



APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA MENSURAÇÃO DO VERTEBRAL HEART SIZE (VHS) EM CÃES

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE MEASUREMENT OF VERTEBRAL HEART SIZE (VHS) IN DOGS

Gabrielle Duarte Nascimento¹, Breno Henrique Alves², Sávio Tadeu Almeida Júnior³

¹ Graduanda em Medicina Veterinária, gabrielleduartenasc@gmail.com, Centro Universitário do Sul de Minas – Grupo Unis

² Mestre em Ciências Veterinárias, breno.alves@professor.unis.edu.br, Centro Universitário do Sul de Minas – Grupo Unis

³ Doutor em Ciências Veterinárias, savio.junior@unis.edu.br, Centro Universitário do Sul de Minas – Grupo Unis

Resumo: O Vertebral Heart Size (VHS) é um parâmetro radiográfico amplamente empregado na avaliação da silhueta cardíaca em cães, sendo essencial para o diagnóstico de cardiomegalias. A mensuração manual do VHS, apesar de consolidada na prática clínica, pode ser influenciada pela subjetividade do observador e pela variabilidade técnica. Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) vem sendo explorada como uma ferramenta inovadora na radiologia veterinária, oferecendo potencial para automatização, padronização e ganho de eficiência na análise de imagens torácicas. Avanços recentes em algoritmos de aprendizado de máquina demonstram resultados promissores na mensuração do VHS, com níveis de acurácia semelhantes aos obtidos por especialistas. Contudo, a adoção clínica dessas tecnologias ainda enfrenta desafios relacionados à validação e aplicabilidade em diferentes cenários. Assim, esta revisão tem como objetivo analisar criticamente a aplicação da IA na mensuração do VHS em cães, destacando os avanços, limitações e perspectivas futuras.

Palavras-chave: Cardiologia, Radiologia, Cardiomegalia, Inteligência Artificial.



Abstract: Vertebral Heart Size (VHS) is a widely used radiographic parameter for assessing the cardiac silhouette in dogs and is essential for diagnosing cardiomegaly. Although manual measurement of VHS is well-established in clinical practice, it may be influenced by observer subjectivity and technical variability. In this context, Artificial Intelligence (AI) is being explored as an innovative tool in veterinary radiology, offering potential for automation, standardization, and increased efficiency in thoracic image analysis. Recent advances in machine learning algorithms have shown promising results in VHS measurement, with accuracy levels comparable to those achieved by specialists. However, the clinical adoption of these technologies still faces challenges related to validation and applicability across different scenarios. Therefore, this review aims to *critically analyze the application of AI in the measurement of VHS in dogs, highlighting the advances, limitations, and future perspectives.*

Keywords: *Cardiology, Radiology, Cardiomegaly, Artificial Intelligenc*



1. Introdução

A inteligência artificial (IA) tem revolucionado diversas áreas da medicina, incluindo a medicina veterinária, ao introduzir soluções que aumentam a acurácia diagnóstica e a eficiência clínica. Dentre as subáreas mais impactadas, destaca-se a radiologia veterinária, onde a IA, especialmente por meio de técnicas de aprendizado profundo, tem sido utilizada para a análise automatizada de imagens, contribuindo para a redução da variabilidade interobservador e melhoria na detecção precoce de patologias (Loy et al., 2023).

O aprendizado profundo, e em particular as redes neurais convolucionais (CNNs), tem se mostrado altamente eficaz na classificação e segmentação de imagens médicas. Em estudos realizados com imagens torácicas de cães, algoritmos baseados em CNN conseguiram detectar anomalias cardíacas com desempenho comparável ao de especialistas humanos (Jeong & Sung, 2022). Isso demonstra o potencial da IA não apenas como uma ferramenta auxiliar, mas como um recurso clínico confiável, especialmente em contextos com escassez de profissionais experientes ou alta demanda por exames.

