame ecocardiográfico foi realizado em todos os equinos sem sedação, com os animais  
146 em estação, utilizando equipamento de ultrassonografia portátil<sup>1</sup>, acoplado a um transdutor setorial  
147 3S-RS na frequência de 1,5 a 3,6 MHz, com registro simultâneo de um eletrocardiograma. As  
148 imagens foram armazenadas para análise off-line.

149 Para a realização do exame de *strain* por *speckle tracking* bidimensional, utilizou-se a  
150 janela paraesternal direita, para obtenção de uma imagem longitudinal quatro câmaras,  
151 ligeiramente modificada, de forma que o anel mitral fosse visível durante todo o ciclo

152 cardíaco. Devido ao tamanho do coração equino, nem sempre o ápice pôde ser visualizado ao  
153 longo do ciclo cardíaco no corte de quatro câmaras, apesar das adaptações da inclinação da imagem  
154 e angulação da sonda [Declodt et al., 2011]. Em todas as imagens, a largura do setor foi ajustada  
155 de modo a atingir uma taxa de quadros de pelo menos 40 quadros por segundo.

156 As análises foram realizadas no próprio aparelho, utilizando software AFI (*Automated*  
157 *Function Imaging*). Em cada imagem, 3 ciclos cardíacos foram analisados e então calculado a  
158 média. A diástole final foi definida como o pico da onda R no ECG. Para avaliar a deformação  
159 longitudinal da parede do ventrículo esquerdo (LV), foram analisadas as imagens paraesternal  
160 direita do eixo longo de quatro câmaras e a região de interesse (ROI) foi definida traçando-se a  
161 borda endocárdica do LV desde a inserção septal da valva mitral até o ponto de inserção na face  
162 lateral da parede miocárdica. A largura da ROI foi ajustada para cobrir a parede miocárdica, mas  
163 não o epicárdio e foi automaticamente dividido pelo software em 6 segmentos: parte basal  
164 (basSept), média (midSept) e apical (apSept) do septo interventricular, e parte basal (basLat),  
165 média (midLat) e apical (apLat) da parede livre.

166 Os segmentos da parede central foram corrigidos manualmente se não se ajustassem à  
167 largura da imagem. Na sequência, o programa selecionou automaticamente os *speckles* acústicos  
168 que eram rastreados ao longo do ciclo cardíaco na direção longitudinal e transversal (radial). Com  
169 base na qualidade do rastreamento, o software aprovou ou rejeitou os segmentos para análise  
170 posterior. Além disso, a qualidade do rastreamento foi avaliada por avaliação visual durante a  
171 reprodução de movimento. Se necessário, o ROI era ajustado e o rastreamento repetido até que a  
172 qualidade de rastreamento adequada fosse alcançada. Os segmentos foram excluídos se fossem  
173 rejeitados pelo software ou se o rastreamento fosse visualmente insuficiente.

174 O tempo de fechamento da valva aórtica (AVC) foi calculado automaticamente pelo  
175 algoritmo do software com base nas curvas segmentares. Os valores de deformação foram  
176 relatados pelo software como valores de pico sistólico ocorrendo antes do AVC e o valor de pico

177 máximo absoluto que também poderia ocorrer após o AVC calculado. A partir das curvas de  
178 deformação e deslocamento, a deformação segmentar máxima ou deslocamento foi medida e a  
179 deformação média sobre todos os segmentos foi calculada manualmente. A partir das curvas de  
180 taxa de deformação, sistólica segmentar.

181 Após a verificação da qualidade do rastreamento para todos os segmentos, a tela de análise  
182 de rastreamento foi exibida. Para o movimento longitudinal, as curvas de deformação (SL), taxa  
183 de deformação (SrL) e deslocamento (DL) foram exibidas. O tempo de fechamento da valva  
184 aórtica (AVC) foi calculado pelo software com base nas curvas SL de todos os segmentos do  
185 LV. Os valores de pico globais e médios foram determinados como medidas da função global do  
186 LV. Os valores globais foram calculados pelo software de todo o ROI como um único  
187 segmento. Esses valores não eram visíveis na tela de análise de traços, mas foram incluídos quando  
188 todos os dados foram exportados do software. Os valores médios foram calculados manualmente  
189 para todas as medições como a média dos valores segmentares. Foram analisados um total de 17  
190 segmentos do miocárdio para cada espécime e a média de valores foi utilizada para compor a  
191 análise estatística e obtenção do bull eyes (Figura 3) [Decloedt et al., 2011; Decloedt et al., 2013].

192

### 193 *Análises Estatísticas*

194 Os dados obtidos foram analisados utilizando o software *R*, versão 4.0.4., com prévia  
195 verificação da normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk. Os resultados obtidos foram  
196 apresentados em tabelas contendo média, desvio-padrão e intervalo de confiança de 95 % das  
197 variáveis analisadas. As probabilidades de correlações entre as variáveis e o gênero, idade, peso e  
198 tempo de esporte foram determinadas por regressão linear. Os dados originais ou transformados  
199 foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e, quando significativos ( $P < 0.05$ ), as médias  
200 foram confrontadas pelo teste t Student nos grupos de gênero e teste de Kruskal-Wallis nos grupos

201 de tempo de esporte. Para todas as análises estatísticas, o nível de significância considerado foi 5  
202 %.

203

## 204 **RESULTADOS**

205

206 Nesse estudo, 19 animais foram submetidos ao ecocardiograma. 100% dos animais não  
207 tinham histórico de disfunção cardíaca ou queda de desempenho atlético e apresentaram  
208 normalidade nos parâmetros aferidos ao exame clínico, bem como ritmo sinusal. A janela  
209 paraesternal direita foi suficiente para obtenção das imagens e mensuração de todos os elementos  
210 listados na tabela 1, onde observa-se a média geral com desvio padrão e valores de referência com  
211 intervalo de confiança de 95 % das variáveis ecocardiográficas bidimensionais, modos B, M e  
212 Doppler. Não foram observadas alterações patológicas nas estruturas visualizadas.

213 A tabela 2 expõe os resultados da análise de regressão linear múltipla para as variáveis  
214 avaliadas. Foi verificada a correlação entre a média de todas as variáveis com o gênero, idade,  
215 peso, tempo de esporte, ou alguma outra que não tenha sido pressuposta (intercept).

216 Com base nas médias obtidas, as seguintes variáveis apresentam correlação significativa  
217 ( $p < 0.05$ ) com algum parâmetro que não foi identificado nesse estudo, são elas: diâmetro da valva  
218 aórtica (Ao), diâmetro do átrio esquerdo (LA), espessura do septo interventricular em sístole  
219 (IVSTs), diâmetro interno do ventrículo esquerdo em diástole (LVIDd), diâmetro da via de saída  
220 do ventrículo esquerdo no momento de abertura da valva aórtica (LVOTd), fração de ejeção  
221 (EF%), fração de encurtamento (FS%), fluxo transmitral (A wave), tempo de relaxamento  
222 isovolumétrico (IVRT) e global longitudinal *strain* (GLS).

223 Houve correlação negativa ( $p < 0.05$ ) entre tempo de relaxamento isovolumétrico (IVRT)  
224 e a idade do animal ( $B = - 20.908$ ), entre E/E' e tempo de esporte ( $B = -2.299$ ) e E/IVRT e tempo  
225 de esporte ( $B = -0.210$ ). E correlação positiva ( $p < 0.05$ ) entre tempo de relaxamento

226 isovolumétrico (IVRT) e tempo que o animal pratica o esporte vaquejada ( $B = 21.515$ ), entre E/E'  
227 e a idade ( $B = 2.181$ ) e entre E/IVRT e a idade ( $B = 0.195$ ).

228 Quanto ao gênero, não foram encontradas diferenças significativas ( $p > 0.05$ ) em nenhuma  
229 das variáveis estudadas (Tabela 3).

230 Na tabela 4 estão a média e desvio padrão encontrados para cada variável ecocardiográfica  
231 por cada grupo de tempo de esporte. Nela é possível constatar que o diâmetro do átrio esquerdo  
232 (LA) é significativamente maior ( $p < 0.05$ ) nos animais do grupo C, que praticam vaquejada há  
233 mais de 3 anos, quando comparado aos animais dos grupos A e B, que praticam vaquejada há  
234 menos tempo. A frações de ejeção (EF%) e encurtamento (FS%) também são estatisticamente  
235 maiores ( $p < 0.05$ ) nos animais que praticam vaquejada há mais de dois anos, grupos B e C. As  
236 demais variáveis não apresentaram diferenças significativas entre esses grupos ( $p > 0.05$ ).

237

## 238 DISCUSSÃO

239

240 A ecocardiografia tem sido amplamente discutida na literatura veterinária, no entanto as  
241 espécies mais estudadas pertencem ao grupo dos pequenos animais domésticos, caninos e felinos  
242 [Strohm et al., 2018]. Para outras espécies domésticas ou na área de animais silvestres, as pesquisas  
243 são mais escassas e ainda buscam a padronização dos dados [da Silva et al., 2018; de Silva,  
244 Mihailovic & Toaldo, 2020].

245 Na medicina equina, a cardiologia como especialidade médica têm crescido, e isso tem se  
246 refletido em diversos estudos ecocardiográficos; contudo, por se tratar de uma espécie  
247 extremamente versátil e, como já mencionado, muitos fatores influenciam nos resultados de  
248 índices cardiológicos, ainda não se tem valores de referência para cada categoria equestre. Até o  
249 momento, já foram estudados possíveis padrões ecocardiográficos para cavalos atletas de sangue  
250 frio escandinavo [Fintl et al., 2020], cavalos de sangue quente [Berthoud & Schwarzwald, 2021],

251 de éguas em diferentes fases do período gestacional [Palma et al., 2019], cavalos de corrida durante  
252 o primeiro ano de treinamento [Gehlen & Schlaga, 2019] e várias outras categorias. Esses estudos,  
253 tão específicos, reforçam a importância da padronização de dados para cada grupo de indivíduos  
254 levando em consideração suas características em comum, nesse sentido, esse é o primeiro trabalho  
255 que descreve dados ecocardiográficos com o uso do *Strain* por *speckle tracking* em equinos da  
256 raça quarto-de-milha atletas de vaquejada.

257 Embora algumas pesquisas em equídeos mencionem que para obtenção de imagens  
258 ecocardiográficas de qualidade se faz necessário realizar o exame tanto pela janela paraesternal  
259 direita como esquerda, assim como é feito em pequenos animais [Gehlen & Schlaga, 2019; Strohm  
260 et al., 2018], observou-se nesse ensaio que apenas a janela paraesternal direita é suficiente para  
261 obtenção de todas as imagens requeridas para as mensurações das variáveis, sem  
262 comprometimento da qualidade. Esse mesmo protocolo já foi descrito por outros autores que  
263 também obtiveram sucesso na aquisição de imagens e dados utilizando apenas o lado direito do  
264 animal [Berthoud & Schwarzwald, 2021; Farag & Ibrahim, 2020].

