



UNIVERSIDADE  
**LUSÓFONA**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA**  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA  
MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

**Avaliação Biomecânica de Cães:  
Estudo Preliminar com o Sistema Alogo Move Pro™**

Dissertação apresentada a provas públicas para a obtenção do grau de mestre em Medicina Veterinária, orientada por Professora Doutora Clárisse Coelho e Mestre Carolina Nascimento (co-orientadora)

João Bernardo Martins Lopes, nº 21903266

2026

[www.ulusofona.pt](http://www.ulusofona.pt)

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA**  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA  
MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

**Avaliação Biomecânica de Cães:  
Estudo Preliminar com o Sistema Alogo Move Pro™**

**VERSÃO FINAL**

Dissertação defendida por João Bernardo Martins Lopes em provas públicas na Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa, no dia 22 de janeiro de 2026, perante o júri, nomeado pelo Despacho de Nomeação n.º: 251/2025, de 26 de Março de 2025, com a seguinte composição:

Presidente: Professora Doutora Marta Silva (Universidade Lusófona, Centro Universitário Lisboa)

Vogal: Professor Doutor André Meneses (Universidade Lusófona, Centro Universitário Lisboa) - arguente

Orientador: Professora Doutora Clarisse Coelho

Este trabalho também foi co-orientado por Mestre Carolina Nascimento

João Bernardo Martins Lopes, nº 21903266

2026

## Agradecimentos

A realização desta tese marca o culminar de um percurso desafiante, repleto de aprendizagens, conquistas e superações, que não teriam sido possível sem o apoio incondicional daqueles que sempre estiveram ao meu lado.

Quero começar por deixar um agradecimento muito especial à minha “eai gentxi!”, Professora Doutora Clarisse Coelho. Obrigado por ter embarcado e me apoiado nesta aventura, sem hesitar perante o desafio – mesmo quando esse desafio incluiu vestir o fato para dar de morder à Ping! Se isto não é dedicação, não sei o que será. O seu apoio constante, a sua paciência e a forma cuidadosa como guiou cada passo deste trabalho fizeram toda a diferença. Mais do que uma orientadora, tornou-se uma amiga, alguém com quem vou poder sempre contar!

À minha co-orientadora, Mestre Carolina Nascimento, expresso a minha sincera gratidão por ter aceite trabalhar com uma espécie tão diferente daquela a que está habituada, abraçando este desafio com abertura, curiosidade e empenho. Agradeço também por ter disponibilizado o material necessário para a realização do projeto e todo o seu conhecimento sobre biomecânica, que foram fundamentais para esta tese.

A todos os que me apoiaram na componente prática deste projeto, à Marta Guerra, Vinicius Cuna e Ana Silva, que aceitaram este desafio, mesmo sabendo que podiam levar dentadinhos de amor destes demónios de quatro patas. A vossa coragem e força de vontade impressionou-me, muito obrigado!

À minha família tresloucada, deixo um agradecimento sincero pelo apoio incondicional ao longo deste percurso. Cada palavra de incentivo, cada gesto de carinho e cada puxão de orelhas contribuíram para que eu chegasse até aqui. Obrigado por serem a minha base e a minha força! Um agradecimento especial à minha estrela no céu, que apesar de longe, esteve tão presente. Sei que hoje há uma estrela que brilha mais forte! Sem ti nada seria possível, mãe!

À mulher da minha vida, a minha avó Maria Isabel, que foi e sempre será a minha confidente. Foste o meu porto seguro, o meu maior apoio e a minha inspiração constante. Nada do que sou hoje seria possível sem ti. Este trabalho é também teu. Apoiáste-me em tudo, mesmo quando eu te ligava em pleno *mental breakdown*, não havia nada que não resolvesse. Parece que te estou a ouvir: “Eu vi no pêndulo... ou eu vi nas cartas... e tudo vai dar certo!” e, mesmo sem acreditar nisso, corria tudo bem.

Ao meu pai, o General João Lopes (ou se preferirem, Doutor João Lopes), deixo um enorme agradecimento por ter sido o meu grande financiador e por me ter dado a oportunidade de realizar este curso, que sempre foi o meu sonho. Obrigado por teres estado sempre lá para mim, mesmo apesar das nossas casmurrices. Afinal de contas, quem sai aos seus não degenera. Sem a tua paciência (ou falta dela), apoio e presença constante, nada disto teria sido possível.

Ao meu irmão, Guilherme, que apesar de ser um valente chato e só me dar dores de cabeça, sempre me apoiou quer a nível profissional, quer a nível pessoal. Apesar de não te dizer muitas vezes isto (em parte para não te subir à cabeça), não podia ter escolhido um irmão melhor.

A toda a equipa Underdogz, que me viu crescer, quer enquanto treinador canino, quer enquanto médico veterinário, deixo um agradecimento sentido. Agradeço por embarcarem nestas loucuras da investigação canina comigo, confiaram-me os vossos cães de olhos fechados, muitas vezes nem precisavam de saber qual era o projeto para o aceitarem de imediato – essa confiança absoluta só prova a consideração que temos uns pelos outros. Não podia ter uma melhor equipa.

A todos os cães que fizeram parte deste projeto. A grande maioria acompanhou-me desde que eram apenas cachorros, e ver o seu crescimento, evolução e personalidade a florescer tornou esta experiência ainda mais especial. É profundamente gratificante saber que foram eles, cães companheiros de tantas etapas, a participar e a contribuir para este trabalho. Cada um deixou a sua marca e tornou este projeto verdadeiramente único.

A toda a equipa do Centro Veterinário de Loulé, deixo um agradecimento profundo por me terem recebido de braços abertos desde o primeiro dia. Obrigado por partilharem comigo o vosso conhecimento, pela generosidade com que ensinaram e pela confiança que sempre depositaram em mim. Cada momento, cada caso e cada conversa contribuíram para me moldar no profissional que sou hoje. Um agradecimento especial ao meu orientador externo, Dário Santinha, pela paciência, disponibilidade constante e forma dedicada como transmitiu os seus conhecimentos. Obrigado por acreditarem em mim e pela boa disposição ao longo de todo o estágio.

A toda as pessoas incríveis que tive oportunidade de conhecer na faculdade quero deixar o meu profundo agradecimento, não só por terem sido os melhores colegas e professores que poderia ter tido, mas também pela forma calorosa e excecional com que me receberam, fazendo-me sentir em casa. Não é fácil ser um aluno deslocado, mas encontrar pessoas incríveis torna essa experiência muito mais fácil e, por isso, estou-vos imensamente grato.

À Praxe de Medicina Veterinária, por me acolherem e me ensinarem que a praxe é muito mais do que se vê nas notícias, só quem sabe são as pessoas que dela fizeram parte. Sinto-me verdadeiramente privilegiado por ter encontrado pessoas tão excepcionais e por ter tido a oportunidade de privar convosco. Lisboa passou a ter um lugar especial no meu coração, tornou-se a minha casa, um lugar cheio de memórias e aventuras, que nunca esquecerei.

Ao meu grupo Meia Dúzia (Jorge Braga, Cláudia Marques, Joana Silva, Catarina Vicente, Patrícia Pereira), por terem sido não só o meu grupo na faculdade, como também os amigos que vou levar para a vida. Dizem que o curso não se faz sozinho e eu acredito, pois sem vocês nada disto teria sido possível. Aquelas chamadas desesperadas entre nós, quando nenhum achava que ia passar (à exceção do Jorge), foram cruciais para conseguir sobreviver à exigência deste curso. Obrigado por tudo e já sabem que não se livram de mim tão facilmente.

Às minhas colegas de casa, Adriana Duque e Núria Rodrigues, por terem sido as minhas companheiras nesta aventura lisboeta e por todas as memórias que construímos juntos. Obrigado por me acompanharem em aventuras tão únicas quanto desafiantes: uma casa que parecia estar a cair aos bocados, a máquina de lavar que decidiu inundar o prédio inteiro, o frigorífico que avariava sempre que mais precisávamos dele, o forno que teimava em não ligar, e, claro, o senhorio forreta que nunca queria arranjar nada! Entre risos, caos e pequenas tragédias domésticas, criámos uma ligação que nunca vou esquecer.

Aos meus amigos do Algarve (Milton, Tiago, Magda, Jéssica e Mariana), deixo um enorme obrigado por serem os meus amigos de londa data, que nunca me abandonaram, mesmo apesar do meu feitio complicado. Obrigado por fazerem parte das minhas aventuras mais loucas, por aguentarem os meus desesperos académicos e profissionais (mesmo que vocês continuem a achar que eu não trabalho nada) e por me lembrarem do que sou capaz. Riram comigo, ou de mim, em todos os momentos e, por isso, estou-vos eternamente gratos. Sem vocês, a minha vida seria bem menos divertida!

Por fim, gostaria de expressar a minha sincera gratidão ao CEO e fundador do Alogo Analysis, David Deillon, por nos disponibilizar o aparelho Alogo Move Pro™ para a realização deste estudo. A sua generosidade e apoio foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, e a sua disponibilidade foi sempre notável, estando sempre disponível para resolver qualquer problema. Estarei disponível para colaborar em futuros projetos na área do desporto canino ou da biomecânica canina que deseje desenvolver. Muito obrigado!

## Resumo

O estudo da biomecânica canina é importante para quantificar movimentos normais e anormais, propiciando uma ferramenta na melhoria de desempenho de atletas e/ou no diagnóstico e acompanhamento de pacientes com patologias ortopédicas. O presente estudo propõe-se a explorar a viabilidade da utilização do sistema Alogo Move Pro™ em cães, nomeadamente da raça Pastor Belga de Malinois. Dez cães, sendo cinco machos e cinco fêmeas, com idade média de  $3,6 \pm 2,7$  anos e peso médio de  $24,8 \pm 3,3$  kg, considerados clinicamente aptos, foram avaliados num período de 1-3 dias durante os quais realizaram atividades ao passo, trote, galope e salto de obstáculos. Durante as supracitadas atividades, os animais usaram um sistema de monitoramento cardíaco conectado a um acelerómetro triaxial com unidade de medição inercial baseada em GPS (Alogo Move Pro™), sendo registadas número de passadas, duração da atividade (em minutos), distância percorrida (em m), comprimento médio da passada (em m), deslocação vertical de tronco (em cm), duração média da passada (em segundos), frequência média das passadas (cadência; número de passadas /min), *strike power* (em G), velocidade máxima e média (em km/h) e frequência cardíaca máxima e média (em bpm). Em relação aos saltos, fez-se ainda o registo do número de saltos, duração do salto (em milissegundos), altura máxima (em cm), comprimento do salto (em m) e ângulo do tronco no momento do *take-off* (°). Os dados foram submetidos a análise de variância para medidas repetidas e do teste de Tukey; os registos dos saltos foram submetidas a correlação de Pearson, com nível de significância de 5%. Os resultados apontaram diferenças significativas entre passo, trote e galope, a exceção da duração média da passada. Os maiores valores foram sempre registados durante o galope. Nos saltos, houve uma correlação forte positiva entre duração e altura dos saltos e duração e comprimento dos saltos. O sistema acusou similaridade entre o andamento identificado com aquele realmente executado de 58,2% para o passo, 37,9% para o trote e 42,9% para o galope. Foi possível concluir que o sistema mostrou limitações na deteção de padrões relevantes de locomoção. Assim, a sua indicação ainda carece de mais estudos que o validem como uma ferramenta na avaliação da biomecânica canina.

**Palavras-chave:** Cinemática, Exercício, Pastor Belga de Malinois, Saltos.

## **Abstract**

The study of canine biomechanics is important for quantifying normal and abnormal movements, providing a tool for improving the performance of athletes and/or for the diagnosis and monitoring of patients with orthopedic diseases. This study aims to explore the feasibility of using the Alogo Move Pro™ system in dogs, specifically the Belgian Malinois breed. Ten dogs, five males and five females, with an average age of  $3.6 \pm 2.7$  years and an average weight of  $24.8 \pm 3.3$  kg, considered clinically fit, were evaluated over a period of 1-3 days during which they performed activities at a walk, trot, gallop, and obstacle jumping. During the aforementioned activities, the animals wore a heart rate monitoring system connected to a triaxial accelerometer with a GPS-based inertial measurement unit (Alogo Move Pro™), recording the number of strides, activity duration (in minutes), distance traveled (in m), average stride length (in m), vertical trunk displacement (in cm), average stride duration (in seconds), average cadence (number of strides/min), strike power (in G), maximum and average speed (in km/h), and maximum and average heart rate (in bpm). Regarding the jumps, the number of jumps, jump duration (in milliseconds), maximum height (in cm), jump length (in m), and trunk angle at the moment of take-off ( $\theta$ ) were also recorded. The data were subjected to analysis of variance for repeated measures and Tukey's test; the jump records were subjected to Pearson's correlation, with a significance level of 5%. The results showed significant differences between walk, trot, and canter, except for the average stride duration. The highest values were always recorded during the canter. In the jumps, there was a strong positive correlation between duration and height of the jumps and duration and length of the jumps. The system showed similarity between the identified gait and the one actually performed of 58.2% for the walk, 37.9% for the trot, and 42.9% for the canter. It was possible to conclude that the system showed limitations in detecting relevant locomotion patterns. So, its use still requires further studies to validate it as a tool in the assessment of canine biomechanics.

