

## Efeito do nível de água da passadeira aquática em variáveis cinemáticas de um equino com dorsalgia a recuperar de uma osteossíntese distal do membro pélvico

### *Effect of water level on kinematic variables in an equine with back pain recovering from hindlimb distal osteosynthesis*

Carolina Nascimento<sup>1,2</sup>, Filipa Silvestre<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Hidrovet - Centro de Reabilitação Equina, Sintra, Portugal. <sup>2</sup>Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, Portugal.

#### Resumo

Os sistemas de análise cinemática permitem descrever e caracterizar alterações do movimento de forma quantitativa. O presente estudo teve como objetivo avaliar três variáveis cinemáticas do dorso e do membro pélvico de um equino com dorsalgia e claudicação na passadeira aquática em três níveis de água.

O método utilizado baseou-se na colocação de marcadores refletivos em localizações anatómicas específicas e na recolha de vídeos de 1 min, posteriormente analisados em Matlab. A partir da variação da posição de cada marcador foi possível quantificar o valor das variáveis cinemáticas.

Foi registado um aumento na amplitude do movimento de todas as variáveis em estudo, à exceção da variável flexibilidade pélvica. À medida que os níveis de água aumentaram, a rotação axial e amplitude máxima de flexão aumentaram sendo o valor máximo registado no nível de água 2 - carpo relativamente ao nível de água controlo - coroa do casco. Analisando a variável rotação axial, a mesma registou um aumento, porém assimétrico, registando uma amplitude inferior do lado direito na progressão dos níveis de água quando comparado ao lado esquerdo.

O caso clínico em estudo apresentava um quadro de dorsalgia, por isso, os resultados registados na assimetria dos valores da variável rotação axial assim como a diminuição dos valores registados na flexibilidade pélvica, são justificados pela alteração no padrão biomecânico associado à lesão musculoesquelética, não corroborando com os resultados esperados num equino saudável.

Os algoritmos para análise cinemática permitem uma monitorização quantitativa da recuperação de alterações musculoesqueléticas na passadeira aquática, podendo auxiliar no desenvolvimento e avaliação da eficácia de protocolos de recuperação de lesões osteoarticulares.

Palavras-chave: dorsalgia, medicina física, reabilitação, passadeira aquática, análise cinemática.

#### Summary

*Kinematic analysis systems allow to describe and characterize changes in movement in a quantitative way. In the present study, three kinematic variables of the horse's back and hind limb were evaluated on the water treadmill (axial rotation, maximum flexion amplitude and duration of the suspension phase).*

*The method used is based on placing reflective markers on specific anatomical locations and record videos of 1 min in three water levels. From the variation in the position of each marker, it was possible to quantify the value of the kinematic variables.*

*An increase in the range of motion of all variables under study was recorded, with the exception of pelvic flexibility. As water levels increase, axial rotation and maximum flexural amplitude increase, with the maximum value recorded at water level 2 - carpus relative to the control level - crown of the hull. Analyzing the variable axial rotation, it registers an increase, but asymmetric, registering a lower amplitude on the right side in the progression of water levels when compared to the left side.*

*The clinical case under study represents a case of back pain and, therefore, the results obtained like the asymmetry of the axial rotation and the decrease in the values recorded in pelvic flexibility, are justified by the change in the biomechanical pattern associated with musculoskeletal injury, not corroborating with the expected results in a healthy horse.*

*Algorithms for kinematic analysis allow a quantitative monitoring of the recovery of musculoskeletal changes in the aquatic treadmill, which can help in the development and evaluation of the effectiveness of osteoarticular recovery protocols.*

*Keywords: equine, back, rehab, water treadmill, physiotherapy, kinematics.*

Correspondência: hidrovet@outlook.pt, 918506973/ 961793951  
Disponível online: 29 de outubro de 2021

#### 1. Introdução

As alterações cinemáticas do dorso de um equino, como resposta ao treino na passadeira aquática, são essenciais na recuperação da amplitude de movimento compatível com o retorno à atividade desportiva (Mendez-Angulo *et al.*, 2013).

O movimento de dorso normal é controlado por atividade muscular, sendo mais presente no trote do que no passo, onde o movimento é mais passivo e com maior amplitude lateral (Wennergrens *et al.*, 2010).

