



IDENTIFICAÇÃO DE LAMINITE POR MEIO DA ANÁLISE DOS COEFICIENTES DA SÉRIE DE FOURIER

Sarah Souza e Silva Carnevalli, sarah.carnevalli@unesp.br¹
Fabrício César Lobato de Almeida, fabricio.lobato@unesp.br¹

¹ Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência e Engenharia- Campus Tupã, R. Domingos da Costa Lopes, 780 - Jardim Itaipu, Tupã - SP, 17602-496.

Resumo. *É de conhecimento que quando um animal apresenta inflamação/ferimento em regiões das extremidades dos membros (cascos) sua dinâmica de movimento (locomoção) é alterada de forma branda ou até mesmo de uma forma mais severa impossibilitando o animal de realizar atividades. Dentre estas causas pode-se citar a laminite que é comum em equinos, podendo causar grandes danos em toda sua estrutura óssea. A laminite é uma das causadoras da claudicação, conhecida como “manqueira” e percebida, geralmente, após uma análise visual e posteriormente, análise clínica do animal. Por esta análise ser, muitas vezes falha, realizou-se um estudo para a aplicação da tecnologia na área de processamento de imagens, utilizando vídeos do trote de animais com e sem laminite. Assim, realizou-se a análise de cem coeficientes da série de Fourier para a determinação de uma função que se aproximasse da adquirida por meio dos dados dos vídeos. A partir desta análise pode-se perceber que quando a amplitude de maior valor está relacionada ao 1/2 ciclo sendo que as outras amplitudes do ciclo fundamental estão drasticamente menores, o animal não possui laminite; o que não acontece quando a amplitude relacionada com o 1/2 ciclo decai e a amplitude do ciclo fundamental se sobressai, o que indica a presença severa da laminite.*

Palavras-chave: Laminite; Equinos; Coeficientes da série de Fourier.

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento que quando um animal apresenta inflamação/ferimento em regiões das extremidades dos membros (cascos) sua dinâmica de movimento (locomoção) é alterada de forma branda ou até mesmo de uma forma mais severa impossibilitando o animal de realizar atividades. Dentre estas causas pode-se citar a laminite que é comum em equinos, mas também é encontrada em bovinos em menor escala. A laminite é uma das causadoras da claudicação, conhecida como “manqueira” e percebida, geralmente, após uma análise visual e posteriormente, análise clínica do animal. Tal patologia, pode se apresentar de maneira crônica, aguda ou subclínica, sendo essa última a forma mais comum e recorrente. Vários estudos foram feitos e outros ainda estão em andamento sobre quais mecanismos podem ser utilizados para a detecção da laminite em seu estágio inicial. A análise termográfica é aplicada na detecção da área ou membro do animal que tem a maior probabilidade de estar inflamada, ou seja, existe um diferencial de temperatura que pode ser identificado na região da lesão (Fonseca et al., 2006; Eddy et al., 2001).

A identificação desta patologia de maneira visual é muito subjetiva. Parkes et al. (2009) investigaram as capacidades de percepção visual de laminite de um grupo de pessoas experientes na área e um grupo de pessoas não experientes. Em geral, os avaliadores com experiência se sobressaíram em casos de laminite mais branda, entretanto nem todos os casos foram detectados. Ou seja, provou-se que a análise é subjetiva e depende da experiência do avaliador. Tal subjetividade também foi analisada por Keegan et al. (1998) onde a sensibilidade e a avaliação subjetiva nos casos mais leves em cavalos durante a locomoção na esteira foram avaliadas por dois grupos diferentes: um grupo de profissionais na área e um grupo de estudantes. Os resultados expostos entre os estudantes foram bem diferentes enquanto dos profissionais foram mais repetitivos em suas avaliações. A falta de concordância entre a pontuação clínica da laminite leve, enfatiza a necessidade de se usar medidas mais objetivas para quantificá-la. Keegan (2007) investigou três formas distintas de identificação cinética de laminite: a identificação subjetiva, onde o que vale é a experiência visual de identificação; o método das placas de forças estacionárias que identifica cineticamente a marcha do cavalo; e, por fim, o método da análise da marcha cinemática (vídeo). Dos três métodos investigados no seu trabalho, a avaliação visual foi a mais subjetiva sendo função da experiência do avaliador, ou seja, um método adicional (análise de dados provenientes de algum sensor) é requerido para uma melhor análise e diagnóstico.

