

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

Rodrigo Antonio Ezias Grassi

**Desenvolvimento de um dispositivo para avaliação  
objetiva da expansão do casco do equino à locomoção**

Botucatu/SP  
Fevereiro de 2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

Rodrigo Antonio Ezias Grassi

## **Desenvolvimento de um dispositivo para avaliação objetiva da expansão do casco do equino à locomoção**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia.

Área de Concentração: Biotecnologia

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Rybarczyk Filho

Co-Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Hussni

Botucatu/SP  
Fevereiro de 2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.  
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP  
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Grassi, Rodrigo Antonio Ezias.

Desenvolvimento de um dispositivo para avaliação objetiva da expansão do casco do equino à locomoção / Rodrigo Antonio Ezias Grassi. - Botucatu, 2018

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: José Luiz Rybarczyk Filho

Coorientador: Carlos Alberto Hussni

Capes: 90000005

1. Locomoção animal. 2. Cavalo - Passos, andamento, etc. 3. Casco de animais. 4. Arduíno (Controlador programável). 5. Detectores.

Palavras-chave: arduino; casco; cavalo; expansão; sensor flexível.

# Agradecimentos

- Inicio os agradecimentos com Professor Doutor José Luiz Rybarczyk Filho, que aceitou o desafio deste trabalho e caminhou sempre ao meu lado, fazendo seu papel de orientador de forma extraordinária;
- Continuo com o Professor Doutor Carlos Alberto Hussni, que trouxe à luz o tema desse trabalho e com todo seu conhecimento e sabedoria indicou o caminho com precisão para chegarmos ao final com sucesso;
- Um agradecimento muito especial e cheio de gratidão aos meus pais José Antonio Grassi e Claudete Ezias Grassi (em memória) que sem eles nada disso seria possível, agradeço a educação, o amor e tudo que fizeram por mim, não há palavras que eu possa colocar aqui que expresse meus sentimentos, amo muito vocês;
- Ao meu irmão Renato, que sempre me apoia e incentiva em novos desafios da vida, este foi mais um;
- A minha família, tios, tias, primos, primas, sogro e sogra os quais devo minhas desculpas pela ausência durante o período de estudos;
- Se não fosse o Guilherme Creste a trilhar o caminho de ingresso ao mestrado e me incentivar a fazê-lo, talvez não teria nem começado, obrigado.
- Uma prova que um trabalho como esse é fruto de vários esforços aqui agradeço ao Juliano Otoni e Samuel Trautvein, que seus conhecimentos e seus esforços em me ajudar, foram essenciais ao sucesso do trabalho;
- Não posso deixar de agradecer uma pessoa ímpar em minha vida, que me ensina muito, que ajuda a carregar o fardo pesado da vida de forma a torna-la mais fácil, por sua paciência, compreensão, incentivo e carinho, te amo Thais;
- Também agradeço a FMVZ, aos funcionários da Diretoria de Informática e em especial ao Thiago Hilário que de forma única supriu meus momentos de ausência;
- Gostaria de agradecer também os amigos Rafael Rios, Chico Pupo e Cesar Leme;
- E por fim, segundo minha crença, gostaria de agradecer a Deus pelo o que sou.

## Resumo

O cavalo (*Equus caballus*) sofreu mudanças evolutivas do *Eohippus* com adaptações na locomoção para andamentos em diferentes velocidades. Em semelhança a outros ungulados a porção distal dos equinos é protegido pelo casco. O casco é estrutura córnea complexa que tem relação direta à saúde destes animais, é a parte protetora estrutural e funcional do sistema locomotor do equino, e tem ação direta sobre o retorno sanguíneo dos membros ao coração. Ao apoiar o casco sobre o solo, o animal pressiona as estruturas podais que promovem a expansão medial e lateral do casco. Considerando tais alterações no formato do casco nos momentos de apoio e elevação durante a locomoção, apresenta-se um sistema físico de precisão que analisa objetivamente a deformação dos cascos durante a locomoção, estabelecendo-se uma avaliação física e matemática das mudanças do formato do casco à locomoção. Foi desenvolvida uma placa de circuito impresso para se encaixar na plataforma embarcada Arduino (*shield*), esse dispositivo faz o processamento dos sinais adquiridos pelos sensores fixados nos cascos, e os enviam a um computador com uma taxa de amostragem a 200 Hz. Um software escrito na linguagem de programação Python recebe os dados, exhibe-os em tempo real e os armazenam em arquivos para análises. Para realizar o teste *in vitro* foi criado um protótipo de um casco em PVC. Os testes *in vivo* foram feitos em quatro animais, o quais foram conduzidos em dois tipos diferentes de solo (asfalto e grama). O resultado demonstrou e comprovou o funcionamento do equipamento, possibilitou mapear a deformação estrutural dos quatro cascos simultaneamente durante a locomoção do animal, tornou possível a dedução da forma em que o animal exerce o peso sobre o membro ao apoiá-lo ao solo.

## Abstract

The horse (*Equus caballus*) underwent evolutionary changes of *Eohippus* with adaptations in locomotion for different speeds. In similarity to other angulated distal equine is protected by the hoof. The hoof is a complex cornea structure that is directly related to the health of these animals, it is the structural and functional protective part of the equine locomotor system, and has direct action on the blood return of the limbs to the heart. By supporting the hoof on the ground, the animal presses the foot structures that promote the medial and lateral expansion of the hoof. Considering such changes in the shape of the hoof during moments of support and elevation during locomotion, a physical precision system is presented that objectively analyzes the deformation of the hooves during the locomotion, establishing a physical and mathematical evaluation of the changes of the shape of the hoof to locomotion. A printed circuit board was developed to fit the Arduino embedded platform (shield), this device processes the signals acquired by the sensors attached to the hooves and sends them to a computer with a sampling rate of 200 Hz. Software written in the Python programming language receives the data, displays it in real time, and stores it in files for analysis. For the in vitro test a prototype of a PVC hoof was created. In vivo tests were performed on four animals, which were conducted on two different types of soil (asphalt and grass). The result demonstrated and proved the operation of the equipment, made it possible to map the structural deformation of the four hooves simultaneously during the locomotion of the animal, made it possible to deduce the way in which the animal exerts weight on the limb by supporting it to the ground.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Evolução da região distal do equino, que reduz de cinco dígitos (A - Phenacodus) para um dígito (H - Equus), durante o processo evolutivo os demais dígitos perdem o contato com o solo e se atrofiam. . . . .	3
Figura 2 – A Comparação entre a mão humana e o membro do equino demonstra que o cavalo possui o terceiro dígito funcional. Onde: P1 - primeira falange ; P2 -segunda flange ; P3 - terceira falange; MC2 - segundo metacarpo e MC3 - terceiro metacarpo . . . . .	3
Figura 3 – Regiões da parte inferior do casco do cavalo . . . . .	5
Figura 4 – Regiões da parede do casco, em verde <b>P</b> - região da pinça, em amarelo <b>Q</b> - região dos quartos e em vermelho <b>T</b> - região dos talões . . . . .	5
Figura 5 – Produtos oficiais do arduino separados por finalidades . . . . .	7
Figura 6 – Arduino modelo UNO, com suas portas destacadas. Em vermelho são as portas digitais, o simbolo “~” indica quais portas digitais podem ser usadas com o PWN, em verde são as portas analógicas e em amarelo as portas de comunicação serial, sendo RX Recepção e TX transmissão. . . . .	9
Figura 7 – Funcionamento do <i>Pulse Widht Modulation</i> no Arduino . . . . .	10
Figura 8 – Fluxograma de funcionamento do dispositivo. 1 fixação dos sensores, 2 -funcionamento do sensor, 3 transferência de dados ao computador, 4 exibição dos dados . . . . .	15
Figura 9 – Arduino LiLyPad . . . . .	16
Figura 10 – Arduino modelo Mega . . . . .	17
Figura 11 – A) Sensor flexível; B) Funcionamento do sensor . . . . .	18
Figura 12 – Circuito integrado LM324 . . . . .	18
Figura 13 – Funcionamento interno do cirucuito LM324 . . . . .	18
Figura 14 – Posicionamento dos sensores junto ao casco do animal, foi adotado a nomenclatura seguindo um padrão sendo: torácicos (t) e pélvicos (p), direito (d) e esquerdo (e), e o local de fixação medial (m), lateral (l) e pinça (p) . . . . .	21
Figura 15 – <i>Shield</i> criado para o Arduino Mega, no qual é ligado os sensores flexíveis. Ele obtém os sinais dos sensores, os amplificam e encaminham para o computador. . . . .	23
Figura 16 – Circuito criado para cada sensor do dispositivo; <b>R</b> - resistor, <b>AmpOp</b> - amplificador operacional, <b>GND</b> - aterramento do circuito . . . . .	23
Figura 17 – <i>Shield</i> de prototipagem para o Arduino Mega . . . . .	25
Figura 18 – Circuito montado no <i>shield</i> de prototipagem . . . . .	25

Figura 19 – <i>Shield</i> criado com o circuito impresso em uma placa de fenolite, que recebe os sinais registrados pelos dos sensores flexíveis e os amplificam.	26
Figura 20 – Montagem do protótipo do casco em PVC, onde A separa 1/4 do fragmento, B divide ao meio, C abertura do elo e D é a junção das partes A B e C . . . . .	27
Figura 21 – Protótipo do casco em PVC. <b>A</b> - região com 3 camadas, <b>B</b> - regiões com 2 camadas e <b>C</b> - regiões com uma camada. . . . .	27
Figura 22 – Sinal do sensor lateral 1 monitorado durante teste com diferentes cargas	28
Figura 23 – Sinal do sensor lateral 2 monitorado durante teste com diferentes cargas	29
Figura 24 – Sinal do sensor central monitorado durante teste com diferentes cargas	29
Figura 25 – Distribuição dos valores registrados pelos sensores durante o teste . . .	30
Figura 26 – O dispositivo acomodado no animal na bolsa em azul de onde são ligados os sensores através de cabos espirais. . . . .	31
Figura 27 – Fixação dos sensores nos cascos torácicos . . . . .	31
Figura 28 – Imagem ampliada dos sensores no casco torácico . . . . .	31
Figura 29 – Fragmento do traçado do sensor torácico medial esquerdo do cavalo C1 na grama. (A) Momento de apoio e (B) momento de elevação do casco.	32
Figura 30 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C1 no piso de asfalto. . . . .	33
Figura 31 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C1 no piso de asfalto. . . . .	33
Figura 32 – Distribuição dos valores registrados pelo C1 durante a coleta do piso de asfalto . . . . .	34
Figura 33 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C2 no piso de asfalto. . . . .	35
Figura 34 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C2 no piso de asfalto. . . . .	35
Figura 35 – Distribuição dos valores registrados pelo C2 durante a coleta do piso de asfalto . . . . .	36
Figura 36 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C3 no piso de asfalto. . . . .	37
Figura 37 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C3 no piso de asfalto. . . . .	37
Figura 38 – Distribuição dos valores registrados pelo C3 durante a coleta do piso de asfalto . . . . .	38
Figura 39 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C4 no piso de asfalto. . . . .	39
Figura 40 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C4 no piso de asfalto. . . . .	39



Figura 41 – Distribuição dos valores registrados pelo C4 durante a coleta do piso de asfalto . . . . .	40
Figura 42 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C1 no piso de grama. . . . .	41
Figura 43 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C1 no piso de grama. . . . .	41
Figura 44 – Distribuição dos valores registrados pelo C1 durante a coleta do piso de grama . . . . .	42
Figura 45 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C2 no piso de grama. . . . .	43
Figura 46 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C2 no piso de grama. . . . .	43
Figura 47 – Distribuição dos valores registrados pelo C2 durante a coleta do piso de grama . . . . .	44
Figura 48 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C3 no piso de grama. . . . .	45
Figura 49 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C3 no piso de grama. . . . .	45
Figura 50 – Distribuição dos valores registrados pelo C3 durante a coleta do piso de grama . . . . .	46
Figura 51 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C4 no piso de grama. . . . .	47
Figura 52 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C4 no piso de grama. . . . .	47
Figura 53 – Distribuição dos valores registrados pelo C4 durante a coleta do piso de grama . . . . .	48
Figura 54 – Traçado do pônei com ferradura velocidade de trote trabalho Colles, channel 1 deformação do casco, channel 2 deformação vertical do casco, channel 3 deformação vertical da pinça. "A"momento aplicado a pressão, "B"momento que a pressão é sessada . . . . .	50

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Relação de animais usados para coleta . . . . .	20
Tabela 2 – Distribuição dos valores registrados durante o teste <i>in vitro</i> . . . . .	30
Tabela 3 – Distribuição dos valores registrados do animal C1 durante a coleta no asfalto . . . . .	34
Tabela 4 – Distribuição dos valores registrados do animal C2 durante a coleta no asfalto . . . . .	36
Tabela 5 – Distribuição dos valores registrados do animal C3 durante a coleta no asfalto . . . . .	38
Tabela 6 – Distribuição dos valores registrados do animal C4 durante a coleta no asfalto . . . . .	40
Tabela 7 – Distribuição dos valores registrados do animal C1 durante a coleta na grama . . . . .	42
Tabela 8 – Distribuição dos valores registrados do animal C2 durante a coleta na grama . . . . .	44
Tabela 9 – Distribuição dos Valores registrados do animal C3 durante a coleta na grama . . . . .	46
Tabela 10 – Distribuição dos valores registrados do animal C4 durante a coleta na grama . . . . .	48

# Sumário

	Lista de ilustrações . . . . .	vii
	Lista de tabelas . . . . .	x
	Sumário . . . . .	1
1	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	2
1.1	Evolução podal do equino . . . . .	2
1.2	Casco do equino . . . . .	4
1.3	Biomecânica do casco . . . . .	5
1.4	Controlador programável Arduino . . . . .	6
1.5	<i>Wearebles</i> . . . . .	11
1.6	Justificativa . . . . .	12
2	<b>OBJETIVOS</b> . . . . .	13
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> . . . . .	14
3.1	<i>Workflow</i> . . . . .	14
3.2	Arduino . . . . .	15
3.3	Sensor Flexível . . . . .	17
3.4	Amplificador Operacional . . . . .	18
3.5	Programação . . . . .	19
3.6	Programas Utilizados . . . . .	19
3.7	Amostra . . . . .	20
3.8	Nomenclaturas . . . . .	20
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> . . . . .	22
4.1	O dispositivo . . . . .	22
4.2	Circuito . . . . .	23
4.3	Teste <i>in vitro</i> . . . . .	26
4.4	Teste <i>in vivo</i> . . . . .	30
4.5	Coleta no piso de asfalto . . . . .	32
4.6	Coleta no piso de grama . . . . .	40
4.7	Discussão . . . . .	48
5	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	52
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	53

# 1 Introdução

## 1.1 Evolução podal do equino

O cavalo, do latim *Equus caballus*, é um animal herbívoro que possui o terceiro dígito funcional e unglado. Sua história evolutiva é descrita há tempos pela paleontologia dos vertebrados, inicia-se entre 60 a 45 milhões de anos atrás, no período conhecido como Eoceno, com seu primeiro ancestral chamado *Hyracotherium*, um animal com o porte de uma lebre, descendente direto *Phenacodus* (o mais primitivo unglado), possuía pernas compridas, quatro dedos nos membros torácicos e três nos membros pélvicos (Matthew 1992, Thewissen 1990).

Os equinos surgiram cerca de 17 milhões de anos atrás, apresentam um único dígito e assim são chamados de monodáctilos (Cintra 2011). Na figura 1 é exibida a evolução do semento distal do equino, que reduziu o número de dígitos de cinco (*Phenacodus*) para um (*Equus*), e para isso houve adaptações para garantir o equilíbrio e a estabilidade do animal. Nos cavalos, a evolução concentrou o peso e o equilíbrio de cada membro em um dígito (o terceiro dígito) e os outros dígitos perderam o contato com o solo tornando o membro distal equino uma estrutura altamente especializada (Floyd e Mansmann 2007, Olsen 2003).

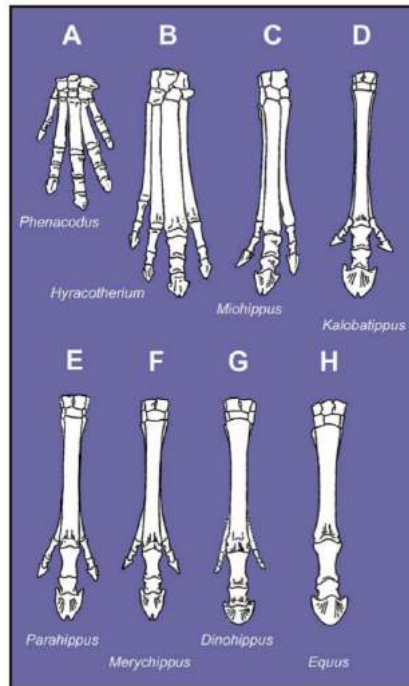


Figura 1 – Evolução da região distal do equino, que reduz de cinco dedos (A - Phenacodus) para um dígito (H - Equus), durante o processo evolutivo os demais dedos perdem o contato com o solo e se atrofiam.

fonte: (Matthew 1992)



Figura 2 – A Comparação entre a mão humana e o membro do equino demonstra que o cavalo possui o terceiro dígito funcional. Onde: P1 - primeira falange ; P2 -segunda flange ; P3 - terceira falange; MC2 - segundo metacarpo e MC3 - terceiro metacarpo

fonte: (Floyd e Mansmann 2007)

## 1.2 Casco do equino

A palavra “dígito” é universalmente aplicada a todas as espécies para se referir a parte distal de seus membros. A extremidade da região distal do cavalo é revestida por uma estrutura córnea denominada casco (Denoix 1994), com tamanha relevância para a saúde do animal que em 430 a.c o filósofo e historiador militar Xeneofonte disse: “Se um cavalo não tem cascos bons nunca terá um futuro como cavalo de guerra”(Hickman 1977).