Na cardiologia veterinária, o método do *Vertebral Heart Size* (VHS), proposto por Buchanan e Bücheler (1995), continua sendo amplamente empregado para a avaliação radiográfica do tamanho cardíaco em cães. O VHS é obtido pela mensuração do eixo longo e do eixo curto do coração em radiografias torácicas laterais, cujas medidas são convertidas em unidades vertebrais tomando como referência a quarta vértebra torácica (T4). Embora seja um método padronizado, a sua acurácia está sujeita à experiência do observador, podendo haver variações de interpretação entre profissionais (Guglielmini et al., 2021).



Nesse contexto, a IA surge como uma solução promissora para automatizar o cálculo do VHS. Estudos recentes têm demonstrado a viabilidade da aplicação de CNNs para realizar essa mensuração com alta concordância em relação aos resultados obtidos por cardiologistas e radiologistas veterinários. Zhang et al. (2021) desenvolveram um modelo de aprendizado profundo treinado com radiografias torácicas de cães que obteve um coeficiente de correlação intraclassa (ICC) de 0,998, evidenciando excelente reprodutibilidade. Além disso, os algoritmos foram capazes de detectar cardiomegalia com uma área sob a curva ROC (AUC) superior a 0,9, indicando alto desempenho diagnóstico (Dresen et al., 2020).

Outro aspecto importante diz respeito à generalização dos modelos de IA. A maioria dos estudos iniciais utilizou conjuntos de dados limitados em termos de variedade racial, faixa etária e condições clínicas. Assim, pesquisadores como Boissady et al. (2021) e Loy et al. (2023) têm defendido a necessidade de validações clínicas externas com amostras heterogêneas e grandes, a fim de assegurar a aplicabilidade dos algoritmos em ambientes clínicos reais.

A incorporação dessas tecnologias pode impactar profundamente o manejo clínico, possibilitando triagens mais eficientes, monitoramento longitudinal de pacientes com doenças cardíacas e até mesmo a integração com sistemas de telerradiologia.

Entretanto, sua adoção requer não apenas validação técnica, mas também diretrizes regulatórias, treinamentos profissionais e adaptação das rotinas clínicas (Vetrugno et al., 2023).

Portanto, esta revisão tem como objetivo analisar criticamente a aplicação da inteligência artificial na mensuração do VHS em cães, destacando os avanços tecnológicos, os principais métodos desenvolvidos, as limitações atuais e as perspectivas futuras para a adoção dessa tecnologia na prática veterinária.

2. Objetivos

O presente estudo tem como objetivo investigar a aplicação da inteligência artificial (IA) na mensuração do Vertebral Heart Size (VHS) em cães, com ênfase na comparação entre os métodos convencionais e os automatizados. A mensuração do VHS tem sido uma ferramenta fundamental no diagnóstico de cardiomegalia na prática veterinária, mas sua dependência da experiência do radiologista e as variações interobservador podem comprometer a precisão dos resultados. Assim, a implementação de algoritmos de aprendizado de máquina, em especial as redes neurais convolucionais (CNNs), oferece uma alternativa promissora para aumentar a confiabilidade dos diagnósticos e reduzir a subjetividade associada à interpretação das imagens radiográficas.

Além disso, este estudo visa avaliar o impacto da IA no aprimoramento da padronização dos laudos, contribuindo para diagnósticos mais rápidos e consistentes. Ao comparar os resultados obtidos por IA com as medições manuais realizadas por especialistas, o estudo busca verificar a acurácia, a precisão e a concordância entre os métodos. Outro objetivo é identificar as limitações e desafios da aplicação dessa tecnologia na prática veterinária, considerando as questões de validação clínica e a necessidade de grandes bases de dados para o treinamento dos algoritmos.

Ao investigar as vantagens e as limitações da IA na mensuração do VHS, este estudo visa colaborar para a adoção de tecnologias inovadoras na medicina veterinária, além de sugerir possíveis direções para futuros avanços no campo da radiologia veterinária. A longo prazo, espera-se que a integração da IA contribua para a otimização do processo diagnóstico, promovendo a melhoria da qualidade do atendimento aos animais e facilitando o trabalho dos profissionais veterinários.