265 A tabela 1 que contém a média e desvio padrão de todos os animais do estudo, bem como  
266 valores de referência com intervalo de confiança de 95 %, pode servir como base de dados para a  
267 cardiologia clínica dos equinos atletas de vaquejada e direcionamento de diagnósticos, uma vez  
268 que os animais examinados estavam hígidos, livres de quaisquer queixas clínicas e não foram  
269 observadas alterações patológicas nas estruturas cardíacas no decorrer dos exames realizados.

270 Estudos com cães já demonstraram que os índices ecocardiográficos podem ser afetados  
271 pelo peso, pela raça, pela idade e pelo treinamento físico [Stack et al., 2020; Vatne et al., 2021]. A  
272 tabela 2 mostra as correlações encontradas e ressalta a importância de ensaios ainda mais  
273 aprofundados sobre esse tema, haja vista muitas variáveis terem demonstrado que são dependentes  
274 de fatores ainda desconhecidos ou, é possível ainda que, o número de animais tenha sido  
275 insuficiente para detectar a correlação com os parâmetros que foram aqui sugeridos: gênero, idade,

276 peso e tempo de esporte. Contudo, foi suficiente para expressar algumas correlações intrigantes;  
277 positivas, como: entre IVRT e tempo de esporte, E/E' e a idade e entre E/IVRT e a idade; e  
278 correlações negativas entre IVRT e a idade, entre E/E' e tempo de esporte, e entre E/IVRT e tempo  
279 de esporte.

280 Observando bem esses resultados, a princípio acredita-se que haja uma contradição, pois  
281 imagina-se que quanto mais velho o animal, maior será o tempo de vida esportiva. No entanto, no  
282 presente estudo alguns animais examinados iniciaram no esporte bem jovens e outros com uma  
283 idade mais avançada, dessa forma nem sempre o animal mais velho era o que possuía mais tempo  
284 de esporte, não havendo, portanto, correlações diretas entre idade e tempo de esporte. Essa situação  
285 pode justificar os resultados obtidos com as análises estatísticas e levanta a hipótese de que o  
286 exercício físico contínuo pode compensar positivamente as alterações prejudiciais que decorrem  
287 com o passar da idade. Tal como, se o avanço da idade, por bem dizer envelhecimento, diminui o  
288 tempo de relaxamento isovolumétrico, causando prejuízo cardíaco, a prática esportiva constante  
289 promove o contrário, aumentando o IVRT. E levando-se em consideração que essas duas situações  
290 podem ocorrer simultaneamente, embora em proporções distintas, os malefícios advindos do  
291 avanço da idade seriam minimizados com a prática esportiva.

292 O tempo de relaxamento isovolumétrico (IVRT) é um índice que representa a fase de  
293 relaxamento do miocárdio logo após o pico sistólico, no período entre o fechamento da valva  
294 aórtica e a abertura da valva mitral, instante em que o LV inicia a diástole, porém sem alteração  
295 no seu volume sanguíneo; esse é um dado que tem utilidade na avaliação da função diastólica do  
296 LV [Schwarzwalld, 2019]. Essa variável apresentou correlação positiva com o tempo de esporte,  
297 ou seja, a cada ano que se aumenta de prática esportiva, aumenta-se o IVRT em 21.515 ms, mas  
298 também apresentou correlação negativa com a idade, isto é, a cada ano que o animal envelhece, o  
299 IVRT diminui em 20.908 ms (Tabela 2).

300 Em humanos um IVRT aumentado pode indicar apenas uma alteração de relaxamento, mas  
301 quando está menor que os valores de referência indica graus severos disfunção diastólica do LV,  
302 havendo diminuição da complacência ventricular [Otto, 2012]. Em acordo com a correlação  
303 encontrada nesse estudo, o IVRT prolongado no repouso é um achado normal em atletas humanos  
304 e considerado efeito do remodelamento cardíaco. Pesquisas em humanos que compararam atletas  
305 de diferentes esportes e pessoas sedentárias demonstraram que o IVRT foi significativamente  
306 maior em atletas de triathlon, corredores e ciclistas quando comparados a outros esportes, como  
307 maratona e futebol ou não atletas [Hoogsteen et al., 2004; Moro et al., 2013]. Já no momento do  
308 exercício físico intenso, o contrário pode ser observado; em virtude das alterações hemodinâmicas  
309 requeridas, no intuito de preservação do volume sistólico, aumenta-se a velocidade de enchimento  
310 diastólico precoce do LV (E wave), onde o sangue é rapidamente sugado do LA para o ápice do  
311 LV, diminuindo assim o IVTR [Baggish & Wood, 2011].

312 A variável  $E/E'$  representa a razão entre a velocidade diastólica E do fluxo mitral e a  
313 velocidade diastólica  $E'$  do anel mitral e, em humanos, consiste no melhor índice não invasivo  
314 para detectar elevação aguda da pressão de enchimento do ventrículo esquerdo (LV).  $E/IVRT$   
315 também é utilizado como índice predictor da pressão de enchimento do LV, porém, sendo mais  
316 sensível que a razão  $E/E'$ , sendo capaz de indicar a queda na pressão diastólica final do LV. Ambas  
317 as variáveis, quando aumentadas, indicam disfunção diastólica [Hoogsteen et al., 2004]. A mesma  
318 correlação positiva com a idade demonstrada nesse estudo, foi citada para humanos, que também  
319 verificou aumento de  $E/E'$  em pacientes com idade avançada [Ersbøll et al., 2014].  $E/E'$  e  $E/IVRT$   
320 embora não apresentem diferenças significativas entre os grupos avaliados, apresentaram  
321 correlação negativa com o tempo de esporte, diminuindo seus valores a cada ano de prática  
322 esportiva, e corroborando com um estudo em humanos que também não verificou diferenças  
323 estatísticas, mas indicou que atletas profissionais e de alta performance possuem um valor  $E/E'$   
324 mais baixo quando comparado a atletas recreativos [Dores et al., 2018]. Não foram encontrados

325 na literatura valores de referência de  $E/E'$  e  $E/IVRT$  para equinos, em qualquer raça ou  
326 modalidade.

327 Complementando as análises para diagnóstico de disfunção diastólica, além das variáveis  
328 supracitadas, deve-se avaliar ainda a relação  $E/A$ , que indica esse tipo de patologia quando se  
329 encontra diminuída ou quando há reversão dessa relação. Estudos em humanos já comprovaram  
330 que esse índice também pode estar correlacionado com a idade [Morais, Feijão & De Victória  
331 Pereira, 2021] inclusive com atletas [Knebel et al., 2009] e camundongos [Zhang et al., 2021] mais  
332 velhos; no entanto, não foi observado nesse estudo nenhuma correlação da razão  $E/A$  com tais  
333 parâmetros. Assim como não foram observadas correlações entre as demais variáveis, incluindo  
334 aquelas utilizadas para avaliação de disfunção sistólica ou deformação miocárdica.

335 Para todas as variáveis aqui analisadas, não houve diferenças significativas entre machos e  
336 fêmeas. Resultados semelhantes foram observados ao avaliar, por meio da ecocardiografia, os  
337 efeitos morfológicos e funcionais cardíacos de equinos após o exercício de polo [Bello et al., 2012]  
338 e em equinos saudáveis não submetidos a atividade física [Decloedt, 2020]. Tais resultados se  
339 justificam pelo fato de equinos adultos de mesma raça apresentarem pequena variação anatômica,  
340 resultando em uma fisiologia cardiovascular muito semelhante entre machos e fêmeas, refletindo  
341 diretamente nas variáveis mensuradas na presente pesquisa. Corroborando este fato, um estudo  
342 procurou caracterizar a morfologia de equinos atletas da raça Quarto de Milha, em diversos índices  
343 de conformação corporal e concluiu não haver diferenças significativas em nenhuma das  
344 características morfométricas ou conformação por decorrência do dimorfismo sexual, sendo,  
345 portanto, machos e fêmeas, morfologicamente iguais, o que reflete nas funções orgânicas tais como  
346 a função cardiovascular [Pimentel et al., 2011].

347 Quanto aos grupos por tempo de esporte, foram observadas diferenças significativas em  
348 três variáveis: LA, EF % e FS %.

349 A média geral para diâmetro do LA encontrada para equinos da raça Quarto-de-Milha  
350 esportistas de vaquejada foi de  $8.15 \pm 0.7$  cm (Tabela 1), bem maior que o investigado para cavalos  
351 de corrida puro sangue com média aproximada de  $4.98 \pm 0.36$  cm [Pinar & Sancak, 2018], e menor  
352 que a medida obtida em cavalos da raça mangalarga marchador,  $10.44 \pm 0.62$  cm [Latorre et al.,  
353 2016], e bem próximo do relatado para cavalos de tração  $7.59 \pm 0.88$  cm [Giannico et al., 2015].  
354 E, quando comparadas as médias entre os grupos de tempo de esporte (Tabela 4), o LA foi  
355 significativamente maior ( $p < 0.05$ ) nos animais do grupo C, que praticam vaquejada há mais de  
356 três anos. Essa variável está estreitamente relacionada ao diagnóstico de diferentes tipos de  
357 cardiomiopatias, incluindo arritmias supraventriculares e, mais especificamente, fibrilação atrial.  
358 E essas enfermidades, por sua vez, têm sido relatadas em atletas humanos, no entanto não se sabe  
359 ao certo se pelo exercício físico ou outros fatores como idade, atividade parassimpática ou fibrose  
360 atrial [D'Ascenzi et al., 2018; Gabrielli et al., 2012]. Nesse estudo o eletrocardiograma foi  
361 realizado em conjunto com o ecocardiograma, e não foram visualizadas arritmias de qualquer  
362 natureza em nenhum dos animais estudados.

363 Um número expressivo de pesquisas tem declarado aumento no diâmetro e  
364 conseqüentemente no volume do LA em grupos de atletas humanos de atividades que envolvem  
365 exercícios dinâmicos e estáticos combinados, em outras palavras, força e velocidade juntos, como  
366 o ciclismo [Moro et al., 2013; Pelliccia et al., 2005] e, como observado aqui, como a vaquejada.  
367 O aumento do LA já é um resultado esperado em esportistas e acredita-se que seja decorrente do  
368 aumento do LV; no entanto, a causa e os mecanismos exatos que envolvem essa modificação não  
369 estão, até o momento, completamente elucidados e deixam dúvidas se nos “corações atletas” essa  
370 é uma situação fisiológica ou patológica [Diaz et al., 2021].