**Keywords:** Belgian Malinois Dogs, Exercise, Jumps, Kinematics.

## **Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos**

**BC** Border Collie

**BCC** Escore de Condição Corporal

**BG** Beagle

**FC** Frequência Cardíaca

**GH** Greyhound

**IMU** Inertial Measurement Unit

**MPD** Membro Pélvico Direito

**MPE** Membro Pélvico Esquerdo

**MTD** Membro Torácico Direito

**MTE** Membro Torácico Esquerdo

**OFA** Orthopaedic Fundation for Animals

**PA** Pastor Alemão

**PB** Pastor Belga

**PBM** Pastor Belga Malinois

**PVF** Peak Vertical Force

**ROM** Amplitude de Movimento

**TOO** Tempo de Ocorrência

## Índice Geral

Índice de Tabelas.....	10
Índice de Figuras.....	11
Índice de Gráficos.....	12
Casuística de Estágio.....	13
I. Introdução.....	17
1. Fisiologia do Exercício em Cães.....	18
2. Raças Mais Utilizadas no Desporto.....	19
3. Pastor Belga Malinois.....	19
4. Biomecânica em Cães.....	21
4.1. Princípios e Conceitos.....	21
4.2. Importância da Compreensão da Biomecânica para Estabelecimento de Protocolos de Treino e Reabilitação em Cães.....	23
5. Sistemas de Avaliação da Cinemática em Cães.....	25
5.1. O Que Existe em Cães?.....	25
5.2 Sistema Alogo Move Pro™.....	29
6. Objetivos .....	31
II. Material e Métodos.....	32
1. Animais.....	32
2. Delineamento do Estudo.....	32
3. Monitoramento Biomecânico com o Sistema Alogo Move Pro™.....	33
4. Análise Estatística.....	35
III. Resultados.....	36
IV. Discussão.....	40
V. Conclusão.....	48
Referências Bibliográficas.....	49

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Parâmetros cinemáticos (médias $\pm$ desvios-padrão) dos cães em diferentes andamentos, registados pelo sistema Alogo Move Pro <sup>TM</sup> .....	36
<b>Tabela 2.</b> Parâmetros cinemáticos (médias $\pm$ desvios-padrão) dos cães nos saltos de obstáculos, registados pelo sistema Alogo Move Pro <sup>TM</sup> .....	37
<b>Tabela 3.</b> Análises de correlação entre as variáveis registadas nos saltos pelo sistema Alogo Move Pro <sup>TM</sup> usando o teste de Pearson.....	39

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Imagem fotográfica de PBM.....	20
<b>Figura 2:</b> Imagem fotográfica de um obstáculo do tipo cavelete, usados em programas de reabilitação e treino de cães.....	24
<b>Figura 3:</b> Imagem fotográfica de um obstáculo do tipo A-fram (em formato de A), usados em provas de agility.....	25
<b>Figura 4:</b> Imagem fotográfica de um obstáculo do tipo dogwalk (passadeira), usados em provas de agility.....	26
<b>Figura 5:</b> Cinta onde o sistema Alogo Move Pro™ é encaixado e seu correto posicionamento no equino, na região do esterno.....	29
<b>Figura 6:</b> Sensor Alogo Move Pro™.....	33
<b>Figura 7:</b> Posicionamento do Sensor Alogo Move Pro™ e fixação ao peitoral usando bandas coesivas.....	33
<b>Figura 8:</b> Posicionamento do Sensor Alogo Move Pro™ e fixação ao peitoral usando bandas coesivas.....	34
<b>Figura 9:</b> Mensuração da distância entre o sensor e o solo, seguindo recomendações do fabricante.....	34
<b>Figura 10:</b> Imagens fotográficas obtidas a partir dos vídeos feitos no momento dos saltos.....	37
<b>Figura 11:</b> Imagens fotográficas obtidas a partir dos vídeos feitos no momento do take-off (descolagem do salto).....	38

## Índice de Gráficos

<b>Gráfico 1:</b> Representação gráfica das espécies de animais consultados.....	13
<b>Gráfico 2:</b> Representação gráfica do género dos animais consultados.....	14
<b>Gráfico 3:</b> Representação gráfica das raças de canídeos consultados (SRD – Sem raça definida).....	14
<b>Gráfico 4:</b> Representação gráfica das raças de felídeos consultados (SRD – Sem raça definida).....	15
<b>Gráfico 5:</b> Representação gráfica das especialidades dos animais consultados.....	15
<b>Gráfico 6:</b> Representação gráfica dos meios de diagnóstico complementares realizados.....	16

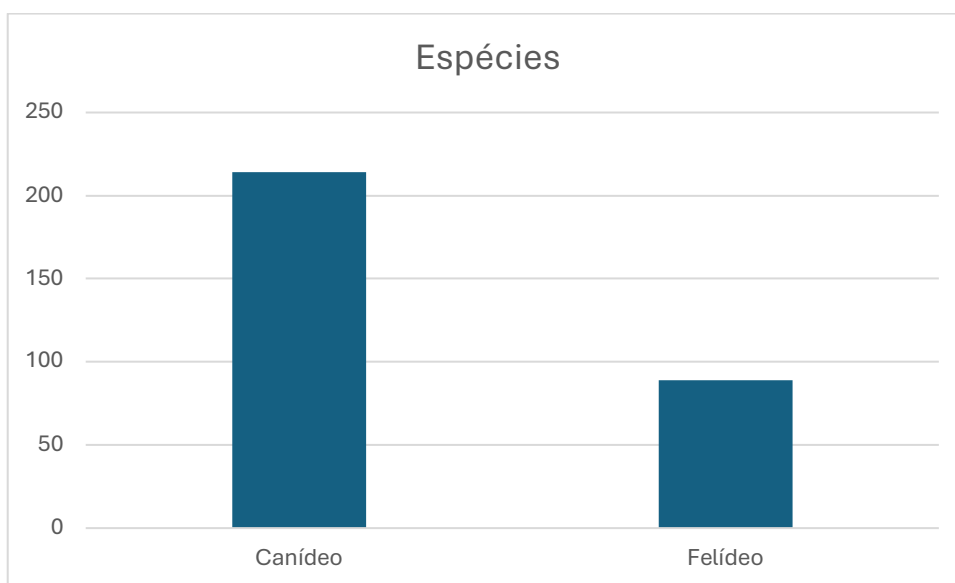
## Casuística de Estágio

O estágio curricular para o mestrado integrado em Medicina Veterinária da Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa, foi realizado no Centro Veterinário de Loulé, tendo tido início a 1 de setembro de 2024 e término a 1 de janeiro de 2025, totalizando 640 horas de estágio. O autor desempenhou diferentes turnos, tendo estes ocorrido das 8h00 às 16h00, das 11h00 às 19h00 ou das 22h00 às 9h00, o que permitiu ter uma ampla percepção do ambiente em formato 24 horas do referido centro.

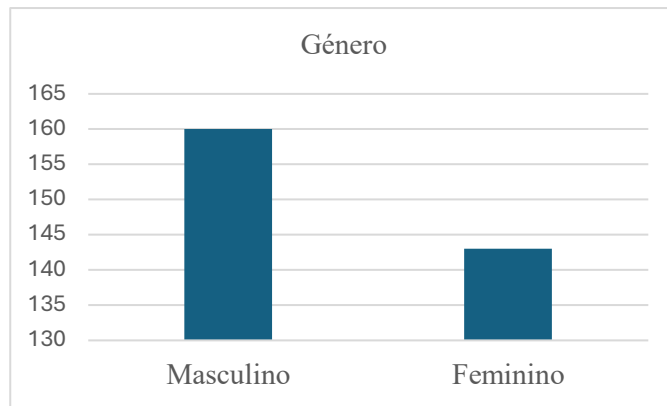
O Centro Veterinário de Loulé dispõe de 3 salas de consultório, 4 salas de internamento, sala cirúrgica, sala de pré-indução, sala de radiografia, sala de ecografia e sala de tomografia computadorizada. Os consultórios estavam divididos para consultas de felídeos, canídeos e doenças infetocontagiosas e as salas de internamento divididas de forma similar, além de uma destinada a cuidados intensivos.

O autor teve a oportunidade de aprender com diferentes médicos veterinários, como Dr. Dário Santinha, Dr<sup>a</sup> Tânia Pereira, Dr<sup>a</sup> Carolina Silvestre, Dr<sup>a</sup> Inês Fazenda, Dr<sup>a</sup> Raquel Marques e Dr<sup>a</sup> Beatriz Santos, o que permitiu ao mesmo presenciar inúmeros métodos de trabalho.

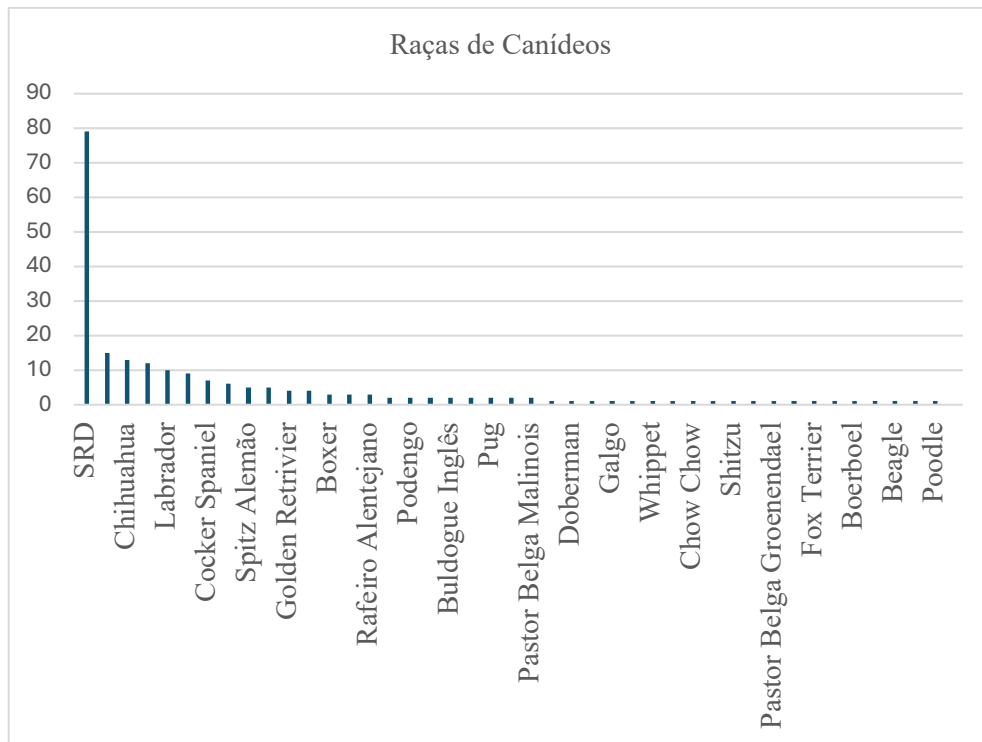
Neste período de estágio, o autor pode participar em 303 consultas, predominando a espécie canídea (n=214) (Gráfico 1) e o género masculino (n=140) (Gráfico 2). Relativamente às raças apresentadas em consulta, o Buldogue Francês (n=15) e o Maine Coon (n=3) foram as apresentadas com maior frequência (Gráficos 3 e 4).



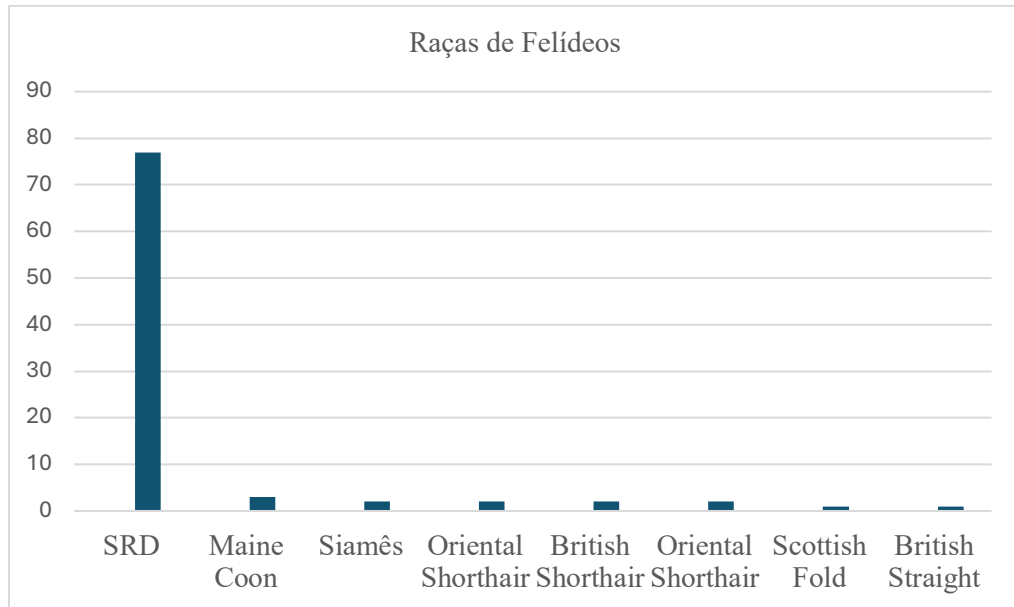
**Gráfico 1:** Representação gráfica das espécies de animais consultados.