Os movimentos básicos compreendem quatro rotações que podem ser descritas a partir de um sistema cartesiano ortogonal. Considerando um sistema cartesiano cujo eixo X está alinhado com a linha de progressão, sendo positivo na direção cranial (Groesel *et al.*, 2010, a rotação axial (AR) corresponde à rotação em torno do eixo X, ou seja, em torno do eixo crânio-caudal. A flexão-extensão (FE) corresponde à rotação em torno do eixo Y. A lateralização (LB) corresponde à rotação em torno do eixo Z, ou seja, em torno do eixo dorsoventral. A flexibilidade pélvica corresponde à rotação em torno do eixo perpendicular ao plano sagital (Mooij *et al.*, 2013; Van Weeren, 2014; van Weeren, 2006).

Relativamente ao movimento do membro pélvico as respostas biomecânicas podem ser avaliadas a partir da amplitude máxima de flexão do membro e duração da passada. A passada corresponde a um ciclo completo de movimento, sendo constituída por duas fases: fase de apoio, período em que o casco está em contacto com o chão, e fase de suspensão, quando o membro não está em contacto com o chão. Na fase de suspensão o membro é deslocado para a frente, surgindo primeiro a fase de retração na qual todas as articulações se flexionam, e de seguida a fase de protração na qual ocorre a extensão das articulações e o membro se prepara para pousar e iniciar a passada seguinte (Denoix, 2014). A amplitude de flexão máxima do membro corresponde ao ponto de transição entre a fase de retração e a fase de protração. A duração da passada corresponde ao tempo necessário para finalizar um ciclo completo (Barrey, 2013).

A passeadeira aquática é uma das hidroterapias mais utilizadas para recuperação de lesões em cavalos, principalmente músculo-esqueléticas, nas quais se enquadram patologias onde a recuperação com mínimo impacto seja benéfica.

Neste sentido patologias como fraturas, doença degenerativa articular, recuperação de cirurgia ortopédica e todas as lesões onde a diminuição da força de reação do solo (GRF, do Inglês, *ground reaction force*) acentuada pela viscosidade do meio permita uma recuperação mais rápida, verdadeiramente controlada e com cicatrizes mais funcionais. Todas as lesões de tecidos moles estão por esta razão contraindicadas numa fase aguda, uma vez que a resistência ao movimento induz maior estiramento e por isso carga em estruturas principalmente flexoras da extremidade distal (Muñoz *et al.*, 2019).

O meio aquático, principalmente em níveis de água superiores, induz alterações biomecânicas que permitem recriar uma postura de trabalho terapêutica, onde ocorre uma posição neutra da cervical, retração máxima do membro torácico, assim como, uma protração máxima do membro posterior.

As alterações acima mencionadas junto com ausência de peso do cavaleiro, incitam a um encurtamento da cadeia muscular ventral, músculos abdominais, e posterior alongamento da cadeia muscular dorsal, músculos paravertebrais, alterações

estas benéficas num quadro de recuperação de dorsalgia após tratamento do estímulo algico.

As condições de trabalho que este equipamento oferece propiciam um meio com variáveis devidamente controláveis como é o caso da velocidade, nível de água e ambiente circundante (Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan & Clayton 1999; Weishaupt *et al.*, 2002; Gómez Álvarez *et al.*, 2009). Tais características permitem que este equipamento ofereça condições ótimas para estudos de análise cinemática do movimento (Clayton & Schamhardt, 2013). Diferentes níveis de água induzem alterações nas variáveis cinemáticas do membro pélvico e de dorso. Estudos realizados em equinos saudáveis (Mooij *et al.*, 2013) revelam que a rotação axial aumenta significativamente à medida que progredimos para os níveis de água seguinte. Também a lateralização diminui quando o nível de água progride para os níveis do codilho e ponta do ombro, sendo exceção o nível do boleto e do carpo. No entanto, em quadros de dor de dorso unilateral, o movimento de lateralização apresenta-se aumentado no lado não doloroso, entre T10 e L5. Quanto à flexão pélvica, esta aumenta à medida que os níveis de água progridem (Mooij *et al.*, 2013), assim como a amplitude máxima de flexão do membro, estando diretamente relacionada com a protração máxima do membro pélvico.