371 As mensurações feitas a partir do LV, dimensões internas e espessura de septo e paredes,  
372 permitem cálculos que indicam a situação da função sistólica, entre os índices utilizados para essa  
373 avaliação estão fração de ejeção (EF %) e fração de encurtamento (FS %) [Schwarzwald, 2019].

374 A fração de ejeção representa o percentual de sangue que o ventrículo esquerdo ejeta para a aorta  
375 no momento de sístole, quando esse índice encontra diminuído, sugere-se uma insuficiência  
376 cardíaca. Já a fração de encurtamento corresponde a percentagem de alteração no diâmetro do  
377 ventrículo decorrente da sístole ventricular [Schwarzwald, 2019]. As médias gerais de EF % e FS  
378 % ( $67.2 \pm 6.86$  e  $39.48 \pm 6.48$ , respectivamente) encontradas nesse estudo (Tabela 1) são muito  
379 semelhantes às descritas para cavalos da mesma raça, porém sem especificação da modalidade  
380 esportiva [Bonomo et al., 2011], assim como aproximam-se das encontradas para cavalos de  
381 corrida puro sangue [Pinar & Sancak, 2018] e cavalos da raça mangalarga [Latorre et al., 2016].

382 Como já mencionado, fração de ejeção e fração de encurtamento foram os únicos índices  
383 analisados para avaliação da função sistólica que apresentaram diferenças significativas entre os  
384 grupos quanto ao tempo de esporte. Ambas foram maiores ( $p < 0.05$ ) nos grupos B e C (Tabela 4),  
385 nos quais estão incluídos os cavalos que competem vaquejada há mais de dois anos, ainda assim  
386 os valores são próximos dos encontrados na literatura anteriormente citada para cavalos de outras  
387 raças e aptidões. Em humanos, essas mesmas variáveis evidenciaram valores dentro da  
388 normalidade, porém estatisticamente maiores nos grupos de atletas, indicando que essa alteração  
389 pode ser consequência do remodelamento cardíaco que os exercícios físicos promovem [Albaeni,  
390 Davis & Ahmad, 2021; Ghorayeb et al., 2005].

391 Para todas as demais variáveis relacionadas às funções diastólica e sistólica não houve  
392 diferenças estatísticas entre os grupos de tempo de esporte, e os valores corroboram com os  
393 encontrados para cavalos *Standardbreds* [Gehlen & Schlaga, 2019], cavalos de corrida puro  
394 sangue [Pinar & Sancak, 2018],

395 A frequência cardíaca média (HR) observada nesse estudo foi de  $41,44 \pm 9,89$  bpm (Tabela  
396 1), não apresentou correlações com quaisquer outros parâmetros, nem diferenças significativas  
397 entre os grupos estudados ( $p > 0.05$ ). A média geral encontrada está dentro dos parâmetros normais  
398 estabelecidos para a espécie em repouso, assemelhando-se à HR encontrada em cavalos de salto

399 (40.20 ± 13,33 bpm) [Diniz et al., 2011], cavalos de enduro da raça puro sangue árabe (35,85 ±  
400 7,05 bpm) [Dumont et al., 2010], cavalos da raça mangalarga marchador (42.18 ± 1,65 bpm) [Diniz  
401 et al., 2008] e bem menor que a encontrada em cavalos de corrida puro sangue [Pinar & Sancak,  
402 2018].

403 Os resultados para *strain* longitudinal encontrados na presente pesquisa, 20 ± 1,72 %  
404 (Tabela 1), estão em acordo com os valores de referência para humanos [Truong et al., 2019] e  
405 cães [Santarelli et al., 2019], em que os valores são considerados normais acima de 18 %. Em  
406 pacientes humanos o *strain* longitudinal e o *strain rate* são considerados um importante indicador  
407 de disfunção miocárdica sutil [Ewe et al., 2015], nesse caso pode-se afirmar que os animais  
408 examinados não possuíam lesão miocárdica.

409

410

## CONCLUSÕES

411

412 A metodologia aplicada e resultados obtidos nessa pesquisa permitiram o estudo da função  
413 cardiovascular de equinos da raça quarto-de-milha atletas de vaquejada, possibilitando inclusive o  
414 emprego de métodos diagnósticos cardiológicos avançados como o uso do *Strain* e *Strain Rate* por  
415 *Speckle Tracking*.

416 Os valores alcançados em todas as variáveis consistem em dados que podem ser utilizados  
417 como valores normais de referência na cardiologia médica equina de um modo geral, mas em  
418 particular para esta categoria de indivíduos. Mostram ainda que a vaquejada é capaz de estimular  
419 a longo prazo alterações fisiológicas que remetem às mesmas alterações observadas nos corações  
420 atletas de seres humanos, porém sem evidenciar alterações a níveis patológicos.

421

## 422 MANUFACTURERS

423 <sup>1</sup>Vivid Iq 203, General Electrics (GE), Rio de Janeiro-RJ, Brazil.

424 **Referência do equipamento**

425

426 **Acknowledgments.** The authors thank the Diagnosis by Imaging Sector of the University  
427 Veterinary Hospital, Federal University of Piauí (UFPI). They also thank the Coordenação de  
428 Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the doctoral grant.

429

430 **Ethical approval.** The protocols used in this study were approved by the Committee on Ethics in  
431 Animal Experimentation – CEAA/UFPI (No. 633/20).

432

433 **Declaration of interest.** The authors report no conflicts of interest. The authors alone are  
434 responsible for the content and writing of paper.

435

## 436 REFERENCES

437

- 438 1. **Albaeni A., Davis J. W. & Ahmad M. 2021.** Echocardiographic evaluation of the Athlete's  
439 heart. *Echocardiography*. 38(6): 1002-1016.
- 440 2. **Baggish A.L.; Wood M.J. 2011.** Athlete's heart and cardiovascular care of the athlete:  
441 Scientific and clinical update. *Circulation*. 123: 2723–2735.
- 442 3. **Bello C.A., Dumont C., Souza T.C., Caniello N.T., Godoy R.F., Borges J.R.J. et al. 2012.**  
443 Echocardiographic evaluation of horses after exercise polo. *Pesquisa Veterinária Brasileira*.  
444 32(11): 1191-1195.
- 445 4. **Berthoud D. & Schwarzwald C.C. 2021.** Echocardiographic assessment of left ventricular  
446 size and systolic function in Warmblood horses using linear measurements, area-based indices,  
447 and volume estimates: A retrospective database analysis. *Journal of veterinary internal*  
448 *medicine*. 35(1): 504-520.

- 449 **5. Bonomo C.C.M., Michima L.E.S., Miyashiro P. & Fernandes W.R. 2011.**  
450 QUANTITATIVE ECHOCARDIOGRAPHY OF ATHLETIC QUARTER  
451 HORSES/Ecocardiografia quantitativa de equinos atletas da raça Quarto de Milha. *ARS*  
452 *veterinaria*. 27(4): 220-225.
- 453 **6. Casa G., Oliveira M.D., Regianini C.R., Lovatel M., Cancelier C.D.L., Xavier M.G.N.,**  
454 **Volpato J., Saito M.E. & Yonezawa L.A. 2018.** Características eletrocardiográficas de éguas  
455 da raça Crioula em diferentes fases do período gestacional. *Arquivo Brasileiro de Medicina*  
456 *Veterinária e Zootecnia*. 70: 1641-1644.
- 457 **7. D'Ascenzi F., Anselmi F., Focardi M., & Mondillo S. 2018.** Atrial enlargement in the  
458 athlete's heart: assessment of atrial function may help distinguish adaptive from pathologic  
459 remodeling. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 31(2): 148-157.
- 460 **8. da Silva L.M., de Sá R.P.R., da Silva A.B.S., Pessoa G.T., Sousa F.D.C.A., Alves J.D.J.R.P.**  
461 **et al. 2018.** Standard Echocardiography, Strain and Strain Rate by Two-Dimensional Speckle  
462 Tracking in Capuchin Monkey (*Cebus Apella*, Linnaeus, 1758). *Arq Bras Cardiol: Imagem*  
463 *cardiovasc*. 31(1): 4-13.
- 464 **9. Decloedt A., Ven S., De Clercq D., Rademakers F. & van Loon G. 2020.** Assessment of  
465 left ventricular function in horses with aortic regurgitation by 2D speckle tracking. *BMC*  
466 *veterinary research*. 16(1): 1-9.
- 467 **10. Decloedt A., Verheyen T., Sys S., De Clercq D., Van Loon G. 2013.** Two-dimensional  
468 speckle tracking for quantification of left ventricular circumferential and radial wall motion  
469 in horses. *Equine Veterinary Journal*. 45 (1): 47-55.
- 470 **11. Decloedt A, Verheyen T, Sys S, De Clercq D, Van Loon G. 2011.** Quantification of left  
471 ventricular longitudinal strain, strain rate, velocity, and displacement in healthy horses by 2-  
472 dimensional speckle tracking. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 25(2): 330-338.

- 473 **12. De Silva M., Mihailovic A. & Toaldo M.B. 2020.** Two-dimensional, M-mode, and Doppler  
474 echocardiography in 22 conscious and apparently healthy pet guinea pigs. *Journal of*  
475 *Veterinary Cardiology.* 27: 54-61.
- 476 **13. Diaz Babio G., Vera Janavel G., Constantin I., Masson G., Carrero C., Garcia Botta T.**  
477 **et al. 2021.** Atrial size and sports. A great training for a greater left atrium: how much is too  
478 much?. *The International Journal of Cardiovascular Imaging.* 37(3): 981-988.
- 479 **14. Diniz M.P., Michima L.E. & Fernandes W.R. 2011.** Estudo eletrocardiográfico de equinos  
480 de salto sadios. *Pesquisa Veterinária Brasileira.* 31: 355-361.
- 481 **15. Diniz M.P., Muzzi R.A.L., Muzzi L.A.L. & Alves G.E.S. 2008.** Estudo eletrocardiográfico  
482 de eqüinos da raça Mangalarga Marchador. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e*  
483 *Zootecnia.* 60(3): 536-542.
- 484 **16. Dores H., Mendes L., Dinis P., Cardim N., Monge J.C. & Santos J.F. 2018.** Myocardial  
485 deformation and volume of exercise: a new overlap between pathology and athlete's heart?.  
486 *The International Journal of Cardiovascular Imaging.* 34(12): 1869-1875.
- 487 **17. Dumont C.B.D.S., Leite C.R., Moraes J.M.D., Alves R.D.O., Godoy R. D.F. & Lima**  
488 **E.M.M.D. 2010.** Parâmetros eletrocardiográficos de equinos Puro Sangue Árabe submetidos  
489 a exercício prolongado de enduro. *Ciência Rural.* 40: 1966-1973.
- 490 **18. Eberhardt C., Mitchell K.J. & Schwarzwald C.C. 2020.** Quantification of left atrial wall  
491 motion in healthy horses using two-dimensional speckle tracking. *Journal of Veterinary*  
492 *Cardiology.* 30: 32-43.
- 493 **19. Ersbøll M., Andersen M.J., Valeur N., et al. 2014.** Early diastolic strain rate in relation to  
494 systolic and diastolic function and prognosis in acute myocardial infarction: a two-  
495 dimensional speckle-tracking study. *European heart journal.* 35(10): 648-656.
- 496 **20. Ewe S.H., Haecck M.L.A., NG A.C.T., Witkowski T.G., Auger D., Leong D.P., Abate E.,**  
497 **Marsan N.A., Holman E.R., Schaliij M.J., Jeroen J., Delgado B.V. 2015.** Detection of subtle