Diante desse contexto, o uso de aparatos, como instrumentação e processamento de sinais, é necessário para que a laminite seja melhor detectada bem como um aumento da probabilidade de detectar a mesma. Segundo Shin e Hammond (2008), processamento de sinais é uma série de procedimentos que são utilizados para revelar informações contidas nas medições. É o caso do trabalho de Keegan et al. (2004) que compararam dois sistemas para detecção e

quantificação de laminite em cavalos: um sistema acelerômetro-giroscópico (A-g) baseado em um sensor para tal, e em uma técnica de análise de movimento baseada em vídeo (Video-based Motion Analysis System – VMAS). Os sinais dos sistemas A-g foram coletados simultaneamente com os do VMAS para determinação de posições de cabeça, pelve e pés direitos com cavalos trotando em uma esteira rolante. A laminite foi detectada com um algoritmo que quantificou claudicação como assimetria de cabeça e movimentos pélvicos.

Neste trabalho serão reveladas funções matemáticas periódicas (série de Fourier) que possibilitarão uma maior análise dos padrões do problema e, então, será possível identificar a laminite com maior facilidade e precisão. Segundo Keegan et.al (2005), sinais de movimento adquiridos na região pélvica, pés, entre outros pontos de medida localizados no corpo de um cavalo que trotando em uma esteira é uma função periódica. Por ser um sinal periódico, pode-se utilizar a análise dos coeficientes da série de Fourier sendo possível averiguar a frequência fundamental e suas harmônicas de um movimento de um equino com e sem laminite. Se a função obtida se aproximar da função padrão do equino sem laminite ou obtiver os mesmos coeficientes mais relevantes, então o animal está saudável; porém se ela estiver diferente ou os coeficientes mais relevantes não forem os mesmos, o animal está com laminite, então deve-se comparar com a função padrão do animal com laminite. Isso só é possível com um pré-processamento de sinais que normaliza o período de pisada em um ciclo. Dessa maneira, independente do porte do cavalo ou do trote do mesmo, todo o trote se dá é um ciclo e não na frequência fundamental do movimento.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é identificar a presença ou não de laminite por meio do processamento de sinais utilizando sinais captados em vídeos do trote de equinos. Além disso, determinar os coeficientes da série de Fourier que modulam as funções periódicas de um animal saudável e um animal que possua laminite, para que esta identificação seja mais precisa e possa ser realizada antes desta doença estar em estágios avançados que possam prejudicar o bem-estar animal dos equinos.