**Gráfico 2:** Representação gráfica do género dos animais consultados.

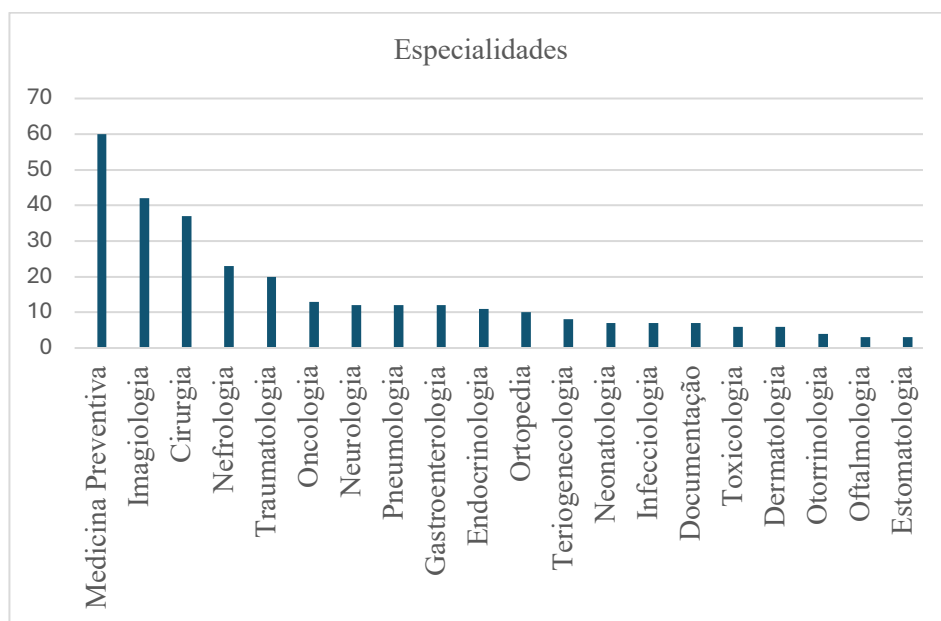


**Gráfico 3:** Representação gráfica das raças de canídeos consultados (SRD – Sem raça definida).



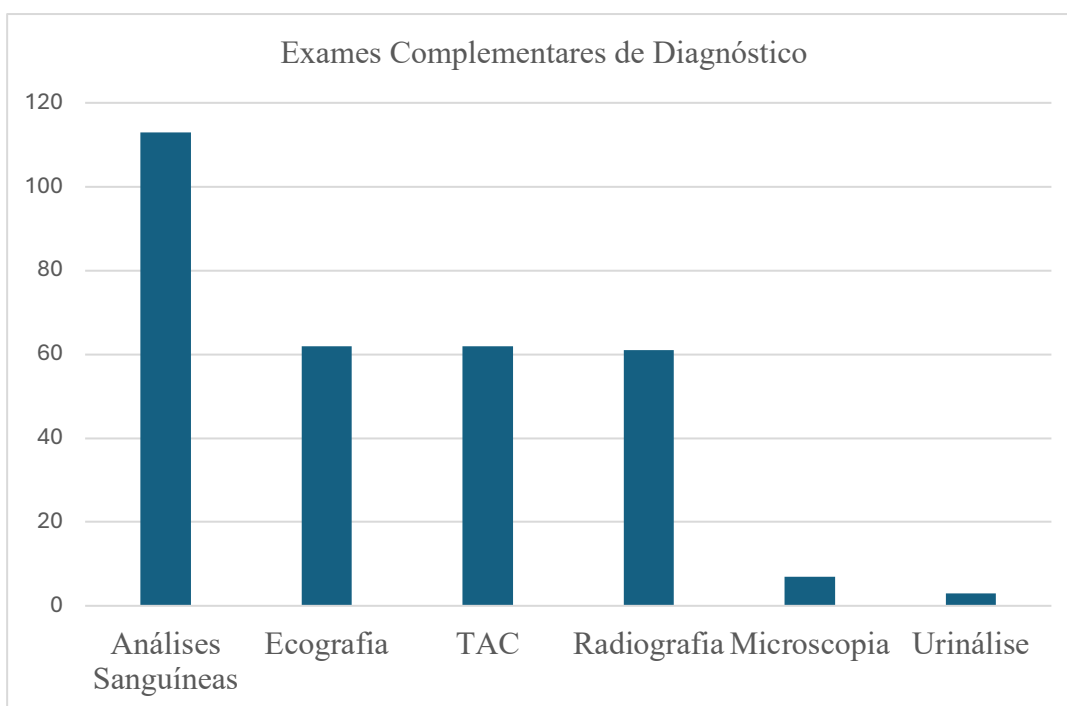
**Gráfico 4:** Representação gráfica das raças de felídeos consultados (SRD – Sem raça definida).

As especialidades que se destacaram foram: medicina preventiva (n=60), imagiologia (n=42), cirurgia (n=37), nefrologia (n=23) e traumatologia (20) (Gráfico 5).



**Gráfico 5:** Representação gráfica das especialidades dos animais consultados.

Em ato de consulta, o autor teve a oportunidade de realizar 308 meios de diagnóstico complementares, destacando-se análises clínicas (n=113), ecografia (n=62), tomografia computadorizada (n=62), radiografia (n=61), microscopia ótica (n=7) e urinálise (n=3) (Gráfico 6).



**Gráfico 6:** Representação gráfica dos meios de diagnóstico complementares realizados.

## I. Introdução

Nos últimos anos, a popularidade dos cães de desporto cresceu e, aliado a isso, muitos tutores de cães de estimação procuraram também o uso de atividades físicas (natação, caminhadas, corridas com bicicletas) para melhorar a qualidade de vida dos seus animais (Huntingford *et al.*, 2014). À semelhança dos humanos, os cães precisam de se exercitar de forma regular para ajudar a manter um peso corporal saudável, desenvolver a sua musculatura e melhorar o seu metabolismo energético e cardiovascular (Salvo *et al.*, 2021). Assim, evita-se obesidade (Bland *et al.*, 2010), diabetes, doenças cardíacas, problemas articulares e o sedentarismo (Lee & Kim, 2020). O exercício ajuda, também, na saúde mental do próprio cão e dos seus tutores (Toth *et al.*, 2023), reduzindo *stress*, depressão e a ansiedade em cães de companhia, melhorando a sua função cognitiva e qualidade de vida. Ainda assim, existem lacunas acerca de como a atividade física deve ser prescrita para a espécie canina.

A biomecânica utiliza as leis da física em estruturas biológicas, permitindo uma análise mais objetiva do movimento (Clayton, 2016). Ela abrange a cinemática, definida como estudo do movimento em si (segmentos corporais), e a cinética, que descreve as forças envolvidas na produção do movimento (Clayton, 2016). Esta área científica permite entender os diferentes andamentos, de forma a corretamente usar esses recursos no exame clínico, no diagnóstico de claudicações e na preconização de programas de reabilitação (Denoix, 2014).

Sistemas baseados em IMU (*inertial measurement unit*) foram desenvolvidos para recolher grande quantidade de dados a campo (Egenvall *et al.*, 2022) e são atualmente amplamente usados em equinos em prática desportiva, sendo caracterizados como métodos não invasivos. Normalmente, são constituídos por aparelhos de tamanho portátil que são fixados em equipamentos apostos ao animal ou mesmo nos próprios animais sem que induza lesão ou comprometa os seus movimentos (Darbandi *et al.*, 2023). Estes sistemas permitem analisar o processo completo dos andamentos, incluindo avaliação, por exemplo, da mobilidade de coluna vertebral (Fercher, 2017). Atualmente, existe uma lacuna no conhecimento da biomecânica em cães, sendo os estudos neste campo essenciais para fornecer dados de relevância na análise de movimentos corporais, que possam eventualmente diagnosticar processos patológicos músculo-esqueléticos ou auxiliar em exercícios de fisioterapia ou condicionamento físico.

## 1. Fisiologia do Exercício em Cães

A fisiologia do exercício é uma disciplina que estuda as respostas e adaptações do organismo humano (ou animal) aos esforços físicos e às atividades de movimento. Ela analisa como o corpo responde aos desafios metabólicos induzidos pelo exercício físico, modulando funções de diferentes sistemas, como o muscular, cardiovascular, respiratório e nervoso, para sustentar a atividade física e promover melhorias na saúde e no desempenho (Bland *et al.*, 2010; Lee & Kim, 2020; Millard, 2014; Salvo *et al.*, 2021).

A sua importância reside no fato de fornecer uma compreensão detalhada dos mecanismos fisiológicos que sustentam a atividade física, não só para otimizar treinos e melhorar o rendimento desportivo, mas também para o desenvolvimento de programas de reabilitação eficazes. Na reabilitação, por exemplo, a fisiologia do exercício permite prescrever atividades adaptadas às capacidades do paciente, promovendo a recuperação de funções, prevenindo complicações secundárias e estimulando adaptações positivas nos sistemas do corpo (Denoix, 2014; Millard, 2014; Toth *et al.*, 2023).

Os principais objetivos da fisiologia do exercício incluem:

1. Entender as respostas fisiológicas ao exercício, ou seja, compreender como os sistemas do corpo reagem durante diferentes tipos de atividade física, que vão desde esforços de baixa intensidade até exercícios de alta intensidade (Huntingford, 2014; Millard, 2014);
2. Compreender as adaptações que o exercício induz, estudando as mudanças que ocorrem a curto e longo prazo, como aumentos na capacidade cardiovascular, força muscular, resistência e eficiência metabólica (Lee & Kim, 2020; Salvo *et al.*, 2021);
3. Desenvolver intervenções específicas para maximizar os benefícios do exercício, orientando a prescrição de treinos e programas de reabilitação que promovam melhorias na saúde, desempenho e qualidade de vida, minimizando riscos e prevenindo lesões (Denoix, 2014);
4. Compreender as limitações e fatores que influenciam o desempenho e a recuperação, incluindo fatores fisiológicos, patológicos ou ambientais, com o objetivo de personalizar abordagens de treinamento e reabilitação (Denoix, 2014; Millard, 2014).

Assim, a fisiologia do exercício constitui uma base científica imprescindível para o entendimento do funcionamento do corpo durante o esforço físico e é indispensável na elaboração de estratégias que promovam a recuperação funcional, o bem-estar e a excelência no desempenho desportivo, reforçando o seu papel primordial na reabilitação (Anthony *et al.*, 2024; Denoix, 2014).

## **2. Raças Mais Utilizadas no Desporto**

As raças mais frequentemente incluídas nos estudos envolvendo a biomecânica são o Pastor Alemão (Levy *et al.*, 2009), o Pastor Belga Malinois (Gradner *et al.*, 2007; Mendoza-Lara *et al.*, 2012), o Greyhound (Hossain *et al.*, 2019), o Border Collie (Inkilä *et al.*, 2025; Levy *et al.*, 2009) e o Beagle (Lee & Kim, 2020). Estas raças estão geralmente classificados como cães de desporto (PA, PBM, BC, GH), de trabalho (PA, PBM) e de investigação clínica (BG).

Nos estudos envolvendo cinemática, em função da diversidade supracitada de raças nos estudos, observam-se diferentes respostas fisiológicas (Lee & Kim, 2020). Por exemplo, cães da raça Beagle são frequentemente utilizados em investigações devido à sua domesticação e tamanho padrão, facilitando a comparação dos resultados. Já os cães da raça Greyhound, que são geralmente atletas naturais e estão frequentemente relacionados com atividades de corrida e resistência, são úteis para avaliar os efeitos do exercício de alta intensidade (Hossain *et al.*, 2019).

Tais diferenças nas respostas observadas, na área da biomecânica e na área da fisiologia do exercício, devem-se, assim, às diferenças entre as raças, como tamanho, metabolismo, resistência e predisposição a certas condições de saúde, como também às suas idades (Söder *et al.*, 2009). Isso reforça a necessidade de estudar tais eventos para que seja possível formular programas de exercício de forma individualizada.

## **3. Pastor Belga de Malinois**

No final do século XIX, diversos cães de pastoreio, com morfologias distintas, eram utilizados na Bélgica, o que dificultava a padronização de uma raça.

A 29 de setembro de 1891, foi fundado o *Club du Chien de Berger Belge* (Clube do Cão Pastor Belga), em Bruxelas, tendo como objetivo selecionar os melhores exemplares da raça, focando-se num padrão específico. No entanto, apenas em 1892 foi criado um padrão detalhado

do PB, tendo sido definido como um cão de porte médio, de trabalho versátil (proteção e trabalho), resistente às alterações climáticas e com aparência harmoniosa, sendo possível destacar quatro variedades de pelagem (Groenedael, Tervueren, Malinois e Laekenois) (Jeans-Brown, 2001).

O Pastor Belga Malinois caracteriza-se por ser um cão de porte médio, de estrutura quadrada e musculatura seca, apresentando um corpo compacto, firme e bem proporcional. A cabeça é longa, com um crânio plano e um focinho de comprimento equivalente entre as variedades, levemente fino e estreito e terminando sempre com um nariz preto. Os olhos são de tamanho médio, amendoados e acastanhados e as orelhas são pequenas, triangulares e eretas. O pescoço deve ser bem destacado e musculoso, terminando dorsolombaramente de forma curta e sólida, apresentando apenas uma anca discretamente inclinada. O peito é profundo, alcançando a altura dos cotovelos, e o abdômen levemente elevado contribui para a silhueta equilibrada. A cauda, de comprimento médio, deverá chegar pelo menos ao curvilhão e deverá apresentar-se baixa em repouso, elevando-se sem ultrapassar a linha superior do dorso aquando do movimento. Os membros anteriores são fortes e retos, com patas compactas e arredondadas, sendo os membros posteriores igualmente musculosos (Jeans-Brown, 2001).

A sua movimentação deverá ser ágil e fluida, com predileção pelo trote, mantendo o dorso sempre firme. A pele é sólida e bem pigmentada, e o pelo característico do PBM é curto na cabeça, orelhas e membros, e mais denso no corpo, formando uma discreta gola ao redor do pescoço e uma cauda em forma de espiga, sem pluma (Figura 1) (Jeans-Brown, 2001).