- 498 left ventricular systolic dysfunction in patients with significant aortic regurgitation and  
499 preserved left ventricular ejection fraction: speckle tracking echocardiographic analysis.  
500 *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 16(9): 992-999.
- 501 **21. Farag A.M. & Ibrahim H.M. 2020.** Reference Values and Repeatability of B-Mode and M-  
502 Mode Echocardiographic Parameters in Healthy Donkey (*Equus asinus*) - The Guide to Assess  
503 Healthy Heart. *Journal of Equine Veterinary Science*. 88: 102929.
- 504 **22. Feigenbaum H. 1996.** Evolution of echocardiography. *Circulation*. 93(7): 1321-1327.
- 505 **23. Fintl C., Krontveit R., Risberg Å., Hanche-Olsen S. & Slack J. 2020.** Two-dimensional,  
506 M-mode and left atrial velocity echocardiographic measurements in healthy Norwegian-  
507 Swedish Coldblooded Trotters. *Journal of Veterinary Cardiology*. 29: 60-73.
- 508 **24. Gabrielli L., Enríquez A., Córdova S., Yáñez F., Godoy I., & Corbalán R. 2012.**  
509 Assessment of left atrial function in hypertrophic cardiomyopathy and athlete's heart: a left  
510 atrial myocardial deformation study. *Echocardiography*. 29(8): 943-949.
- 511 **25. Gehlen H. & Schlaga A. 2019.** Echocardiographic Evaluation of Myocardial Function in  
512 Standardbreds During the First Year of Race Training. *Journal of equine veterinary Science*.  
513 80: 40-48.
- 514 **26. Geyer H., Caracciolo G., Abe H., Wilansky S., Carerj S., Gentile F., Nesser H.,**  
515 **Khandheria B., Narula J. & Sengupta P.P. 2010.** Assessment of myocardial mechanics  
516 using speckle tracking echocardiography: fundamentals and clinical applications. *Journal of*  
517 *the American Society of Echocardiography* 23(4): 351-369.
- 518 **27. Ghorayeb N., Batlouni M., Pinto I.M. & Dioguardi G.S. 2005.** Hipertrofia ventricular  
519 esquerda do atleta: resposta adaptativa fisiológica do coração. *Arquivos Brasileiros de*  
520 *Cardiologia*. 85(3): 191-197.

- 521 **28. Giannico A.T., Dornbusch P.T., Montiani-Ferreira F., Barros Filho I.R., Deconto I. &**  
522 **Oliveira S.T. 2015.** Medidas ecocardiográficas de cavalos de tração da região metropolitana  
523 de Curitiba-PR. *Semina: Ciências Agrárias*. 36(2): 827-838.
- 524 **29. Hoogsteen J., Hoogeveen A., Schaffers H., Wijn P.F.F., Van Hemel N.M. & Van Der Wall**  
525 **E.E. 2004.** Myocardial adaptation in different endurance sports: an echocardiographic study.  
526 *The international journal of cardiovascular imaging*. 20(1): 19-26.
- 527 **30. Knebel F., Schimke I., Schroeckh S., et al. 2009.** Myocardial function in older male amateur  
528 marathon runners: assessment by tissue Doppler echocardiography, speckle tracking, and  
529 cardiac biomarkers. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 22(7): 803-809.
- 530 **31. Latorre S.M., Bonomo C., Michima L.E., Hagen S.C. & Fernandes W.R. 2016.** Índices e  
531 dimensões ecocardiográficas de equinos da raça Mangalarga Marchador. *Pesquisa Veterinária*  
532 *Brasileira*. 36(6): 533-538.
- 533 **32. Li M., Chadda K.R., Matthews G.D., Marr C.M., Huang C.L.H. & Jeevaratnam K. 2018.**  
534 Cardiac electrophysiological adaptations in the equine athlete—Restitution analysis of  
535 electrocardiographic features. *Plos one*. 13(3): e0194008.
- 536 **33. Macedo L.P., Binda M.B., Teixeira F.A., Carvalho R.S., Conti L.M., Manso Filho H.C.,**  
537 **& Coelho C.S. 2017.** Electrocardiographic and blood parameters in show jumping horses  
538 submitted to a field test under tropical conditions. *Journal of Equine Veterinary Science*. 58:  
539 1-6.
- 540 **34. Morais H., Feijão A., & De Victória Pereira S. 2021.** Values of left ventricular diastolic  
541 function assessed by left atrial volumes and Doppler echocardiography in healthy Angolans:  
542 Effect of age and gender: A pilot study. *Journal of Clinical Ultrasound*. 49(8): 791-798.
- 543 **35. Moro A.S., Okoshi M.P., Padovani C.R., & Okoshi K. 2013.** Doppler echocardiography in  
544 athletes from different sports. *Medical science monitor: international medical journal of*  
545 *experimental and clinical research*. 19: 187.

- 546 **36. Otto C.M. 2012.** Função diastólica ventricular. In: *Ecocardiografia guia essencial*. 2.ed. Rio  
547 de Janeiro: Elsevier Brasil, pp.120-134.
- 548 **37. Palma J.M., de Sousa T.C., Caniello N.T. et al. 2019.** Echocardiographic evaluation of  
549 mares at different gestational ages. *Veterinary Medicine*. 70910: 900.
- 550 **38. Pelliccia A., Maron B.J., Di Paolo F.M. et al. 2005.** Prevalence and clinical significance of  
551 left atrial remodeling in competitive athletes. *Journal of the American College of Cardiology*.  
552 46(4): 690-696.
- 553 **39. Pimentel M.L., Camara F.V., Dantas R.A., Freitas Y.B., Dia R.G., Souza M.V. 2011.**  
554 Biometria de equinos de vaquejada no Rio Grande do Norte, Brasil. *Acta Veterinaria Brasilica*.  
555 4(4): 376-379.
- 556 **40. Pinar O. & Sancak A.A. 2018.** Effects of Different Heart Dimensions on Race Performance  
557 in Thoroughbred Race Horses. *Acta Scientiae Veterinariae*. 46(1): 7.
- 558 **41. Reef V.B. 1998.** Cardiovascular ultrasonography. In: *Equine diagnostic ultrasound*. London:  
559 WB Saunders, pp.580.
- 560 **42. Santarelli G., Toaldo M.B., Bouvard J., Glaus T.M., & Del Palacio J.F. 2019.** Variability  
561 among strain variables derived from two-dimensional speckle tracking echocardiography in  
562 dogs by use of various software. *American Journal of Veterinary Research*. 80(4): 347-357.
- 563 **43. Schwarzwald C.C. 2019.** Equine echocardiography. *Veterinary Clinics: Equine Practice*.  
564 35(1): 43-64.
- 565 **44. Stack J.P., Fries R.C., Kruckman L. & Schaeffer D.J. 2020.** Reference intervals and  
566 echocardiographic findings in Leonberger dogs. *Journal of Veterinary Cardiology*. 29: 22-32.
- 567 **45. Strohm L.E., Visser L.C., Chapel E.H., Drost W.T. & Bonagura J.D. 2018.** Two-  
568 dimensional, long-axis echocardiographic ratios for assessment of left atrial and ventricular  
569 size in dogs. *Journal of Veterinary Cardiology*. 20(5): 330-342.

- 570 **46. Truong V.T., Phan H.T., Pham K.N., Duong H.N., Ngo T.N., Palmer C. et al. 2019.** Normal  
571 ranges of left ventricular strain by three-dimensional speckle-tracking echocardiography in  
572 adults: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Society of*  
573 *Echocardiography*. 32(12): 1586-1597.
- 574 **47. Vatne L., Dickson D., Tidholm A., Caivano D. & Rishniw, M. 2021.** The effects of activity,  
575 body weight, sex and age on echocardiographic values in English setter dogs. *Journal of*  
576 *Veterinary Cardiology*. 37: 26-41.
- 577 **48. Zhang T.Y., Zhao B.J., Wang T., & Wang J. 2021.** Effect of aging and sex on cardiovascular  
578 structure and function in wildtype mice assessed with echocardiography. *Scientific reports*.  
579 11(1): 1-12.

580

581 **LEGENDAS**582 **Figuras**

583 Figura 1. Imagens ecocardiográficas em modos M e Bidimensional (2D) obtidas de equinos da  
584 raça Quarto-de-Milha atletas de vaquejada. (A) Visão ecocardiográfica padrão para avaliação do  
585 tamanho e função ventricular esquerda. Imagem em modo-M obtida em eixo curto paraesternal  
586 direito a nível de músculos papilares. (B) Imagem ecocardiográfica em corte paraesternal  
587 transversal direito da base cardíaca no nível da aorta e átrio esquerdo, no quarto espaço intercostal,  
588 em momento de diástole. Observa-se átrio esquerdo (LA) e artéria aorta (Ao), com seus folhetos  
589 valvares fechados. (C) Imagem representativa do diâmetro da via de saída do ventrículo esquerdo  
590 (LVOTd). Mostra a mensuração apropriada para LVOTd, com visualização precisa dos pontos de  
591 inserção da cúspide. Observa-se átrio esquerdo (LA), ventrículo esquerdo (LV) e artéria aorta (Ao),  
592 com seus folhetos valvares abertos.

593

594 Figura 2. Imagens Doppler ecocardiográficas obtidas de equinos da raça Quarto-de-Milha atletas  
595 de vaquejada. (A) Gráfico espectral velocidade-tempo do fluxo aórtico (com insonação na região  
596 do arco aórtico), determinando a velocidade máxima do fluxo sanguíneo aórtico (AVmax), tempo  
597 de relaxamento isovolumétrico (IVRT), mensurado desde o fechamento da válvula aórtica até a  
598 abertura da válvula mitral e frequência cardíaca (HR). (B) Integral velocidade-tempo (Ao-VTI).  
599 (C) Fluxo transmitral (E wave e A wave) e relação E/A.(D) Velocidades do fluxo sanguíneo  
600 pulmonar (PVmax) registradas com PW, em eixo curto (plano pulmonar), na janela paraesternal  
601 direita, com volume da amostra posicionado imediatamente após a válvula pulmonar.