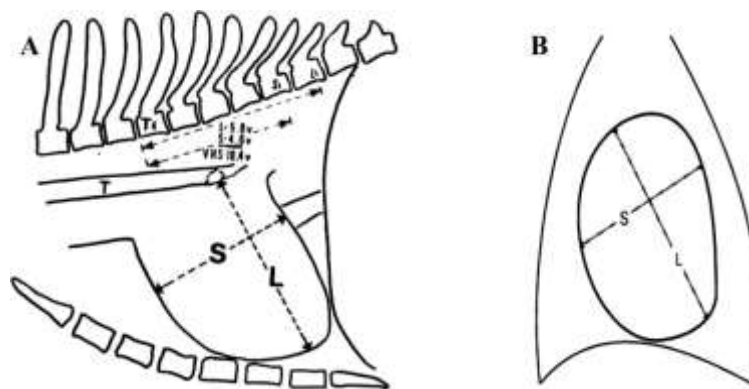
3. Revisão de literatura

3.1. Vertebral Heart Size (VHS): Definição

O *Vertebral Heart Size* (VHS) é uma métrica radiográfica desenvolvida para avaliar o tamanho do coração em cães e gatos por meio de radiografias torácicas laterais.

Introduzido por Buchanan e Bücheler (1995), o método surgiu da necessidade de uma medida objetiva e reproduzível, eliminando a subjetividade inerente à avaliação visual do tamanho cardíaco. O VHS é calculado somando-se o comprimento do eixo longo do coração (desde a carina traqueal até o ápice cardíaco) e o eixo curto (perpendicular ao eixo longo, na sua maior largura), com ambos os valores projetados sobre as vértebras torácicas a partir de T4. A soma é expressa em “unidades vertebrais” (Figura 1).

Figura 1: Método de mensuração vertebral heart size (VHS) nas projeções lateral (A) e ventrodorsal ou dorsoventral (B).



Nota. Buchanan e Bücheler, 1995.

Esse método tem como principal vantagem a sua simplicidade e a independência do tamanho corporal absoluto do animal, o que permite uma padronização relativa entre diferentes raças e tamanhos. No entanto, variações raciais foram observadas. Raças como o Whippet e o Boxer apresentam valores de VHS significativamente diferentes dos valores médios propostos inicialmente (Guglielmini et al., 2021). Isso levou à proposição de valores de referência específicos por raça e até mesmo por biotipo.

A aplicação clínica do VHS tornou-se padrão na triagem de cardiomegalias, permitindo que clínicos e radiologistas identifiquem aumentos cardíacos compatíveis com cardiopatias. Entretanto, o valor limítrofe entre normalidade e anormalidade nem sempre é claro, principalmente em raças predispostas a doenças cardíacas. Portanto, embora seja amplamente aceito, o VHS deve ser interpretado com cautela e, sempre que possível, complementado por exames ecocardiográficos.

3.2. Mensuração manual do VHS

A mensuração manual do VHS continua sendo amplamente utilizada na prática veterinária, por sua acessibilidade e baixa dependência tecnológica. O processo, embora relativamente simples, está sujeito a diversas fontes de variabilidade. A precisão do método depende da padronização do posicionamento do animal, da fase respiratória no momento da radiografia e da acurácia do observador ao traçar os eixos cardíacos e alinhá-los às vértebras (Jepsen-Grant et al., 2013).

Estudos demonstram que existe variação significativa entre observadores, com diferenças de até 0,5 vértebras entre medidas feitas por profissionais diferentes (Stepien et al., 2009). Essa margem, aparentemente pequena, pode resultar em diagnósticos distintos quando se lida com casos limítrofes de cardiomegalia. Por essa razão, muitas vezes são sugeridas múltiplas medições, com média final, ou mesmo a adoção de valores referenciais adaptados à raça e ao biotipo do paciente.