O casco é uma estrutura córnea anexa a pele que protege a terminação dos membros, envolve a terceira falange, parte da segunda e o osso navicular (figura 2) (Parks 2003). É uma estrutura complexa e queratinizada, rígida e elástica, que tem por função suportar o peso do animal, absorver o impacto com o solo, proteger as estruturas internas, auxiliar na propulsão, auxiliar o retorno sanguíneo da extremidade dos membros, entre outras (Andrade 1986). É dividido em parede do casco, sola e ranilha (figura 3), possui um crescimento contínuo e diferenciado nas regiões da sola e parede do casco (Parks 2003).

A parede do casco é a parte da estrutura córnea visível quando o animal está com membro apoiado ao solo. É uma estrutura contínua que divide-se em regiões distintas: pinça, quartos medial e lateral, talões medial e lateral (figura 4). Cresce distalmente a partir da região da coroa (região da borda do casco intermediária entre a epiderme e o tecido córneo do casco), é mais espesso na região da pinça e diminui a espessura gradativamente em direção dos talões (Budras, Sack e Rock 2003). O ângulo da parede do casco em relação ao solo varia entre 45° e 50° para os membros torácicos e de 50° a 55° para os membros pélvicos, podendo esses ângulos variarem de acordo com a raça, idade, peso, uso do animal, ambiente entre outros fatores (Floyd e Mansmann 2007).

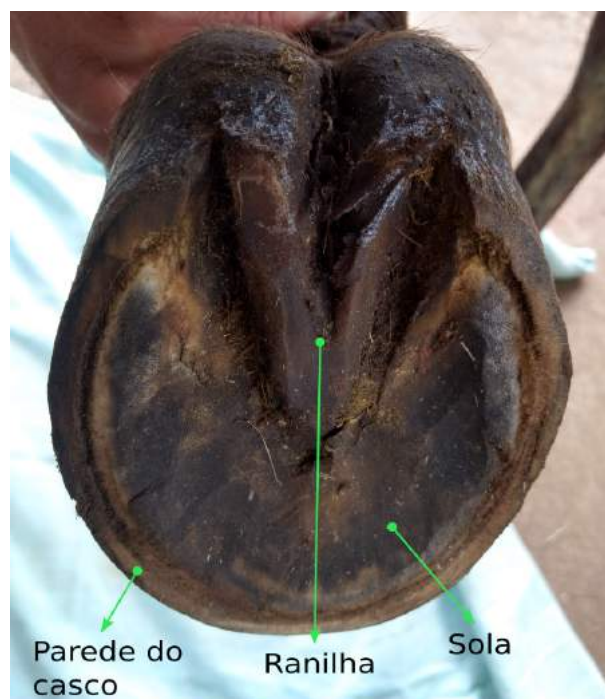


Figura 3 – Regiões da parte inferior do casco do cavalo

fonte: Produzida pelo autor(2018)

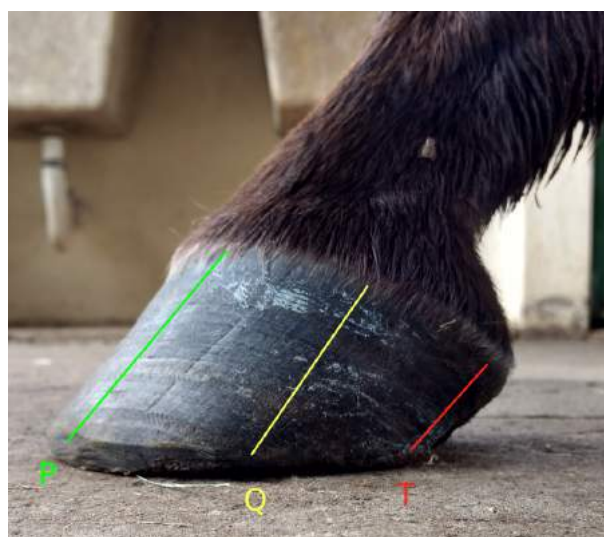


Figura 4 – Regiões da parede do casco, em verde **P** - região da pinça, em amarelo **Q** - região dos quartos e em vermelho **T** - região dos talões

fonte: Produzida pelo autor(2018)

### 1.3 Biomecânica do casco

No comportamento mecânico, a maioria dos materiais biológicos não são puramente elásticos, nem puramente viscosos, em vez disso, apresentam uma combinação de ambas

características e são, portanto, chamados de viscoelásticos (Pollitt 1998). Uma consequência da viscoelasticidade é a sensibilidade da taxa de deformação, esse comportamento vai do flexível ao quebradiço, sendo que, quanto menos rígido, menos quebradiço e maior a deformação (Bertram e Gosline 1987).

O formato estrutural do casco e sua propriedade viscoelástica permitem pequenas distorções em resposta as cargas a que está sujeito (Floyd e Mansmann 2007, Kasapi e Gosline 1996). Possuem um movimento de expansão e retração relacionado à pressão exercida na sola durante os momentos de apoio e elevação.

A dilatação da parede do casco está diretamente relacionada ao peso exercido durante o apoio do membro ao solo e esse por sua vez é relacionado com a velocidade de locomoção do animal. Assim, a parede do casco com resistência reduzida pode sofrer danos e disto decorrer enfermidades (Thomason, Biewener e Bertram 1992, Bertram e Gosline 1987).

A biomecânica da expansão é dividida em duas fases, a primeira fase é o momento que o membro está no ar sem o contato com o solo e o casco encontra-se relaxado, a segunda fase é quando o casco entra em contato com o solo, sofre a pressão do membro ao apoio e ocorre a dilatação (Weishaupt et al. 2010). A deformação do casco durante a locomoção é estudada desde o século XVIII, sugerindo que a parede do casco se expande durante o apoio do peso do animal, absorvendo o impacto e impulsionando o sangue para as veias pela pressão das estruturas internas do casco, especificamente sobre o coxim palmar ou planar (O'Grady e Poupard 2003). A amplitude da deformação é relacionada com o peso do animal, velocidade de locomoção e tipo de terreno (Weishaupt et al. 2010).

No momento do apoio, a força de reação do solo exerce pressão sobre a sola e a ranilha, a qual é transferida sobre o coxim que por sua vez é comprimido e projeta as cartilagens colaterais lateralmente resultando no aumento da largura do casco. Durante a elevação, o coxim é relaxado, cessa a pressão sobre as cartilagens e o casco volta ao seu formato e diâmetro inicial (Moyer e Carter 2007).

Claudicação é a manifestação da disfunção locomotora que tem origem neurogênica ou mecânica, nos equinos a maioria das manifestações de claudicação é causada por enfermidades podais. As atividades a que o animal é submetido têm grande influência no tipo e localização das lesões, mas entre as principais causas a mais comum está localizada nos cascos (Leach e Zoerb 1983). Traumas, manejo e má formação dos animais são fatores que podem determinar a ocorrência de enfermidades podais e destas a manifestação das claudicações (Balch, Butler e Collier 1997).

## 1.4 Controlador programável Arduino

O Arduino é um pequeno computador programável para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele, ou seja, é uma plataforma embarcada que pode interagir com o ambiente por meio de sensores e *hardwares* específicos



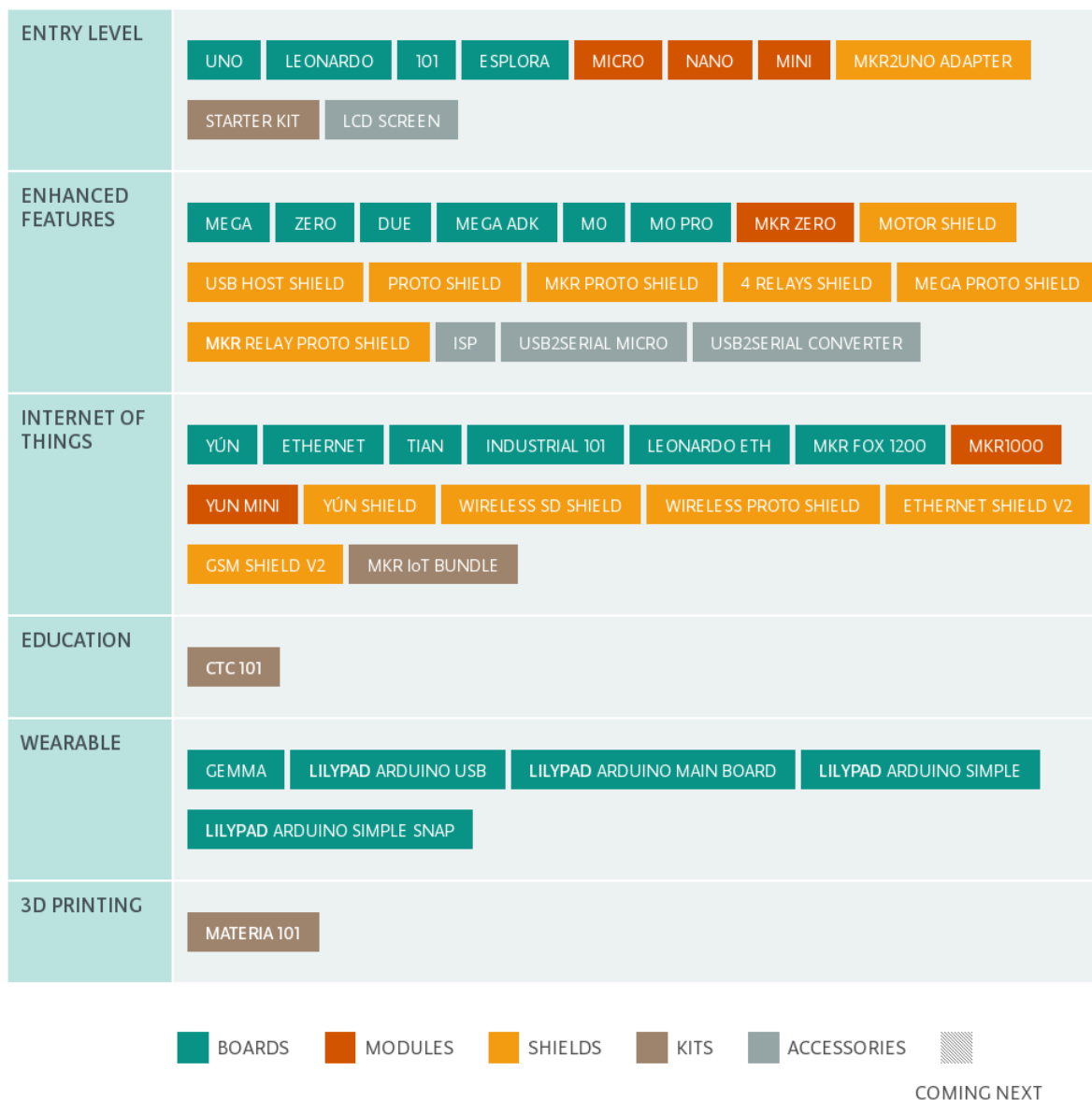


Figura 5 – Produtos oficiais do arduino separados por finalidades

fonte: (Arduino 2016)

(McRoberts 2011). Tem como objetivo simplificar a criação de dispositivos interativos, possui uma linguagem de programação simples, que permite criar instruções para o processador, pode ser facilmente usado em tarefas comuns ou projetos mais complexos (Noble 2009). É destinado a qualquer pessoa interessada em criar projetos, sendo uma plataforma eletrônica para protótipos, de código e *hardware* aberto e de fácil utilização. Conta com uma variedade de produtos oficiais (figura 5) e muitas outras não-oficiais (Arduino 2016).

É um dos projetos *open source* mais notáveis e populares que possibilita construir muitas coisas. Divide-se em três partes. O controlador, que é parte física do Arduino (*hardware*), o qual possui as entradas e saídas, processador, porta USB, memória RAM entre outros

recursos; a linguagem de programação, através da qual implementa o algoritmo para realizar as tarefas; o ambiente de desenvolvimento, uma IDE (*Integrated Development Environment*) *open source* desenvolvida com a linguagem de programação java (Noble 2009).

A linguagem de programação que controla o Arduino é baseada no *framework* Wiring, uma plataforma de código aberto desenvolvida para microcontroladores. O site oficial do Arduino disponibiliza o ambiente de desenvolvimento para ser instalado no computador (IDE), o qual é responsável em compilar o código e enviá-lo ao Arduino. Na literatura a codificação do Arduino recebe o nome de *sketch* (Souza 2016).

O *sketch* possui por padrão dois métodos pré-definidos e essenciais para o funcionamento do sistema, um chamado de *setup* e o outro de *loop*. O método *setup* é executado uma única vez todo momento em que o controlador é ligado, normalmente nesse método são codificadas as diversas configurações que o controlador permite, como exemplo, nesse método normalmente é inserido o código para determinar a velocidade de comunicação serial (Noble 2009). O método *loop*, como o nome sugere é o método executado repetidamente enquanto o controlador estiver ligado, nesse método são inseridos os códigos para ler ou escrever nas portas analógicas, liga ou desliga as portas digitais, recebem os valores de sensores e tomam ações baseadas neles (Javed 2016).

Todas as versões oficiais das placas Arduino (figura 5) contêm portas digitais e portas analógicas (também chamadas de entradas e saídas), a quantidade de entradas e saídas depende do modelo da placa (Arduino 2016). Essas estão identificadas na figura 6 em uma placa do modelo UNO.

As portas digitais operam de modo binário, ligadas ou desligadas. Quando ligadas operam com a tensão de 5 V e quando desligadas operam em 0V (Javed 2016).

O funcionamento das portas analógicas é diferente, possui uma ampla gama de valores possíveis. A variação desses valores dependem da precisão da porta, se por exemplo, a placa do Arduino possui 10 bit de precisão na porta analógica, o valor varia de 0 a 1023, sendo 0 para 0 V e 1023 para 5 V. Cada salto dentro dessa escala (0 à 1023) depende do valor de referência do circuito interno no processador do Arduino (Souza 2016).

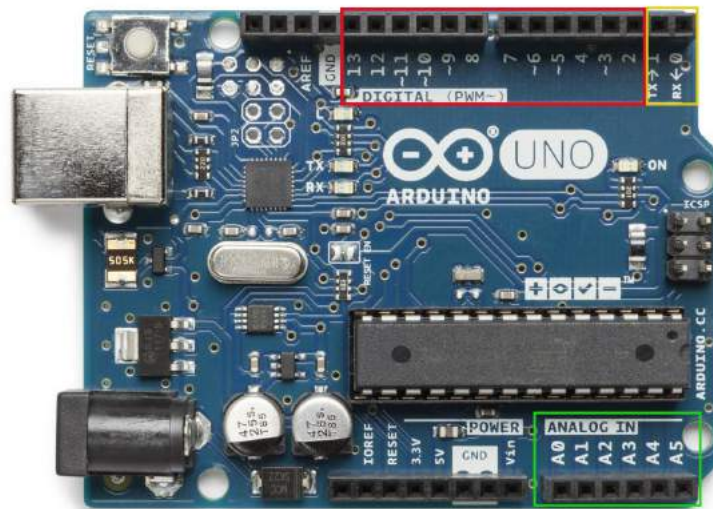


Figura 6 – Arduino modelo UNO, com suas portas destacadas. Em vermelho são as portas digitais, o símbolo “~” indica quais portas digitais podem ser usadas com o PWN, em verde são as portas analógicas e em amarelo as portas de comunicação serial, sendo RX Recepção e TX transmissão.

fonte: (Arduino 2016)

No Arduino algumas portas digitais (a quantidade depende do modelo da placa) podem ser habilitadas para funcionar da forma PWM (*Pulse Widht Modulation*), ou seja, é uma técnica que permite ter resultados analógicos com portas digitais. Essa técnica simula a variação da tensão entre 5 V e 0 V, alterando a parcela de tempo em que o sinal fica no estado ligado (figura 7), a duração de tempo é chamada de largura do pulso e para obter diferentes valores analógicos é alterada a largura do pulso (Arduino 2016).