**Figura 1:** Imagem fotográfica de um cão da raça Pastor Belga de Malinois. (Fonte: <https://nosamisleschiens.fr/berger-belge-malinois/>)

Historicamente, esta raça começou por estar ligada à atividade rural e de manejo de rebanhos, nomeadamente de ovelhas. No entanto, atualmente, o seu temperamento alerta, confiante, energético e desprovido de medo ou agressividade, faz com que seja usada não só para esse trabalho como também para guarda, policiamento (detecção de drogas e explosivos, busca e salvamento, ataque e patrulhamento), proteção pessoal e companhia familiar (Jeans-Brown, 2001; Mendoza-Lara *et al.*, 2012).

Deste modo, a raça evolui de um simples cão pastoreio para um exemplar versátil multifuncional, mantendo a sua resistência, agilidade e dedicação ao trabalho. Tendo em conta o acima referido, a popularidade desta raça tem crescido exponencialmente, o que faz com que a mesma já tenha sido foco de algumas investigações (Andrada *et al.*, 2023; Bockstahler, B. & Mucha, M., 2008; Gradner *et al.*, 2007; Gündemir *et al.*, 2020).

## **4. Biomecânica em Cães**

### **4.1 Princípios e Conceitos**

A biomecânica baseia-se em dois grandes princípios: a cinética e a cinemática. A primeira corresponde ao estudo das forças que ocorrem durante o movimento, enquanto a segunda consiste no estudo do movimento sem consideração da força exercida (Bockstahler & Mucha, 2008; Clayton, 2016).

Atualmente em medicina veterinária, o estudo da análise cinética (estudo das forças que ocorrem durante o movimento) provou ser muito útil para avaliar afeição de doenças músculo-esqueléticas, bem como a eficácia de protocolos terapêuticos (Denoix, 2014). Nesta análise, é avaliada a força que determinado membro exerce sobre o solo e a carga que lhe é devolvida (princípio da reação de força do solo, ou do inglês *ground force reaction*), o que permite analisar indiretamente a função do mesmo. No entanto, através deste método, há limitações quanto à avaliação das funções articulares, sendo, então, necessário recorrer à cinemática. Esta análise consiste em avaliar o estudo do movimento sem utilização de forças. Deste modo, consegue-se avaliar amplitude do movimento, velocidades articulares, velocidades segmentares de cada parte do membro, frequência e comprimento da passada (Sandberg *et al.*, 2020).

Pode, então, dizer-se que estes dois estudos se complementam, uma vez que a cinética fornece informações específicas sobre as forças transmitida entre cada membro e o solo, enquanto a cinemática fornece informações sobre os ângulos articulares das articulações durante a marcha (Colborne, 2007).

Para a realização destes estudos e para melhor compreendermos a biomecânica dos canídeos, é necessária uma ampla compreensão das técnicas cinemáticas que quantificam objetivamente o movimento, sendo atualmente possível avaliar os mesmos através de diferentes técnicas: 2D ou 3D. Ambas as abordagens geralmente dependem da colocação de marcadores de alto contraste na pele ou na pelagem do animal, que são rastreados por *softwares* específicos. No entanto, diferem na quantidade de informação obtida sobre o movimento do animal (Anthony *et al.*, 2024; Clarke *et al.*, 2024; Inkilä *et al.*, 2025; Gardner *et al.*, 2007).

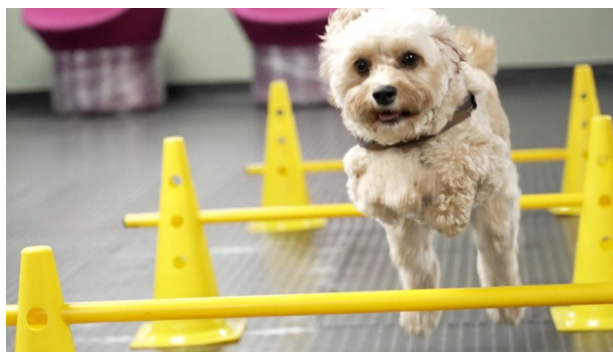
Na técnica 2D é utilizado um único sistema de vídeo ou câmara convencional posicionada de forma fixa, geralmente paralela ao plano de movimento de interesse, como o plano sagital, o que permite rastrear o trajeto do ponto sinalizado (*tracking point*) e concluir movimentos como flexão e extensão. A desvantagem é que esta análise não permite detetar movimentos que ocorram fora desse plano, como rotações internas ou externas, movimentos laterais ou deslocamentos fora do plano de referência. Como consequência, os dados obtidos são restritos às componentes de movimento nesse mesmo plano específico, o que pode não refletir com precisão toda a complexidade do movimento animal. Já a técnica 3D envolve o uso de múltiplas câmaras sincronizadas estrategicamente posicionadas ao redor do animal, captando o movimento em todos os planos do espaço, o que permite reconstruir tridimensionalmente os deslocamentos, rotações e movimentos laterais do animal, fornecendo uma visão abrangente e detalhada do seu padrão de locomoção. Essa metodologia permite a análise completa da cinemática, incluindo movimentos complexos que não podem ser detetados por sistemas 2D. Assim, a análise em 3D é considerada o padrão-ouro em estudos biomecânicos devido à sua alta precisão e profundidade de informações. No entanto, essa abordagem é mais dispendiosa, requer um equipamento mais sofisticado e uma configuração mais complexa, além de demandar maior conhecimento técnico para o processamento e a interpretação dos dados obtidos (Anthony *et al.*, 2024; Sandberg *et al.*, 2020).

Assim sendo, a análise em 2D é mais simples, económica e prática para aplicações clínicas e rotineiras, embora apresente limitações na captura de movimentos fora do plano principal de análise. A análise em 3D, embora envolva maior investimento e complexidade técnica, oferece uma avaliação mais completa e precisa do movimento animal, sendo predominantemente utilizada em pesquisas avançadas e estudos científicos.

## 4.2 Importância da Compreensão da Biomecânica para Estabelecimento de Protocolos de Treino e Reabilitação em Cães

Os princípios da biomecânica da locomoção são imprescindíveis para o estabelecimento de protocolos de treino e reabilitação, devendo estes ser adaptados e únicos para cada animal (Baltzer, 2020, Clarke *et al.*, 2024). Estes protocolos em cães estão geralmente associados a práticas desportivas ou ao tratamento de algum tipo de patologia, porém os benefícios da implementação de atividade física são amplos, aplicando-se também aos animais de companhia (Huntingford *et al.*, 2014).

Dentro da área da reabilitação animal, Clarke *et al.* (2024) investigaram a influência de diferentes alturas de cavaletes (Figura 2) na biomecânica da marcha de cães saudáveis e como estes podem ser utilizados em programas de reabilitação animal. Os animais (8 cães de companhia de raças distintas) realizaram sessões de caminhada atravessando caveletes colocados em quatro alturas distintas: ao nível do chão, da articulação tarso-metatarsiana, da articulação femorotibial e ao nível do esterno. Durante os testes, foram posicionados marcadores refletivos em pontos anatómicos específicos, e a captura de imagens juntamente com tapetes de pressão permitiu medir parâmetros de movimento articular (amplitude de movimento, ROM) e forças de impacto (PVF). Concluíram que, no contexto de reabilitação canina, a utilização dos caveletes à altura do chão proporcionou um aumento moderado na amplitude de movimento (ROM) e forças de impacto (PVF), sendo indicado como ponto de partida seguro. Posteriormente, a elevação para o nível do curvilhão permitiu um aumento mais significativo do ROM, especialmente nas articulações do joelho e do tornozelo, sem provocar aumento relevante do PVF, tornando-se assim a altura recomendada para a progressão do exercício após a fase inicial, dado que promove maior mobilidade com menor risco de sobrecarga. Por outro lado, a altura ao nível do joelho não promoveu aumento de ROM, mas gerou PVF mais elevadas, o que pode ser considerado desvantajoso em contextos clínicos e a altura ao nível do esterno apresentou efeito nulo. Assim, foi possível compreender que: numa fase inicial a altura deverá ser ao nível do chão, o ideal seria o uso dos cavaletes a nível da articulação da curvilhão, é desvantajoso ao nível do joelho e tem um efeito nulo ao nível do esterno. Esta informação é crucial para implementação de planos de treino e reabilitação, pois é possível saber até que altura é possível estimular o ROM sem influenciar o PVF, ou seja, é estabelecido um intervalo favorável à reabilitação e um intervalo desfavorável ou prejudicial.



**Figura 2:** Imagem fotográfica de um obstáculo do tipo cavelete, usados em programas de reabilitação e treino de cães. (Fonte: <https://ichef.bbci.co.uk/images/ic/1920x1080/p0ghjg47.jpg>)

A compreensão da biomecânica, é também muito importante, no estabelecimento de protocolos de reabilitação e treino após intervenções cirúrgicas (Torres *et al.*, 2017; Baltzer, 2020). Torres *et al.* (2017) desenvolveram um estudo onde avaliavam a mobilidade tridimensional da articulação do joelho em cães saudáveis, antes e após a colocação de uma órtese que limitava o movimento dessa mesma articulação. Tinham como objetivo estudar os efeitos que a colocação da órtese tem não só a nível da articulação do joelho, como também das restantes articulações. Concluíram então que este aparelho tem uma ação restritiva ao nível do joelho, limitando a mobilidade na fase final da extensão durante o apoio. No entanto, foi também possível descobrir, que o mesmo afeta também outras articulações, como a articulação coxofemoral e tarsiana, tendo sido a última a mais afetada. Na articulação do cotovelo foi observado uma diminuição do ROM tanto na direção sagital como na frontal ao longo da marcha. Já a nível da articulação coxofemoral o seu efeito foi menos consistente. Assim foi possível concluir que o uso da órtese modifica a dinâmica do membro pélvico e deve ser tido em conta no seu uso clínico, ou seja, na implementação de protocolos de reabilitação que façam uso deste aparelho, dever-se-á ter em conta as alterações que o mesmo causa no membro.

Como foi possível compreender, a implementação de protocolos baseados na biomecânica possibilita uma abordagem individualizada, levando em consideração as particularidades de cada caso clínico, o que aumenta o sucesso do processo de reabilitação (Baltzer, 2020). Assim sendo, uma compreensão aprofundada dos princípios da biomecânica favorece não apenas a utilização adequada das técnicas terapêuticas, como também a elaboração de programas de treino que promovam a recuperação funcional.

## 5. Sistemas de Avaliação da Cinemática dos Cães

### 5.1 O Que Existe em Cães?

As investigações dentro da biomecânica com foco em cães são mais escassas quando comparado às que existe em equinos. Tais estudos contribuem significativamente para reforçar a importância da análise cinemática e cinética – e de forma geral, da biomecânica canina – nas diversas áreas da medicina veterinária, abrangendo não só cães de desporto, como também animais de companhia doentes ou clinicamente saudáveis, não praticantes de desportos. Os resultados apontam a possibilidade do seu uso como ferramenta precoce de deteção de possíveis patologias ou fatores de riscos associados a desporto ou atividade física, para além de preconização de planos de treino ou reabilitação para os animais de companhia. Além disso, a identificação dos fatores que aumentam o risco de lesão, permite desenvolver medidas preventivas destinadas a reduzir a incidência de problemas musculoesqueléticos.

O estudo da cinemática canina tem vindo a evoluir significativamente, sendo particularmente importante para cães de desporto, com destaque aos cães usados em provas de *agility*, expostos a um risco acrescido de lesões, em virtude das exigências físicas inerentes à modalidade (Levy *et al.*, 2009). Esta realidade é evidenciada por um estudo realizado em 1627 cães praticantes desta modalidade canina, no qual se verificou que 33% apresentavam lesões ativas no momento da recolha dos dados (Levy *et al.*, 2009). Neste mesmo estudo foi evidenciado padrões específicos de movimentos e de distribuição da carga que predispõem determinadas regiões anatómicas a maior risco de lesões, nomeadamente a articulação do ombro e coluna vertebral. Dentro de todos os obstáculos da modalidade, destacam-se o *A-frame* (Figura 3) e o *dogwak* (Figura 4), ao serem obstáculos de elevado impacto (Levy *et al.*, 2009 & Cullen *et al.*, 2013).



**Figura 3:** Imagem fotográfica de um obstáculo do tipo *A-frame* (em formato de A), usados em provas de *agility*.



**Figura 4:** Imagem fotográfica de um obstáculo do tipo *dogwalk* (passadeira), usados em provas de *agility*.

Anthony *et al.* (2024) desenvolveram um estudo com o objetivo de avaliar a cinemática e a cinética de 10 cães de *agility* durante a execução de um obstáculo do tipo *dogwalk*. Para tal, recorreu-se à videografia bidimensional (2D), com filmagens efetuadas opostas uma à outra e adjacentes à extremidade do referido obstáculo, focando-se particularmente na fase de saída. O tempo despendido pelos animais para a transposição da passarela foi cronometrado e a medição das forças de impacto foi realizada através da utilização de dois sensores de pressão colocados estrategicamente nas zonas de contacto: um na extremidade final da passarela e outro na superfície do solo imediatamente após esta. Para a análise cinemática, nomeadamente a medição dos ângulos de flexão dos membros torácicos, foram aplicados marcadores refletivos em pontos anatómicos de referência, incluindo a borda dorsal da escápula, o tubérculo maior do úmero, o olecrânio, o carpo e a articulação metacarpofalângica. Os resultados obtidos evidenciaram que tanto os ângulos articulares dos membros torácicos como as forças de reação do solo de pico (*Peak Vertical Force* - PVF) variam em função da técnica e da experiência dos cães. No que respeita à componente cinética, foi observado que os cães que adotam uma técnica de corrida (cães mais experientes) na saída da passarela apresentam valores de PVF superiores quando comparados com aqueles que utilizam uma técnica de paragem, dado que possuem uma velocidade superior. Do ponto de vista cinemático, verificou-se uma correlação entre experiência do animal e os ângulos articulares. Cães mais experientes apresentam uma velocidade superior, postura mais baixa e maior angulação do cotovelo, o que faz com que o

risco de lesão seja superior ao nível da articulação do cotovelo. Já cães menos experientes, apresentam uma menor velocidade e têm maior tendência para olhar para o treinador, adquirindo uma postura ereta com extensão do carpo, o que faz com que o risco de lesão seja superior nessa articulação.