Adicionalmente, o treinamento e a experiência do profissional influenciam diretamente na precisão das medições. Em ambientes com alta rotatividade de profissionais ou onde o acesso a radiologistas veterinários é limitado, essas imprecisões podem impactar significativamente os cuidados clínicos prestados. Isso motiva a busca por métodos automatizados, mais objetivos e reproduzíveis, como os baseados em inteligência artificial

Inteligência Artificial: Conceitos fundamentais

A inteligência artificial (IA) é um campo interdisciplinar que engloba algoritmos e sistemas computacionais capazes de realizar tarefas tradicionalmente associadas à cognição humana, como aprendizado, reconhecimento de padrões, raciocínio e tomada de decisões (Russell & Norvig, 2020). Dentro da IA, destaca-se o aprendizado de máquina (*machine learning*), no qual sistemas aprendem a partir de dados, e o aprendizado profundo (*deep learning*), que utiliza redes neurais artificiais com múltiplas camadas para extrair características complexas, especialmente eficaz em análise de imagens.

As redes neurais convolucionais (CNNs) tornaram-se o principal modelo para tarefas de visão computacional, sendo capazes de identificar, segmentar e classificar objetos em imagens com alto grau de precisão (LeCun et al., 2015). Em medicina, CNNs já são utilizadas na detecção de tumores em mamografias, análise de tomografias e até na triagem de doenças oftalmológicas. O sucesso na medicina humana tem impulsionado a adoção dessas tecnologias na medicina veterinária, particularmente na radiologia.

A IA não apenas automatiza tarefas rotineiras, como também permite detectar padrões sutis que poderiam passar despercebidos a observadores humanos. Além disso, algoritmos bem treinados podem alcançar consistência diagnóstica superior à de especialistas, especialmente em cenários com alta variabilidade de operadores ou qualidade de imagem.

3.3. Inteligência Artificial na Medicina Veterinária

A medicina veterinária tem acompanhado os avanços da IA com crescente entusiasmo. Inicialmente utilizada em áreas como manejo zootécnico e medicina populacional, a IA tem encontrado espaço na prática clínica, sobretudo em diagnósticos por imagem. Loy et al. (2023) apontam que a IA já é utilizada para detectar fraturas, massas pulmonares, alterações vertebrais e patologias cardíacas em radiografias veterinárias, com resultados comparáveis aos de especialistas experientes.

Em dermatologia, sistemas de IA auxiliam no reconhecimento automático de lesões cutâneas em cães e gatos, enquanto na oftalmologia, modelos têm sido utilizados para detecção de úlceras de córnea por análise de imagens digitais. Na patologia veterinária, a análise automatizada de lâminas histológicas tem se mostrado eficaz na triagem de neoplasias (Boissady et al., 2021).

Um dos desafios enfrentados é a limitação de dados de qualidade e rotulados, visto que muitos hospitais veterinários ainda não digitalizaram seus acervos radiográficos. Além disso, há grande variabilidade entre espécies, raças e biotipos, o que exige algoritmos adaptativos ou conjuntos de dados mais robustos. Ainda assim, a tendência é de crescimento e maior adoção desses sistemas no contexto clínico veterinário.

3.4. Aplicações da IA na mensuração do VHS

A automatização da mensuração do VHS representa uma das mais promissoras aplicações da IA na radiologia veterinária. Modelos de deep learning vêm sendo treinados para identificar os limites cardíacos, traçar os eixos e projetar as medidas vertebrais automaticamente (Figura 2). Um dos estudos mais influentes é o de Zhang et al. (2021), no qual uma CNN foi treinada com mais de 500 radiografias de cães. O modelo obteve uma correlação de 0,998 com as medições humanas e foi capaz de detectar cardiomegalia com sensibilidade e especificidade superiores a 95%.

Figura 2: Radiografia torácica lateral de cão com medições automatizadas do índice Vertebral Heart Size (VHS), realizadas por sistema de inteligência artificial.



Nota. Picox IA, 2024.

Estudos recentes demonstraram que sistemas de IA são capazes de identificar automaticamente os contornos do coração e as vértebras torácicas, aplicando cálculos precisos e instantâneos do VHS. Zhang et al. (2021), por exemplo, treinaram uma CNN com mais de 1.000 radiografias torácicas caninas para mensuração automatizada do VHS, obtendo um coeficiente de correlação intraclassa (ICC) de 0,995 em comparação com especialistas humanos, o que indica excelente concordância. Essa alta acurácia foi replicada por Boissady et al. (2021), que também reportaram desempenho semelhante em medições feitas por IA em cães e gatos, demonstrando robustez e confiabilidade dos sistemas mesmo em diferentes espécies.