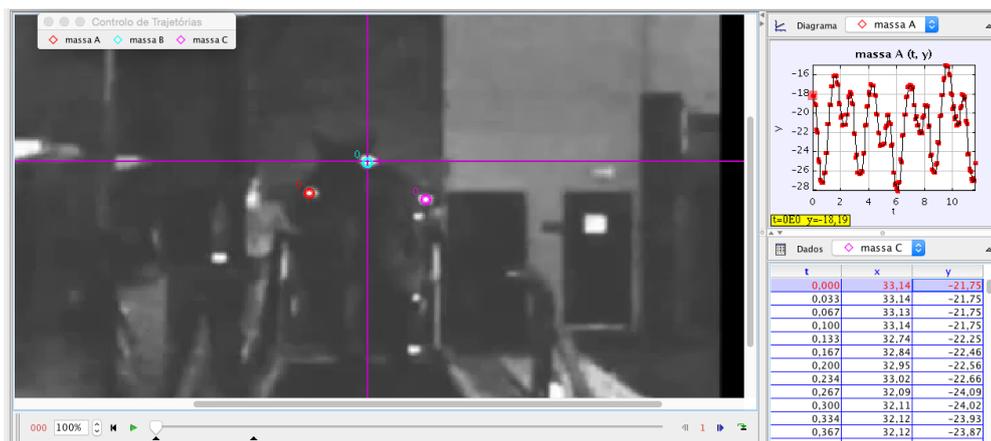
3. AQUISIÇÃO DOS SINAIS DE LAMINITE EM EQUINOS

Para explorar mais este problema na prática, iniciou-se a aquisição dos sinais reais de laminite em equinos. Realizou-se a obtenção de dados utilizando vídeos já existentes e dados obtidos por outros pesquisadores. Foram estudados os trotes de cavalos com e sem laminite. Por meio de estudo prévio, percebeu-se que os pontos da região pélvica e em seu pé seriam representativos de um animal com laminite. Assim, utiliza-se esses pontos medidos durante o trote para estudar como se comporta o movimento dessas regiões. Os sinais do deslocamento dessas regiões são extraídos de vídeos via o uso do software Tracker. Todo o pré-processamento e processamento dos sinais são feitos utilizando o software Matlab.

3.1. Aquisição por vídeos

Por meio do vídeo de Keegan (2012), foi possível marcar três pontos de medidas localizadas na região pélvica via Tracker, que é um software livre para análise de vídeos, bem como toda extensão da pata direita do animal, porém, somente foram utilizados os dados da região pélvica para este estudo. Estes pontos foram escolhidos por serem representativos da condição de trote de equinos, segundo Keegan (2005). Para uma melhor visão do funcionamento do software Tracker, a Fig. 1 mostra um snapshot do vídeo de Keegan (2012), onde observa-se os três pontos de medida, e o sinal adquirido em um gráfico ao lado do vídeo (sinal digitalizado), bem como seus valores numéricos na tabela abaixo do gráfico. Ressalta-se aqui que os sinais não são calibrados. Como somente o ponto de medida relacionado ao movimento pélvico do equino foi utilizado neste trabalho, o ponto central da região pélvica como o ponto de referência para as medições, sendo este estabelecido no primeiro frame do vídeo.

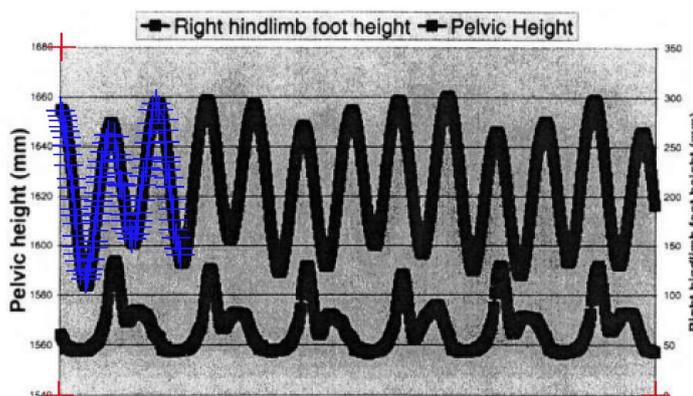
Figura 1. Processamento do vídeo utilizando software Tracker



3.2. Aquisição por gráficos temporais digitalizados

Para fins de comparação com os dados obtidos por meio do vídeo mencionado na subseção anterior, foram extraídos dados de gráficos temporais disponibilizados por Keegan (2005) em um de seus periódicos. Estes gráficos mostravam a variação na altura pélvica e do membro posterior direito de um equino saudável, e um equino com laminite no membro posterior direito. Estes gráficos foram digitalizados no software Engauge, como mostrado na Fig. 2.