A variável rotação axial aumenta à medida com a progressão da água para níveis superiores, estando intimamente ligada à amplitude máxima de flexão. Desta forma, uma lesão ortopédica que diminua a amplitude de flexão de uma articulação do membro pélvico irá induzir uma diminuição da amplitude registada na variável rotação axial (Greve & Dyson, 2013; Greve & Dyson, 2014; Pfau *et al.*, 2014; Church *et al.*, 2009).

A motivação para a elaboração deste estudo foi estabelecer a relação entre a lesão ortopédica do membro pélvico e os sinais clínicos de dorsalgia, como consequência das alterações cinemáticas induzidas pela lesão da extremidade distal.

A casuística ortopédica é ainda na atualidade uma das maiores perdas económicas para o meio do desporto equestre sendo, no entanto, ainda avaliada de forma subjetiva e qualitativa pelo olho humano. De forma a reduzir o erro inerente à subjetividade, surge a necessidade de quantificar de forma objetiva as alterações nas variáveis cinemáticas presentes numa claudicação.

O objetivo do presente estudo foi analisar a evolução das variáveis cinemáticas da pélvis e membro pélvico esquerdo de um equino com dorsalgia, como resposta ao aumento dos níveis de água durante o trabalho na passeadeira aquática.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Equino

O equino em estudo tinha 16 anos de idade, era um macho inteiro, Hanoveriano, que apresentou uma claudicação 5/5 durante um treino de dressage, sendo imediatamente sujeito a estudo imagiológico de diagnóstico. Após encaminhamento para unidade cirúrgica de referência, foi sujeito a resolução cirúrgica de osteossíntese distal de membro pélvico direito, dando entrada no centro de reabilitação para recuperação 4 semanas após a resolução cirúrgica. Na admissão o equino apresentava uma claudicação 3/5 com edema da extremidade distal mais marcado na região da articulação metatarsal-falângica e com resolução completa da ferida cirúrgica. Na data de admissão o equino já não apresentava terapia medicamentosa de suporte. O protocolo de reabilitação apenas foi iniciado após a recolha das variáveis cinemáticas citadas no estudo.

Todos os dados referentes ao caso descrito foram divulgados, após termo de consentimento prestado pelo proprietário, às instalações do centro de reabilitação no ato de admissão.

### 2.2. Recolha de dados

Antes do início do estudo o equino foi introduzido ao trabalho na passadeira aquática com diferentes níveis de água.

Para o presente estudo, foram colocados cinco marcadores refletivos nos acidentes anatómicos enunciados de seguida, a partir dos quais foram calculadas as variáveis cinemáticas (Figuras 4). Para o cálculo da rotação axial, foram colocados dois marcadores na tuberosidade coxal esquerda e direita e para análise cinemática do membro pélvico foi colocado um marcador no membro pélvico esquerdo na região do calcâneo, cranial à tuberosidade do calcâneo e caudal à extremidade distal da tíbia. A partir deste marcador foi calculada a amplitude de flexão máxima do curvilhão e a duração da fase de suspensão do membro. Devido às características do equipamento utilizado, apenas foi possível a recolha das variáveis do membro pélvico esquerdo.

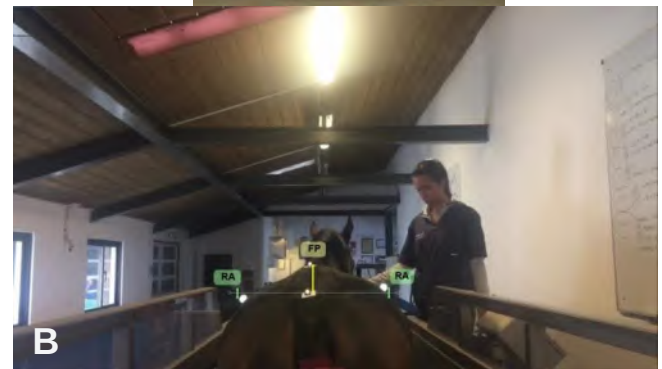
O marcador situado na tuberosidade sacral e o marcador situado na base da rabada, correspondente à região entre a 3ª e 4ª vértebra coccígea em plano medial forneceram um conjunto de alterações correspondentes à variável flexibilidade pélvica.