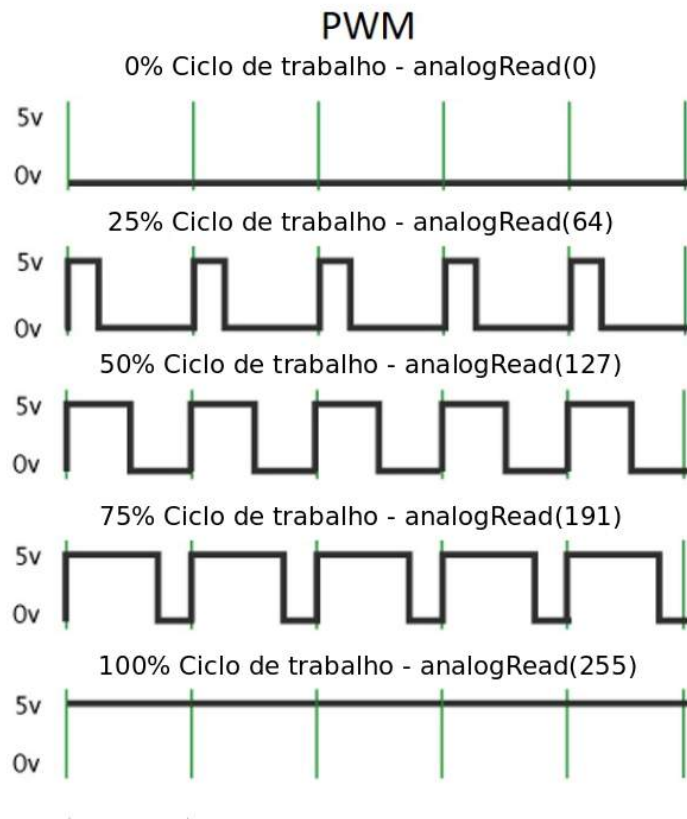


Figura 7 – Funcionamento do *Pulse Width Modulation* no Arduino

fonte: Imagem modificada de (Arduino 2016)

O controlador do Arduino funciona internamente com dados digitais e para ler os dados recebidos pela porta analógica é necessário que sejam convertidos em formato digital. Esse processo é chamado de conversor analógico digital ou A/D e quantifica o valor analógico conforme a quantidade de bits na sua resolução. Para isso usa a seguinte fórmula (Souza 2013):

$$Resol = \frac{V_{ref}}{2^n}$$

“Vref” é a voltagem de referência do processador, que por padrão é 5 V e n é o número de bits da resolução da entrada analógica. Se aplicar os valores 10 bits e 5 V, será obtido o valor de 4,88 mV, assim para cada alteração de 4,88 mV na porta analógica será alterado uma unidade da escala analógica (0 à 1023).

O Arduino possui *shields* que aumentam a gama de projetos possíveis. Esses são componentes que se acoplam ao controlador adicionando funcionalidades ao projeto. Eles são desenvolvidos para se conectar de forma simples e fácil. Um exemplo seria adicionar ao Arduino o *shield ethernet* e fazer que o projeto se comunique com a rede de computadores. Outros exemplos de *shields* são *Xbee*, *Wireless*, *Bluetooth*, GPS (Arduino 2016).

## 1.5 *Wearebles*

Mensurar aspectos estruturais funcionais da locomoção dos animais é objeto contínuo de estudo para a compreensão dos fenômenos biológicos naturais. A determinação de tais aspectos nas enfermidades visa a prevenção e o tratamento de doenças podais. Estas mensurações são propostas por diferentes métodos que variam da mensuração linear e angular dos cascos em diferentes situações, até métodos avançados com uso de placas de pressão e de força como exemplos.

Durante os últimos anos o conceito de cuidado contínuo é amplamente adotado pela comunidade de saúde, e tem o avanço tecnológico como aliado para obter prontamente informações médicas auxiliando os profissionais da saúde. Diante desse cenário o progresso em ciências, em micro e macro tecnologia oferece novas possibilidades para criar soluções inteligentes, minimalistas, com baixo consumo de energia, novos materiais e baixo custo (Doughty, Cameron e Garner 1996).

A tecnologia é a chave para melhorar a qualidade de vida para todos, desde os recém-nascidos até os idosos, seja no cuidado de bebês prematuros subnutridos ou na extensão da vida de um idoso através de tratamentos e procedimentos exploratórios. A tecnologia é, de fato, o catalisador que pode transformar rapidamente a saúde e a prática da medicina, qualquer tecnologia para minimizar a perda de vidas ou melhorar a qualidade de vida tem um valor inestimável (Park e Jayaraman 2013).

Assim surgiu o paradigma da computação vestível (*wearable*), a tecnologia que evolui em torno de três fatores: na diminuição do tamanho do computador e aumento do poder de processamento, na maior mobilidade e personalização de dispositivos (Lindström 2007).

A medicina veterinária está cada vez mais envolvida nessa tecnologia, assim contribuindo com seu desenvolvimento. Onde os médicos veterinários se tornam mais proativos no monitoramento da saúde dos animais e promove a utilização desta ferramenta para intervenção em tempo hábil (Rowland 2015).

*Wearable* é uma tecnologia que está sendo empregada na mais diversas áreas da ciência. Na veterinária, por exemplo, já existem aparelhos para gados de leite que preveem o início do estro, o momento do parto e a presença de claudicação. Coleiras de cães e gatos que fornecem informações sobre a frequência cardíaca, temperatura, pulso e níveis de atividade (Rowland 2015).

A necessidade de um exame físico completo e a avaliação clínica de um paciente por um médico veterinário sempre será parte essencial da medicina veterinária. O futuro veterinário “*home office*”, diagnosticando e tratando pacientes a distância, está longe de acontecer. Sempre haverá necessidade da presença de um profissional para, diagnosticar as doenças, compreender as complicações éticas e morais entre outros diversos casos que não podem ser substituídos por algoritmos. É improvável que a “arte” da medicina veterinária seja radicalizada, mas o avanço dos monitores de saúde serão úteis no dia a dia e uma maneira para que a ciência mude dramaticamente (Rowland 2015).

O progresso das tecnologias vestíveis para o monitoramento seguem os mesmos rumos que incentivaram a transição dos computadores de mesa (*desktops*) e as ferramentas de comunicação em se transformarem em dispositivos portáteis, que fornecem processamento e conectividade onipresente. Esta transição é alimentada pelos enormes avanços tecnológicos em microeletrônica e tecnologias de comunicação, bem como pelo processo de miniaturização. Como resultado, as aplicações da tecnologia wearable se espalharão extensamente e mudarão nossas vidas, aumentando nossas percepções de realidade com física, conteúdos sociais e emocionais (Bonfiglio e Rossi 2011).

## 1.6 Justificativa

O presente trabalho apresenta uma proposta com o intuito de viabilizar um sistema vestível (*wearable*) baseado no microcontrolador Arduino para uso veterinário, mais especificamente para equinos. Adquirindo precisão para analisar a expansão dos cascos durante o passo e o trote, estabelecendo uma metodologia fidedigna de avaliação matemática e um protocolo que permita comparar estas mensurações de expansão do casco à locomoção em aplicação para o diagnóstico. E assim direcionar tratamento de enfermidades podais.

Com o intuito de melhor avaliar estas características dos cascos este trabalho propõe o desenvolvimento de equipamento que seja aplicável nas mensurações das deformações naturais dos cascos. Cabe salientar que não existem métodos precisos que determinem tais variações naturais, as quais podem sofrer modificações na ocorrência de enfermidades, o que leva o animal a diminuir o apoio do membro. Considerando que isto causaria dor manifestada pela claudicação.

Estas manifestações reveladas pelo sistema proposto teriam maior sensibilidade e esse dispositivo possibilitaria detectar alterações funcionais do casco em graus menores de claudicação e assim com precocidade seriam diagnosticadas, além de permitir estudos mais avançados na fisiologia locomotora e suas interferências como terrenos, casqueamento e ferrageamento, demonstrando ser um método e equipamento viáveis.

Com a locomoção comprometida, o animal tende a diminuir o uso do membro e desse modo o apoio ao solo é afetado. Não havendo apoio adequado, não proporcionará a deformação transitória do casco que ocorre de modo fisiológico (expansão da sua largura e compressão do coxim). Em um caso crônico, as enfermidades locomotoras causam atrofia do casco (denominado encastelamento) que reduz o seu diâmetro pelo desuso (Turner e Stork 1989).

## 2 Objetivos

O presente trabalho teve como propósito desenvolver um dispositivo para capturar a deformação do casco do equino durante o movimento, e convertê-la em um sinal digital para acompanhar a deformação do casco em tempo real.

Um dispositivo final que fique fixado no animal transmitindo os dados de modo que o animal possa caminhar ou trotar em diferentes ambientes durante as medições.

Para tanto se faz necessário:

- Criar processamento de sinal em tempo real com o Arduino;
- Adquirir os sinais capturados pelos sensores flexíveis;
- Transmitir-los a um computador;
- Armazená-los em arquivos para análise;
- Desenvolver programas para o processamento dos dados armazenados;
- Testar o dispositivo em uma amostra de equinos.

## 3 Materiais e Métodos

### 3.1 *Workflow*

O dispositivo consiste da criação de um *shield*(4.1) para o Arduino (3.2), o qual recebe o sinal obtidos pelos sensores flexíveis(3.3), os amplificam (3.4) e enviam ao computador através de uma comunicação serial RS323. O fluxo de funcionamento do dispositivo é dividido em quatro etapas: na etapa 1 os sensores são fixados nas posições pinça, quarto lateral e quarto medial do casco; na etapa 2 quando o cavalo apoia o membro ao solo há uma dilatação nos cascos e com essa dilatação os sensores são flexionados; etapa 3 o dispositivo registra a variação dos sensores, faz a conversão de milivolts para escala analógica (conversor A/D) e envia os dados para o computador; etapa 4 o computador armazena os dados recebidos e os exibem para o usuário (figura 8).



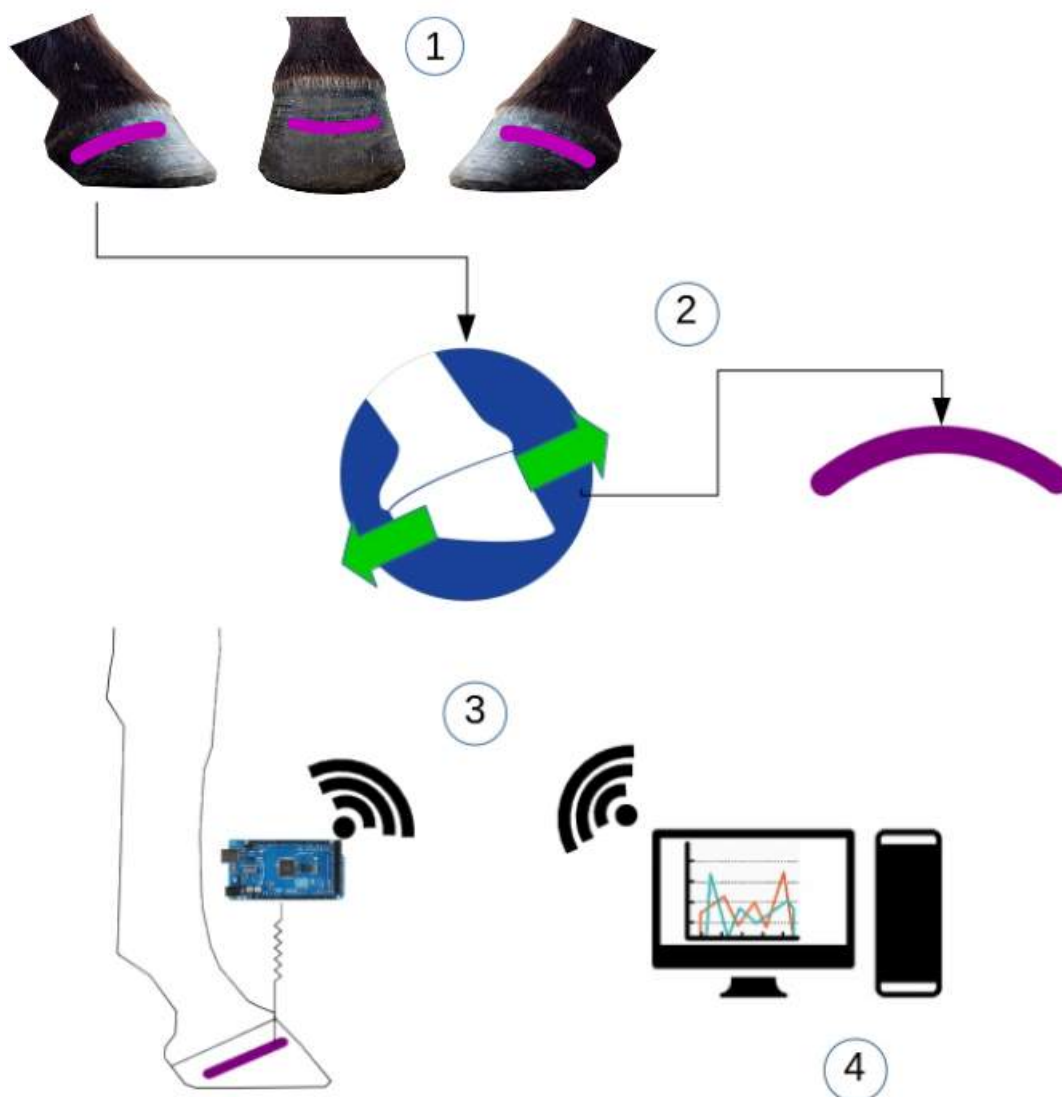


Figura 8 – Fluxograma de funcionamento do dispositivo. 1 fixação dos sensores, 2 - funcionamento do sensor, 3 transferência de dados ao computador, 4 exibição dos dados

## 3.2 Arduino

O processo de desenvolvimento do dispositivo passou por vários testes, tanto testes de bancada quanto testes *in loco* em animais. Tais testes foram essenciais para a evolução do dispositivo.

Há uma variedade de placas controladoras pertencentes ao projeto Arduino. Nos primeiros protótipos foram utilizados microcontroladores da família LiLyPad (figura 9), e estes são usados para projetos de tecnologia vestível (*wearable*). Como essa linha de produtos não possuía quantidade de portas analógicas necessárias para fazer a leitura dos 12 sensores, foi substituído pelo Arduino Mega (figura 10).

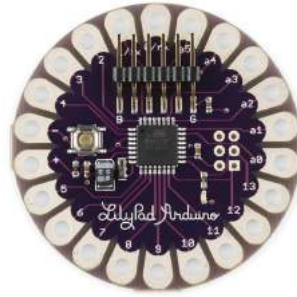


Figura 9 – Arduino LiLyPad

fonte: (Arduino 2016)

O Arduino Mega possui o processador ATmega2560 com 8-bit de resolução e frequência de 16MHz, possui 54 entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, 4 portas seriais UARTs (*hardware serial ports*) padrão RS323 e uma porta USB para conectá-lo ao computador ou servir de fonte elétrica.

As portas analógicas do Arduino Mega possuem uma resolução de 10bits, os valores capturados variam de 0 a 1023, com 1024 possibilidades de leitura, segundo o *datasheet* do processador. Esse modelo de porta possui uma resolução de 4,88 mV, ou seja, cada incremento de 4,88 mV a porta analógica aumenta uma unidade de medida na escala analógica ((Atmel 2014)).

Outro fator de grande importância na aquisição dos dados é a frequência em que as leituras são feitas, esse modelo de processador (ATmega2560) possui uma frequência de 16MHz e o fabricante recomenda que o conversor A/D funcione entre a frequência de 50 KHz a 200 KHz para garantir a precisão de 10 bits. Dessa forma o Arduino Mega vem configurado de fábrica com o valor padrão de 128 no seu divisor de frequência chamado de *prescaler*, assim a frequência padrão do processador é reduzida para 125 KHz (16MHz/128).

Segundo o *datasheet* do processador, cada conversão da leitura analógica para o formato digital usa 13 ciclos do processamento, logo a frequência padrão de conversão é de 9600 (125KHz/13) amostras por segundo, ou seja, 9,6 KHz.

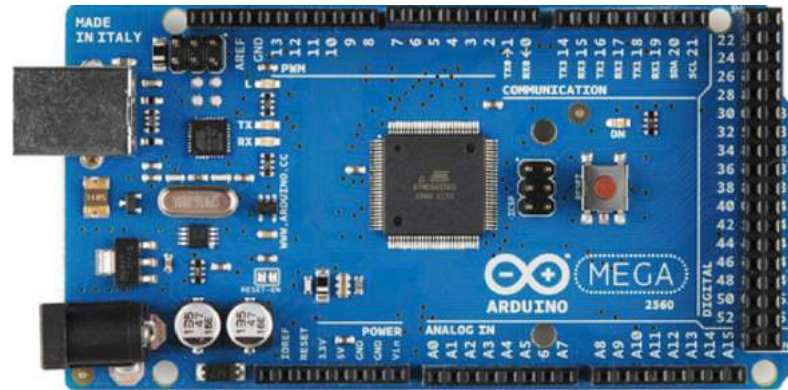


Figura 10 – Arduino modelo Mega

fonte: (Arduino 2016)

### 3.3 Sensor Flexível

Neste presente trabalho foi utilizado o sensor flexível de 2,2 polegadas (figura 11 A) para converter em sinais eletrônicos as alterações naturais de expansão e retração dos cascos que ocorrem no cavalo durante a locomoção.

O sensor flexível (*flexsensor*), desenvolvido e patenteado pela empresa *Spectra Symbol Corp*, é um sensor analógico criado com um material flexível que funciona como um resistor variável que conforme é flexionado, a resistência através do sensor aumenta (Spectra-Symbol).

Em seu *datasheet*, o fabricante diz que quando o sensor está reto o valor de sua resistência está entre  $25K\Omega \pm 30\%$  e quando flexionado a  $180^\circ$  a resistência é de, pelo menos, duas vezes o valor inicial (figura 11 B).