Figura 2. Gráficos temporais sendo digitalizados no software Engauge



Da mesma maneira que os vídeos, os sinais digitalizados no Engauge foram processados no Matlab, para a elaboração dos gráficos e para a identificação dos coeficientes da série de Fourier, que definirão a função padrão para um equino com e sem laminite.

4. RESULTADOS

Foram obtidos os dados da amplitude do movimento na região pélvica e na região do membro posterior direito de dois equinos específicos: um sem laminite e um com laminite no membro posterior esquerdo; sendo provenientes dos vídeos retirados de Keegan (2012), por meio do software Tracker; e dos gráficos temporais de Keegan (2005) digitalizados por meio do software Engauge.

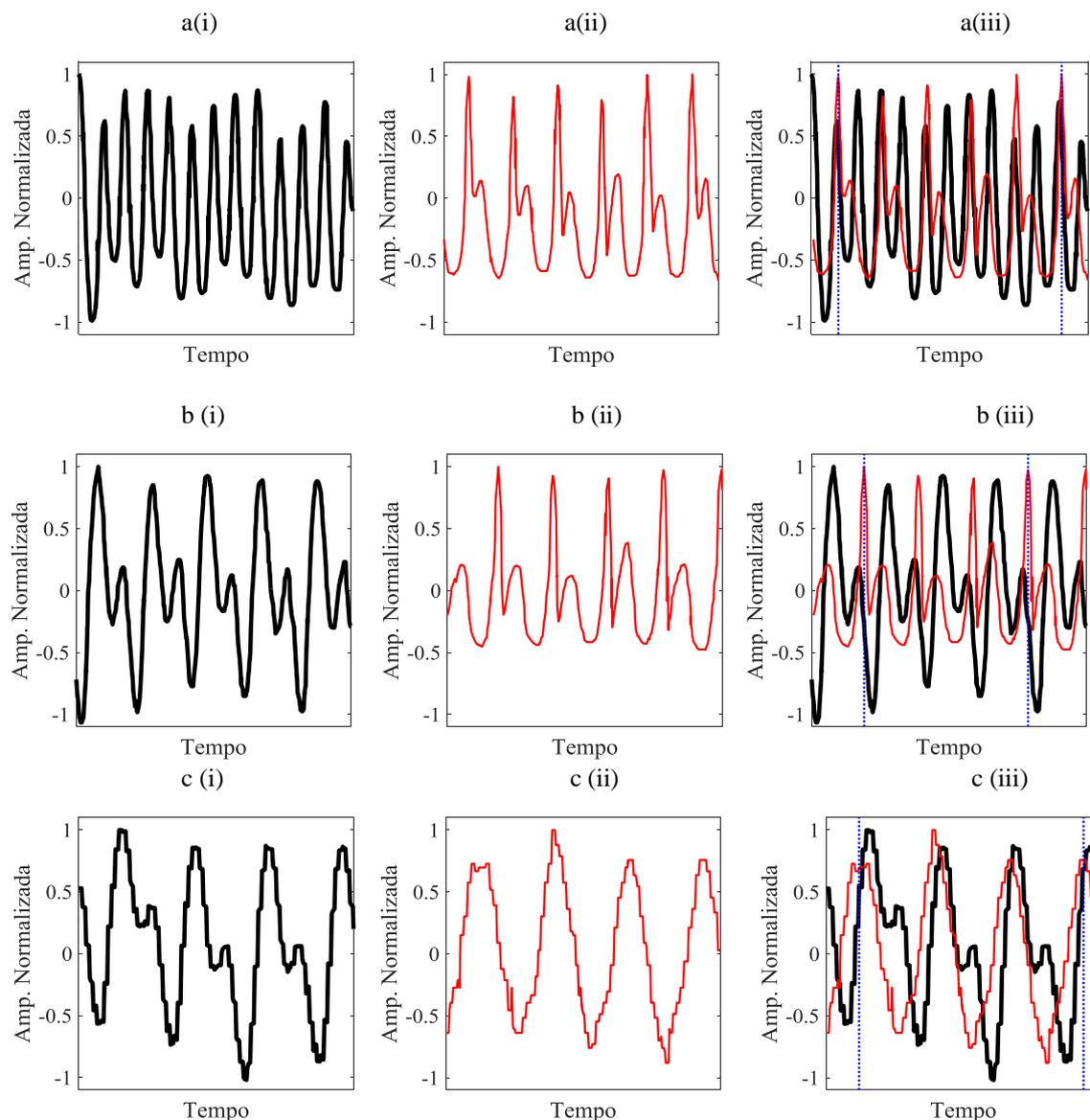
4.1. Pré-processamento

Para a realização do pré-processamento, o critério utilizado foi a qualificação do sinal justamente para se criar um padrão que pudesse ser normalizado e adaptado para qualquer cavalo. Primeiramente, foi realizado a normalização das amplitudes, ou seja, manter os pontos (picos) máximo e mínimo entre o intervalo de 1 e -1, respectivamente, deixando a região pélvica centrada na origem do sistema de referências. Assim, utilizou-se os valores de deslocamento relativo que representa a variação da altura (Δy) da região pélvica em relação a um eixo referencial (eixo 0). O mesmo procedimento foi adotado para as medidas adquiridas no pé (casco) do cavalo.