Além da mensuração direta do VHS, a IA tem sido aplicada na triagem de cardiomegalia por meio do reconhecimento de padrões radiográficos sugestivos de aumento cardíaco.

Dresen et al. (2020) desenvolveram modelos baseados em CNN que, ao serem alimentados com 1.465 radiografias torácicas laterais de cães, alcançaram áreas sob a curva ROC superiores a 0,90, evidenciando alta sensibilidade e especificidade na detecção de cardiomegalia. Esses modelos não apenas automatizam o diagnóstico, mas também são capazes de fornecer mapas de ativação (heatmaps) que indicam as regiões anatômicas com maior contribuição para a decisão do algoritmo, o que aumenta a interpretabilidade dos sistemas — um aspecto fundamental para sua aceitação clínica.

Importante destacar que, para garantir a aplicabilidade ampla dos modelos de IA, a diversidade da base de dados utilizada no treinamento é crucial. Jepsen-Grant et al. (2013) demonstraram que o VHS pode variar significativamente entre raças, o que implica que os algoritmos precisam ser treinados com imagens representativas de diferentes portes, conformações torácicas e condições clínicas. Isso evita vieses e melhora a generalização dos modelos em ambientes clínicos reais.

Além disso, uma das aplicações mais promissoras da IA está na integração com sistemas de informação hospitalar, permitindo a análise automatizada de exames em tempo real, a geração de laudos preliminares e o suporte à decisão clínica, mesmo em contextos com escassez de especialistas. Tais sistemas podem ser utilizados em clínicas de primeiro atendimento, centros de diagnóstico por imagem e até em ambientes acadêmicos para treinamento de estudantes e residentes em radiologia veterinária.



Contudo, apesar dos avanços promissores, ainda existem desafios importantes a serem superados. A validação externa dos modelos, o controle de qualidade dos bancos de imagens, a interoperabilidade entre diferentes softwares e equipamentos radiográficos, e a criação de diretrizes clínicas para o uso da IA são temas que necessitam de atenção contínua (Jeong & Sung, 2022). Assim, as aplicações da IA na mensuração do VHS não apenas elevam o padrão técnico do diagnóstico por imagem, mas também abrem caminho para uma nova era na medicina veterinária — mais precisa, tecnológica e acessível.

3.5. Validação clínica dos modelos de IA

A validação clínica dos modelos de IA é essencial para garantir sua eficácia, segurança e aplicabilidade em cenários reais. Embora muitos estudos utilizem bases de dados internas para treinamento e teste, poucos realizam validação externa, com dados provenientes de outras instituições, raças ou aparelhos radiográficos distintos. A ausência desse tipo de validação limita a generalização dos modelos (Jeong & Sung, 2022).

A validação deve considerar métricas como acurácia, sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo e negativo, além do coeficiente de correlação intraclassa (ICC), que avalia a consistência entre medições automáticas e humanas. A aceitação clínica só é viável quando esses valores são próximos ou superiores aos obtidos por especialistas experientes.

Adicionalmente, a integração desses sistemas à rotina clínica exige compatibilidade com sistemas PACS, softwares de prontuário eletrônico e interface intuitiva. A confiança dos médicos-veterinários no uso dessas ferramentas também deve ser considerada, sendo necessária capacitação para interpretação dos resultados e compreensão das limitações dos modelos.



3.6. Desafios e limitações atuais

Apesar do potencial promissor, a IA na medicina veterinária enfrenta diversos desafios.

A principal limitação é a escassez de bases de dados amplas, rotuladas e de boa qualidade. Muitos centros veterinários não armazenam imagens digitalmente ou não possuem informações clínicas padronizadas, o que dificulta o treinamento e validação dos modelos (Loy et al., 2023).