Neste dispositivo foram usados doze sensores distribuídos entre os quatro membros do animal, são fixados três sensores em cada casco nas posições de pinça, quarto medial e lateral, desta forma quando há expansão ou retração do casco o ângulo de flexão do sensor é modificado, assim alterando os valores da resistência interna do sensor.

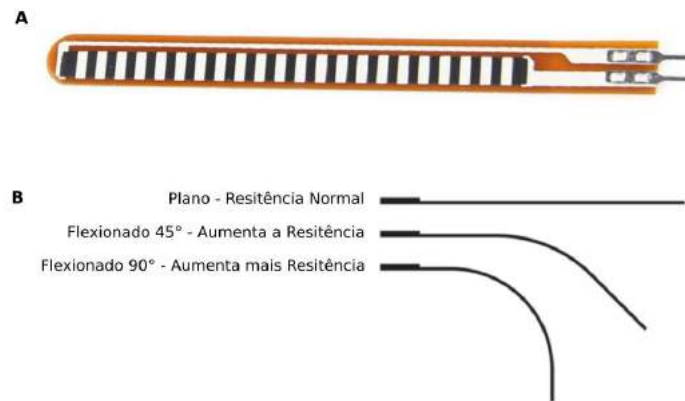


Figura 11 – A) Sensor flexível; B) Funcionamento do sensor  
 fonte: Imagem alterada de (Spectra-Symbol)

### 3.4 Amplificador Operacional

Como a dilatação do casco é mínima (em escala de milímetros) no dispositivo, os sinais obtidos passam por um amplificador operacional para serem ampliados tornando-se mais fácil a observação e análise dos dados.

Para isso foi usado o circuito integrado (CI) LM324 (figura 12), que possui internamente quatro amplificadores operacionais independentes (figura 13), projetados para operar a partir de um único fornecimento de energia, suportando uma ampla gama de tensões (Texas-Instruments). Desse modo foram usados três circuitos integrados para ampliar a leitura de todos os sensores, o que torna possível capturar os sinais ao mesmo tempo.

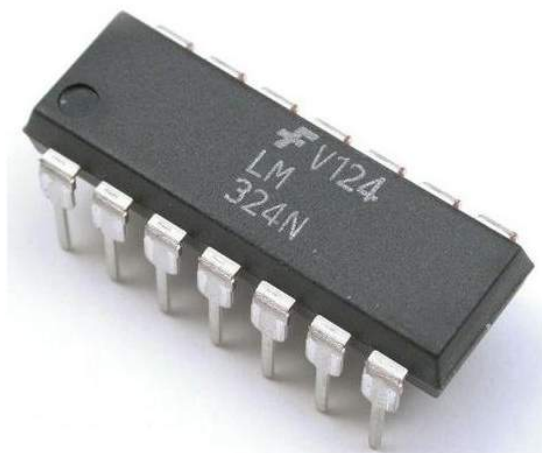


Figura 12 – Circuito integrado LM324  
 fonte: (Texas-Instruments)

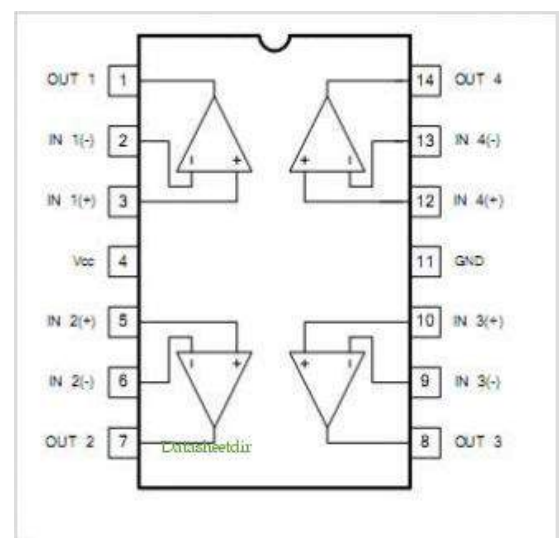


Figura 13 – Funcionamento interno do circuito LM324  
 fonte: (Texas-Instruments)

## 3.5 Programação

Para o gerenciamento do dispositivo foram desenvolvidos dois programas, o primeiro para gerenciar o Arduino, e o segundo é executado em um computador que recebe os dados enviado pelo Arduino.

O *software* que gerencia o Arduino, chamado na literatura de *sketch*, foi desenvolvido de forma simples, otimizado para consumir menos processamento e memória possível. Faz as leituras das portas analógicas, registra o momento da leitura em milissegundos, insere o caractere ‘#’ para marcar o final da linha e escreve essas informações na porta serial1.

Para o computador, que recebe os dados do Arduino, foi desenvolvido um programa para coletar os dados enviados pelo dispositivo, armazená-los e exibir na tela do computador em forma de gráfico. Suas principais funcionalidades são: gravar os dados em arquivo-texto para análise e permitir que o usuário acompanhe em tempo real a captura dos dados.

Os dados coletados são salvos em formato de arquivo-texto e as informações estão organizadas no padrão csv (*comma separed value*), ou seja, os dados de cada sensor e do tempo estão separados por vírgula.

Para o desenvolvimento desse segundo programa foi utilizada a linguagem de programação Python com as bibliotecas serial e matplotlib. Python é uma linguagem de alto nível amplamente utilizada para aplicações científicas (Borges 2014).

Python inclui diversas estruturas de alto nível (listas, dicionários, data/hora, números complexos e outras), é de código aberto compatível com a licença GPL, e interpretada através de *bytecode* pela máquina virtual Python, sendo assim multiplataforma (Python).

## 3.6 Programas Utilizados

No desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados programas livres (*open source*), também amplamente conhecidos como *software* livre. Para que um programa seja considerado livre precisa garantir as quatro liberdades fundamentais exigidas pelo projeto GNU (primeiro e principal projeto de *open source*), sendo elas: a liberdade de executar o programa como você quiser, a liberdade de copiar, a liberdade de redistribuir, se assim desejar, e a liberdade de estudar o código, possibilitando a melhoria ou customização do software (GNU 2004).

Foram usados três programas para desenvolver toda codificação do presente trabalho, um é a IDE desenvolvida pelo projeto Arduino, utilizada para fazer a codificação do controlador Arduino. O outro é o Atom, um editor de texto multiplataforma desenvolvido pela comunidade GitHub, sobre a licença do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) é uma das licenças que regulamenta o *software* livre, e foi desenvolvido em Electron (um *framework* para desenvolvimento multiplataforma), utilizado para fazer a codificação em python para a captura dos dados (Atom 2016). E por fim, o VSCode um editor de

texto desenvolvida pela empresa Microsoft, *open source* e também baseado no *framework* Electron, usado para desenvolver os algoritmos para tratar os dados coletados para a análise (Microsoft 2016).

O sistema operacional utilizado no computador durante o desenvolvimento deste trabalho foi o Linux, mais especificamente a distribuição Debian versão 8.2, uma distribuição que possui uma gestão de pacotes chamada APT, que permite de forma fácil a instalação, remoção e atualização de *software* que contam com mais de 51000 pacotes em seus repositórios oficiais (Debian).

### 3.7 Amostra

O uso de animais nesse trabalho foi regulamentado junto a comissão de ética da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, e está protocolado sobre o número CEUA 0146/2017, certificando que o dispositivo está de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794/2008, do decreto 6.899/2009 e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – CONCEA.

Na tabela 1 está a relação dos quatro cavalos usados para a coleta dos dados, estes não estavam ferrageados e são de propriedade da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia UNESP Botucatu.

Os animais foram conduzidos em dois diferentes percursos, sendo eles: reta plana no asfalto e reta plana na grama. Em ambos os trajetos os animais foram conduzidos a velocidade de passo em uma reta com 30 metros de comprimento.

Tabela 1 – Relação de animais usados para coleta

Ordem	Nome	Idade	Sexo	Raça
C1	Fill	25 anos	macho	Manga Larga
C2	Taliba	10 anos	macho	P.S.A*
C3	Bingo	25 anos	macho	S.R.D**
C4	Morena	7 anos	fêmea	S.R.D**

\*P.S.A - Puro sangue árabe

\*\*S.R.D - Sem raça definida

### 3.8 Nomenclaturas

Para padronizar a gravação dos sensores ficou definido que os membros dos animais são chamados respectivamente: td(torácico direito), te(torácico esquerdo), pd(pélvico direito) e pe(pélvico esquerdo). Como serão três sensores para cada membro, estes são nomeados conforme sua posição no casco, ou seja, sensor p fixado na parte central do casco (pinça), sensor “m” fixado no quarto medial do casco e o “l” no quarto lateral dos cascos (14).

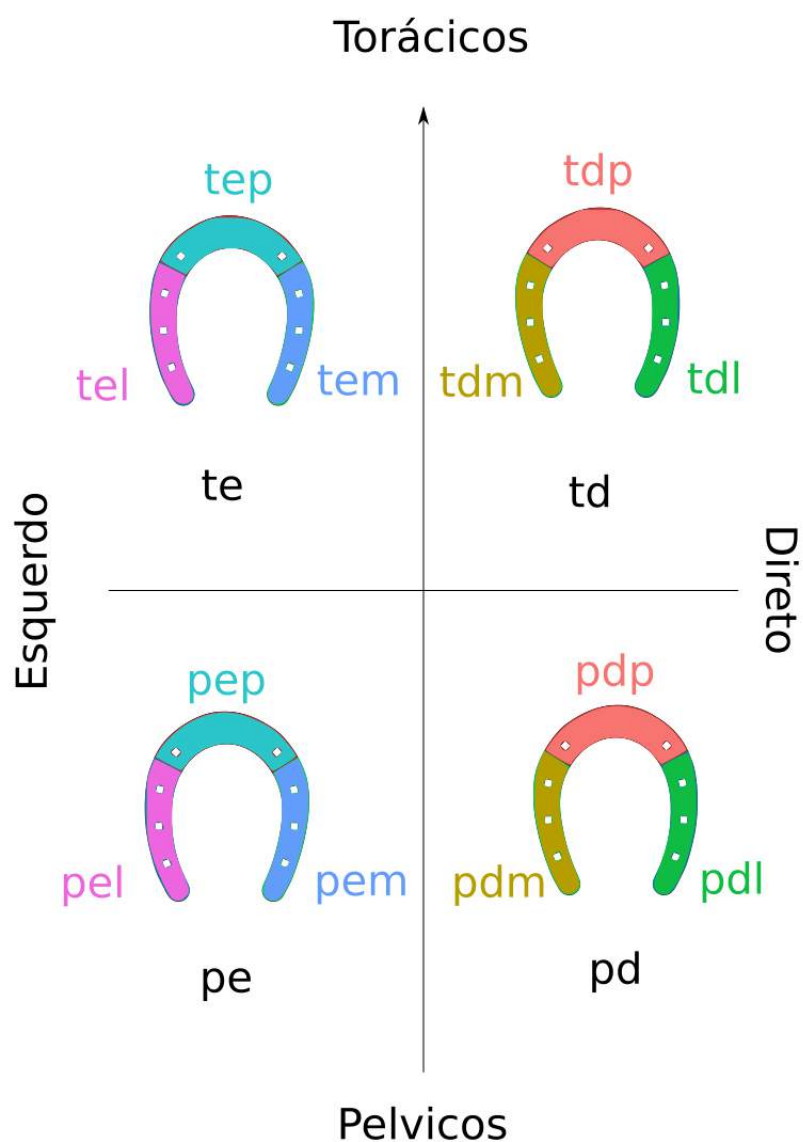


Figura 14 – Posicionamento dos sensores junto ao casco do animal, foi adotado a nomenclatura seguindo um padrão sendo: torácicos (t) e pélvicos (p), direito (d) e esquerdo (e), e o local de fixação medial (m), lateral (l) e pinça (p)

fonte: Produzido pelo autor (2018)

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 O dispositivo

O dispositivo foi desenvolvido a partir de um microcontrolador Arduino, no qual está acoplado um *shield* (figura 15) desenvolvido para esse trabalho, onde foi montado o circuito contendo resistores, amplificadores operacionais e os sensores flexíveis.

O dispositivo é alimentado eletricamente com uma bateria, que torna-o autônomo, e acomodado no pescoço do animal através de uma bolsa confortável confeccionada especialmente para esse fim.

Para analisar o comportamento da deformação do casco no equino são utilizados três sensores flexíveis em cada casco, colados com adesivo de silicone reutilizável, de fácil aplicação e que não agride o animal. Os sensores são fixados nas posições de pinça, quarto medial e quarto lateral, e estão conectados ao circuito por cabos espiralados que possibilita o ajuste do dispositivo a altura do animal.

Desta forma, os sensores captam as deformações naturais sofridas nos cascos durante o processo de locomoção e as convertem em sinais elétricos. Estes são lidos pelas entradas analógicas do Arduino que convertem os pulsos elétricos em formato eletrônico (conversor A/D) e os transmitem para o computador onde são salvos em formato de arquivo-texto. Além das medições, o Arduino transmite junto com os dados o instante em que foram realizadas as leituras dos sensores, esse tempo é expresso milissegundos.

Apesar do *datasheet* ATmega256 (processador do Arduino) afirmar a frequência de 9,6 KHz na conversão analógica digital, com as configurações padrões do Arduino foi obtida uma taxa de amostragem de 20 Hz, pois são utilizados 12 sensores simultaneamente mais o tempo de processamento necessário para escrita na porta serial. Para aumentar a quantidade de registros por segundo foi configurado o *prescaler* (divisor de frequência) para 16, assim a frequência do processador foi aumentada para 1 MHz (16MHz/16) e o dispositivo obteve uma taxa de amostragem de 200 Hz.





Figura 15 – *Shield* criado para o Arduino Mega, no qual é ligado os sensores flexíveis. Ele obtém os sinais dos sensores, os amplifica e encaminha para o computador.

## 4.2 Circuito

A expansão e retração dos cascos durante a locomoção foi pequena (em escala de milímetros), portanto os sinais obtidos pelos sensores flexíveis são ampliados para tornar-se mais evidenciados e facilitar a análise dos dados obtidos.

Para isso foi criado um circuito (figura 16) para cada sensor, formado por resistores e amplificadores operacionais.

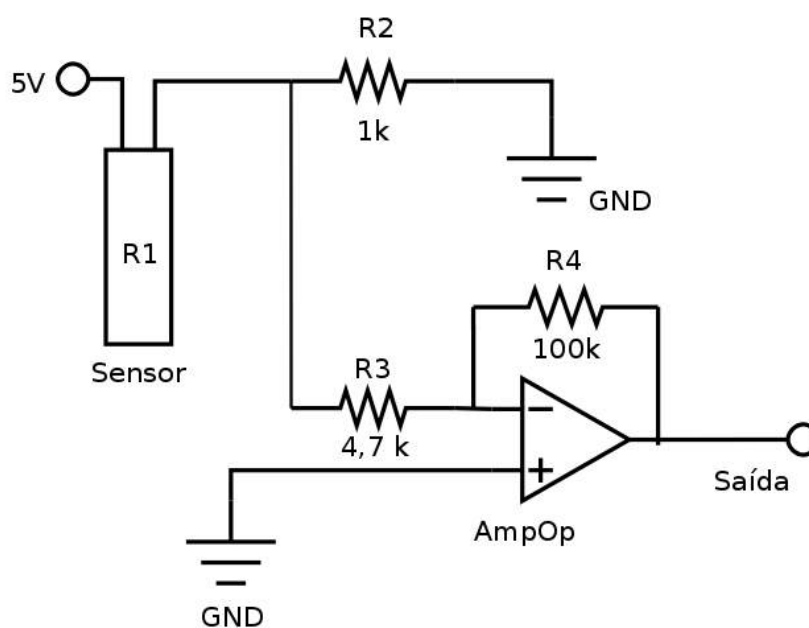


Figura 16 – Circuito criado para cada sensor do dispositivo; **R** - resistor, **AmpOp** - amplificador operacional, **GND** - aterramento do circuito

fonte: Produzida pelo próprio autor(2018)

Como o sensor flexível (R1) é um resistor variável e está ligado em série com um resistor de  $1\text{ k}\Omega$  (R2) usado para dividir a voltagem. A saída da divisão é ligada ao amplificador operacional através do resistor  $4,7\text{ k}\Omega$  (R3) que depois se liga no pino negativo (-) do amplificador operacional. A entrada positivo (+) do amplificador operacional está ligado diretamente no aterramento do circuito. Entre o resistor R3 e o amplificador é ligado mais um resistor (R4) de  $100\text{ k}\Omega$  que é ligado na saída do amplificador operacional. Dessa forma, o amplificador operacional está configurado para funcionar como um amplificador inversor, cujo valor da saída é obtida pela multiplicação da entrada por um ganho fixo ou constante determinado pelo resistor de entrada (R3) e o resistor de realimentação (R4) (figura 16).