O próximo passo foi definir os períodos que seriam analisados dos gráficos obtidos. Para isso, marcaram-se o primeiro e o último ponto em que havia picos utilizando o vetor de dados do membro posterior direito do cavalo

(pisada). Assim, foi possível definir este período de análise de forma a possuir dados de três ciclos de pisada. Esses procedimentos de normalização e definição do período de análise são representados na Fig. 3.

Figura 3. Sinais temporais normalizados obtidos por meio de (a) dados digitalizados de um equino saudável, (b) dados digitalizados de um equino com laminite e (c) dados obtidos por vídeo de um equino com laminite, na (i) região pélvica, no (ii) membro posterior direito e (iii) na região pélvica e no membro posterior direito sobrepostos e delimitados pelo período que será analisado



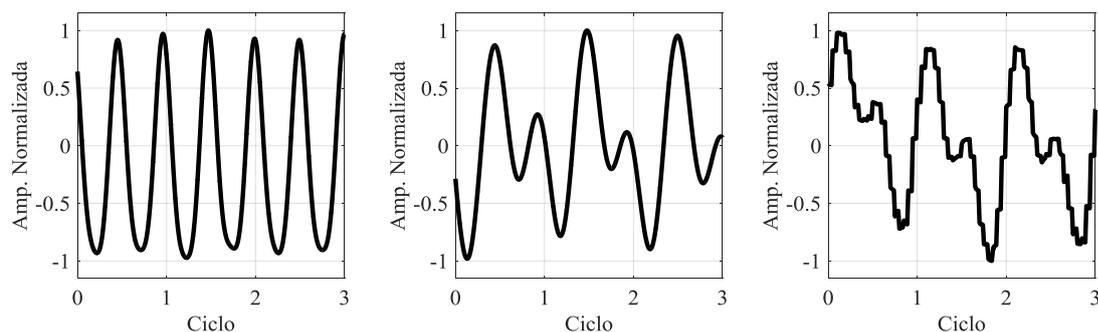
O último passo do pré-processamento foi a definição de cada ciclo existente no período analisado. Depois de marcados o primeiro e o último ponto em que haviam picos utilizando o vetor de dados do membro posterior direito do cavalo para a definição do período de análise, determinou-se o ponto final do primeiro ciclo, ou seja, o segundo pico para a determinação da contagem dos ciclos que seriam realizados. Após definir um ciclo, foi aplicada a mesma análise para definição dos outros dois ciclos, e então aplicou-se aos dados da região pélvica. A Fig. 4 permite a visualização do sinal após seu tratamento no pré-processamento.