Os marcadores refletivos esféricos com dimensões que variam de 9 a 17 mm de diâmetro foram colocados nos locais mencionados utilizando fita adesiva de dupla face. Todas as localizações foram previamente tosquiadas depois de identificadas por palpação.

Foram utilizadas duas câmaras de iPhone 11 (Apple, Estados Unidos da América) com 1080 pixels HD a 60 frames por segundo para a recolha dos vídeos, ambas em vista caudal, sendo que uma

delas foi posicionada ao nível do marcador E - membro pélvico, a 2,36 m, e a outra ao nível das tuberosidades coxais a 1,50 m.

A sessão foi iniciada a passo com a passadeira completamente seca durante 5 min. Este período teve o objetivo de promover o aquecimento do equino diminuindo o risco de lesões secundárias.



**Figura 4** - A: Representação esquemática da rotação axial (AR) esquerda e direita, assim como, flexibilidade pélvica (FP), imagem recolhida em vista caudal (câmara 1). B: Representação esquemática da amplitude de movimento (ROM) do membro pélvico esquerdo, imagem recolhida em vista caudal (câmara 2).

O segundo período da sessão teve a duração de 15 min iniciando-se com a entrada de água até ao nível controlo na região da coroa do casco durante 5 min. A recolha de dados iniciou-se no decorrer do primeiro minuto após a paragem da água no primeiro nível. Foi apenas feita uma recolha de 60s sendo, posteriormente, fracionada em períodos de aproximadamente 10s. Seguidamente, foram recolhidos os níveis de água 1 e 2 respeitando o mesmo método.

Os dados foram recolhidos com recurso à passadeira aquática Aqualine (Activomed, Alemanha), em três níveis de água durante 1 min: controlo - coroa do casco, aproximadamente 10 cm de água; nível 1 - boleto, aproximadamente 20 cm de

água e nível 2 - carpo, aproximadamente 35 cm de água. A velocidade do passo manteve-se em média nos 3,6 km/h.

### 2.3. Análise de dados

A análise de dados compreendeu 3 etapas principais: sincronização e seleção do intervalo de dados; *tracking* dos pontos e cálculo das variáveis cinemáticas.

Dado que as câmaras não iniciam a gravação em simultâneo, os vídeos foram primeiramente sincronizados e foi feita a seleção de um intervalo de dados correspondente a 10s. De seguida, a partir do Matlab (MathWorks Inc., Estados Unidos da America) foi executado o *tracking* dos pontos que permitiu obter a variação da posição de cada marcador ao longo do tempo nos dois eixos. Por fim, foi realizado o cálculo matemático das três variáveis cinemáticas em estudo (Figura 4).

## 3. Resultados

### 3.1. Características cinemáticas e temporais do membro pélvico esquerdo

O *tracking* do membro pélvico teve a duração de 10 s e a velocidade esteve compreendida no intervalo de 3,0 km/h e 4,0 km/h.

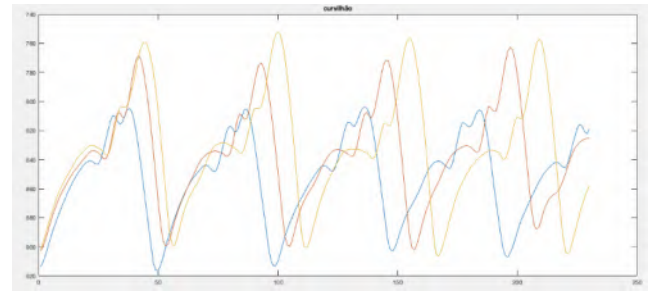
O *tracking* inicia-se quando o casco descola do chão e termina no ciclo de passada seguinte. Durante este ciclo de passada foi analisada a simetria de aterragem em todas as passadas - primeiro pico, apoio- segundo pico (Figura 5) e a duração da fase de suspensão delimitada pelo intervalo entre o pico máximo e o mínimo da passada seguinte em cada nível de água (Figura 6).

Foi registado um aumento na amplitude de flexão do membro pélvico durante a progressão para os níveis de água seguintes, tendo como base o nível de água controlo - coroa do casco. No primeiro nível de água - boleto a variável sofreu um aumento de 29% e posteriormente de 41% no nível de água - carpo, ambos relativamente ao nível controlo - coroa do casco (Figura 6).