Através da lei de Ohm e da fórmula de ganho do amplificador inversor é possível deduzir os valores de tensão resultante deste circuito, pois, segundo a lei de Ohm, a divisão de tensão através de resistores é resultante da fórmula:

$$V_{out} = \left(\frac{R2}{R2 + R1}\right)V_{in}$$

Onde  $V_{out}$  é voltagem resultante, R1 e R2 são resistores do circuito e  $V_{in}$  é a tensão de entrada no circuito. O resultado dessa equação é o valor de entrada para o cálculo do amplificador inversor, sendo ela expressa por:

$$V_{result} = -\left(\frac{Rf}{R1}\right)V_{in}$$

Como é utilizado o sensor flexível, o valor de R1 da fórmula de divisão de tensão é variável possuindo um intervalo de valores possíveis. Segundo o *datasheet* do sensor, o valor de resistência inicial é de  $25\text{ k}\Omega \pm 30\%$  e o valor da resistência final (flexionado a  $180^\circ$ ) é, pelo menos duas vezes o valor inicial (Spectra-Symbol). A tensão de entrada do circuito é de  $5\text{ V}$  que nesse caso é alimentada pelo Arduino.

Para calcular o intervalo de valores possíveis são substituídos os valores na fórmula com os resistores usado no circuito, denominamos  $V_{out1}$  para o menor valor de resistência do sensor flexível  $V_{out2}$  com o maior valor de resistência do sensor flexível:

$$V_{out1} = \left(\frac{1\text{ k}\Omega}{17\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega}\right)5\text{ V} = 0,2778\text{ V}$$

$$V_{out2} = \left(\frac{1\text{ k}\Omega}{55\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega}\right)5\text{ V} = 0,0893\text{ V}$$

Com esses resultados da divisão dos resistores chegamos nas tensões limites de saída do circuito, através da dedução da fórmula do ganho do amplificador operacional inversor, sendo:

$$V_{out1} = -\left(\frac{100k\Omega}{4,7k\Omega}\right)0,2778V = -5,91V$$

$$V_{out2} = \left(\frac{100k\Omega}{4,7k\Omega}\right)0,0893V = -1,90V$$

Desta forma a tensão recebida na porta analógica do Arduino está entre o módulo 5,91 V e 1,90 V. O valor de resolução da porta é 4,88 mV, e os valores de leitura do Arduino possíveis após a conversão A/D estão entre 1211 à 390, considerando que a resolução da porta é de 10 bits o valor máximo se limita a 1023.

Para testes preliminares do circuito foi montado em um *shield* de prototipação do Arduino Mega(figura 17 e 18). Após testes em animais para validação e aprovação do funcionamento, foi desenvolvido um *shield* com o circuito impresso em uma placa de fenolite cobreada (figura 19).

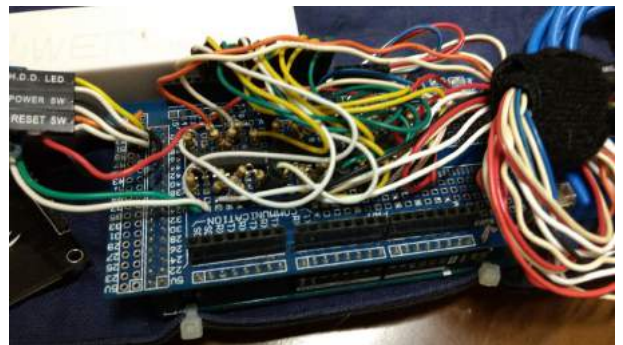
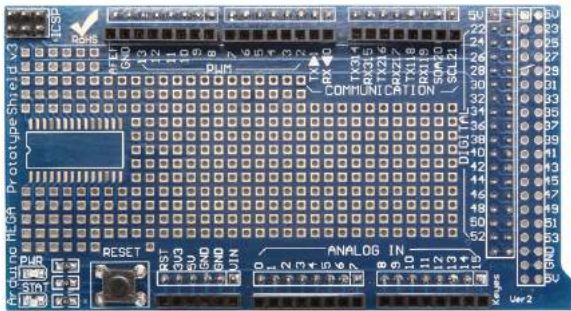


Figura 17 – *Shield* de prototipagem para o Arduino Mega

Figura 18 – Circuito montado no *shield* de prototipagem

fonte: Produzida pelo autor(2018)

fonte: Produzida pelo autor(2018)



Figura 19 – *Shield* criado com o circuito impresso em uma placa de fenolite, que recebe os sinais registrados pelos dos sensores flexíveis e os amplificam.

fonte: Produzida pelo autor(2018)

### 4.3 Teste *in vitro*

Para validação do dispositivo e do funcionamento dos sensores, foi elaborado um teste onde a deformação do casco é simulada através de um modelo experimental feito com cano de PVC.

Foram cortados três fragmentos de 2 cm de um cano de PVC de 4 polegadas de diâmetro. O primeiro foi cortado no sentido vertical separando 1/4 do fragmento (figura 20 A), o segundo foi dividido na metade (figura 20 B) e o terceiro foi cortado para deixar o elo aberto (figura 20 C).

Os três fragmentos do cano de PVC foram colados de forma que o maior pedaço foi usado como base, os demais pedaços foram colados de forma sobreposta, no lado oposto da abertura do elo, e em ordem decrescente (figura 20 D). Mantendo assim a extremidade com três camadas de PVC, a região central com duas e a região próxima a abertura do elo com uma camada. O modelo experimental (figura 21) foi criado para simular a estrutura do casco do equino que possui a parede mais espessa na região da pinça e diminui a espessura gradativamente em direção aos talões (Budras, Sack e Rock 2003).

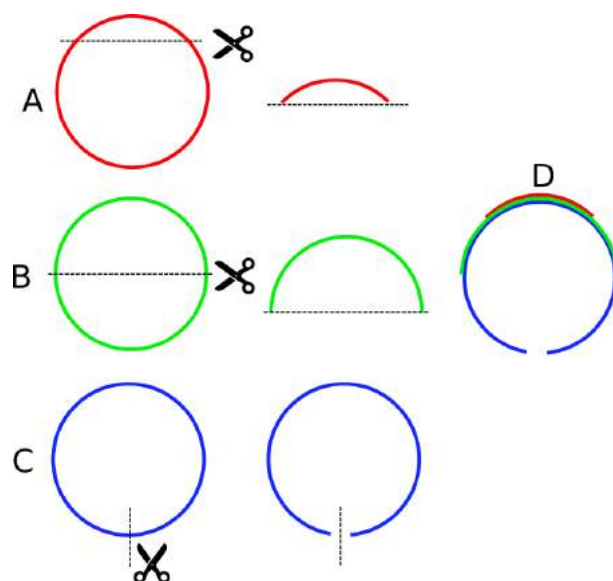


Figura 20 – Montagem do protótipo do casco em PVC, onde A separa 1/4 do fragmento, B divide ao meio, C abertura do elo e D é a junção das partes A B e C

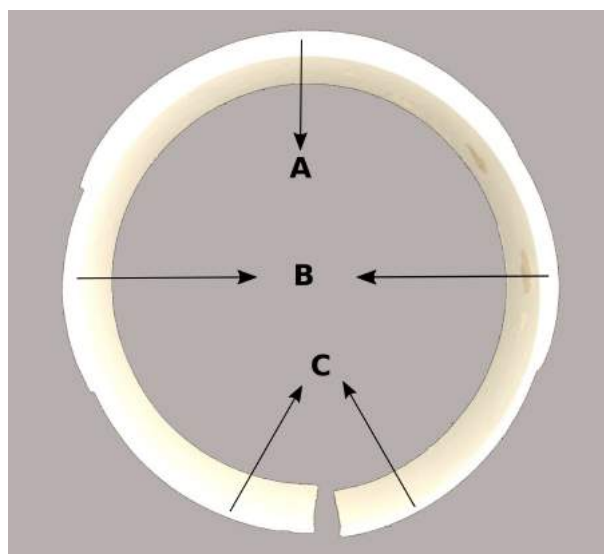


Figura 21 – Protótipo do casco em PVC. **A** - região com 3 camadas, **B** - regiões com 2 camadas e **C** - regiões com uma camada.

Para que o modelo experimental do casco se expanda através de uma força exercida internamente forçando a estruturas laterais, função essa que no animal é exercida pelo coxim (Moyer e Carter 2007), foi usado saco plástico com 350 gramas de farinha de trigo, o qual é colocado no centro do protótipo e aplicada uma força sobre ele, assim a farinha dentro do saco se comprime e força as laterais do protótipo o que as fazem expandir, simulando assim o funcionamento da expansão do casco in vitro.

Neste experimento, foram fixados os sensores no modelo experimental do casco simulando as regiões de pinça, quarto lateral e quarto medial. O protótipo foi colocado em

uma prensa e coletado o sinal antes de aplicarmos força, depois foram aplicadas forças sequencialmente de 10, 20, 30 e 40 kg.

Como esperado, o sinal do sensor localizado na região central (mais espessa) possui menor intensidade que os sinais capturados pelos sensores laterais (tabela 2).

Os dados coletados foram processados usando um filtro Kalman e calculado a média zero, além disso foram removidos os valores *outliers*.

Na figura 22 está o traçado do sinal do sensor lateral 1, na figura 23 o traçado do sinal do sensor lateral 2 e na figura 24 o traçado do sensor central. Mesmo após a aplicação do filtro Kalman é observado ruído do sensor, mesmo assim é possível observar que o padrão do traçado no momento da expansão se mantém.

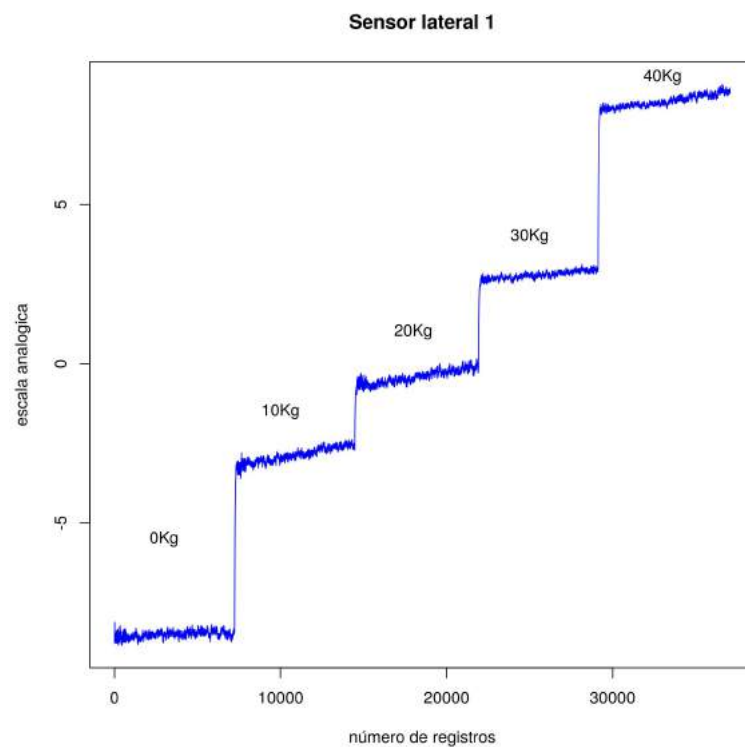


Figura 22 – Sinal do sensor lateral 1 monitorado durante teste com diferentes cargas

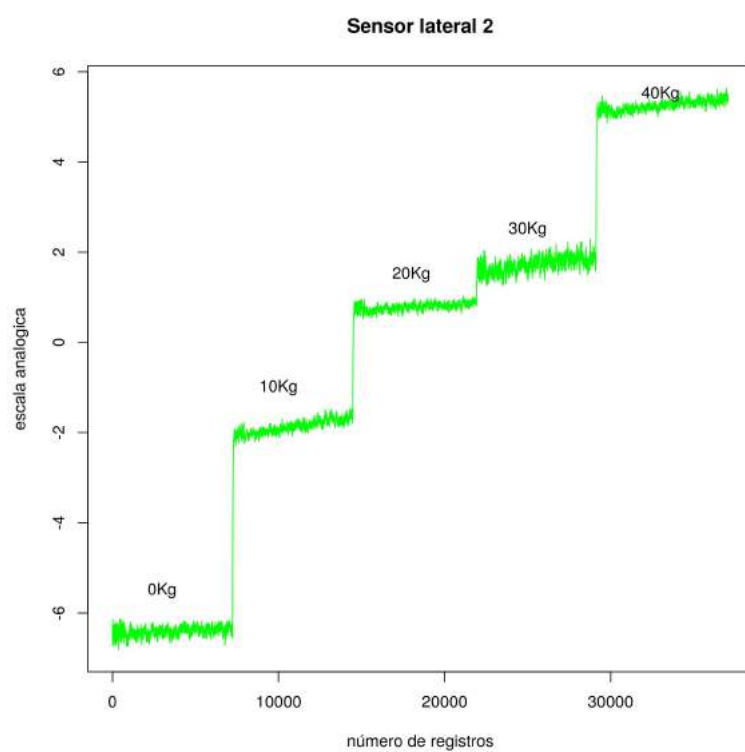


Figura 23 – Sinal do sensor lateral 2 monitorado durante teste com diferentes cargas

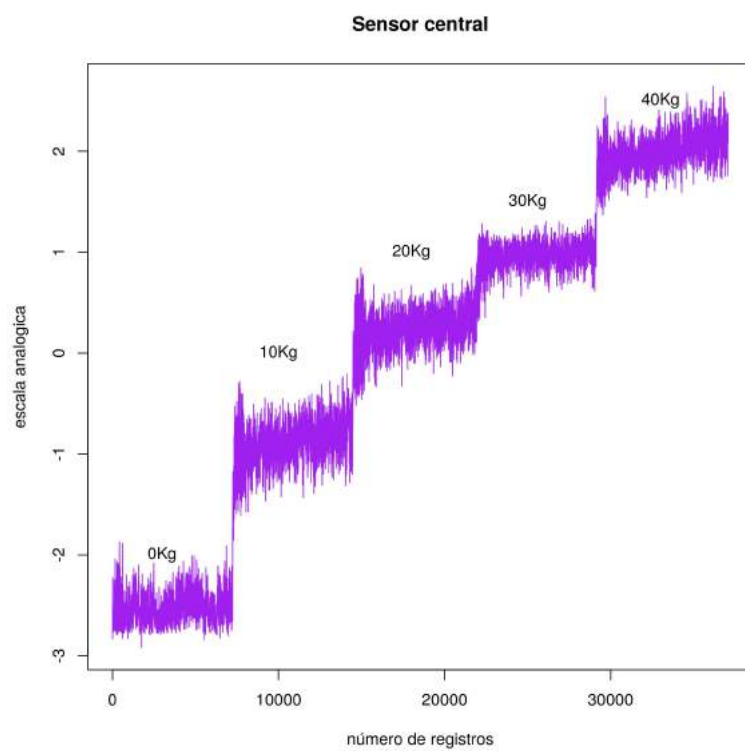


Figura 24 – Sinal do sensor central monitorado durante teste com diferentes cargas

Tabela 2 – Distribuição dos valores registrados durante o teste *in vitro*

Sensores	Min.	Máx.	Mediana	1 Qtl	3 Qtl
lateral 1	-8,84	8,77	-0,38	-3,02	2,90
lateral 2	-6,80	5,63	0,80	-1,97	1,87
central	-2,92	2,64	0,27	-0,97	1,09

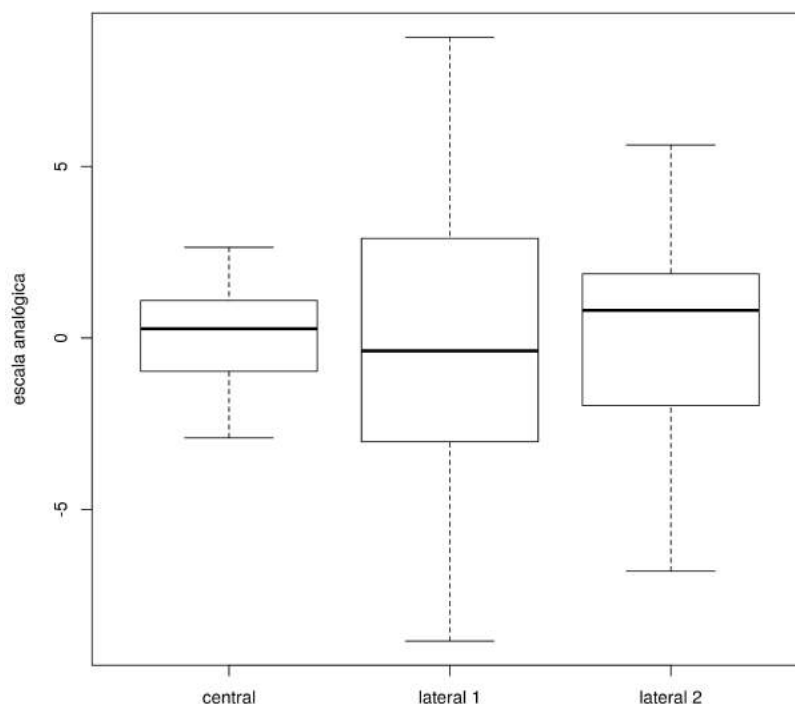


Figura 25 – Distribuição dos valores registrados pelos sensores durante o teste

Por meio deste teste foi possível identificar que no instante da expansão o sensor fica menos flexionado, assim informando um alto valor de amplitude, lembrando que o dispositivo possui tal comportamento por usar o amplificador operacional inversor em seu circuito.

#### 4.4 Teste *in vivo*

Com o dispositivo acomodado (figura 26) e os sensores fixados nos cascos (figuras 27 e 28), o animal era posicionado no início do percurso e pelo computador dava-se início a coleta. Então o cavalo foi conduzido em velocidade de passo por uma reta de 30 metros e ao final da reta, quando o animal parava, era encerrada a coleta. Esse procedimento foi repetido três vezes para cada animal nos dois tipos de piso (asfalto e grama).