Figura 4. Sinal definido por meio de ciclos localizado na região pélvica, sendo obtido a partir de: (a) dados digitalizados de um equino saudável, (b) dados digitalizados de um equino com laminite e (c) dados obtidos por vídeo de um equino com laminite.

(a)

(b)

(c)



4.2. Coeficientes da série de Fourier

Sabendo que os sinais adquiridos são sinais periódicos utilizou-se a série de Fourier para definir estes sinais (caracterização). Segundo Shin e Hammond (2008, p. 31): “A base da análise dos coeficientes da série Fourier de um sinal periódico é a representação deste sinal pela soma de funções seno e cosseno com suas apropriadas frequências, amplitudes e fases relativas.”. Essas funções seno e cosseno que se somam, tem um diferente coeficiente. Estes coeficientes são essenciais para definir a função estudada, pois são eles que comandam a forma da função. A estrutura desta função pode ser descrita pela Eq.(1).

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} M_n \cos(2\pi f_1 t + \phi_n) \quad (1)$$

Os coeficientes a sempre estão associados às funções cosseno e os coeficientes b sempre estão associados às funções seno, sendo que os coeficientes c representam uma somatória dos vetores que representam os coeficientes a_n e b_n , como se pode ver pelas Eq.(2) e Eq. (3). Estes coeficientes, de certa forma, moldam a função gerada para se adequar ao formato ideal do sinal captado.

$$|c_n| = \frac{1}{2} \sqrt{a_n^2 + b_n^2} = \frac{M_n}{2} \quad (2)$$

$$\arg c_n = \tan^{-1} \left(-\frac{b_n}{a_n} \right) = \phi_n \quad (3)$$

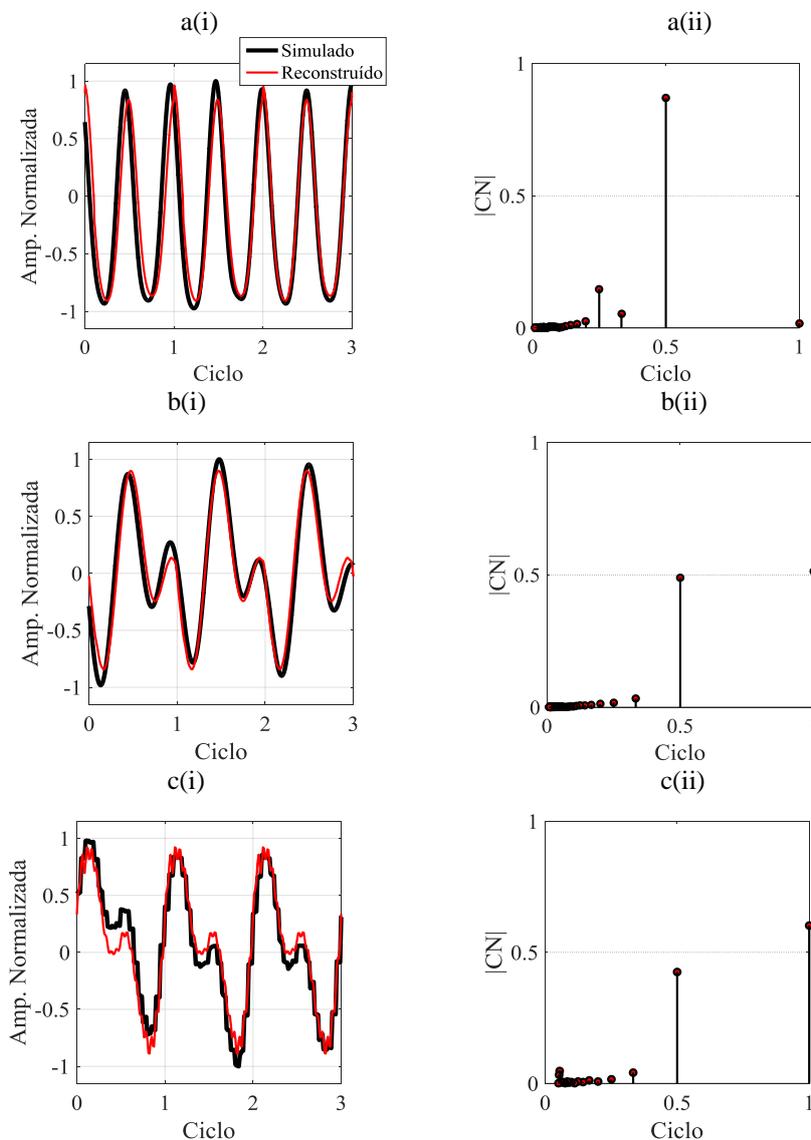
A partir do sinal obtido, realiza-se uma análise de Fourier. Basicamente, nesta análise será gerada uma função da série de Fourier que se aproximará ao máximo da obtida a partir dos dados captados. O valor de n depende do número de coeficientes que você deseja, sendo que para isso são realizados testes para saber com qual quantidade de coeficientes a função mais se aproxima da obtida experimentalmente. Às vezes, com poucos coeficientes já se compõem uma função bem aproximada da experimental, porém, às vezes podem ser necessários oito coeficientes para isso. Para definir essa função, foram elaborados procedimentos em *Matlab* que definem os coeficientes de Fourier.