Em contexto clínico, surgiu o estudo de Gardner *et al.* (2007), que teve como principal objetivo analisar a cinemática do movimento da coluna vertebral toracolombar em cães da raça PBM clinicamente saudáveis. Para tal, foram posicionados marcadores de forma não invasiva nos processos espinhosos das vértebras C7, T6, T13, L3, L7 e S3, o que permitia analisar os movimentos nos planos sagital (vertical) e transversal (horizontal). Os cães caminharam numa passarela elétrica, onde foram avaliadas variáveis como ROM em ambos os eixos e o momento de ocorrência (TOO) dos máximos deslocamentos dos marcadores. Posteriormente, foram realizadas radiografias para verificar se alterações na junção lombossacral influenciavam a mobilidade vertebral, dividindo-se os animais em três grupos: cães sem alterações radiográficas; cães com vértebra L7 encurtada (menos de 2/3 do comprimento normal); e cães com vértebras de transição, esclerose, espondilose, subluxações ou espondiloartrose na região lombossacral. Os resultados demonstraram que, apesar da ausência de sinais clínicos, os cães apresentavam assimetrias no movimento da coluna durante a marcha. Além disso, verificaram-se diferenças significativas no ROM entre os grupos com e sem alterações radiográficas, sendo que os cães com vértebras encurtadas ou outras alterações estruturais apresentaram padrões de mobilidade distintos. Estes achados sugerem que modificações anatómicas na coluna podem influenciar a sua cinemática, mesmo na ausência de manifestações clínicas evidentes. Assim, os autores concluíram que as alterações radiográficas da junção lombossacral exercem uma influência mensurável sobre o movimento vertebral durante a marcha. Reforçaram ainda que a cinemática da coluna vertebral em cães clinicamente normais apresenta alguma assimetria natural, porém alterações estruturais podem amplificá-la. Assim, a análise cinemática revelou-se uma ferramenta sensível e útil para detetar variações subtis no movimento da coluna vertebral, com potencial relevância para a avaliação precoce e preventiva de disfunções neuromusculoesqueléticas.

Também dentro do contexto clínico, Miqueleto *et al.* (2013) desenvolveram um estudo sobre alterações cinemáticas das articulações dos membros de cães da raça PA, comparando dois grupos de cães: G1 (20 cães adultos saudáveis e clinicamente normais) e G2 (10 cães adultos com displasia de anca, sem queixas de claudicação aparente). É de realçar que os cães G2 foram diagnosticados de acordo com os critérios OFA (*Orthopaedic Foundation for*

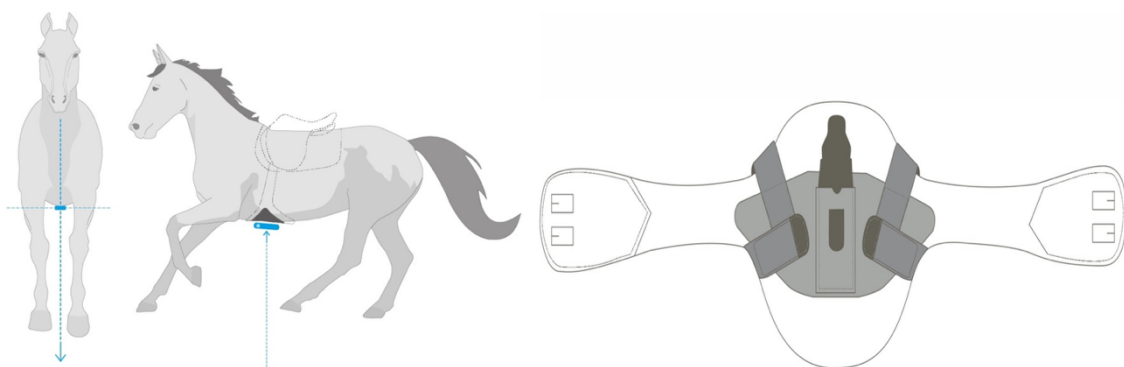
*Animals*), o que padroniza estes animais e permite a comparação entre estudos que tenham tido o mesmo critério de classificação. O principal objetivo era determinar se a displasia da anca, mesmo em cães assintomáticos, influenciava a cinemática durante o trote em passadeira elétrica a uma velocidade de 2,1 a 2,2m/s (equivalente a ~7,56 a ~7,92km/h). Foram avaliados velocidade angular das articulações (máxima e mínima), tempo de ciclo de marcha, assimetrias, ângulos de flexão e extensão e deslocamento angular. Para tal foi utilizada a técnica 3D, utilizando um sistema de câmaras (Vicon MX-3+) calibrado com o procedimento DynaCal, o que permitiu capturar imagens e vídeos de 3 m de comprimento, 2,5 m de largura e 2 m de altura. Os autores concluíram que não foram detetadas alterações de simetria em nenhum dos lados, porém os cães do grupo G2 apresentavam alterações notáveis como maior ângulo máximo de flexão da articulação do coxofemoral, maior velocidade angular na mesma articulação e uma velocidade angular superior na articulação do carpo em cães saudáveis. O facto destes animais apresentarem maior amplitude de movimento na articulação coxofemoral sugere um possível mecanismo compensatório ou uma alteração na dinâmica de marcha, mesmo na ausência de sinais clínicos visíveis. Assim, conclui-se que a displasia do anca, mesmo de forma assintomática, influencia os padrões cinemáticos durante a marcha trotada, o que permite antecipar alterações que possam progredir para patologias ortopédicas mais graves.

Hossain *et al.* (2019) desenvolveram um programa de simulação numérica capaz de reproduzir, com elevada precisão, o comportamento cinemático e dinâmico dos GH durante corridas. Este programa permite aos investigadores compreender os fatores determinantes do desempenho atlético e da ocorrência de lesões musculoesqueléticas nestes animais, com especial destaque nas fases do percurso em que ocorrem variações rápidas de direção e acelerações intensas, nomeadamente nas curvas (locais de maior lesão). Para a construção do modelo informático, recorreu-se a dados reais de corridas fornecidos *pela Greyhound Racing Victoria*, na Austrália, bem como a plantas topográficas detalhadas das pistas, permitindo uma representação fiel da geometria e das condições de corrida. Neste modelo numérico, em que o GH era representado por um ponto cinemático sujeito a forças externas e a variações de direção, foram consideradas aceleração, velocidade, taxa de rotação e fatores ambientais associados à pista e ao movimento do isco (designado como *lure*). O programa foi concebido para simular percursos com retas e curvas, sendo particularmente centrado nos primeiros cinco segundos de corrida, o intervalo em que os GH apresentam as maiores taxas de aceleração e onde se observam as maiores exigências biomecânicas. Os resultados obtidos demonstraram que os GH atingem, em média, uma aceleração de cerca de 3,9 m/s<sup>2</sup> durante os primeiros segundos da

corrida, com picos de taxa de rotação próximos de 0,4 rad/s nas transições para as curvas. Estes valores revelam mudanças de direção rápidas, associadas a esforços mecânicos significativos e, potencialmente, a um maior risco de lesões. A confirmação da validade do modelo desenvolvido foi dada pela comparação entre os dados simulados e os dados reais que demonstraram uma forte concordância. Verificou-se que o desempenho e a probabilidade de lesões estão fortemente influenciados pelo perfil da pista, pela velocidade do isco e pela resposta comportamental individual dos galgos, sobretudo nas curvas, onde as forças de cisalhamento são mais elevadas. Concluiu-se, assim, que o programa de simulação numérica constitui uma ferramenta eficaz para o estudo do comportamento cinemático dos GH durante as corridas, oferecendo uma base científica sólida para a otimização do desenho das pistas e para o desenvolvimento de estratégias de treino mais seguras.

## 5.2 Sistema Alogo Move Pro™

O Alogo Move Pro™ é um dispositivo portátil composto por um sensor inercial (IMU) que integra magnetómetro, goniómetro e acelerómetro, assim como um recetor de sistema de posicionamento global (GPS). Este sensor foi desenvolvido para equinos, devendo ser colocado numa placa de proteção e posicionado junto à cilha do cavalo (Figura 5). Graças à sua elevada precisão, o dispositivo possibilita o rastreamento tridimensional do movimento do cavalo, fornecendo informações detalhadas sobre o equilíbrio lateral, alinhamento do movimento, cadência, velocidade e duração das sessões de treino (Montavon *et al.*, 2021).



**Figura 5:** Cinta onde o sistema Alogo Move Pro™ é encaixado e seu correto posicionamento no equino, na região do esterno (Fonte: Guyard *et al.*, 2023)

Sua principal vantagem frente aos demais dispositivos é a recolha e análise de dados relativos aos saltos, permitindo identificar e otimizar parâmetros biomecânicos e detetar

alterações na locomoção, com vista à prevenção de lesões (Montavon *et al.*, 2021). Assim, representa uma ferramenta de apoio útil para médicos veterinários, cavaleiros e treinadores, nomeadamente no acompanhamento do desempenho e na identificação de possíveis claudicações, assim como da aptidão física dos mesmos (Guyard *et al.*, 2023). Dentre as suas capacidades analíticas, destaca-se a medição da trajetória completa do salto — incluindo as fases de aproximação, impulsão (*take-off*), suspensão, aterragem e recuperação — bem como a avaliação da altura e comprimento de cada salto e passada, medições angulares e cálculos da força de impacto dos membros posteriores durante a impulsão (Montavon *et al.*, 2021).

Como todo o novo equipamento, há a necessidade de validação para o seu uso. Nesse processo, os dados do equipamento em teste são comparados com resultados obtidos por sistemas considerados padrão-ouro. Nos estudos de biomecânica na espécie equina, o sistema referido como padrão ouro, e usado por Guyard *et al.* (2023) na validação do Alogo Move Pro™, é o Qualisys AB, um sistema OMC (*optical motion capture*) muito sofisticado. Os referidos autores descreveram uma boa concordância e a congruência entre os dispositivos OMC e Alogo Move Pro™ e destacaram como adequadas a acurácia e a precisão nas condições de estudo em campo. O dispositivo foi capaz de medir diversos parâmetros importantes da marcha e da parábola do salto com um bom nível de precisão, permitindo detectar alterações decorrentes da queda de desempenho.

Outro estudo visou validar o sistema em relação a altura, o comprimento e o ângulo de *take-off* dos saltos (Weishaupt *et al.*, 2023), novamente comparando os dados obtidos pelo sensor Alogo Move Pro™ com um sistema OMC. Foram obtidos dados de 11 cavalos-cavaleiros, cada um saltando de 6-10 obstáculos, entre verticais e *oxers* de 80-140 cm de altura. A exatidão e a precisão do sistema Alogo foram consideradas suficientes em condições arenas cobertas onde a intensidade do sinal GPS poderia ter sido abaixo do ideal.

O sistema Alogo Move Pro™ foi usado na coleta de dados de 54 sessões de *cross-country* de 33 equinos em 5 eventos de alta competição (Burger *et al.*, 2023). Os dados foram analisados juntamente com outros índices de avaliação desportiva como lactato sanguíneo e recuperação de frequência cardíaca. Destacaram-se dentre os resultados uma correlação positiva entre as concentrações sanguíneas de lactato e a média do *strike power* nos saltos registados no último minuto do percurso. Também observaram uma correlação negativa entre o *strike power* e a média da altura da passada sobre os saltos.

Além de avaliação desportiva em equinos, o sistema Alogo já foi também usado em investigações sobre alterações no padrão de locomoção após ferrageamento (Benn *et al.*, 2023),

no qual os autores concluem que o mesmo mostrou-se eficiente na decisão pelo momento correto de substituição das ferraduras, e sobre os efeitos de botas terapêuticas sobre a performance desportiva nos saltos de obstáculos (Schmidt *et al.*, 2023).

## **6. Objetivos**

Embora o Alogo Move Pro™ tenha sido originalmente desenvolvido para aplicação exclusiva em equinos, o presente estudo propõe-se a explorar a viabilidade da sua utilização em cães, nomeadamente da raça Pastor Belga de Malinois. O objetivo é transpor as funcionalidades do dispositivo e testar a hipótese de que este é capaz de detetar padrões de locomoção relevantes também nesta espécie, permitindo recolher informações úteis para a identificação de claudicações, assimetrias de movimento e avaliação da aptidão física. Para tal, foram avaliados dez cães, aos quais foi acoplado o referido sensor a um peitoral, durante a execução de movimentos de passo, trote, galope e brincadeiras com saltos.

Objetivo Principal:

- Avaliar a viabilidade do sistema Alogo Move Pro™ na análise da biomecânica da locomoção em cães da raça Pastor Belga Malinois.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar parâmetros cinemáticos durante passo, trote e galope;
2. Analisar parâmetros biomecânicos associados aos saltos de obstáculos;
3. Comparar os dados obtidos entre os diferentes andamentos;
4. Avaliar a capacidade do sistema em identificar corretamente os padrões de locomoção;
5. Determinar o potencial e as limitações do Alogo Move Pro™ na biomecânica canina.