Figura 26 – O dispositivo acomodado no animal na bolsa em azul de onde são ligados os sensores através de cabos espirais.

fonte: Produzida pelo autor(2018)



Figura 27 – Fixação dos sensores nos cascos torácicos

fonte: Produzida pelo autor(2018)



Figura 28 – Imagem ampliada dos sensores no casco torácico

fonte: Produzida pelo autor(2018)

Para o processamento dos dados, foram desconsiderados os 3 primeiros e os últimos 3 segundos de cada coleta, esse foi período considerado em que o animal estava parado

esperando o início e o término de cada coleta. Os dados também foram submetidos ao filtro Kalman e a média zero. Para as tabelas de distribuição dos valores foram removidos os valores *outliers*.

A figura 29, é um fragmento do traçado do sensor torácico medial esquerdo (tem) do cavalo C1, coletado no piso de grama, é demonstrado o momento que o animal apoia o membro no solo (A) e o momento que o animal retira o membro do solo (B).

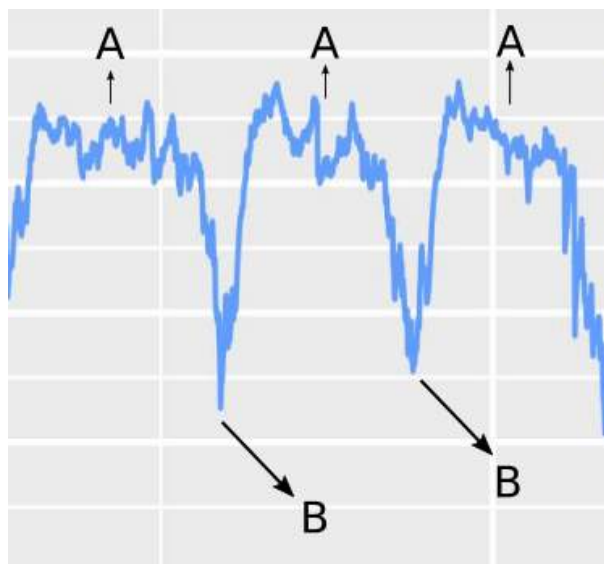


Figura 29 – Fragmento do traçado do sensor torácico medial esquerdo do cavalo C1 na grama. (A) Momento de apoio e (B) momento de elevação do casco.

No instante “A” o animal coloca o peso sobre o membro que está apoiado ao solo, há a expansão do casco, assim fazendo que o sensor fique menos flexionado e conseqüentemente diminuindo a sua resistência interna, dessa forma o traçado do sinal tende a subir. No momento “B” o animal retira o apoio do solo fazendo com que o coxim relaxe e cesse a pressão nas estruturas laterais permitindo que o casco volte ao estado natural, assim flexionando mais o sensor e conseqüentemente aumentando a sua resistência interna.

## 4.5 Coleta no piso de asfalto

As figuras 30 e 31 exibem os traçados dos sinais dos membros torácicos e pélvicos, adquiridos durante a condução do animal C1 pelo trajeto de asfalto. É observado que a maior deformação foi registrada pelo sensor localizado na região da pinça do membro torácico esquerdo (tep) e a menor deformação é exposta pelo sensor da pinça do membro torácico direito (tdp). Assim evidenciando um padrão de deformação diferentes entre os membros torácicos (figura 32 e tabela 3).

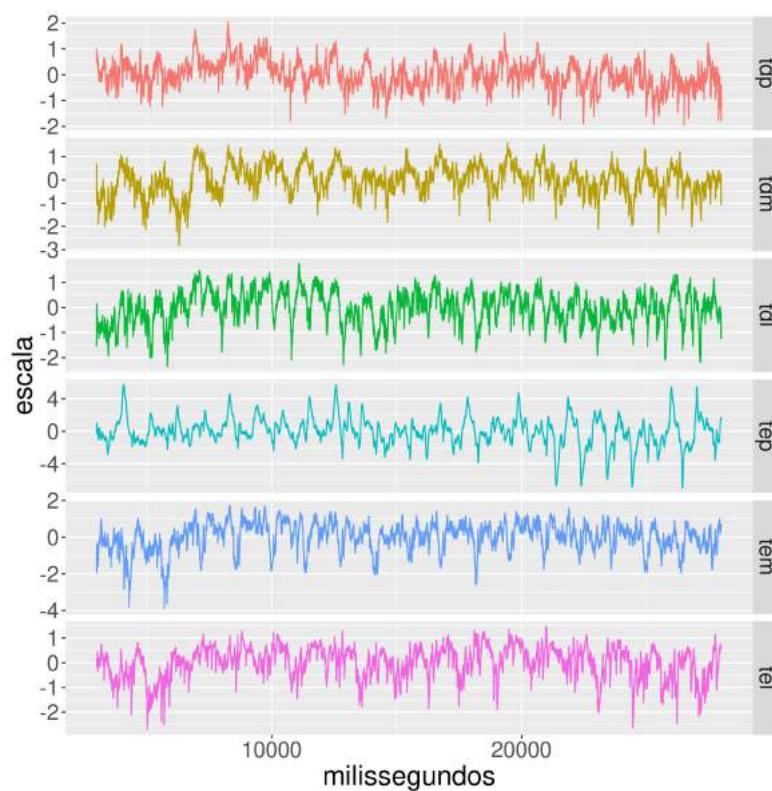


Figura 30 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C1 no piso de asfalto.

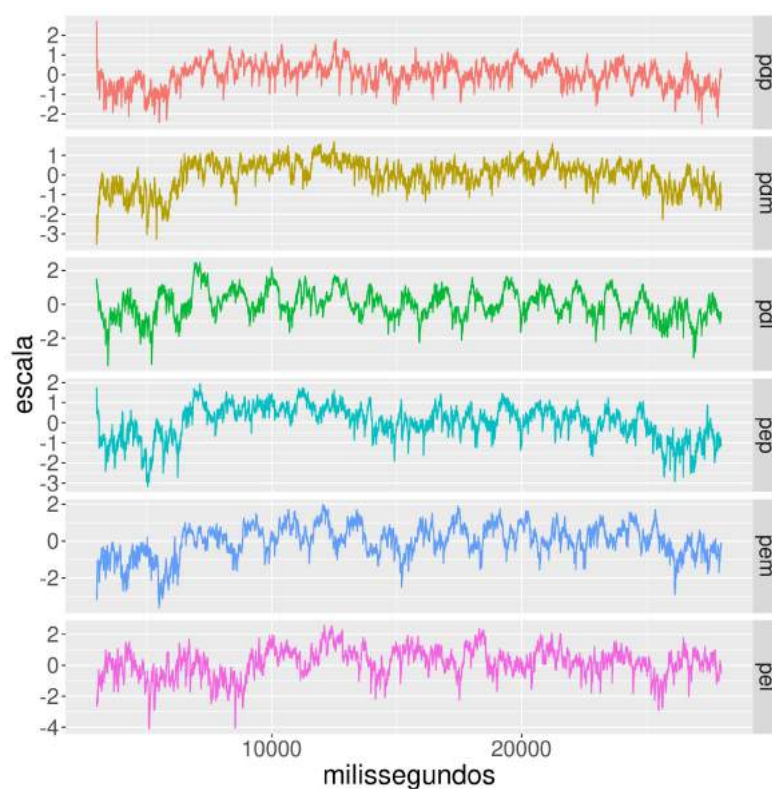


Figura 31 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C1 no piso de asfalto.

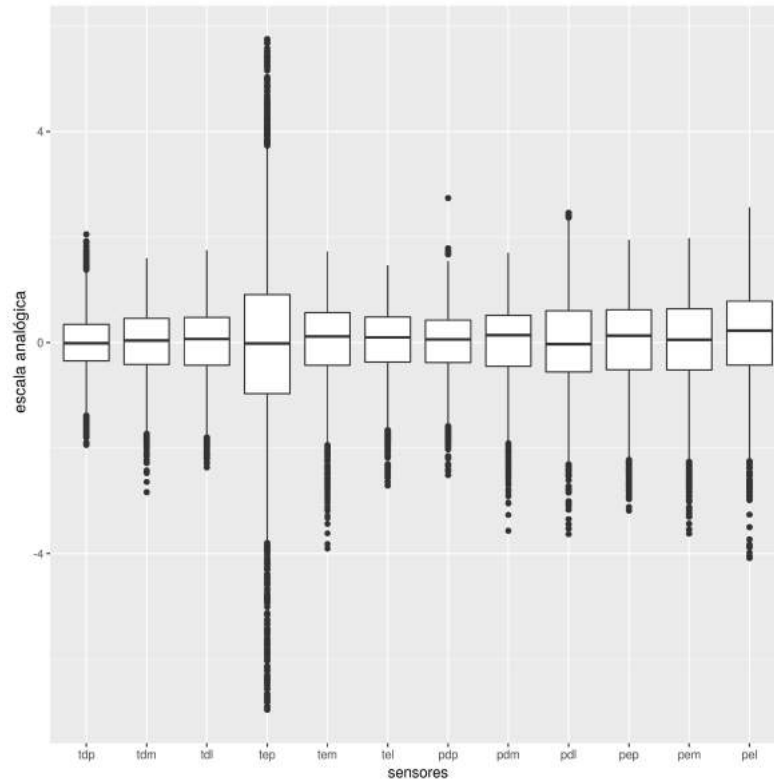


Figura 32 – Distribuição dos valores registrados pelo C1 durante a coleta do piso de asfalto

Tabela 3 – Distribuição dos valores registrados do animal C1 durante a coleta no asfalto

Sensores	Máx.	Min.	Mediana	1 Qtl	3 Qtl
tdp	1,38	-1,36	-0,01	-0,34	0,34
tdm	1,60	-1,72	0,04	-0,40	0,47
tdl	1,75	-1,79	0,07	-0,41	0,48
tep	3,73	-3,77	-0,02	-0,91	0,85
tem	1,73	-1,92	0,13	-0,38	0,58
tel	1,47	-1,66	0,11	-0,34	0,49
pdp	1,55	-1,58	0,06	-0,36	0,43
pdm	1,70	-1,89	0,16	-0,42	0,52
pdl	2,32	-2,27	-0,03	-0,54	0,60
pep	1,95	-2,20	0,15	-0,48	0,63
pem	1,98	-2,25	0,08	-0,48	0,65
pel	2,56	-2,25	0,24	-0,39	0,79

Os traçados dos sinais coletados do animal C2 (figuras 33 e 34) demonstram que em geral os membros pélvicos tiveram uma maior intensidade no sinal em relação aos membros torácicos. Nesse animal foi expresso um padrão de deformação semelhante entre os membros pélvicos, já que, as maiores intensidade dos sinais foram capturados pelos sensores mediais (pdm e pem) (figura 35 e tabela 4). Com isso, através da diferença do valor mínimo e máximo, foi possível deduzir que esse animal, nos membros pélvicos, apoia mais o peso na região medial.

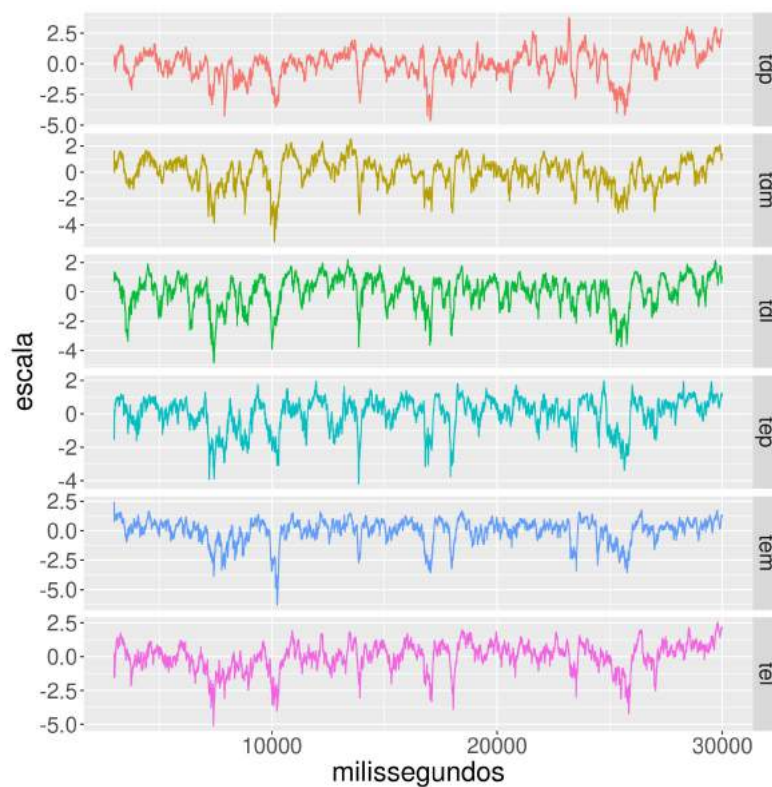


Figura 33 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C2 no piso de asfalto.

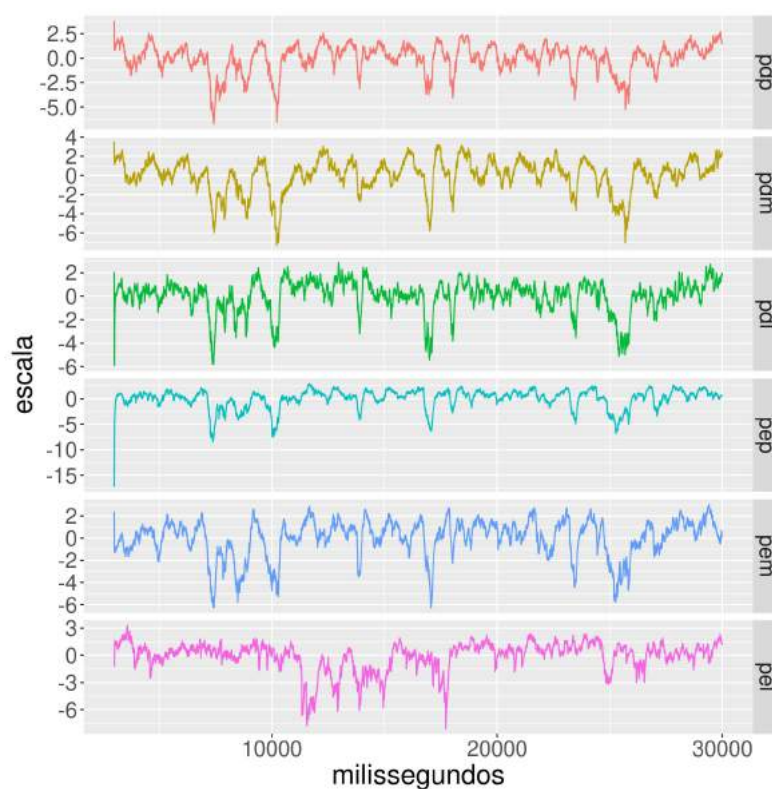


Figura 34 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C2 no piso de asfalto.

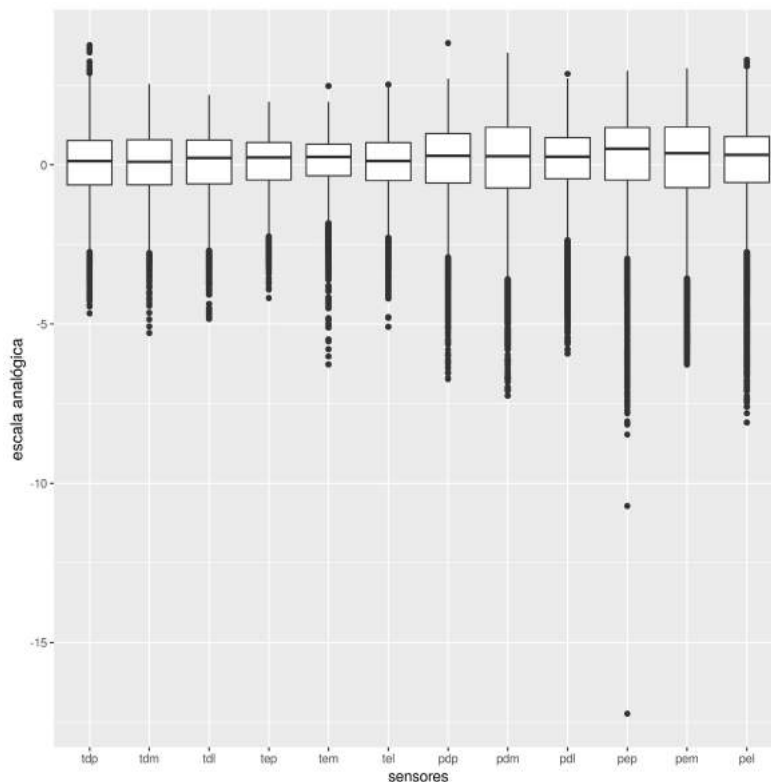


Figura 35 – Distribuição dos valores registrados pelo C2 durante a coleta do piso de asfalto

Tabela 4 – Distribuição dos valores registrados do animal C2 durante a coleta no asfalto

Sensores	Máx.	Min.	Mediana	1 Qtl	3 Qtl
tdp	2,86	-2,73	0,15	-0,55	0,78
tdm	2,54	-2,75	0,13	-0,59	0,80
tdl	2,19	-2,67	0,25	-0,50	0,79
tep	1,98	-2,24	0,26	-0,39	0,72
tem	1,98	-1,83	0,31	-0,15	0,69
tel	2,44	-2,29	0,17	-0,40	0,72
pdp	2,70	-2,91	0,37	-0,40	1,03
pdm	3,52	-3,59	0,36	-0,53	1,22
pdl	2,72	-2,36	0,34	-0,23	0,90
pep	2,96	-2,94	0,62	-0,13	1,25
pem	3,03	-3,56	0,46	-0,47	1,23
pel	3,05	-2,73	0,40	-0,29	0,95

O animal C3 tem os traçados da deformação dos cascos apresentado nas figuras 36 e 37. No traçado do sensor da pinça do membro pélvico esquerdo (pep) houve um pico o qual dificulta a visualização do traçado. Esse animal apresentou maiores deformações nas regiões lateral do membro torácico esquerdo (tel) e pinça do membro pélvico esquerdo (pep)(figura 38 e tabela 5).