Esta série possui alguns coeficientes que são chamados de a_n , b_n e c_n . Cada um destes coeficientes se relaciona com tipos diferentes de funções que combinados formam a equação simulada mais próxima da real. Por conta disso, os valores e as quantidades destes coeficientes que forem utilizadas ao montar a função são de extrema importância, pois podem diminuir ou aumentar a defasagem entre o sinal que está sendo simulado e o sinal real. A análise consiste em perceber quais coeficientes estão mais relevantes e em quais pontos do ciclo, o que permite identificar os padrões de pisada.

Visando a detecção da laminite, optou-se por calcular estes coeficientes da série de Fourier. Importante ressaltar novamente que se utiliza esse método devido a característica do sinal adquirido em equinos, que é do tipo periódico. Dessa maneira, pode-se calcular os coeficientes da série de Fourier e reconstruir o sinal real observando sua similaridade ou não. Para esse caso foram utilizados 100 termos para a série de Fourier. Observa-se uma boa similaridade entre os dois sinais, ou seja, os coeficientes utilizados são representativos do sistema (cavalo com ou sem laminite). A Fig. 5 mostra os sinais medidos (linha preta) juntamente com os sinais reconstruídos (linha vermelha) e os coeficientes da série de Fourier para os casos de equinos sem e com laminite analisando a região pélvica.

Figura 5. Relação entre (a) dados digitalizados de um equino saudável, (b) dados digitalizados de um equino com laminite e (c) dados obtidos por vídeo de um equino com laminite, sendo (i) sinal adquirido (cor preta), juntamente com

o sinal reconstruído (cor vermelha) e (ii) definição dos coeficientes da série de Fourier, em função do ciclo de pisada de equinos.



Como pode ser observado, a série de Fourier ainda é robusta mesmo para sinais quantizados, visto que, os coeficientes da série de Fourier se assemelham muito aqueles calculados para o sinal com laminite, mas adquiridos utilizando Engauge.

Observa-se, portanto, o coeficiente referente ao $\frac{1}{2}$ ciclo. Pode-se perceber por meio da Fig. 5 que é $\frac{1}{2}$ ciclo do ciclo fundamental (pisada do cavalo) que define a não presença da laminite. Dessa maneira, para um ciclo da pisada do cavalo ocorre 2 ciclos para a movimentação pélvica. Entretanto, para o cavalo com laminite, a amplitude relacionada com o $\frac{1}{2}$ ciclo decai drasticamente e a amplitude do ciclo fundamental se sobressai indicando a presença severa da laminite. Para esse caso, foram utilizados 20 termos da série devido a presença de ruídos de alta frequência, onde a série torna-se não fidedigna ao estado do cavalo.