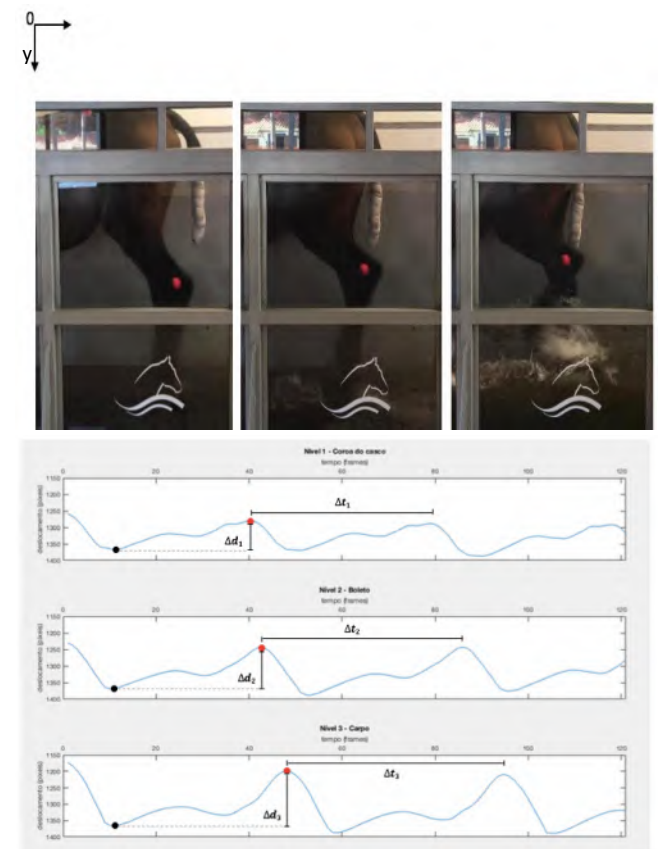
O aumento da fase de suspensão da passada também está diretamente relacionado com a progressão da água para níveis superiores, pois o tempo de suspensão aumenta em média 0,11s por nível. Na sequência, foi registado uma diminuição da frequência de passada.

### 3.2. Características cinemáticas e temporais da variável rotação axial (AR) de dorso

A rotação axial, calculada a partir dos marcadores localizados nas tuberosidades coxais esquerda e direita, baseou-se na amplitude de movimento do marcador no eixo Y, ou seja, a amplitude entre o ponto máximo e mínimo que o marcador atinge ao longo deste eixo vertical.



**Figura 5** - Representação esquemática da amplitude de movimento (ROM) do membro pélvico esquerdo, imagem recolhida em vista caudal (câmara 2). Linha azul – nível controlo coroa do casco; Linha vermelha – nível 1 boleto; Linha amarela - nível 2 carpo.