602

603 Figura 3. Análise bidimensional do *speckle tracking* do LV. Telas de rastreamento representativas  
604 de deformação longitudinal em equinos da raça Quarto-de-Milha atletas de vaquejada.

605

## 606 **Tabelas**

607 Tabela 1. Média com desvio padrão e intervalo de confiança das variáveis ecocardiográficas  
608 bidimensionais, modos B, M e Doppler, observadas no ecocardiograma de 19 animais da raça  
609 Quarto-de-Milha (Teresina, Piauí, Brasil, 2021).

610

611 Tabela 2. Resultados da análise de regressão linear múltipla para variáveis ecocardiográficas  
612 bidimensionais, modos B, M e Doppler, observadas no ecocardiograma de 19 animais da raça  
613 Quarto-de-Milha (Teresina, Piauí, Brasil, 2021).

614

615 Tabela 3. Média, desvio padrão e resultados da análise estatística por gênero para variáveis  
616 ecocardiográficas bidimensionais, modos B, M e Doppler, observadas no ecocardiograma de 19  
617 animais da raça Quarto-de-Milha (Teresina, Piauí, Brasil, 2021).

618

619 Tabela 4. Média, desvio padrão e resultados da análise estatística por grupo de tempo de esporte  
620 para variáveis ecocardiográficas bidimensionais, modos B, M e Doppler, observadas no  
621 ecocardiograma de 19 animais da raça Quarto-de-Milha (Teresina, Piauí, Brasil, 2021).

ANEXOS DO CAPÍTULO II

FIGURA 1

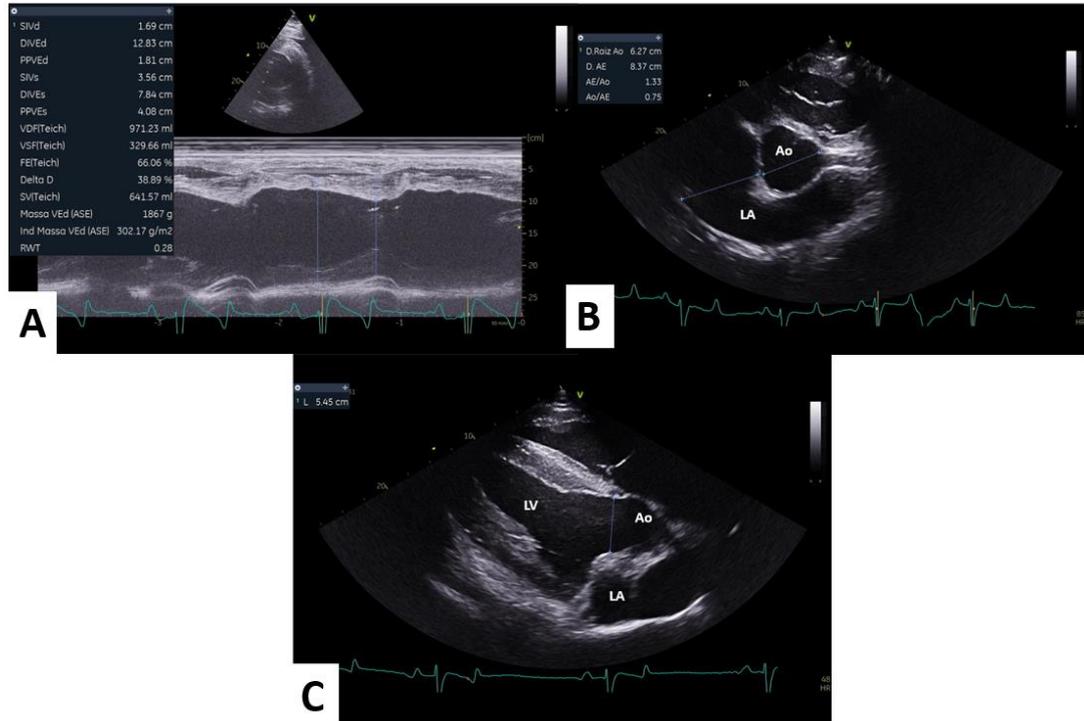


FIGURA 2

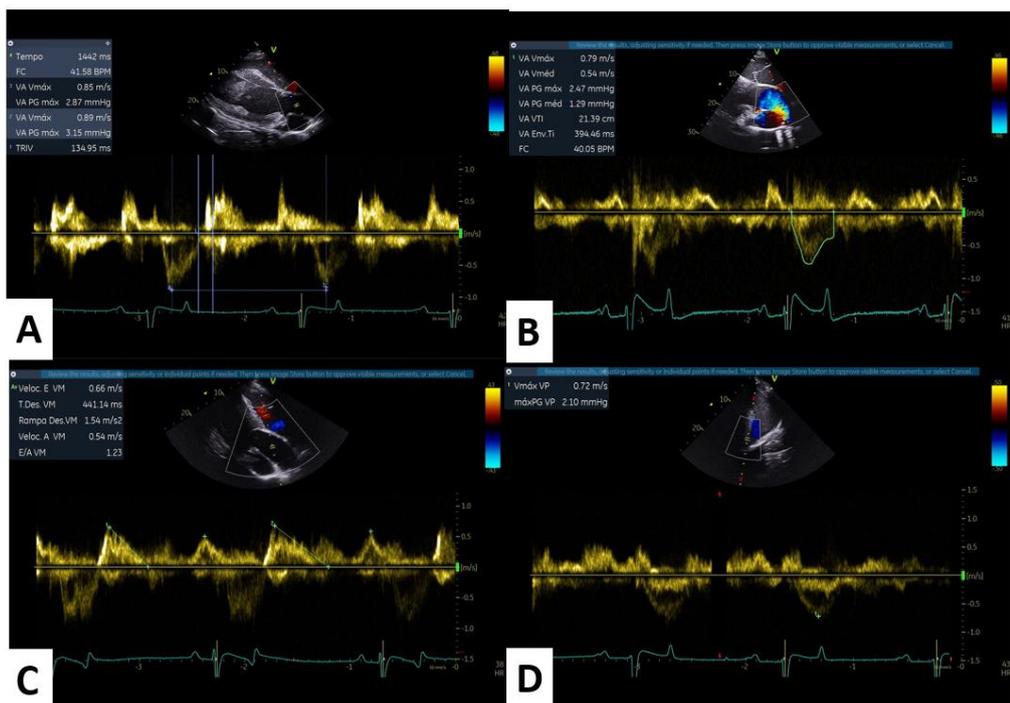
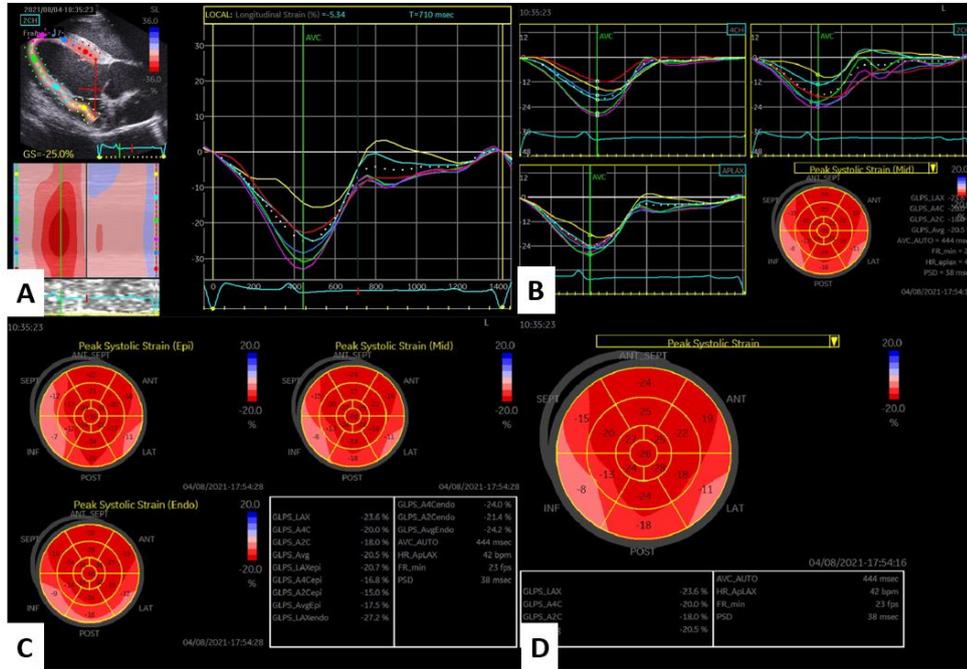


FIGURA 3



**TABELA 1**

Variable	Mean $\pm$ SD*	IC95%**
HR (bpm)	41,44 $\pm$ 9,89	36,67-46,2
Ao (cm)	6,58 $\pm$ 0,84	6,18-6,99
LA (cm) <sup>1</sup>	8,15 $\pm$ 0,7	7,8-8,5
LA/Ao <sup>1</sup>	1,25 $\pm$ 0,18	1,16-1,34
IVSTd (cm)	2,64 $\pm$ 0,96	2,18-3,11
IVSTs (cm)	3,97 $\pm$ 0,66	3,66-4,29
LVWTD (cm)	2,37 $\pm$ 0,61	2,08-2,67
LVWTS (cm)	3,94 $\pm$ 0,74	3,59-4,3
LVIDd (cm)	11,25 $\pm$ 1,23	10,65-11,84
LVIDs (cm)	6,93 $\pm$ 1,1	6,39-7,46
LVOTd (cm)	5,71 $\pm$ 0,53	5,46-5,96
EF (%)	67,2 $\pm$ 6,86	63,89-70,51
FS (%)	39,48 $\pm$ 6,48	36,36-42,61
E wave (cm/s)	64,84 $\pm$ 15,79	57,23-72,45
A wave (cm/s)	38,79 $\pm$ 15	31,56-46,01
AVmax (cm/s)	78,1 $\pm$ 15,28	70,74-85,46
Ao-VTI	22,75 $\pm$ 4,3	20,68-24,82
PVmax (cm/s)	81,88 $\pm$ 18,66	72,89-90,88
IVTR (ms)	111,99 $\pm$ 19,24	102,71-121,26
E' wave (cm/s)	0,08 $\pm$ 0,02	0,08-0,09
A' wave (cm/s)	0,07 $\pm$ 0,03	0,06-0,08
E/E'	8,04 $\pm$ 2,31	6,93-9,15
E/A	1,76 $\pm$ 0,39	1,58-1,95
E/IVRT	0,6 $\pm$ 0,2	0,5-0,7
CO (L/min)	23,78 $\pm$ 7,29	20,26-27,29
GLS (%)	20 $\pm$ 1,72	19,17-20,83

Source: Research database. \*SD - sample standard deviation. \*\*IC95% - confidence interval with 95% confidence level. <sup>(1)</sup> Analysis in 18 animals.