5. CONCLUSÃO

Portanto, por meio deste estudo pode-se concluir que o método de identificação da laminite por meio do processamento de sinais captados de vídeos, realizando a adequação e análise da função obtida por meio dos coeficientes de Fourier é muito eficiente. Na análise dos coeficientes da série de Fourier, pode-se perceber que em equinos sem laminite, o coeficiente relacionado ao $\frac{1}{2}$ ciclo sobressai em comparação a todos os outros cem coeficientes analisados, sendo este o padrão que determina a não presença da laminite neste animal. Porém o mesmo não acontece

quando o equino possui laminite, pois esta função mostra um padrão onde a amplitude relacionada com o ½ ciclo decai enquanto a amplitude do ciclo fundamental (equivalente à um ciclo) cresce.

Assim, identificar a laminite de forma precisa e precoce é essencial para prevenir problemas que podem causar sérios danos na saúde de equinos, e a análise por meio do processamento de sinais captados por meio de vídeos se mostrou totalmente eficiente na identificação desta doença.

3. AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial o CNPQ pelo auxílio financeiro para a realização desta pesquisa com processo de número 159665/2017-5.

4. REFERÊNCIAS

- Eddy, A.L., Van Hoogmoed, L.M. e Snyder, J.R., 2001. "The role of thermography in the management of equine lameness". *Veterinary Journal*.
- Fonseca, B. P. A., Alves, A. L. G., Nicoletti, J. L. M., Thomassian, A., Hussni, C. A. e Mikail, S., 2006. "Thermography and ultrasonography in back pain diagnosis of equine athletes". *Journal of Equine Veterinary Science*.
- Keegan, K.G., Wilson, D.A., Wilson D.J., Smith B., Gaughan, E.M., Pleasant, R.S., Lillich J.D., Kramer, J., Howard, R.D., Bacon-Miller, C., Davis, E.G., May, K.A., Cheramie, H.S., Valentino, W.L. e van Harreveld, P.D., 1998. "Evaluation of mild lameness in horses trotting on a treadmill by clinicians and interns or residents and correlation of their assessments with kinematic gait analysis", *American Journal of Veterinary Research*.
- Keegan, K. G., Yonezawa, Y., Pai, P. F., Wilson, D. A., e Kramer, J. (2004). "Evaluation of a sensor-based system of motion analysis for detection and quantification of forelimb and hind limb lameness in horses." *American Journal of Veterinary Research*.
- Keegan, K.G., 2007. "Evidence-based lameness detection and quantification." *The Veterinary Clinic of North America: Equine Practice*.
- Keegan, K.G., 2005. "Pelvic movement pattern in horses with hindlimb and forelimb lameness." In: *Proc Am Assoc Equine Pract.* p. 121-127.
- Keegan, K.G., 2012. "Slow mo 2 types of detecting hind limb lameness." 1 Jul. 2019. <<https://www.youtube.com/watch?v=IaiQiHApr9k>>.
- Parkes, R. S. V., Weller, R., Groth, A. M., May, S., e Pfau, T., 2009. "Evidence of the development of 'domain-restricted' expertise in the recognition of asymmetric motion characteristics of hindlimb lameness in the horse", *Equine Veterinary Journal*.
- Shin, K.; Hammond, J.K., 2008. Fundamentals of signal processing for sound and vibration engineers. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Starke, S. D., May, S. A., e Pfau, T., 2015. "Understanding hind limb lameness signs in horses using simple rigid body mechanics". *Journal of biomechanics*, v. 48, n. 12, p. 3323-3331.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.