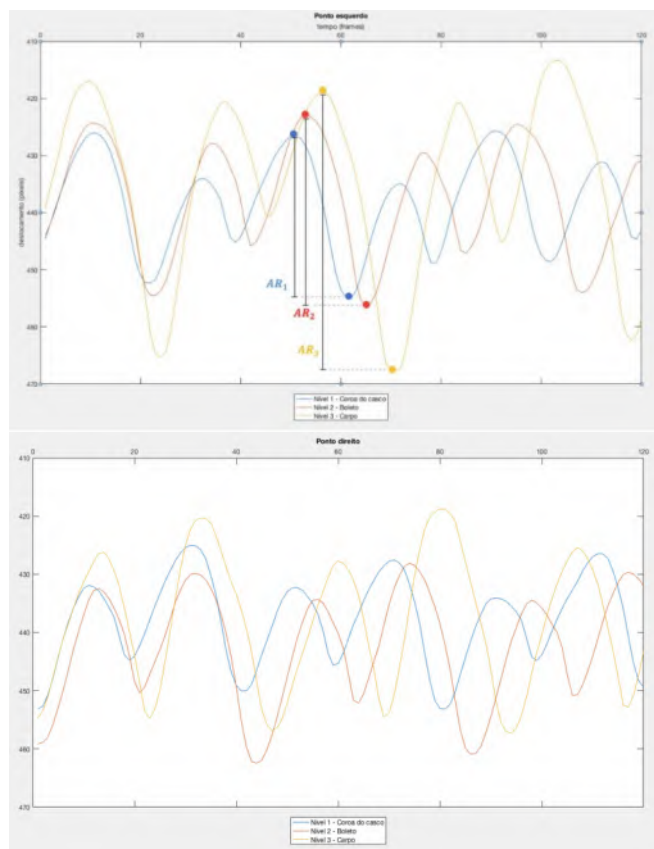


**Figura 6** - Vista lateral do membro pélvico e respetiva trajetória do marcador ao longo do eixo Y.

Sendo a análise de movimento feita de forma individual foi possível observar que a rotação axial do lado direito apresentou um padrão irregular quando comparando com a do lado esquerdo.

Na tuberosidade coxal esquerda foi observada um aumento 15% no nível de água boleto, enquanto que relativamente ao nível de água carpo foi observado um aumento de 89% relativamente ao nível de água controlo- coroa do casco.

A amplitude movimento irregular registada na tuberosidade coxal direita traduziu um aumento 10% no nível de água boleto e 47% no nível de água carpo, relativamente ao nível de água controlo, respetivamente.



**Figura 7** - Representação esquemática da rotação axial (AR) na tuberosidade coxal esquerda (em cima) e direita (em baixo). Linha azul - nível controlo coroa do casco; Linha vermelha - nível 1, boieto; Linha amarela - nível 2, carpo.

**3.3. Características cinemáticas e temporais da variável flexibilidade pélvica**

Conforme consta na Tabela 1, quando a água estava pelo nível 1 - boieto a flexibilidade pélvica diminui 0,10% relativamente ao nível de controlo e, no nível 2, diminui 0,09%.

**Tabela 1** - Valores obtidos para as variáveis cinemáticas em estudo. Todas as variações nos valores percentuais acima mencionados foram obtidas tendo como base o nível de água controlo.

Nível de água	Amplitude máxima de flexão	Duração da fase de suspensão	Flexibilidade pélvica	Rotação axial (esq)	Rotação axial (dir)
Controlo	-	1,40 s	-	-	-
Nível 1	29%	1,50 s	- 0,10%	15%	10%
Nível 2	41%	1,54 s	- 0,09%	89%	47%

**4. Discussão**

A análise cinemática numa passadeira promove uma recolha contínua de dados a uma velocidade regulada o que permite uma redução da variabilidade de dados (Schendel *et al.*, 1995). O método utilizado apresenta algumas limitações inerentes ao próprio equipamento utilizado e também devido ao facto de ser um algoritmo em desenvolvimento. Os estudos cinemáticos de dorso quantificam variações visíveis

ou não visíveis ao olho humano o que permite uma análise mais concreta do diagnóstico e eficácia de tratamento (Faber *et al.*, 2010).

No presente estudo de caso as alterações das variáveis foram observadas a passo, uma vez que é o andamento de preferência em animais em convalescença e onde são registadas mais variações de movimento. O passo é um movimento mais passivo comparativamente ao trote que é controlado por uma maior atividade muscular (Denoix, 1999), (Roethlisberger Holm *et al.*, 2006).

As alterações cinemáticas registadas no membro pélvico relatam um aumento significativo da amplitude de flexão máxima do membro, diretamente proporcional à subida dos níveis de água, pois o tempo de suspensão aumenta em média 0,11s por nível (Mendez-Angulo *et al.*, 2013). O meio aquático assiste a saída do membro em plano vertical associado à flutuabilidade que representa uma das características do meio (Scott *et al.*, 2010).

A amplitude de flexão registada pode ser compreendida quando relacionada com o aumento do tempo suspensão do membro e a uma diminuição da frequência de passada observada em níveis de água superiores ao de controlo- coroa do casco.

O aumento das variáveis anteriormente descrito pode ser compreendido tendo em atenção as características do meio aquático, como é o caso da viscosidade. A maior resistência ao movimento no plano sagital é promovida pelo meio aquático, induzindo um aumento do arco de suspensão da passada facilitando a locomoção e minimizando a resistência oferecida ao membro na progressão dentro de água (Mooij *et al.*, 2013; Scott *et al.*, 2010; King *et al.*, 2013).