Ao, diameters of the aortic root 2D; LA, left atrium; LA/AO, ratio between the aorta and the left

atrium; IVSTd, interventricular septal thicknesses in diastole; IVSTs, interventricular septal thicknesses in systole; LVWTd, left ventricular free-wall thicknesses in diastole; LVWTs, left ventricular free-wall thicknesses in systole; LVIDd, left ventricular end-diastolic diameters, LVIDs, left ventricular end-systolic diameters; LVOTd, left ventricular outflow tract diameter; EF, ejection fraction; SF, shortening fraction; HR, heart rate; E wave, mitral early diastolic flow; A wave, mitral late diastolic flow; AVmax, aortic velocity peak; PVmax, flow velocity in the pulmonary artery; IVRT, isovolumetric relaxation time; E' wave, Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the early diastolic phase from left ventricle; A' wave, Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the late diastolic phase from left ventricle; E/E', ratio of E wave and Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the early diastolic phase from left ventricle; E/A, ratio of E wave and A wave; E/IVRT, ratio of E wave and IVRT; CO, cardiac output; GLS, global longitudinal strain.

**TABELA 2**

Variable	Parameters	<i>B</i>	Std. error	t	<i>p-value</i>
HR (bpm)	Intercept	-22,325	42,789	-0,522	0,610
	Gênero - macho	1,370	5,862	0,234	0,819
	Idade	1,525	4,388	0,347	0,733
	Peso	0,128	0,103	1,243	0,234
	Tempo de esporte	-1,960	4,419	-0,444	0,664
Ao (cm)	Intercept	9,572	3,792	2,525	0,024*
	Gênero - macho	0,287	0,519	0,553	0,589
	Idade	0,337	0,389	0,866	0,401
	Peso	-0,010	0,009	-1,076	0,300
	Tempo de esporte	-0,317	0,392	-0,809	0,432
LA (cm) <sup>1</sup>	Intercept	8,307	2,998	2,771	0,016 *
	Gênero - macho	0,128	0,395	0,324	0,751
	Idade	-0,422	0,302	-1,399	0,185
	Peso	0,002	0,007	0,339	0,740
	Tempo de esporte	0,481	0,306	1,571	0,140
LA/Ao <sup>1</sup>	Intercept	0,768	0,790	0,971	0,349
	Gênero - macho	-0,008	0,104	-0,079	0,939
	Idade	-0,134	0,080	-1,689	0,115
	Peso	0,002	0,002	1,117	0,284
	Tempo de esporte	0,143	0,081	1,773	0,100
IVSTd (cm)	Intercept	0,120	4,220	0,028	0,978
	Gênero - macho	0,556	0,578	0,962	0,352
	Idade	0,033	0,433	0,076	0,940
	Peso	0,004	0,010	0,419	0,682
	Tempo de esporte	-0,002	0,436	-0,005	0,996
IVSTs (cm)	Intercept	7,055	2,628	2,685	0,018*
	Gênero - macho	0,388	0,360	1,079	0,299

	Idade	0,033	0,269	0,123	0,904
	Peso	-0,008	0,006	-1,274	0,223
	Tempo de esporte	0,034	0,271	0,127	0,901
LVWTd (cm)	Intercept	0,323	2,847	0,114	0,911
	Gênero - macho	-0,216	0,390	-0,555	0,588
	Idade	-0,156	0,292	-0,533	0,602
	Peso	0,006	0,007	0,859	0,405
	Tempo de esporte	0,167	0,294	0,566	0,580
LVWTs (cm)	Intercept	3,607	3,050	1,183	0,257
	Gênero - macho	0,527	0,418	1,261	0,228
	Idade	0,103	0,313	0,328	0,748
	Peso	-0,001	0,007	-0,189	0,853
	Tempo de esporte	-0,037	0,315	-0,116	0,909
LVIDd (cm)	Intercept	12,944	5,233	2,474	0,027*
	Gênero - macho	-0,358	0,717	-0,499	0,626
	Idade	0,041	0,537	0,076	0,941
	Peso	-0,005	0,013	-0,391	0,702
	Tempo de esporte	0,093	0,540	0,171	0,867
LVIDs (cm)	Intercept	1,26299	4,87745	0,259	0,799
	Gênero - macho	-0,44528	0,6682	-0,666	0,516
	Idade	0,07373	0,5002	0,147	0,885
	Peso	0,01159	0,01175	0,986	0,341
	Tempo de esporte	-0,01521	0,50368	-0,03	0,976
LVOTd (cm)	Intercept	6,907	2,302	3,000	0,009*
	Gênero - macho	0,437	0,315	1,385	0,188
	Idade	0,311	0,236	1,319	0,208
	Peso	-0,006	0,006	-0,999	0,335
	Tempo de esporte	-0,328	0,238	-1,379	0,189
EF (%)	Intercept	96,820	30,336	3,192	0,006*

	Gênero - macho	4,828	4,156	1,162	0,265
	Idade	-0,013	3,111	-0,004	0,997
	Peso	-0,069	0,073	-0,942	0,362
	Tempo de esporte	-0,065	3,133	-0,021	0,984
FS (%)	Intercept	75,079	28,848	2,603	0,021*
	Gênero - macho	3,474	3,952	0,879	0,394
	Idade	0,002	2,958	0,001	0,999
	Peso	-0,081	0,070	-1,169	0,262
	Tempo de esporte	0,009	2,979	0,003	0,998
E wave (cm/s)	Intercept	139,013	66,122	2,102	0,054
	Gênero - macho	8,960	9,059	0,989	0,339
	Idade	8,460	6,781	1,248	0,233
	Peso	-0,231	0,159	-1,450	0,169
	Tempo de esporte	-9,566	6,828	-1,401	0,183
A wave (cm/s)	Intercept	180,411	57,570	3,134	0,007*
	Gênero - macho	-2,910	7,887	-0,369	0,718
	Idade	-0,734	5,904	-0,124	0,903
	Peso	-0,293	0,139	-2,109	0,053
	Tempo de esporte	0,227	5,945	0,038	0,970
AVmax (cm/s)	Intercept	89,740	71,245	1,260	0,228
	Gênero - macho	-2,871	9,760	-0,294	0,773
	Idade	0,783	7,307	0,107	0,916
	Peso	-0,023	0,172	-0,132	0,897
	Tempo de esporte	-1,379	7,357	-0,187	0,854
Ao-VTI	Intercept	10,860	19,150	0,567	0,580
	Gênero - macho	-1,542	2,624	-0,588	0,566
	Idade	1,479	1,964	0,753	0,464
	Peso	0,015	0,046	0,322	0,752
	Tempo de esporte	-1,450	1,978	-0,733	0,475

PVmax (cm/s)	Intercept	19,940	84,669	0,236	0,817
	Gênero - macho	-6,590	11,599	-0,568	0,579
	Idade	-6,412	8,683	-0,738	0,472
	Peso	0,204	0,204	0,997	0,335
	Tempo de esporte	5,612	8,744	0,642	0,531
IVTR (ms)	Intercept	261,743	59,423	4,405	<0,01*
	Gênero - macho	-15,759	8,141	-1,936	0,073
	Idade	-20,908	6,094	-3,431	<0,01*
	Peso	-0,137	0,143	-0,959	0,354
	Tempo de esporte	21,515	6,137	3,506	<0,01*
E' wave (cm/s)	Intercept	0,076	0,078	0,972	0,347
	Gênero - macho	-0,013	0,011	-1,264	0,227
	Idade	-0,014	0,008	-1,690	0,113
	Peso	0,000	0,000	0,783	0,447
	Tempo de esporte	0,013	0,008	1,662	0,119
A' wave (cm/s)	Intercept	0,063	0,119	0,533	0,602
	Gênero - macho	0,034	0,016	2,073	0,057
	Idade	0,011	0,012	0,939	0,364
	Peso	0,000	0,000	-0,368	0,718
	Tempo de esporte	-0,013	0,012	-1,041	0,315
E/E'	Intercept	17,324	8,794	1,970	0,069
	Gênero - macho	2,222	1,205	1,844	0,086
	Idade	2,181	0,902	2,418	0,029*
	Peso	-0,040	0,021	-1,878	0,081
	Tempo de esporte	-2,299	0,908	-2,531	0,024*
E/A	Intercept	-0,469	1,509	-0,311	0,761
	Gênero - macho	0,314	0,207	1,521	0,151
	Idade	0,257	0,155	1,664	0,118
	Peso	0,003	0,004	0,690	0,501

	Tempo de esporte	-0,276	0,156	-1,773	0,098
E/IVRT	Intercept	0,494	0,757	0,653	0,525
	Gênero - macho	0,177	0,104	1,704	0,111
	Idade	0,195	0,078	2,512	0,025*
	Peso	-0,001	0,002	-0,800	0,437
	Tempo de esporte	-0,210	0,078	-2,682	0,018*
CO (L/min)	Intercept	-17,347	29,452	-0,589	0,565
	Gênero - macho	3,450	4,035	0,855	0,407
	Idade	4,854	3,020	1,607	0,130
	Peso	0,048	0,071	0,681	0,507
	Tempo de esporte	-5,239	3,041	-1,723	0,107
GLS (%)	Intercept	20,313	7,792	2,607	0,021*
	Gênero - macho	-1,220	1,067	-1,143	0,272
	Idade	-0,269	0,799	-0,336	0,742
	Peso	0,003	0,019	0,163	0,873
	Tempo de esporte	0,259	0,805	0,322	0,752

Source: Research database. <sup>(1)</sup> Analysis in 18 animals.

Ao, diameters of the aortic root 2D; LA, left atrium; LA/AO, ratio between the aorta and the left atrium; IVSTd, interventricular septal thicknesses in diastole; IVSTs, interventricular septal thicknesses in systole; LVWTd, left ventricular free-wall thicknesses in diastole; LVWTs, left ventricular free-wall thicknesses in systole; LVIDd, left ventricular end-diastolic diameters, LVIDs, left ventricular end-systolic diameters; LVOTd, left ventricular outflow tract diameter; EF, ejection fraction; SF, shortening fraction; HR, heart rate; E wave, mitral early diastolic flow; A wave, mitral late diastolic flow; AVmax, aortic velocity peak; PVmax, flow velocity in the pulmonary artery; IVRT, isovolumetric relaxation time; E' wave, Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the early diastolic phase from left ventricle; A' wave, Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the late diastolic phase from left ventricle; E/E', ratio of E wave and Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the early diastolic phase from left ventricle; E/A, ratio of E wave and A wave; E/IVRT, ratio of E wave and IVRT; CO, cardiac output; GLS, global longitudinal strain.