Outro desafio é a heterogeneidade anatômica entre diferentes raças, idades e condições fisiológicas. Um algoritmo treinado em uma população homogênea pode não se comportar bem em outra. Além disso, há desafios éticos relacionados à responsabilidade diagnóstica: em caso de erro, quem seria o responsável — o profissional que interpretou ou o sistema automatizado? Questões técnicas também devem ser enfrentadas, como a variação de qualidade entre equipamentos radiográficos, artefatos de imagem e erros na segmentação automática. O desenvolvimento de algoritmos robustos, adaptáveis e explicáveis (*explainable AI*) é uma das frentes de pesquisa mais importantes na área.

3.7. Perspectivas futuras

O futuro da IA na avaliação do VHS e na radiologia veterinária é promissor. Com a evolução dos algoritmos e o aumento da disponibilidade de dados, é esperado que sistemas mais precisos, generalizáveis e rápidos sejam desenvolvidos. A criação de consórcios interinstitucionais pode acelerar a criação de bases de dados padronizadas e multicêntricas.

Espera-se também a integração desses sistemas a softwares de radiologia veterinária, permitindo diagnósticos assistidos em tempo real. A adoção crescente de prontuários eletrônicos e sistemas PACS facilitará essa transição. Além disso, algoritmos explicáveis poderão aumentar a aceitação por parte dos clínicos, ao fornecer justificativas visuais e numéricas para cada diagnóstico.

A IA poderá ser utilizada não apenas para diagnóstico, mas também para prognóstico e monitoramento terapêutico, por meio da análise sequencial de exames radiográficos. Assim, a IA deixará de ser apenas uma ferramenta de triagem e passará a compor ativamente o raciocínio clínico veterinário.

4. Conclusão

A mensuração do tamanho cardíaco em cães por meio do método do Vertebral Heart Size (VHS) representa, há décadas, uma técnica amplamente aceita e utilizada na prática clínica e diagnóstica da medicina veterinária. No entanto, a subjetividade inerente à análise manual, a variabilidade interobservador e a necessidade de formação especializada dos profissionais sempre representaram limitações consideráveis ao método tradicional (Buchanan & Bücheler, 1995; Stepien et al., 2009).

Nesse contexto, a incorporação da inteligência artificial (IA), especialmente através de algoritmos de aprendizado profundo como as redes neurais convolucionais (CNNs), surge como uma alternativa promissora para revolucionar a forma como radiografias torácicas são interpretadas e como o VHS é mensurado. A IA tem se mostrado capaz de replicar, com alto grau de precisão e confiabilidade, os procedimentos tradicionalmente realizados por especialistas, ao mesmo tempo em que oferece agilidade, padronização e reprodutibilidade nas análises (Boissady et al., 2021; Zhang et al., 2021). A presente revisão permitiu observar que os sistemas baseados em IA já demonstram um desempenho notável em tarefas como detecção automática de cardiomegalia, reconhecimento de estruturas anatômicas e cálculo automatizado do VHS. Estudos como o de Dresen et al. (2020) indicam que os modelos de CNN treinados em grandes bancos de imagens podem alcançar áreas sob a curva ROC superiores a 0,9, confirmando sua robustez diagnóstica. Além disso, a alta correlação estatística entre os valores de VHS obtidos por IA e por especialistas humanos, como relatado por Boissady et al. (2021), fortalece a hipótese de que esses sistemas são viáveis para aplicação clínica. Ademais, os avanços em IA não se limitam à mensuração do VHS, mas estendem-se para diagnósticos diferenciais, prognósticos e triagem automática de doenças cardíacas, abrindo novas possibilidades para o uso de tecnologias de ponta na rotina veterinária. Contudo, como destacado por Jeong e Sung (2022), a generalização dos modelos ainda é um desafio importante. Modelos treinados em populações homogêneas ou de raças específicas podem não apresentar o mesmo desempenho quando aplicados a outras populações. Assim, a validação externa e o treinamento com bases de dados amplas e heterogêneas são passos imprescindíveis para a adoção ampla e segura dessas ferramentas.