O exercício no meio aquático em níveis de água superiores como é o caso do nível de água 2 - carpo, promove então uma trajetória de suspensão mais arredondada aumentando a flexão da articulação coxo-femoral, articulação femurotibiopatelar e articulações do tarso (Scott *et al.*, 2010).

A atividade muscular durante o exercício no meio aquático também regista uma variação associada à flexão da anca (músculo glúteo superficial e tensor da *fascia lata*), flexão de soldra (músculo bíceps femoral caudal) e protração do membro pélvico (músculo tensor da *fascia lata* e iliopsoas) (Scott *et al.*, 2010).

A atividade muscular representa um papel importante na sinergia das constantes do membro pélvico com a cinemática de dorso, neste caso rotação axial, sendo a única observada no estudo de caso. Como tal o músculo iliopsoas (origem e inserção) vai representar um papel ativo na flexão total de membro pélvico relacionado com uma flexão de articulações de dorso como é o caso da articulação lombossacra (representada pela flexibilidade pélvica no estudo em desenvolvimento) (Scott *et al.*, 2010).

No presente estudo, o objetivo seria chegar a uma relação íntima das duas cinemáticas em estudo, uma vez que a facilidade de locomoção dentro do

meio aquático é até aos níveis de água do carpo providenciada pela saída do membro para fora da superfície da água (Mooij *et al.*, 2013). Como tal, a rotação axial aumenta sinergicamente com a saída do membro pélvico em plano vertical, tendo um valor de flexão máxima no nível de água 2 - carpo.

No presente caso clínico a rotação axial aumentou com a subida do nível de água 1 e 2 relativamente ao nível de água controlo - coroa do casco (Mooij *et al.*, 2013), porém não apresentou um aumento simétrico entre o membro pélvico esquerdo e o direito.

A diferença na amplitude de movimento da variável rotação axial esquerda e direita como observado na Figura 7, foi atribuída como já descrito anteriormente à diminuição de amplitude flexão do membro pélvico (Greve & Dyson, 2013; Greve & Dyson, 2014; Pfau *et al.*, 2014; Church *et al.*, 2009) que decorreu da resolução cirúrgica a que o equino foi submetido antes da admissão no centro de reabilitação.

Em níveis de água do cotovelo e ombro, a rotação axial diminui uma vez que o cavalo é forçado a mover-se noutro plano (sagital) devido à resistência do meio aquático (Mooij *et al.*, 2013).

Como já descrito anteriormente, a diminuição da frequência da passada associada a um aumento do tempo de suspensão do membro pélvico irá induzir um acréscimo nos valores da variável flexibilidade pélvica, sendo outra das variáveis em estudo. Conforme consta na Tabela 1, no nível 1 - boleto a flexibilidade pélvica diminui 0,10% relativamente ao nível de controlo, sendo que no nível 2 - carpo, também apresentou uma diminuição de 0,09% relativamente ao nível de água controlo - coroa do casco. Este resultado vai contra os valores esperados para um equino saudável cuja flexibilidade pélvica deveria aumentar proporcionalmente ao aumento dos níveis de água, até ao nível 2 - carpo a partir do qual a variável apresenta uma diminuição progressiva como já descrito em estudos anteriores (Mooij *et al.*, 2013).

Como tal, num caso clínico de dorsalgia associada a uma diminuição da amplitude de movimento articular (ROM, do Inglês, *range of motion*) de toda a extremidade distal do membro pélvico beneficiaria de uma reposição de cinemática normal após tratamento de estímulo nociceptivo.

No decorrer do caso clínico que deu lugar ao presente estudo, foi desenvolvido pela equipa um algoritmo que atualmente permite obter valores absolutos. Devido ao caso clínico ser um caso retrospectivo, as limitações relativas à conversão dos valores das variáveis de pixels para centímetros ainda não estava ultrapassada.

A recolha de dados em equinos com dorsalgia, mantém-se como prática diária nas instalações, com o objetivo de futuramente os dados analisados permitirem uma apreciação da evolução das variáveis ao longo do protocolo terapêutico.

## Conclusão

No presente estudo foi possível concluir que as variáveis em estudo registam um aumento na amplitude de movimento proporcional à subida da água até ao nível 2 - carpo.