**TABELA 3**

Variable	Male N = 10	Female N = 9
HR (bpm)	42.47 ± 12.54	40.28 ± 5.0
Ao (cm)	6.56 ± 0.86	6.61 ± 0.86
LA (cm)	8.33 ± 0.67	7.95 ± 0.68
LA/Ao	1.29 ± 0.19	1.20 ± 0.17
IVSTd (cm)	2.95 ± 1.13	2.31 ± 0.62
IVSTs (cm)	4.12 ± 0.80	3.81 ± 0.44
LVWTd (cm)	2.36 ± 0.72	2.39 ± 0.52
LVWTs (cm)	4.18 ± 0.94	3.67 ± 0.29
LVIDd (cm)	11.09 ± 1.08	11.42 ± 1.42
LVIDs (cm)	6.81 ± 1.05	7.05 ± 1.2
LVOTd (cm)	5.78 ± 0.57	5.63 ± 0.49
EF (%)	68.92 ± 6.31	65.29 ± 7.30
FS (%)	40.50 ± 6.71	38.35 ± 6.41
E wave (cm/s)	64.53 ± 8.72	65.18 ± 21.80
A wave (cm/s)	35.11 ± 6.44	42.87 ± 20.58
AV max (cm/s)	76.09 ± 20.07	80.3 ± 8.0
Ao-VTI	21.75 ± 3.23	23.86 ± 5.21
PVmax (cm/s)	81.7 ± 23.3	82.09 ± 13.09
IVTR (ms)	109.35 ± 21.41	114.93 ± 17.30
E' wave (cm/s)	0.08 ± 0.02	0.09 ± 0.02
A' wave (cm/s)	0.08 ± 0.04	0.06 ± 0.01
E/E'	8.15 ± 1.75	7.92 ± 2.91
E/A	1.86 ± 0.24	1.66 ± 0.50
E/IVRT	0.61 ± 0.17	16.44 ± 33.55
CO (L/min)	24.31 ± 9.30	23.18 ± 4.65
GLS (%)	19.51 ± 1.36	20.54 ± 1.99

Source: Research database.

Ao, diameters of the aortic root 2D; LA, left atrium; LA/AO, ratio between the aorta and the left atrium; IVSTd, interventricular septal thicknesses in diastole; IVSTs, interventricular septal thicknesses in systole; LVWTd, left ventricular free-wall thicknesses in diastole; LVWTs, left

ventricular free-wall thicknesses in systole; LVIDd, left ventricular end-diastolic diameters, LVIDs, left ventricular end-systolic diameters; LVOTd, left ventricular outflow tract diameter; EF, ejection fraction; SF, shortening fraction; HR, heart rate; E wave, mitral early diastolic flow; A wave, mitral late diastolic flow; AVmax, aortic velocity peak; PVmax, flow velocity in the pulmonary artery; IVRT, isovolumetric relaxation time; E' wave, Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the early diastolic phase from left ventricle; A' wave, Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the late diastolic phase from left ventricle; E/E', ratio of E wave and Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the early diastolic phase from left ventricle; E/A, ratio of E wave and A wave; E/IVRT, ratio of E wave and IVRT; CO, cardiac output; GLS, global longitudinal strain.

**TABELA 4**

Variable	A Group N=5	B Group N=7	C Group N=7
HR (bpm)	45,39 ± 14,68	41,74 ± 8,77	38,30 ± 6,92
Ao (cm) <sup>1</sup>	6,31 ± 1,19	6,66 ± 0,53	6,70 ± 0,88
LA (cm) <sup>1</sup>	7,65 ± 0,77 <sup>a</sup>	7,86 ± 0,51 <sup>a</sup>	8,73 ± 0,44 <sup>b</sup>
LA/Ao	1,21 ± 0,28	1,19 ± 0,10	1,33 ± 0,19
IVSTd (cm)	2,71 ± 1,72	2,49 ± 0,47	2,76 ± 0,72
IVSTs (cm)	3,45 ± 0,58	4,11 ± 0,67	4,21 ± 0,56
LVWTd (cm)	2,38 ± 0,71	2,31 ± 0,31	2,44 ± 0,83
LVWTs (cm)	3,49 ± 0,44	3,84 ± 0,48	4,37 ± 0,93
LVIDd (cm)	10,58 ± 1,13	11,52 ± 0,90	11,45 ± 1,55
LVIDs (cm)	7,52 ± 0,75	6,60 ± 1,18	6,83 ± 1,20
LVOTd (cm)	5,63 ± 0,37	5,79 ± 0,52	5,69 ± 0,68
EF (%)	60,98 ± 1,99 <sup>a</sup>	70,64 ± 8,13 <sup>b</sup>	68,21 ± 5,03 <sup>b</sup>
FS (%)	33,18 ± 2,51 <sup>a</sup>	42,96 ± 7,48 <sup>b</sup>	40,52 ± 4,16 <sup>b</sup>
E wave (cm/s)	59,72 ± 11,58	74,83 ± 19,72	58,50 ± 9,22
A wave (cm/s)	41,49 ± 22,93	43,22 ± 15,31	32,43 ± 3,68
AVmax (cm/s)	91 ± 16,63	78,84 ± 10,98	68,14 ± 11,84
Ao-VTI	26,3 ± 3,51	21,14 ± 4,71	21,83 ± 3,23
PVmax (cm/s)	92,2 ± 23,99	81,43 ± 19,78	74,97 ± 11,17
IVTR (ms)	109,98 ± 23,14	108,26 ± 20,54	117,16 ± 16,76
E' wave (cm/s)	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,07 ± 0,01
A' wave (cm/s)	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,04	0,06 ± 0,02
E/E'	7,59 ± 2,29	8,33 ± 2,96	8,08 ± 1,86
E/A	1,68 ± 0,60	1,77 ± 0,28	1,82 ± 0,35
E/IVRT	0,58 ± 0,24	0,71 ± 0,21	0,51 ± 0,11
CO (L/min)	29,57 ± 10,26	22,53 ± 5,72	20,90 ± 4,15
GLS (%)	19,52 ± 2,18	20,50 ± 2,07	19,84 ± 0,97

Source: Research database. <sup>(1)</sup> Analysis in 18 animals.

Ao, diameters of the aortic root 2D; LA, left atrium; LA/AO, ratio between the aorta and the left atrium; IVSTd, interventricular septal thicknesses in diastole; IVSTs, interventricular septal thicknesses in systole; LVWTd, left ventricular free-wall thicknesses in diastole; LVWTs, left

ventricular free-wall thicknesses in systole; LVIDd, left ventricular end-diastolic diameters, LVIDs, left ventricular end-systolic diameters; LVOTd, left ventricular outflow tract diameter; EF, ejection fraction; SF, shortening fraction; HR, heart rate; E wave, mitral early diastolic flow; A wave, mitral late diastolic flow; AVmax, aortic velocity peak; PVmax, flow velocity in the pulmonary artery; IVRT, isovolumetric relaxation time; E' wave, Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the early diastolic phase from left ventricle; A' wave, Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the late diastolic phase from left ventricle; E/E', ratio of E wave and Pulsed-wave tissue Doppler imaging of the early diastolic phase from left ventricle; E/A, ratio of E wave and A wave; E/IVRT, ratio of E wave and IVRT; CO, cardiac output; GLS, global longitudinal strain.

<sup>a</sup>For the same letters there is no significantly difference (<0.05) in the same line.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo possibilitou uma avaliação aprofundada da função cardiovascular de equinos da raça quarto-de-milha atletas de vaquejada, de forma a caracterizar dados eletro e ecocardiográficos que podem servir de referência na rotina da clínica médica de equídeos, em especial a essa categoria de indivíduos.

Os resultados aqui obtidos são de suma importância para que avaliações cardiológicas sejam implementadas na prática clínica e com isso consiga-se o diagnóstico precoce de cardiopatias de modo a evitar quedas de desempenho atlético bem como mortes súbitas nas pistas de competição.

Vale ressaltar que os exames foram realizados com os animais livres de queixas clínicas e sob repouso mínimo de 24 horas, com o intuito de estabelecer padrões fisiologicamente normais, sem que os animais fossem submetidos a qualquer estresse. Há muitos relatos científicos demonstrando que os valores estudados podem sofrer alterações significativas quando mensurados durante ou imediatamente após o exercício físico. Não obstante, é interessante que, em outro momento, quando os valores de referência em repouso estiverem bem estabelecidos, também sejam definidos os parâmetros imediatamente após às corridas de vaquejada, a fim de verificar aqueles que, mesmo alterados, permanecem dentro da normalidade, constituindo assim valores de referência durante e logo após o exercício.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABMA, E.; STOCK, E.; DE SPIEGELAERE, W. et al. Power Doppler ultrasound and contrast-enhanced ultrasound demonstrate non-invasive tumour vascular response to anti-vascular therapy in canine cancer patients. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2019.
- AHMAD, T.; ALI, W.; AHMAD, K. et al. 423: Pus or water: a case of severe mitral regurgitation leading to right-sided pulmonary edema. **Critical Care Medicine**, v. 50, n. 1, p. 201, 2022.
- BANCROFT, J. D.; GAMBLE, M. **Theory and practice of histological techniques**. Elsevier Health Sciences, 2008.
- BILLMAN, G. E. et al. Exercise training-induced bradycardia: evidence for enhanced parasympathetic regulation without changes in intrinsic sinoatrial node function. **Journal of Applied Physiology**, v. 118, n. 11, p. 1344-1355, 2015.
- BOMFIM, M.M.; SATTIN, W.R.; CARVALHO, S.F. et al. Physical and electrocardiographic evaluation of horses used for wagon traction. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, p. 371-376, 2017.
- BUHL, R.; ERSBØLL, A. K. Echocardiographic evaluation of changes in left ventricular size and valvular regurgitation associated with physical training during and after maturity in Standardbred trotters. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 240, n. 2, p. 205-212, 2012.
- CARVALHO, C. F., CHAMMAS, M. C., CERRI, G. G. Princípios físicos do Doppler em ultrassonografia. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 872-879, 2008
- CASA, G.; OLIVEIRA, M.D.; REGIANINI, C.R. et al. Características eletrocardiográficas de éguas da raça Crioula em diferentes fases do período gestacional. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, p. 1641-1644, 2018.
- CHOPE, K. B. Cardiac/Cardiovascular Conditions Affecting Sport Horses. **Veterinary Clinics: Equine Practice**, v. 34, n. 2, p. 409-425, 2018.
- CONTI, C. R. **Sistema Cardiovascular-Volume 8: Coleção Netter de Ilustrações Médicas**. Elsevier Brasil, 2015.
- CRANDALL, C. G.; WILSON, T. E. Human cardiovascular responses to passive heart stress. **Comprehensive Physiology**, v. 5, n. 1, p. 17, 2015.
- DE CARVALHO STUDART, P. C.; BELÉM, L. H. J.; RABISCHOFFSKI, A. et al. O Doppler Tecidual na Avaliação da Função Diastólica Regional do Ventrículo Esquerdo: Seu valor na detecção das alterações precoces e no entendimento da evolução da disfunção em pacientes com função sistólica normal. **Revista da SOCERJ**, 2006.