## **II. Material e Métodos**

O presente projeto de pesquisa foi submetido a apreciação pelo CEBEA-FMV, Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa, sendo aprovado sob número 20-2025. O mesmo foi realizado no âmbito de uma rotina clínica.

### **1. Animais**

Foram selecionados 10 cães, sendo cinco machos e cinco fêmeas, da raça Pastor Belga de Malinois, com idade média de  $3,6 \pm 2,7$  anos e com peso médio de  $24,8 \pm 3,3$  kg (escore corporal de 4 numa escala de 1-9).

Os animais foram considerados clinicamente aptos após exame físico minucioso que incluiu avaliação ortopédica, cardiorrespiratória, e neuromuscular. Encontravam-se em rotina de atividade física com orientação médico veterinária e realizada pelos seus tutores.

Os animais são submetidos a maneios similares alimentar e sanitário. São mantidos em canis individuais (5x3 m). A base alimentar consistiu de concentrado comercial (Royal Canin E 4300 Energy), contendo 28% de proteína e 4077 Kcal de energia digestível, fornecido 2 vezes ao dia (8h00 e 18h00), na base de 2 kg/100 kg de peso vivo. Água estava sempre disponível. Cada cão foi regularmente desparasitado (Nexgard Spectra 75mg/15mg, princípio ativo: afoxolaner/milbemicina oxima, regularidade: mensalmente) e vacinado (antirrábica, leptospirose, esgana canina, parvovirose canina, hepatite infecciosa canina, leishmaniose canina e parainfluenza + bordetella bronchiseptica, seguindo as diretrizes de vacinação da *World Small Animal Veterinary Association*). Tais informações foram obtidas junto à equipa veterinária que acompanha os animais incluídos no estudo.

### **2. Delineamento do Estudo**

e Tais atividades fazem parte da rotina de atividade física estabelecida para os animais, com uma duração média de 5-10 minutos/dia, sendo cada cão acompanhado pelo seu tutor. Nas atividades de passo e trote, os animais foram conduzidos com uma trela; para o galope e os saltos, estavam soltos, obedecendo a comandos de voz.

### 3. Monitoramento Biomecânico com o Sistema Alogo Move Pro™

Durante as supracitadas atividades, os animais usaram um sistema de monitoramento cardíaco (sensor H10, Polar Electro, Lake Success, NY, EUA) conectado a um acelerômetro triaxial com unidade de medição inercial baseada em GPS (Alogo Move Pro™, Alogo Swiss Technology, Renens, Suíça) (Figura 6), ambos comercialmente disponível.



**Figura 6:** Sensor Alogo Move Pro™.

O sensor Alogo Move Pro (com um peso aproximado de 127g) foi fixado ao peitoral (Line Grip Harness, Non-Stop Dogwear, USA), com o qual os cães estavam familiarizados. Para a fixação do sensor ao peitoral, foi feito uso de banda coesiva reposicionável, de 5 cm x 4,7 cm (Vetrap™, 3M Animal Health, USA) (Figuras 7 e 8).



**Figura 7:** Posicionamento do Sensor Alogo Move Pro™ e fixação ao peitoral usando ataduras coesivas.



**Figura 8:** Posicionamento do Sensor Alogo Move Pro™ e fixação ao peitoral usando ataduras coesivas.

Antes da atividade física, foi colocada a cinta própria com o monitor cardíaco H10 da Polar nos animais. Em seguida, foi feita a colocação do peitoral (já com o sistema Alogo Move Pro), sempre confirmando que este não impedia qualquer movimento natural dos animais. Com o animal em posição quadrupedal, foi feita a mensuração da distância do sensor ao solo (em cm) (Figura 8). Além dessa informação, eram ainda inseridos na aplicação do equipamento outros dados, como nome e idade de cada animal, seguindo as instruções do fabricante, que podem ser obtidos junto ao website ([www.alogo.io](http://www.alogo.io)).



**Figura 9:** Mensuração da distância entre o sensor e o solo, seguindo recomendações do fabricante.

A partir de então, com os animais ainda parados, identificava-se na aplicação se realizavam passo, trote, galope ou saltos e o sistema era iniciado. Após calibração por 10 segundos, os cães iniciavam as atividades. Aquando da finalização da sessão de exercícios, o registo era finalizado.

Os dados recolhidos pelo sensor foram transferidos para a aplicação Alogo.io instalado em um *smartphone* usando sistema de *Bluetooth*, onde foram processados e analisados. Foram então recolhidos pelo sistema as seguintes informações:

- Do passo, trote e galope: número de passadas, duração da atividade (em minutos), distância percorrida (em m), comprimento médio da passada (em m), altura média da passada (representando a deslocação vertical de tronco) (em cm), duração média da passada (em segundos), frequência média das passadas (número de passadas /min), *strike power* (em G), velocidade máxima e média (em km/h) e frequência cardíaca máxima e média (em bpm).

- Dos saltos: número de saltos, duração do salto (em milissegundos), velocidade (em km/h), altura máxima (em cm), *strike power* (em G), comprimento do salto (em m), ângulo do tronco no momento do *take-off* (°) e frequência cardíaca (em bpm).

#### **4. Análise Estatística**

A análise estatística descritiva e o teste de normalidade (Shapiro-Wilk) foram realizados em programa computadorizado (GraphPad Prism, version 10.3.0, GraphPad, Boston, USA). As variáveis analisadas foram consideradas com uma distribuição normal a partir do teste de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ). A comparação entre os andamentos (passo, trote e galope) foi submetida à análise de variância para medidas repetidas (ANOVA) seguido de uma comparação entre médias (teste de Tukey). Na análise dos saltos, os dados foram submetidos ao teste de Correlação de Pearson para avaliar as relações entre as variáveis estudadas, considerando a intensidade da relação linear como forte ( $0,7 \leq |r| \leq 1,0$ ), moderada ( $0,5 \leq |r| \leq 0,7$ ), fraca ( $0,3 \leq |r| \leq 0,5$ ) e desprezível ( $0,0 \leq |r| \leq 0,3$ ). Os resultados foram expressos como médias  $\pm$  desvios-padrão e o nível de significância estabelecido foi de 5%.

### III. Resultados

Durante todo o período em que decorreu a coleta de dados, os cães apresentaram-se bem dispostos, alertas e sem sinais de desconforto frente ao uso do peitoral e do sensor a ele acoplado. Ainda, seguia-se com reforços positivos tal qual aconteceria em momentos de passeios com seus tutores.

Os dados relativos a análise biomecânica dos andamentos passo, trote e galope estão apresentados na Tabela 1. É possível observar diferenças significativas para as variáveis estudadas com exceção da duração média da passada.

Aquando do exercício ao passo, foram analisados 5653 passadas, por um período de 42 minutos e 42 segundos e uma distância total de 3162,26 metros. Ao trote, foram registados 3763 passadas, por um período de 33 minutos e 58 segundos num distância total de 4575,05 metros. Ao galope (corrida), foram registadas 9148 passadas, por 84 minutos, numa distância total de 4861,59 metros.

O sistema acusou similaridade com o andamento de 58,2% para o passo, 37,9% para o trote e 42,9% para o galope.

**Tabela 1.** Parâmetros cinemáticos (médias  $\pm$  desvios-padrão) dos cães em diferentes andamentos, registados pelo sistema Alogo Move Pro™.

	Passo	Trote	Galope	p
Comprimento médio da passada (m)	0,65 $\pm$ 0,10 <sup>b</sup>	1,15 $\pm$ 0,35 <sup>a</sup>	1,46 $\pm$ 0,34 <sup>a</sup>	<0,001
Deslocação vertical de tronco (cm)	2,89 $\pm$ 0,47 <sup>b</sup>	4,56 $\pm$ 0,86 <sup>b</sup>	7,50 $\pm$ 2,10 <sup>a</sup>	<0,001
Duração média da passada (seg)	0,48 $\pm$ 0,08	0,45 $\pm$ 0,09	0,47 $\pm$ 0,04	0,490
Frequência média das passadas (número de passadas/minuto)	128,7 $\pm$ 19,7 <sup>a</sup>	87,2 $\pm$ 30,6 <sup>b</sup>	128,2 $\pm$ 12,6 <sup>a</sup>	<0,001
Strike power (G)	1,19 $\pm$ 0,28 <sup>c</sup>	2,45 $\pm$ 0,62 <sup>b</sup>	4,26 $\pm$ 1,00 <sup>a</sup>	<0,001
Velocidade média (km/h)	5,00 $\pm$ 0,34 <sup>c</sup>	9,33 $\pm$ 1,71 <sup>b</sup>	13,14 $\pm$ 4,05 <sup>a</sup>	<0,001
Velocidade máxima (km/h)	8,44 $\pm$ 1,46 <sup>c</sup>	13,50 $\pm$ 2,09 <sup>b</sup>	35,79 $\pm$ 6,73 <sup>a</sup>	<0,001
FC máxima (bpm)	117,8 $\pm$ 40,2 <sup>b</sup>	129,8 $\pm$ 11,0 <sup>a</sup>	176,4 $\pm$ 36,8 <sup>a</sup>	<0,001
FC média (bpm)	103,2 $\pm$ 27,9 <sup>b</sup>	122,2 $\pm$ 11,1 <sup>b</sup>	144,4 $\pm$ 23,6 <sup>a</sup>	<0,001

Nota: Letras minúsculas na mesma linha apontam diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os dados descritivos relativos a análise biomecânica dos saltos de obstáculos estão apresentados na Tabela 2. Foram registados 171 saltos. Destes, 119 foram considerados pois foram registados em sessões específicas nas quais os animais saltaram um obstáculo de 60 cm. Os demais 52 saltos foram registados pelo sistema durante o galope, sendo assim descartados.

**Tabela 2.** Parâmetros cinemáticos (médias  $\pm$  desvios-padrão) dos cães nos saltos de obstáculos, registados pelo sistema Alogo Move Pro™.

	Saltos
Duração do salto (ms)	586,47 $\pm$ 372,13
Altura máxima (cm)	58,72 $\pm$ 25,29
<i>Strike power</i> (G)	7,13 $\pm$ 3,95
Velocidade (km/h)	9,08 $\pm$ 4,07
Comprimento (m)	1,55 $\pm$ 1,27
Ângulo de <i>take-off</i> (°)	23,27 $\pm$ 11,97
FC (bpm)	131,18 $\pm$ 30,20

Em relação a altura máxima registada pelo sistema (Tabela 2), é importante considerar a distância entre o sensor e o solo de 31,9  $\pm$  3,07 cm. Assim, a altura média atingida pelos animais no momento do salto foi de 90,62 cm (Figura 10).



**Figura 10:** Imagens fotográficas obtidas a partir dos vídeos feitos no momento dos saltos.

O *strike power* representa uma avaliação cinética feita pelo sistema Alogo Move Pro™. O mesmo regista o impacto dos membros posteriores no momento do salto. A Figura 11, feita a partir dos vídeos realizados durante a coleta de dados, ilustra 2 momentos do início do *take-off*.



**Figura 11:** Imagens fotográficas obtidas a partir dos vídeos feitos no momento do *take-off* (descolagem do salto): à direita, a fase final de aproximação do obstáculo e à esquerda, o momento do *take-off*.

Dentre as principais correlações (Tabela 3) destacaram-se:

- Correlação positiva forte entre (1) duração e altura do salto e (2) duração e comprimento do salto;
  - Correlação positiva moderada entre (1) *strike power* e comprimento do salto e (2) velocidade e comprimento do salto;
  - Correlação positiva fraca entre (1) duração do salto e *strike power*, (2) altura e velocidade do salto, (3) altura e comprimento do salto e (4) *strike power* e velocidade do salto.
- Não foi observada relação entre a altura do cão e a altura do salto ( $p=0,255$ ).

**Tabela 3.** Análises de correlação entre as variáveis registadas nos saltos pelo sistema Alogo Move Pro™ usando o teste de Pearson.

	Duração do salto	Altura do salto	<i>Strike power</i>	Velocidade	Comprimento do salto	Ângulo do <i>take-off</i>
Duração do Salto	----	<b>p&lt;0,001</b> <b>r=0,753</b>	<b>p&lt;0,001</b> <b>r=0,412</b>	p=0,029 r=0,175	<b>p&lt;0,001</b> <b>r=0,769</b>	p=0,012 r=0,221
Altura do salto	----	----	<b>p&lt;0,001</b> <b>r=0,343</b>	p=0,537	<b>p&lt;0,001</b> <b>r=0,485</b>	p=0,079
<i>Strike power</i>	----	----	----	<b>p&lt;0,001</b> <b>r=0,458</b>	<b>p&lt;0,001</b> <b>r=0,575</b>	p=0,948
Velocidade	----	----	----	----	<b>p&lt;0,001</b> <b>r=0,686</b>	p=0,891
Comprimento do salto	----	----	----	----	----	p=0,176

Nota: Relação linear obtida no teste de Pearson, classificada como forte, em verde ( $0,7 \leq |r| \leq 1,0$ ); moderada, em laranja ( $0,5 \leq |r| \leq 0,7$ ); fraca, em amarelo ( $0,3 \leq |r| \leq 0,5$ ) e desprezível ( $0,0 \leq |r| \leq 0,3$ ). Nível de significância de 5%.