O algoritmo desenvolvido no decorrer do estudo permite em casos semelhantes uma análise quantitativa e objetiva, minimizando a margem de erro na quantificação de uma claudicação e o impacto da mesma em outras variáveis cinemáticas. A passeadeira aquática beneficia a recuperação com diminuição de impacto em cavalos com lesões osteoarticulares, fornecendo a possibilidade de monitorização biomecânica como seguimento do quadro clínico. Tais ferramentas podem auxiliar no desenvolvimento e avaliação da eficácia de protocolos de recuperação.

## Referências bibliográficas

- Barrey E (2013). Biomechanics of locomotion in the athletic horse. *Equine Sports Medicine and Surgery*, 2ª edição. Saunders Elsevier, 210-230.
- Church EE, Walker AM, Wilson AM, Pfau T (2009). Evaluation of discriminant analysis based on dorsoventral symmetry indices to quantify hindlimb lameness during over ground locomotion in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 41(3), 304-308.
- Clayton H, Schamhardt H (2013). measurement techniques for gait analysis (by horses). *Equine Locomotion*, 55–76.
- Denoix JM (1999). Spinal biomechanics and functional anatomy. *The Veterinary Clinics of North America: Equine practice*, 15(1), 27-60.
- Denoix JM (2014). *Biomechanics and Physical Training of the Horse*. Manson Publishing Ltd.
- Faber M, Johnston C, Weeren PR, Barneveld A (2002). Repeatability of back kinematics in horses during treadmill locomotion. *Equine Veterinary Journal*, 34(3), 235-241.
- Gómez Álvarez CB *et al.* (2009). Back kinematics of healthy trotting horses during treadmill *versus* over ground locomotion. *Equine Veterinary Journal*, 41(3), 297-300.
- Greve L, Dyson SJ (2013). An investigation of the relationship between hindlimb lameness and saddle slip. *Equine Veterinary Journal*, 45(5), 570-577.
- Groesel M *et al.*, (2010). A preliminary model study of the equine back including activity of *longissimus dorsi* muscle. *Equine Veterinary Journal*, 42(38), 401-406.
- King MR *et al.*, (2013). Mechanisms of aquatic therapy and its potential use in managing equine osteoarthritis. *Equine Veterinary Education*, 24(4), 204-209.
- Mendez-Angulo JL *et al.*, (2013). Effect of water depth on amount of flexion and extension of joints of the distal aspects of the limbs in healthy horses

- walking on an underwater treadmill. *American Journal of Veterinary Research*, 74(4), 557-566.
- Mooij MJW *et al.*, (2013). Biomechanical responses of the back of riding horses to water treadmill exercise. *Veterinary Journal*, 198 Suppl 1: e120-3.
- Muñoz A *et al.* (2019). The use of the water treadmill for the rehabilitation of musculoskeletal injuries in the sport horse. *Journal of Veterinary Research*, 63(3), 439-445.
- Pfau T *et al.* (2014). Identifying optimal parameters for quantification of changes in pelvic movement symmetry as a response to diagnostic analgesia in the hindlimbs of horses. *Equine Veterinary Journal*, 46(6), 759-763.
- Roethlisberger Holm K *et al.* (2006). Effect of local analgesia on movement of the equine back. *Equine Veterinary Journal*, 38(1), 65-69.
- Scott R *et al.* (2010). The effect of water height on stride frequency, stride length and heart rate during water treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 38, 662-664.
- Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM, Clayton HM. (1999). Advantages and disadvantages of track vs. treadmill tests. In *Equine Veterinary Journal*. Supplement 30, 645-647.
- Van Weeren PR (2006). Functional kinematics of the equine back. *Pferdeheilkunde Equine Medicine*, 22, 602-608
- Van Weeren PR (2014). Kinematics of the equine back and pelvis. *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine*, 2<sup>a</sup> edição, Elsevier.
- Weishaupt MA *et al.* (2002). Instrumented treadmill for measuring vertical ground reaction forces in horses. *American Journal of Veterinary Research*, 63(4), 520-527.
- Wennerstrand J *et al.* (2010). Kinematic evaluation of the back in the sport horse with back pain. *Equine Veterinary Journal*, 36(8), 707-711.