- DE SANTANA GORDILHO H.J. & FIGUEIREDO F.J.G. A vaquejada à luz da Constituição Federal. **Revista de Biodireito e Direito dos Animais**, v.2, n. 2, p. 78-96, 2016.
- DECLOEDT, A. et al. Atrial fibrillation in horses part 1: Pathophysiology. **The Veterinary Journal**, v. 263, p. 105521, 2020.
- DROST, W. T. Física do Ultrassom. **Diagnóstico de Radiologia Veterinária**, v. 1, p. 38, 2014.
- EBERHARDT, C.; MITCHELL, K. J.; SCHWARZWALD, C. C. Quantification of left atrial wall motion in healthy horses using two-dimensional speckle tracking. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 30, p. 32-43, 2020.
- EINTHOVEN, W. The string galvanometer and the measurement of the action currents of the heart. **Nobel Lecture**. v. 11, 1925.
- EISENBERG, R. L. **Radiology: an illustrated history**. Mosby Incorporated, 1992.
- EVANS, D. H.; JENSEN, J. A.; NIELSEN, M. B. Ultrasonic colour Doppler imaging. **Interface Focus**, p.1-13, 2011.
- EYNARD, A. R.; VALENTICH, M. A.; ROVASIO, R. A. **Histologia e Embriologia Humanas: Bases Celulares e Moleculares**. Artmed Editora, 2011.
- FEIGENBAUM, H. Evolution of echocardiography. **Circulation**, v. 93, n. 7, p. 1321-1327, 1996.
- FELDMAN, J.; GOLDWASSER, G.P. Eletrocardiograma: recomendações para a sua interpretação. **Revista da SOCERJ**, v. 17, n. 4, p. 251-256, 2004.
- GALDERISI, M.; CARDIM, N., D'ANDREA, A. et al. The multi-modality cardiac imaging approach to the Athlete's heart: an expert consensus of the European Association of Cardiovascular Imaging. **European Heart Journal-Cardiovascular Imaging**, v. 16, n. 4, p. 353-353r, 2015.
- GASPAR, A.; AZEVEDO, P.; RONCON-ALBUQUERQUE, R. Avaliação hemodinâmica não invasiva por ecocardiograma Doppler. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 30, p. 385-393, 2018.
- GEYER, H.; CARACCILO, G.; ABE, H. et al. Assessment of myocardial mechanics using speckle tracking echocardiography: fundamentals and clinical applications. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 23, n. 4, p. 351-369, 2010.
- HALL, M. E.; YANES, L.; LONG, R. C. et al. Hormones of the Cardiovascular System. **Endotext [Internet]**, 2015.
- HALL, J. E.; GUYTON, A. C. **Perguntas E Respostas Em Fisiologia**. Elsevier Brasil, 2017.
- HAMPER, U. M.; DEJONG, M. R.; CASKEY, C. I. et al. Power Doppler imaging: clinical experience and correlations with color doppler US and other imaging modalities. **Imaging and Therapeutic Technology**, v. 17, p. 499-513, 1997.

- HERRING, N.; PATERSON, D. J. **Levick's Introduction to Cardiovascular Physiology**. CRC Press, 2018.
- KLEIN, B. G. **Cunningham tratado de fisiologia veterinária**. Elsevier Brasil, 2015.
- KOENIG, T. R.; MITCHELL, K. J.; SCHWARZWALD, C. C. Echocardiographic Assessment of Left Ventricular Function in Healthy Horses and in Horses with Heart Disease Using Pulsed-Wave Tissue Doppler Imaging. **Journal of veterinary internal medicine**, v. 31, n. 2, p. 556-567, 2017.
- KÖNIG, H. E.; LIEBICH, H. **Anatomia dos Animais Domésticos-: Texto e Atlas Colorido**. Artmed Editora, 2016.
- LIGHTFOOT, G. et al. An echocardiographic and auscultation study of right heart responses to training in young national hunt thoroughbred horses. **Equine Veterinary Journal**, v. 38, n. S36, p. 153-158, 2006.
- LI, M.; CHADDA, K.R.; MATTHEWS, G.D. et al. Cardiac electrophysiological adaptations in the equine athlete—Restitution analysis of electrocardiographic features. **Plos one**, v. 13, n. 3, p. e0194008, 2018.
- LYLE, C. H. et al. Sudden death in racing Thoroughbred horses: an international multicentre study of post mortem findings. **Equine veterinary journal**, v. 43, n. 3, p. 324-331, 2011.
- MCCANN, M. T., OZOLEK, J. A., CASTRO, C. A. et al. Automated histology analysis: Opportunities for signal processing. **IEEE Signal Processing Magazine**, v. 32, n. 1, p. 78-87, 2015
- MACEDO, L.P.; BINDA, M.B.; TEIXEIRA, F.A. et al. Electrocardiographic and blood parameters in show jumping horses submitted to a field test under tropical conditions. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 58, p. 1-6, 2017.
- MANGGE, H. Beyond Cholesterol-New Cardiovascular Biomarkers. In: **Next-Generation Nutritional Biomarkers to Guide Better Health Care**. Karger Publishers, p. 81-88, 2016.
- MARR, C.M.; BOWEN, I.M. **Cardiology of the horse**. 2 ed. London: Saunders, 2010. 294 p.
- MARTIN, M. **Small animal ECGs – Na Introductory Guide**. 2 ed. Copenhagen: Blackell Publishing Ltd. 2010.
- MARTIN, B.B.; REEF, V.B.; PARENTE, E.J. et al. Causes of poor performance of horses during training, racing, or showing: 348 cases (1992-1996). **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 216, p. 554-558, 2000.
- NAVAS DE SOLIS, C. Exercising arrhythmias and sudden cardiac death in horses: Review of the literature and comparative aspects. **Equine veterinary journal**, v. 48, n. 4, p. 406-413, 2016.

- OTTO, C. M.; SCHWAEGLER, R.G.; FREEMAN, R.V. **Ecocardiografia: guia essencial**. 2 eds. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- PEIXOTO, A. B.; BRAVO-VALENZUELA, N. J.; ROCHA, L. A. et al. Doppler espectral, Doppler tecidual e speckle-tracking para avaliação da função cardíaca fetal: uma revisão atualizada. **Radiologia Brasileira**, v. 54, n. 2, p. 99-106, 2021.
- PIVETA, R. B.; RODRIGUES, A. C. T.; LIRA FILHO, E. B. D. et al. Limitações do Doppler tecidual na avaliação da função diastólica em Idosos. **Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc**, v. 27, n. 3, p. 184-90, 2014.
- POOLE, D. C.; ERICKSON, H. H. Highly athletic terrestrial mammals: horses and dogs. **Compr Physiol**, v. 1, n. 1, p. 1-37, 2011.
- POPESCU, B. A.; GINGHINA, C. Ecocardiografia Doppler. **Ecocardiografia Doppler**, v. 1, p. 273-298, 2011.
- REEF, V. B. et al. Recommendations for management of equine athletes with cardiovascular abnormalities. **Journal of veterinary internal medicine**, v. 28, n. 3, p. 749-761, 2014.
- RODRIGUES, R. P. D. S.; PESSOA, G. T.; DA SILVA MOURA, L. et al. Standard Strain and Strain Rate by Two-Dimensional Speckle Tracking in Agoutis (*Dasyprocta prymnolopha*) Anesthetized with Ketamine and Xylazine. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 45, p. 1-12, 2017.
- SANTARELLI, G.; BARON TOALDO, M.; BOUVARD, J. et al. Variability among strain variables derived from two-dimensional speckle tracking echocardiography in dogs by use of various software. **American journal of veterinary research**, v. 80, n. 4, p. 347-357, 2019.
- SCHWARZ, L. Artigo de revisão: eletrocardiograma. **Revista Ilha Digital**, v. 1, p. 3-19, 2009.
- SCHWARZWALD, C.C. Equine echocardiography. **Veterinary Clinics: Equine Practice**, v. 35, n. 1, p. 43-64, 2019.
- SHAVE, R.; HOWATSON, G., DICKSON, D. et al. Exercise-induced cardiac remodeling: lessons from humans, horses, and dogs. **Veterinary sciences**, v. 4, n. 1, p. 9, 2017.
- SILVA, C. E. S. Uso Adequado das Novas Diretrizes de Função Diastólica na Avaliação de Atletas. Nem Sempre é o que Parece Ser. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 115, p. 134-138, 2020.
- SLEEPER, M. M. et al. Comparison of echocardiographic measurements in elite and nonelite Arabian endurance horses. **American journal of veterinary research**, v. 75, n. 10, p. 893-898, 2014.
- SOARES, J. L. M.; ROSA, D. D.; LEITE, V. R. S. et al. **Métodos diagnósticos: consulta rápida**. Artmed Editora, 2009.
- SOUSA, M.G. Sistema Cardiovascular. In: Feliciano, M.A.R.; Canola J.C.; Vicente W.R.R. (Eds.). **Diagnóstico por imagem em cães e gatos**. 4 ed. São Paulo: MedVet, 2015.

THALER, M.S. **ECG essencial: eletrocardiograma na prática diária**. 5 ed. 336 p. Porto Alegre: Artmed, 2008.

THRALL, D. **Diagnóstico de radiologia veterinária**. Elsevier Brasil, 2014.

THRALL, D. E. **Textbook of veterinary diagnostic radiology**. Elsevier Health Sciences, 2013.

TORRENT-GUASP, F.; BUCKBERG, G. D.; CLEMENTE, C. et al. The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. I. The normal macroscopic structure of the heart. In: **Seminars in thoracic and cardiovascular surgery**. WB Saunders, 2001. p. 301-319.

TRUONG, V. T., PHAN, H. T., PHAM, K. N.. et al. Normal ranges of left ventricular strain by three-dimensional speckle-tracking echocardiography in adults: a systematic review and meta-analysis. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 32, n. 12, p. 1586-1597. e5, 2019.

VASAN, R. S. Biomarkers of cardiovascular disease. **Circulation**, v. 113, n. 19, p. 2335-2362, 2006.

WIJNBERG, I. D.; FRANKLIN, S. H. The heart remains the core: cardiac causes of poor performance in horses compared to human athletes. **Comparative Exercise Physiology**, v. 13, n. 3, p. 149-174, 2017.