Durante todo o período em que decorreu a coleta de dados, os cães apresentaram-se bem dispostos, alertas e sem sinais de desconforto frente ao uso do peitoral e do sensor a ele acoplado. Ainda, seguia-se com reforços positivos tal qual aconteceria em momentos de passeios com seus tutores.

#### IV. Discussão

A proposta do autor foi realizar um estudo preliminar para considerar o uso do equipamento Alogo Move Pro<sup>TM</sup> em cães, da mesma forma que é utilizado em equinos em teste a campo, principalmente na avaliação em provas de saltos de obstáculos. Na referida espécie, o Alogo Move Pro<sup>TM</sup> mostrou ter boa concordância e congruência como o Qualisys, identificado como padrão ouro. A análise de movimento Qualisys utiliza câmeras infravermelhas de alta velocidade e marcadores reflexivos colocados no corpo para capturar o movimento em 3D, processado pelo software Qualisys Track Manager (QTM) (Guyard *et al.*, 2023).

A importância deste estudo reside na possibilidade de validar este aparelho como detetor de claudicações em cães, o que futuramente poderá facilitar a detecção de patologias e implementação de protocolos de reabilitação e treino mais detalhados. Entretanto, o sistema Alogo Move Pro<sup>TM</sup> mostrou algumas limitações na análise dos padrões de deambulação de cães, com relativos baixos percentuais de similaridade entre o andamento realizado pelos animais daquele que foi identificado pelo sistema. Isso pode ser justificado pelo fato do equipamento estar adaptado para a biomecânica equina e não canídea e os padrões de locomoção das referidas espécies serem diferentes.

Os cães, tal como os equinos, possuem 4 andamentos: passo (*walk*), trote (*trot*), meio galope (*canter*), galope (*gallop*) (Carr & Dicus, 2016; Zink, 2013). No entanto, os cães possuem duas maneiras diferentes de meio galope (*rotatory canter* e *transverse canter*) e duas maneiras diferentes de galopar (*rotatory gallop* e *transverse gallop*). Adicionalmente, também podem apresentar um andamento de transição entre o passo e o trote denominado *amble* (ambular) e um andamento relativamente comum, apesar de anormal, denominado *pace* (Carr & Dicus, 2016; Zink, 2013) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Descrição dos diferentes andamentos em cães e comparação com equinos (adaptado de Carr & Dicus, 2016).

Andamento	Movimento para a frente	Comentários
Passo	1. Um membro pélvico; 2. Membro torácico ipsilateral; 3. Outro membro pélvico; 4. Membro torácico ipsilateral.	• 2 ou 3 membros estão sempre no chão.

<p><b><i>Amble</i></b> <b>(ambular)</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Um membro pélvico;</li> <li>2. Rapidamente seguido pelo membro torácico ipsilateral;</li> <li>3. Outro membro pélvico;</li> <li>4. Rapidamente seguido pelo membro torácico ipsilateral.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uma forma mais rápida do passo, em que começa a parecer que os membros ipsilaterais estão a avançar juntos;</li> <li>• 3 membros podem estar simultaneamente no chão;</li> <li>• Não é um andamento preferencial para cães, dado ser muito ineficiente: a anca balança de um lado para o outro, os membros pélvicos não são levantados muito alto, frequentemente raspando no chão, havendo desperdício de energia horizontal;</li> <li>• Deve ser usado apenas por curtos períodos: na transição do passo para o trote ou para descansar a musculatura usada no trote.</li> </ul>
<p><b><i>Pace</i></b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Os membros ipsilaterais avançam juntos enquanto os outros 2 membros suportam o peso;</li> <li>2. Momento em que o corpo fica suspenso no ar;</li> <li>3. Os outros 2 membros avançam juntos.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Andamento anormal para todas as raças de cães, em que apenas 2 membros tocam o chão em qualquer momento</li> <li>• Andamento normal para algumas raças de cavalos;</li> <li>• Andamento muito ineficiente: o centro de gravidade desloca-se de um lado para o outro, havendo gasto de energia para recentrar o peso constantemente;</li> <li>• Não consegue responder rapidamente quando é necessária uma mudança de velocidade, a menos que o cão abrande para o <i>amble</i> ou acelere para o trote.</li> </ul>
<p><b>Trote</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dois membros diagonais: um membro torácico e o membro pélvico contralateral;</li> <li>2. Momento em que o corpo fica suspenso no ar;</li> <li>3. Os outros dois membros diagonais avançam juntos.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Andamento mais eficiente;</li> <li>• Frequentemente o andamento escolhido para avaliação de biomecânica: o membro torácico e o membro pélvico devem suportar o corpo sem ajuda do membro oposto.</li> </ul>
<p><b><i>Rotatory Canter</i></b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Um membro pélvico;</li> <li>2. Ambos os membros do outro lado do corpo avançam juntos;</li> <li>3. O outro membro torácico.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meio galope predominante nos cães (90%);</li> <li>• Os membros de avanço diferem no torácico e pélvico;</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite curvas muito bruscas, com maior impulso proveniente dos membros pélvicos;</li> <li>• Chamado de galope cruzado em cavalos.</li> </ul>
<b><i>Transverse Canter</i></b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Um membro pélvico;</li> <li>2. O outro membro pélvico e o membro torácico contralateral avançam juntos;</li> <li>3. O outro membro torácico.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos eficiente para cães, sendo usado em apenas cerca de 10%;</li> <li>• Os membros de avanço coincidem no torácico e pélvico;</li> <li>• Usado predominantemente por cavalos.</li> </ul>
<b><i>Rotatory Gallop</i></b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A coluna flexiona, com ambos os membros pélvicos no chão, o membro de avanço ligeiramente à frente do outro;</li> <li>2. A coluna estende, projetando os membros torácicos para a frente, que tocam o chão ao mesmo tempo, um ligeiramente à frente do outro, com o membro torácico de avanço no lado oposto ao membro pélvico de avanço;</li> <li>3. A coluna flexiona novamente para trazer os membros pélvicos para a frente.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galope predominante nos cães;</li> <li>• Os membros de avanço diferem no torácico e pélvico.</li> </ul>
<b><i>Transverse Gallop</i></b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A coluna flexiona, com ambos os membros pélvicos no chão, o membro de avanço ligeiramente à frente do outro;</li> <li>2. A coluna estende, projetando os membros torácicos para a frente, que tocam o chão ao mesmo tempo, um ligeiramente à frente do outro, com o membro torácico de avanço no mesmo lado que o membro pélvico de avanço;</li> <li>3. A coluna flexiona para trazer os membros pélvicos para a frente.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os membros de avanço coincidem no torácico e pélvico;</li> <li>• Incomum em cães, sendo usado predominantemente por cavalos.</li> </ul>

A maior taxa de similaridade dentre os andamentos foi observada para o passo, com registo de 58,2%. Esse andamento é o mais semelhante em cães e equinos (Zink & Dyke, 2013). Em ambas as espécies, a sequência dos apoios inicia-se num membro pélvico, seguido pelo membro torácico ipsilateral, depois pelo membro pélvico contralateral e, por fim, pelo membro torácico ipsilateral (ex.: MPD → MTD → MPE → MTE).

As análises do galope e do trote mostraram valores de similaridade inferiores de, respetivamente, 42,9% e 37,9%. No que se refere ao galope, as diferenças observadas podem ser devido ao tipo de galope predominante de cada espécie, com os cães apresentando galope rotatório, enquanto equinos utilizando predominantemente o galope transversal (Carr & Dicus, 2016). Isto significa que, em equinos, o membro de avanço coincide entre os membros pélvico e torácico do mesmo lado.

Apesar do trote, tal como o passo, ser semelhante entre as duas espécies (Zink & Dyke, 2013), ocorrendo com apoio simultâneo dos membros diagonais, seguido de um momento de suspensão e, posteriormente, o apoio do par diagonal seguinte, verificou-se que este foi o andamento mais desafiante de avaliar pelo sistema.

Não existem estudos que expliquem diretamente as percentagens de similaridade encontradas para equinos e para cães. No entanto, os resultados podem refletir não só as diferenças supracitadas entre os andamentos das espécies em questão, mas também devido às suas características físicas distintas. Os cães apresentam uma coluna vertebral significativamente mais flexível, isto deve-se ao fato de possuírem apenas 13 costelas, enquanto os cavalos apresentam 17 ou 18 (Dyce *et al.*, 2017). Adicionalmente, os cães apresentam o rádio e a ulna, e, a tibia e a fíbula, separados, permitindo a rotação dos membros ao longo dos seus eixos; como também dispõem de membros com capacidade de *grip* (Zink & Dyke, 2013). A nível lombar, os equinos possuem 6 vertebrae, ao passo que os cães apresentam 7, contribuindo também para uma maior flexibilidade axial nestes últimos (Dyce *et al.*, 2017). Outro fator que limita a mobilidade da coluna vertebral nos equinos é o elevado volume de conteúdo digestivo presente no seu extenso trato gastrointestinal, o que acrescenta rigidez à região lombar (Zink & Dyke, 2013). Tais características fazem com que os padrões de andamento e a mobilidade corporal de cães e equinos sejam distintos, o que pode interferir na análise feita pelo sistema IMU usado.

É importante ressaltar que existem outros andamentos nos cães, como *pace* ou *amble*, ou mesmo andamentos de transição (como o *canter*), que não são detectados pelo sistema, reforçando a necessidade de estudos mais avançados para indicar tal IMU na análise da biomecânica de cães.

O sistema Alogo Move Pro<sup>TM</sup> foi capaz de identificar de forma relativamente eficiente as diferenças dos padrões cinemáticos e cinéticos entre passo, trote e galope (Tabela 1). Alguns desses achados eram relativamente esperados como aqueles registados para comprimento da passada, deslocação vertical de tronco, *strike power*, velocidades média e máxima, frequências

cardíacas média e máxima, que aumentaram de forma significativa e gradualmente (passo < trote < galope). Em contrapartida, houveram resultados que não vão de acordo com o esperado, como a duração média da passada, que não se alterou, e a frequência média das passadas que foi menor ao trote em comparação com passo e galope.

Com a passagem dos andamentos, ou seja, ao avançar de passo para trote e em seguida para galope, a exigência do exercício aumenta devido ao ganho de velocidade, o que gera valores significativamente superiores na frequência cardíaca e no *strike power* (Lee *et al.*, 2020; Queiroz *et al.*, 2018). Ainda, com o aumento da velocidade, observaram-se passadas mais largas, semelhante a equinos (Wong *et al.*, 2022).

Adicionalmente, foi registrado uma maior deslocação vertical de tronco com o aumento da velocidade, diferente do que foi descrito em equinos (Robert *et al.*, 2010). Os referidos autores relataram que aumentos de velocidade levam ao aumento da tensão da musculatura de tronco de equinos trabalhados na passadeira, o que reduziu, assim, os movimentos de flexão-extensão do dorso. Entretanto, como referido anteriormente, a deslocação vertical de tronco dos cães difere de equinos. Ao passo, existe primariamente uma movimentação mais lateralizada, enquanto que durante o galope ocorre uma maior flexão/extensão do dorso, com maior gasto energético para elevar mais o tronco a cada passada (Schilling & Carrier, 2010). Isso justifica o maior deslocamento vertical de tronco registrado no galope dos cães PBM na presente investigação.

A duração média das passadas não mostrou diferença nos três andamentos estudados nos cães. Estudos prévios (Granatosky & McElroy, 2022; Jenkins *et al.*, 2018; Wong *et al.*, 2022) mostraram que, com o aumento da velocidade, a duração da passada deveria reduzir de forma contínua, tanto dentro do mesmo andamento quer na transição dos diferentes andamentos (passo, trote, galope). Segundo os autores, isso ocorre devido, principalmente, ao aumento da frequência das passadas. No que diz respeito à frequência da passada, era suposto ocorrer um aumento concomitante ao ganho de velocidade, tal qual se observa em equinos (Wong *et al.*, 2022), pois para atingir velocidades maiores, os cães reduzem o tempo de cada ciclo de passada, resultando em maior número de passadas por unidade de tempo. Isso não foi observado. Verificou-se que passo e galope apresentaram número de passadas similares e superiores significativamente do que o trote. O algoritmo do IMU utilizado reconhece passo, trote e galope de equinos, nos andamentos a 4, 2 e 3 tempos, respectivamente. É possível que ele tenha identificado o galope rotacional dos cães como galope pela velocidade imposta; entretanto, identificou o posicionamento do membro dominante a frente, tanto de membros posteriores

quanto de anteriores, como um andamento de 4 tempos, similar ao passo, fato esse que justificaria ambos os andamentos terem a mesma frequência de passadas. Dificuldades similares são descritas para equinos com andamentos diferenciados como a marcha e o tölt (Rhodin *et al.*, 2024), o que torna necessário ajustar o algoritmo dos diferentes sensores para equinos com andamentos diferentes. Há de se considerar também o fato de que, similar aos equinos (Clayton *et al.*, 2025), os padrões de movimentação alteram-se em função do animal ser conduzido com trelas (passo e trote) ou sem as mesmas (galope). Isso pode ter influenciado os dados relativos a duração média e a frequência das passadas.

Na presente investigação, os saltos foram estudados em sessões específicas com uso de um obstáculo de 60 cm de altura. Foram desconsiderados os saltos identificados pelo sistema nas demais sessões, principalmente de galope, visto que não existiu nas mesmas obstáculos físicos a serem sobrepostos. Os mesmos refletem pequenos pulos que podem acontecer durante a deambulação dos cães. Até à presente data, não existem estudos que relacionem diferentes altura de saltos com os dados fornecidos pela Tabela 2. A maioria dos estudos que investiga os saltos em canídeos, baseia-se em reabilitação (Clarke *et al.*, 2024) ou em algum tipo de modalidade desportiva canina, geralmente o *agility* (Inkilä *et al.*, 2025). Nestas investigações, a altura do obstáculo varia entre animais e é frequentemente definida com base num ponto anatómico do próprio cão, assegurando assim que o esforço exigido seja comparável entre indivíduos (Clarke *et al.*, 2024). Isso representa uma limitação na presente investigação, visto que existiram ligeiras diferenças na altura dos cães PBM incluídos.