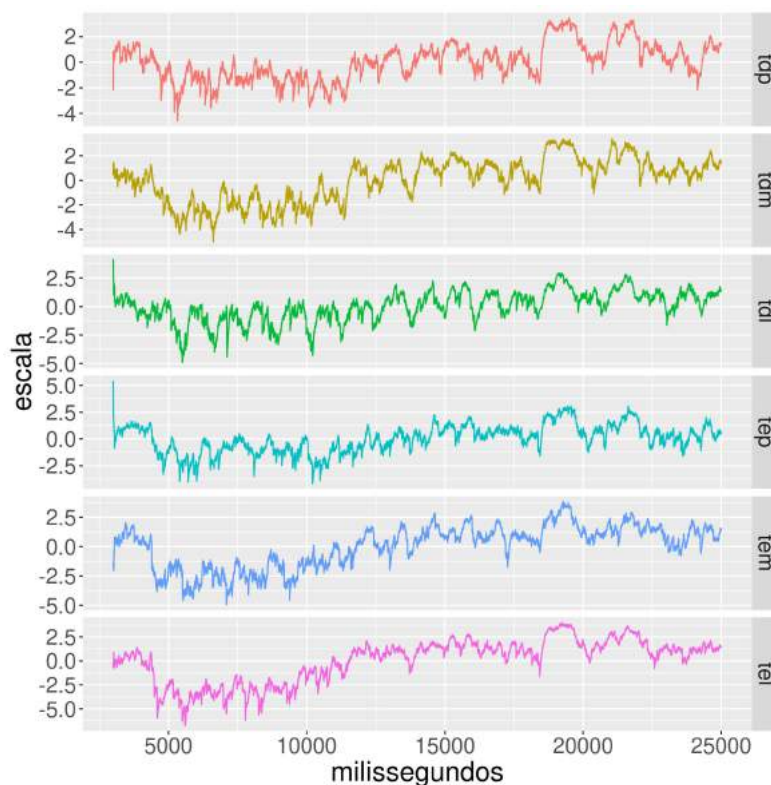


Figura 36 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C3 no piso de asfalto.

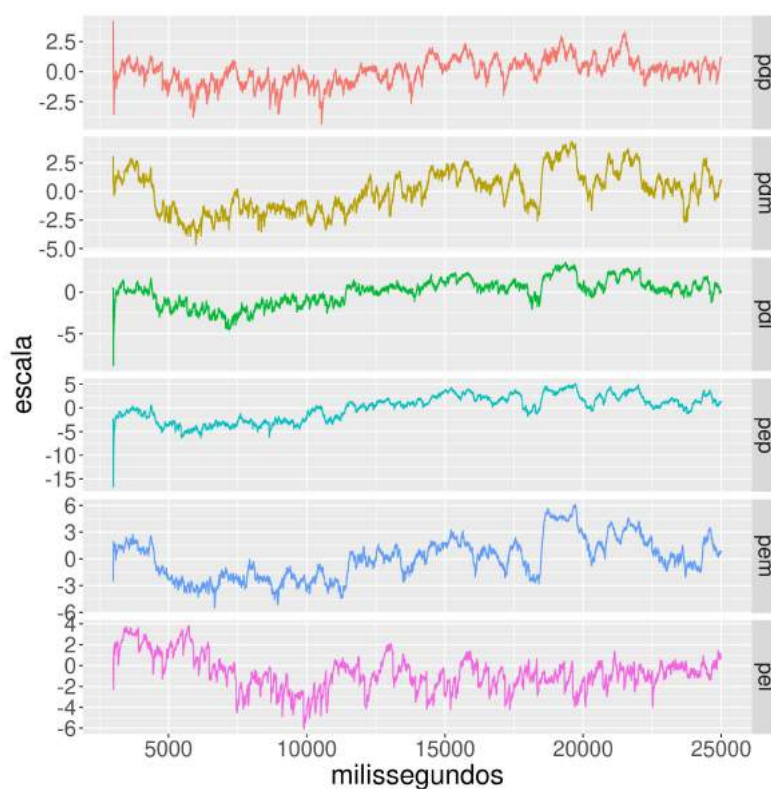


Figura 37 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C3 no piso de asfalto.

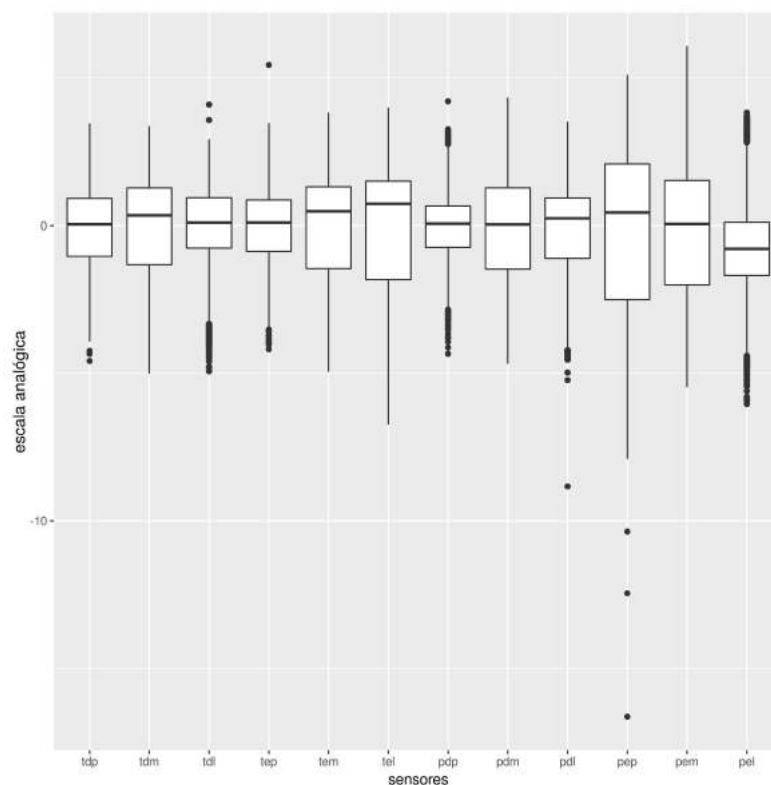


Figura 38 – Distribuição dos valores registrados pelo C3 durante a coleta do piso de asfalto

Tabela 5 – Distribuição dos valores registrados do animal C3 durante a coleta no asfalto

Sensores	Máx.	Min.	Mediana	1 Qtl	3 Qtl
tdp	3,47	-3,92	0,05	-1,04	0,93
tdm	3,39	-5,01	0,36	-1,32	1,28
tdl	2,93	-3,32	0,14	-0,70	0,97
tep	3,48	-3,46	0,11	-0,85	0,88
tem	3,84	-4,95	0,49	-1,45	1,32
tel	4,01	-6,74	0,74	-1,83	1,52
pdp	2,76	-2,81	0,07	-0,71	0,66
pdm	4,34	-4,68	0,04	-1,47	1,28
pdl	3,53	-4,12	0,26	-1,09	0,95
pep	5,12	-7,90	0,45	-2,49	2,10
pem	6,09	-5,47	0,06	-2,00	1,54
pel	2,82	-4,40	-0,84	-1,70	0,02

Os sinais traçados do animal C4 estão expressos nas figuras 39 e 40. Esse animal apresenta uma deformação uniforme entre as regiões dos cascos (figura 41 e tabela 6).



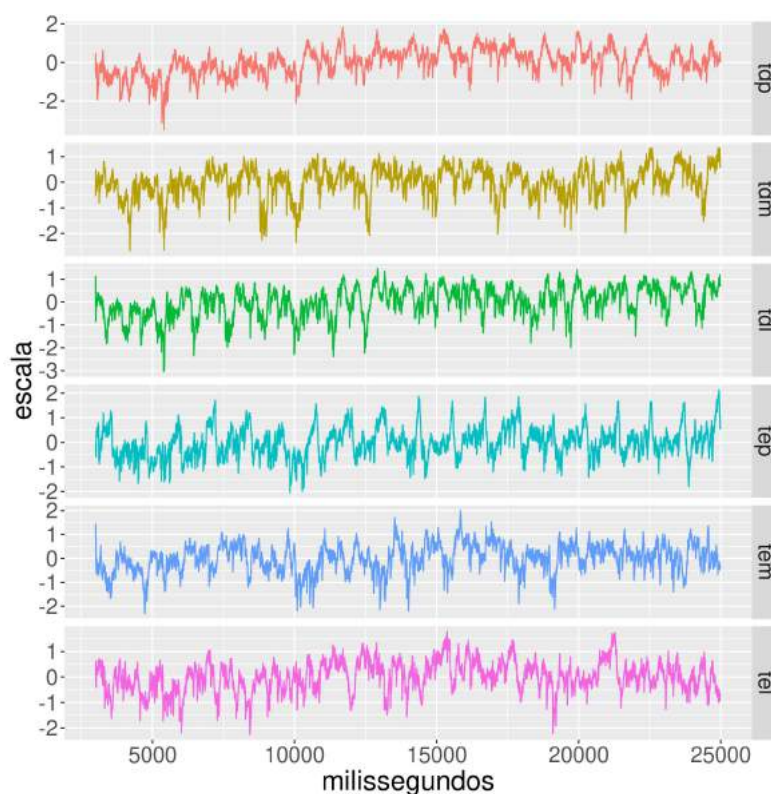


Figura 39 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C4 no piso de asfalto.

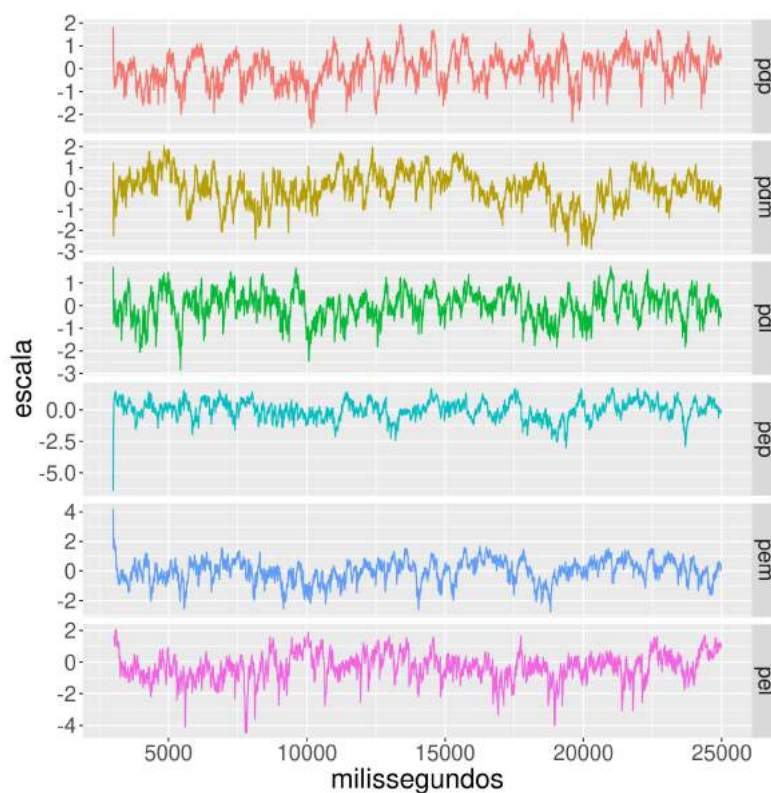


Figura 40 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C4 no piso de asfalto.

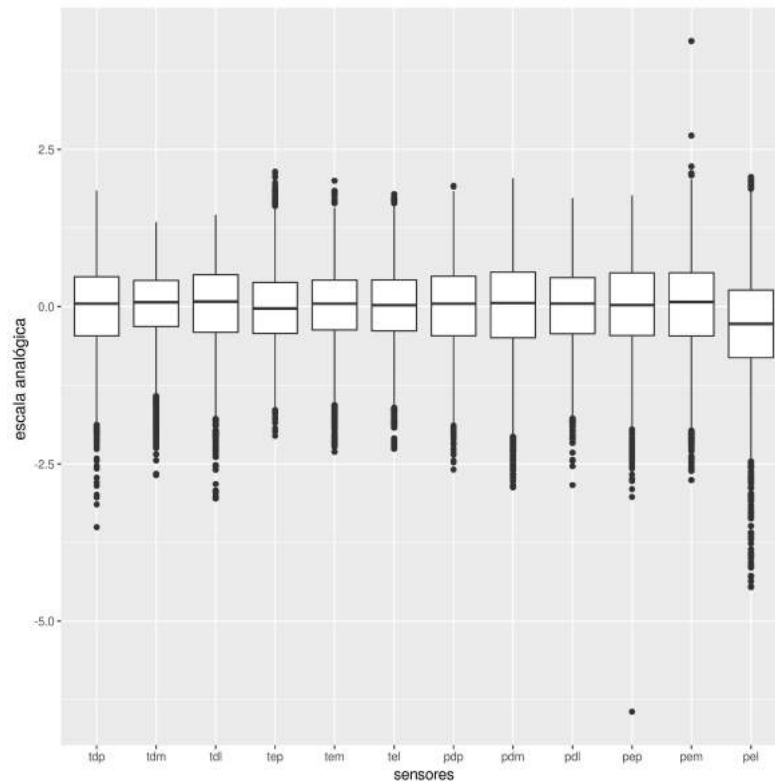


Figura 41 – Distribuição dos valores registrados pelo C4 durante a coleta do piso de asfalto

Tabela 6 – Distribuição dos valores registrados do animal C4 durante a coleta no asfalto

Sensores	Máx.	Min.	Mediana	1 Qtl	3 Qtl
tdp	1,85	-1,86	0,06	-0,45	0,48
tdm	1,34	-1,42	0,09	-0,28	0,43
tdl	1,46	-1,78	0,09	-0,39	0,51
tep	1,60	-1,62	-0,03	-0,42	0,37
tem	1,58	-1,55	0,05	-0,35	0,43
tel	1,63	-1,60	0,03	-0,38	0,43
pdp	1,84	-1,88	0,05	-0,45	0,49
pdm	2,05	-2,05	0,07	-0,46	0,56
pdl	1,72	-1,77	0,05	-0,42	0,46
pep	1,77	-1,94	0,04	-0,43	0,54
pem	2,02	-1,97	0,08	-0,44	0,54
pel	1,85	-2,42	-0,27	-0,79	0,27

## 4.6 Coleta no piso de grama

Os dados do animal C1 conduzido no trajeto de grama são exibidos nos traçados das figuras 42 e 43. A distribuição dos dados (figura 44 e tabela 7) indicam que esse animal apoia o peso de forma diferente entre os membros torácicos, no membro direito é maior a deformação nos sensores da pinça (tdp) e lateral (tdl) e no membro esquerdo nos sensores da pinça (tep) e medial (tem).

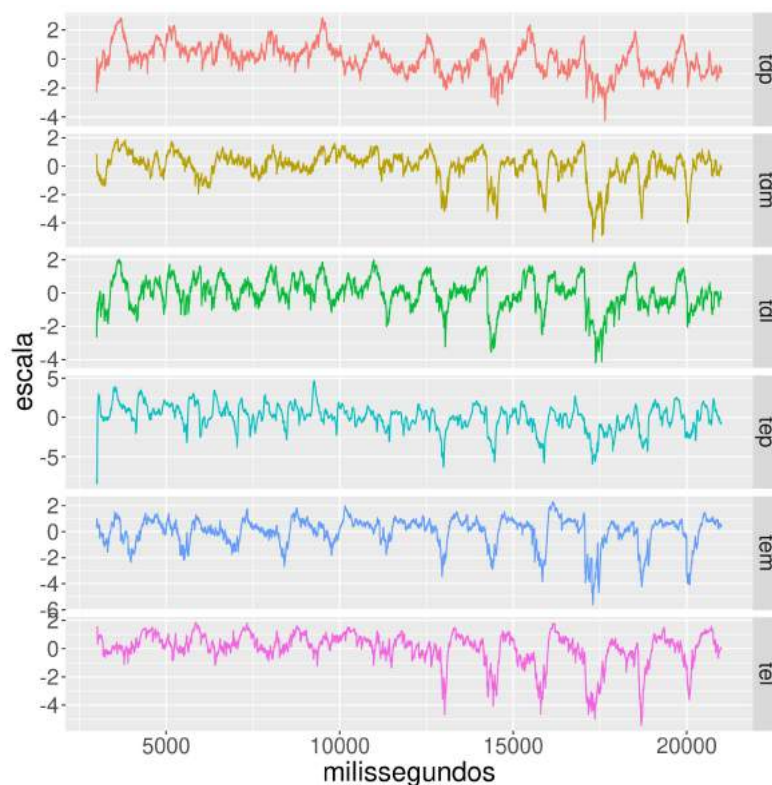


Figura 42 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C1 no piso de grama.