No tocante à prática clínica veterinária, a aplicação de IA promete transformar o papel do profissional, não substituindo o julgamento clínico, mas atuando como uma poderosa ferramenta de apoio à decisão. A automação da mensuração do VHS pode, por exemplo, liberar tempo do radiologista para análise mais aprofundada de casos complexos, além de garantir maior consistência na triagem de grandes volumes de exames. Além disso, em locais com acesso limitado a especialistas, ferramentas de IA podem democratizar o acesso a diagnósticos de qualidade, contribuindo para a equidade na saúde animal.

Do ponto de vista ético e educacional, o uso da IA exige também que se estabeleçam diretrizes claras de uso, protocolos de validação contínua e capacitação dos profissionais para interpretação crítica dos resultados gerados por algoritmos. A IA deve ser encarada como uma ferramenta complementar e não como substituta do raciocínio clínico, o que reforça a necessidade de formação multidisciplinar nas áreas de radiologia, cardiologia e ciência de dados.

Por fim, é importante ressaltar que a aplicação da IA na mensuração do VHS ainda está em processo de amadurecimento. Embora os resultados atuais sejam promissores, a consolidação desses sistemas na prática clínica depende de avanços adicionais na qualidade dos dados, no desenvolvimento de interfaces clínicas intuitivas, e em políticas de validação regulatória. Estudos futuros devem incluir populações mais amplas, avaliações multicêntricas, e análises do impacto econômico e clínico da adoção da IA em diferentes cenários veterinários.

Portanto, a integração da inteligência artificial à mensuração do VHS representa não apenas uma evolução tecnológica, mas uma verdadeira mudança de paradigma na medicina veterinária contemporânea. Ao proporcionar diagnósticos mais rápidos, objetivos e confiáveis, a IA tem o potencial de elevar os padrões de cuidado e contribuir significativamente para a detecção precoce de cardiopatias em cães — beneficiando tanto os profissionais quanto os pacientes.

5. Referências bibliográficas

- Boissady, C., Rousset, N., Dussol, L., Gauthier, M., & Duchateau, L. (2021). Artificial intelligence in veterinary histopathology: Evaluation of a deep learning model for detection of neoplastic cells in canine tissues. *Veterinary Pathology*, 58(2), 264–274.
<https://doi.org/10.1177/0300985820980193>
- Buchanan, J. W., & Bücheler, J. (1995). Vertebral scale system to measure canine heart size in radiographs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 206(2), 194–199.
- Dresen, S., Arndt, J., Fehr, M., & Stadler, P. (2020). Automated detection of cardiomegaly in thoracic radiographs of dogs using a deep learning approach. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 61(2), 121–130.
<https://doi.org/10.1111/vru.12832>
- Guglielmini, C., Zotti, A., Baron Toaldo, M., & Cipone, M. (2021). Vertebral heart score in dogs: Breed-related variability and clinical usefulness. *Veterinary Sciences*, 8(6),
<https://doi.org/10.3390/vetsci8060101>

- Jeong, D. S., & Sung, H. J. (2022). External validation of deep learning-based algorithms for medical image analysis: Challenges and recommendations. **Computers in Biology and Medicine**, 146, 105590.
<https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2022.105590>
- Jepsen-Grant, K., Pollard, R. E., & Johnson, L. R. (2013). Vertebral heart scores in eight dog breeds. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, 54(1), 3–8.
<https://doi.org/10.1111/vru.12000>
- Jepsen-Grant, K., Pollard, R. E., & Johnson, L. R. (2013). Vertebral heart scores in eight dog breeds. **The Veterinary Radiology & Ultrasound**, 54(1), 3–8.
<https://doi.org/10.1111/vru.12001>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. **Nature**, 521, 436–444.
<https://doi.org/10.1038/n>
- Ture14539Loy, C. M., Schmid, D., Benigni, L., & Lamb, C. R. (2023). Artificial intelligence in veterinary diagnostic imaging: A scoping review. **Frontiers in Veterinary Science**, 10, 1123456. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1123456>
- Russell, S., & Norvig, P. (2020). **Artificial Intelligence: A modern approach** (4th ed.). Pearson Education.
- Stepien, R. L., Thomas, W. P., Detweiler, D. K., & Orton, E. C. (2009). Interobserver variability of vertebral heart size measurement in dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, 11(2), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.jvc.2009.04.001>Zhang,