Os variáveis cinéticas e cinemáticas referentes aos saltos foram analisadas através de testes de correlação. As correlações mais fortes observadas foram registadas entre a duração com altura dos saltos e duração com comprimento dos saltos, indicando que os saltos de maior duração foram aqueles mais altos e mais compridos, o que é consistente com análises cinemáticas que demonstram associação direta entre tempo de voo, altura e comprimento do salto em cães (Barker *et al.*, 2018; Bradley-Cronkwright *et al.*, 2024).

As correlações moderadas foram entre o comprimento do salto com o *strike power* (força de impulsão) e comprimento do salto com a velocidade durante o mesmo, mostrando que saltos mais compridos ocorreram quando há maior força dos membros posteriores no momento do *take-off* e quando os animais estão mais rápidos. Estudos recentes confirmam que o comprimento do salto está relacionado ao aumento da força de impulsão e à velocidade em que ocorre o *take-off* (Barker *et al.*, 2018; He *et al.*, 2025).

Ainda, mesmo que de forma mais fraca, tivemos algumas correções entre duração do salto com *strike power*, altura do salto com velocidade e comprimento do salto e *strike power* com velocidade. Estes dados evidenciam que saltos mais longos apresentam, de forma menos pronunciada, maior força dos membros posteriores e maior propulsão; saltos mais altos estão associados a maior velocidade e comprimento; e saltos mais rápidos geram *strike power* superiores. A literatura mostra que essas variáveis estão relacionadas, mas a força de impulsão e a velocidade explicam apenas parte da variabilidade na duração e altura do salto (Morin *et al.*, 2019; He *et al.*, 2025).

O sistema de monitoramento biomecânico Alogo Move Pro™ foi desenvolvido de forma a também fornecer informações relacionadas com a FC. Para isso, um sensor cardíaco (da marca Polar) é fixado na região peitoral do cão (Jonckheer-Sheehy *et al.*, 2012), tal qual se faz em equinos (Guyard *et al.*, 2023). Trata-se de uma informação valiosa, pois sinaliza o nível de esforço do animal ao longo da execução da prova. Na análise dos andamentos, foi possível observar diferenças significativas, com maiores valores ao galope. Isso justifica-se pela maior demanda metabólica nesse tipo de andamento (Mendoza-Lara *et al.*, 2012). Já na análise dos saltos, a FC não mostrou correlação com nenhuma das outras variáveis estudadas.

Para padronização do estudo e homogeneização da amostragem, foram apenas utilizados cães da mesma raça, Pastor Belga Malinois, com uma condição corporal semelhante e com o mesmo tipo de manejo alimentar e sanitário. O facto de haver uma divisão equitativa (50/50) do sexo da amostragem contribuiu também para redução de vícios ligadas a este fator, além de não terem sido detectadas diferenças significativas relacionadas ao género. Relativamente ao número amostral (n=10), este definido por conveniência, tratando-se de um estudo exploratório, não tendo sido realizado cálculo prévio de poder estatístico, o que constitui uma limitação do estudo.

Por ser um equipamento desenvolvido para equinos, nos quais o sensor é colocado numa cinta própria, foi necessário fazer uma adaptação para o uso nos cães. Para isso, foi usado um peitoral em Y. Todos os animais do estudo estavam habituados ao uso do referido peitoral, que mostrou ser mais vantajoso que o peitoral do tipo *chest strap* (como por exemplo, peitoral *Julius K9*) (Williams *et al.*, 2025). Williams *et al.* (2025) comprovaram que, na sua maioria, o peitoral em Y afeta menos o movimento da articulação escapuloumeral. Este estudo comparou o uso de diferentes peitorais na angulação aparente do tubérculo maior e do epicôndilo lateral do úmero durante a marcha de diferentes raças de cães, tendo concluído que existem variações dependendo da raça. As alterações na angulação mínima do tubérculo maior e na angulação

máxima do epicôndilo lateral do úmero sugeriram que, para a maioria das raças de cães (Labradores Retrievers, Cocker Spaniels, Staffordshire Bull Terriers, Bulldogue Francês e cães sem raça definida), o peitoral do tipo *chest strap* retrai mais o membro no movimento de passada do que o peitoral em Y. No entanto, em Springer Spaniels apresentaram o efeito contrário, ou seja, uma retração dos membros pelo uso do peitoral em Y. Foi ainda sugerido, apesar de não ter sido comprovado cientificamente, que o tipo de material poderia afetar a locomoção dos animais ao provocar desconforto, sendo preferível tecido flexível e de nylon. Adicionalmente, Fischer & Lilje (2016) comprovaram que para cães com membros mais longos, como cães de pastoreio, a cinta do peitoral do tipo *chest harness* afeta mais o movimento. Desta forma, dentro das duas opções de peitoral disponível, o uso do peitoral em formato de Y (marca *Line Grip Harness Non-Stop Dogwear*) mostrou-se eficiente no presente estudo por limitar menos o movimento dos animais. Além disso, o fato de apresentar uma cinta no plano mediano do esterno do cão faz com que fosse adequado para acoplar o Alogo Move Pro™.

O IMU usado na presente pesquisa apresenta como vantagens seu reduzido peso e a possibilidade de integração de dados biomecânicos com a FC, além da possibilidade de fornecer informações cruciais sobre o padrão de locomoção nos cães. Em contrapartida, existiram algumas limitações. Até a data do estudo, não existe um peitoral específico que assegure uma adaptação equivalente à cilha utilizada nos equinos. Assim, em algumas vezes, o aparelho deslocou-se caudalmente ou até mesmo foi perdido durante a marcha. Isso deve-se à circunferência torácica, peito fundo e abdômen levemente elevado da raça. Tal fato foi contornado com uso do peitoral em Y, conforme discutido anteriormente. Foram comuns os episódios de perda intermitente do sinal de GPS (Guyard *et al.*, 2023) e falhas ocasionais no botão do sensor – circunstância que levou muitas vezes à interrupção do protocolo para reiniciar o sistema. Ainda, devido ao subpelo dos animais, há uma necessidade de humedecer consideravelmente o pelo dos cães para captação de sinal, o que fez com que alguns cães tivessem de ser habituados a ser molhados.

## **V. Conclusões**

A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que o sistema apresentou uma eficiência limitada na detecção de padrões relevantes de locomoção dos cães da raça Pastor Belga de Malinois. Foram observadas diferenças significativas entre os diferentes andamentos testados (passo, trote e galope), bem como características específicas associadas à realização de saltos de obstáculos, previamente descritas para a espécie equina. Contudo, a baixa taxa de correlação entre o andamento executado e aquele identificado pelo sistema indica que a utilização do Alogo Move Pro™ carece ainda de mais estudos que o validem como uma ferramenta fidedigna na avaliação da biomecânica canina.

Importa salientar que este estudo constitui uma abordagem inédita, tratando-se da primeira aplicação deste sistema, originalmente desenvolvido e validado para a espécie equina, em cães. Neste sentido, os dados obtidos assumem particular relevância enquanto ponto de partida para o desenvolvimento de novos projectos de investigação, contribuindo para a adaptação metodológica e futura validação do equipamento na avaliação da locomoção e biomecânica canina.

## Referências Bibliográficas

- Andrada, E. et al. (2023). *Positioning of pivot points in quadrupedal locomotion: limbs global dynamics in four different dog breeds*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1193177>
- Anthony, G., Blake, S., & Blake, R. (2024). *Kinetics and kinematics of dog walk exercise in agility dogs of different experiences*. *Ciencia Rural*, 54(6).
- Baltzer, W. I. (2020). *Rehabilitation of companion animals following orthopaedic surgery*. In *New Zealand Veterinary Journal* (Vol. 68, Issue 3, pp. 157–167). Taylor and Francis Ltd.
- Barker, L. A., Harry, J. R., & Mercer, J. A. (2018). *Relationships between countermovement jump ground reaction forces and jump height, reactive strength index, and jump time*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(1), 248–254.
- Bland IM et al. (2010). *Dog obesity: veterinary practices' and owners' opinions on cause and management*. *Pre Vet Med*. 2010; 94: 310–5.
- Bockstahler, B. A., & Mucha, M. (2008). *Kinetic and kinematic motion analysis of the forelimbs in sound Malinois dogs - Sampling of basic values*.
- Bradley-Cronkwright, M. et al. (2024). *Impact of hindlimb length variation on jumping dynamics in the Longshanks mouse*. *The Journal of Experimental Biology*, 227(9), jeb246808.
- Carr, J., Dycus, D. (2016). *Canine Gait Analysis*. *Recovery & Rehab. Today's Veterinary Practice*.
- Clayton H. (2016). *Horses species symposium: biomechanics of the exercising horse*. *Journal of Animal Science*. 94: 4076-4086.
- Colborne, G. R. (2007). *Bringing canine biomechanics research out of the dark ages*. In *Veterinary Journal* (Vol. 173, Issue 3, pp. 469–470).
- Cullen, K. L. et al. (2013). *Survey-based analysis of risk factors for injury among dogs participating in agility training and competition events*. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, [s. l.], v.243, n.7, p.1019–1024, 2013.

- Darbandi H. et al. (2023). *Accurate horse gait event estimation using an inertial sensor mounted on different body locations*. Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Smart Computing, 2022.
- Denoix J. M. (2014). *Muscle groups and their actions*. In: Jean-Marie Denoix (Eds.), *Biomechanics and Physical Training of the Horse*, (1a Ed., pp. 13-150). UK: CRC Press, 2014.
- Egenvall A. et al. (2022). *A scooping review of equine biomechanics revisited*. *Journal of Equine Veterinary Science* 2022; 113: 103920.
- Fercher C. et al. (2023). *Basculating in elite show jumping horses: a motion analysis study of trunk and neck movement*. *Comparative Exercise Physiology* 2023; 19: 487-499.
- Gradner, G. et al. (2007). *Kinematic study of back movement in clinically sound malinois dogs with consideration of the effect of radiographic changes in the lumbosacral junction*. *Veterinary Surgery*, 36(5), 472–481.
- Gündemir, O. et al. (2020). *Center of Pressures (COP) Analysis Using Gait Analysis Systems in Belgian Malinois Dogs: A Pilot Study*. In *Dicle Üniv Vet Fak Derg* (Vol. 13, Issue 1).
- He, J., Li, M., Zhang, Q., & Zhang, Z. (2025). *Associations between the performance of vertical jump and accelerative sprint in elite sprinters*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13, 1539197.
- Hossain, M. I., Eager, D., & Walker, P. (2019). *Simulation of racing greyhound kinematics*. *SIMULTECH 2019 - Proceedings of the 9th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*, 47–56.
- Huntingford J. L. et al. (2014). *The effects of low intensity endurance activity on various physiological parameters and exercise induced oxidative stress in dogs*. *Open J Vet Med* 2014; 4: 134-144.
- Inkilä, L. et al. (2025). *Effect of bar jump height on kinetics and kinematics of take-off in agility dogs*. *PLoS ONE*, 20(1 January).
- Jeans-Brown. (2001). *Chien de Berger Belge (Belgian Sheperd Dog)*. *Federtion Cynologique Internationale (AISBL)*. <https://www.fci.be/nomenclature/standards/015g01-en.pdf>
- Lee, H., Kim, J. (2020). *The dog as an exercise science animal model: a review of physiological and hematological effects of exercise conditions*. *Physical Activity and Nutrition*.
- Levy, I. et al. (2009) *A preliminary retrospective survey of injuries occurring in dogs participating in canine agility*. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, [s. l.], v.22, n.04, p.321–324, 2009.

- Mendoza-Lara, M. et al. (2012). *Physiometabolic profile of Belgian Malinois Shepherd and Dutch Shepherd dogs in response to a training session for French Ring*. In Arch Med Vet (Vol. 44).
- Millard, R. (2014) *Exercise Physiology of the Canine Athlete*.
- Miqueleto, N. L. et al. (2013). *Kinematic analysis in healthy and hip-dysplastic German Shepherd dogs*. Veterinary Journal, 195(2), 210–215.
- Salvo D. et al. (2021). *Physical activity promotion and the United Nations sustainable development goals: building synergies to maximize impact*. JPAH 2021; 18: 1163–80.
- Sandberg, G. S., Torres, B. T., & Budsberg, S. C. (2020). *Review of kinematic analysis in dogs*. In Veterinary Surgery (Vol. 49, Issue 6, pp. 1088–1098). Blackwell Publishing Inc.
- Söder, J. et al. (2024). *Effects of a physical exercise programme on bodyweight, body condition score and chest, abdominal and thigh circumferences in dogs*. BMC Veterinary Research, 20(1).
- Söder, J., et al. (2009). *Effects of a physical exercise programme on bodyweight, body condition score and chest, abdominal and thigh circumferences in dogs*. BMC Veterinary Research, 20(1).
- Torres, B. T. et al. (2017). *Pelvic limb kinematics in the dog with and without a stifle orthosis*. Veterinary Surgery, 46(5), 642–652.
- Toth S. et al. (2023). *The role of dogs in maintaining health and quality of life*. Geosport for Society 2023; 19: 76-84.