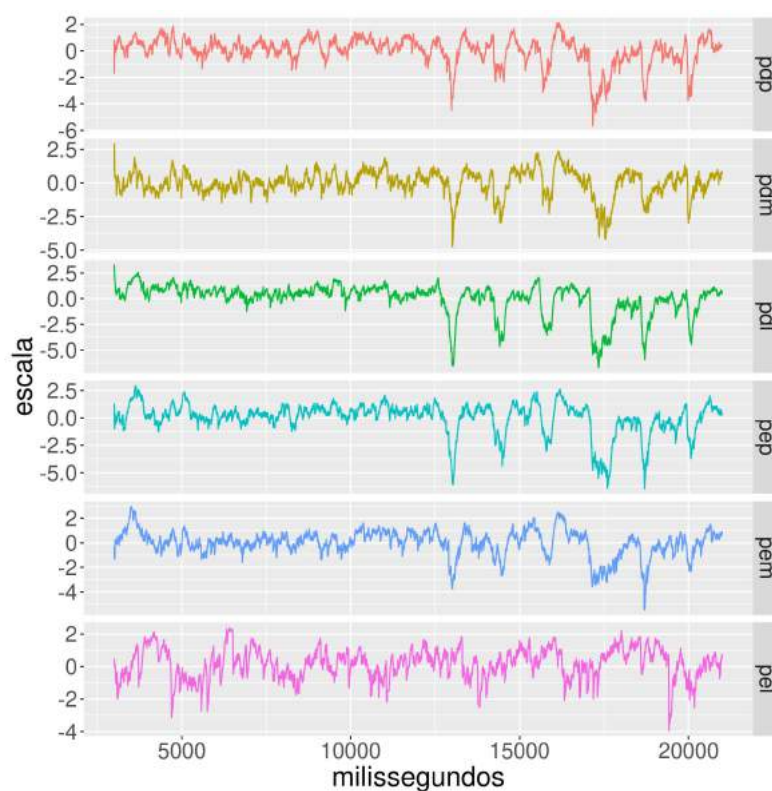


Figura 43 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C1 no piso de grama.

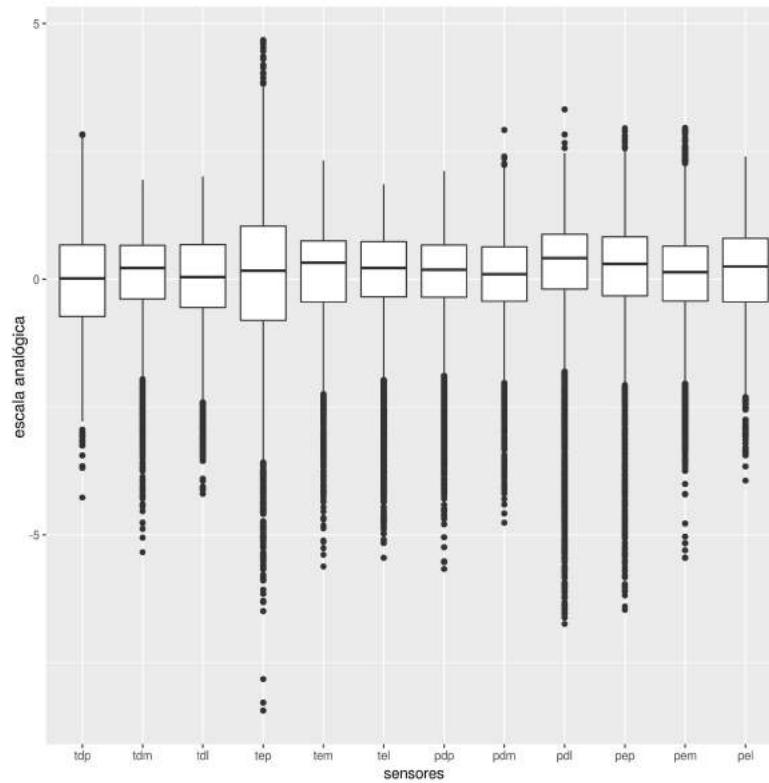


Figura 44 – Distribuição dos valores registrados pelo C1 durante a coleta do piso de grama

Tabela 7 – Distribuição dos valores registrados do animal C1 durante a coleta na grama

Sensores	Máx.	Min.	Mediana	1 Qtl	3 Qtl
tdp	2,76	-2,78	0,02	-0,72	0,67
tdm	1,94	-1,95	0,28	-0,24	0,70
tdl	2,01	-2,40	0,06	-0,50	0,70
tep	3,80	-3,58	0,23	-0,67	1,06
tem	2,32	-2,23	0,38	-0,24	0,77
tel	1,85	-1,92	0,29	-0,19	0,79
pdp	2,12	-1,88	0,24	-0,23	0,70
pdm	2,21	-2,03	0,14	-0,36	0,65
pdl	2,47	-1,80	0,52	0,07	0,93
pep	2,55	-2,05	0,39	-0,09	0,89
pem	2,26	-2,03	0,18	-0,30	0,66
pel	2,40	-2,29	0,26	-0,42	0,80

É possível, através do traçados dos sinais do animal C2 (figuras 45 e 46), identificar o número de apoio que esse animal teve durante a coleta, observando o sensor pélvico lateral esquerdo (tel), entre os tempos de 5 à 10 segundos é contado 4 apoios em 5 segundos, isso é aproximadamente 1 apoio por segundo. A distribuição de valores desse animal (figura 47 e tabela 8) demonstra uma maior deformação nas regiões laterais dos membros pélvicos.

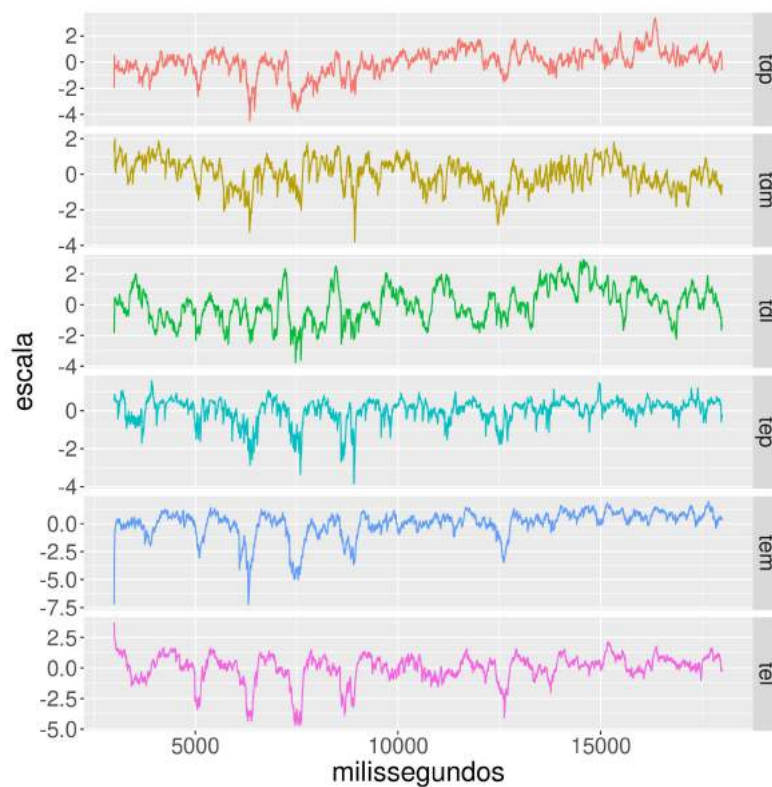


Figura 45 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C2 no piso de grama.

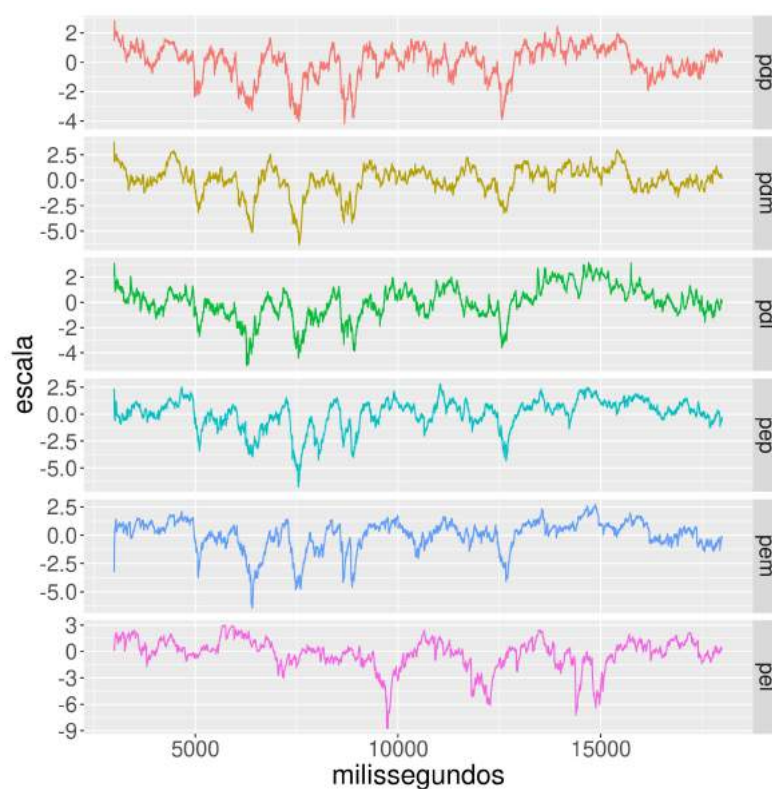


Figura 46 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C2 no piso de grama.

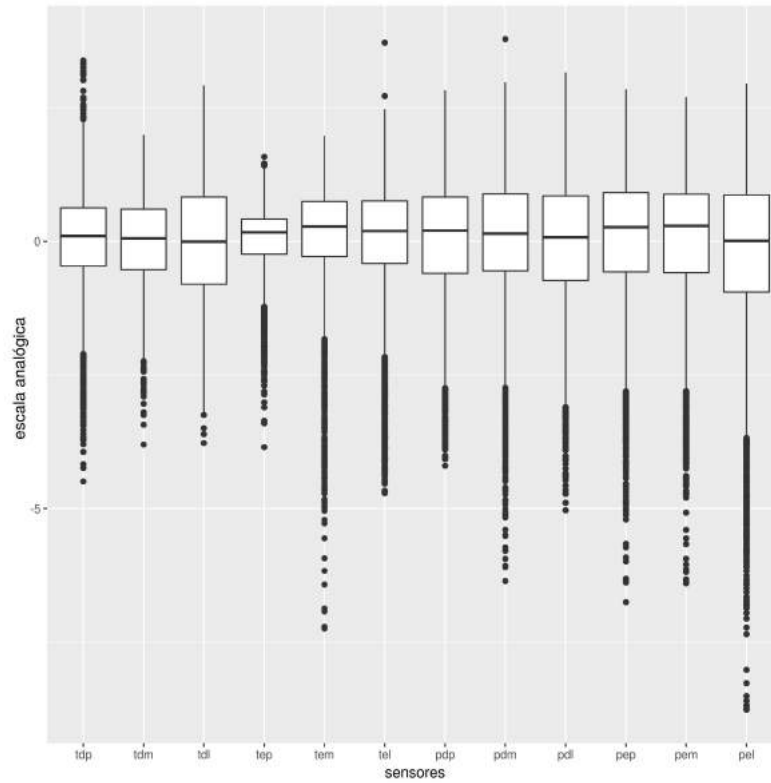


Figura 47 – Distribuição dos valores registrados pelo C2 durante a coleta do piso de grama

Tabela 8 – Distribuição dos valores registrados do animal C2 durante a coleta na grama

Sensores	Máx.	Min.	Mediana	1 Qtl	3 Qtl
tdp	2,24	-2,09	0,12	-0,39	0,64
tdm	2,00	-2,23	0,07	-0,52	0,61
tdl	2,92	-3,24	0,00	-0,79	0,83
tep	1,36	-1,22	0,20	-0,15	0,43
tem	1,98	-1,82	0,35	-0,10	0,80
tel	2,48	-2,15	0,26	-0,28	0,79
pdp	2,83	-2,72	0,25	-0,47	0,86
pdm	2,98	-2,71	0,21	-0,44	0,94
pdl	3,16	-3,08	0,11	-0,66	0,88
pep	2,85	-2,80	0,38	-0,41	0,96
pem	2,70	-2,79	0,36	-0,44	0,92
pel	2,96	-3,64	0,09	-0,76	0,95

Na grama a distribuição de valores do animal C3 (figura 50 e tabela 9), exibem, em quase todos os membros, um padrão de deformação esperado, a pinça se deforma menos que as demais regiões, esse fenômeno se explica por a pinça ser a região mais espessa da parede do casco.

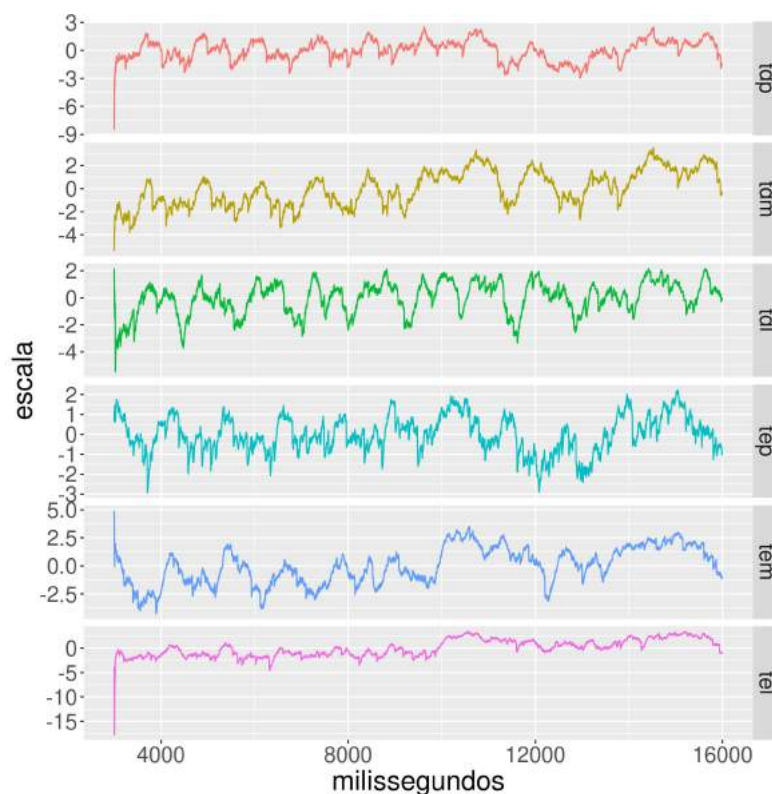


Figura 48 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C3 no piso de grama.

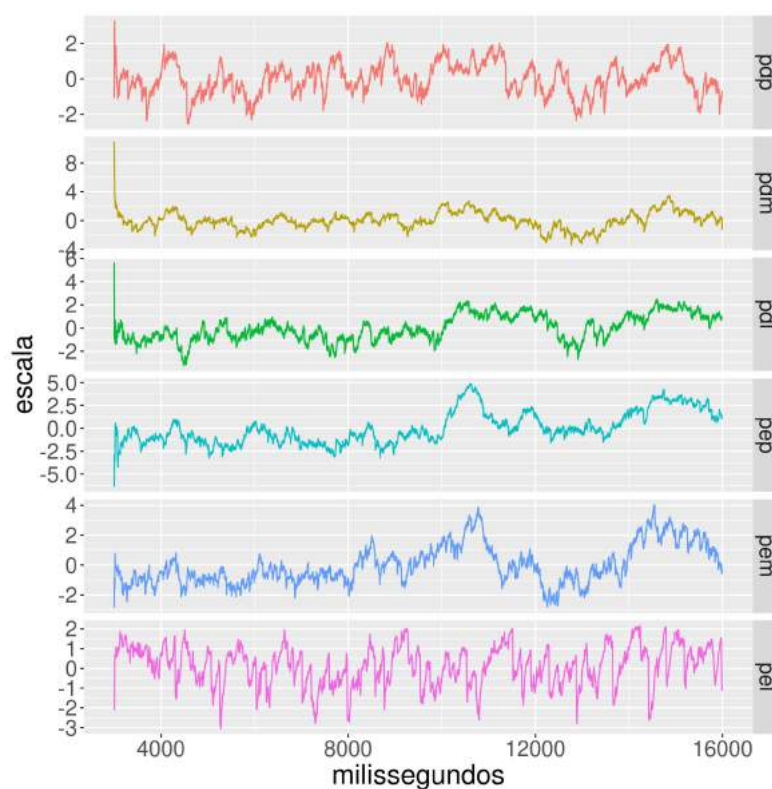


Figura 49 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C3 no piso de grama.

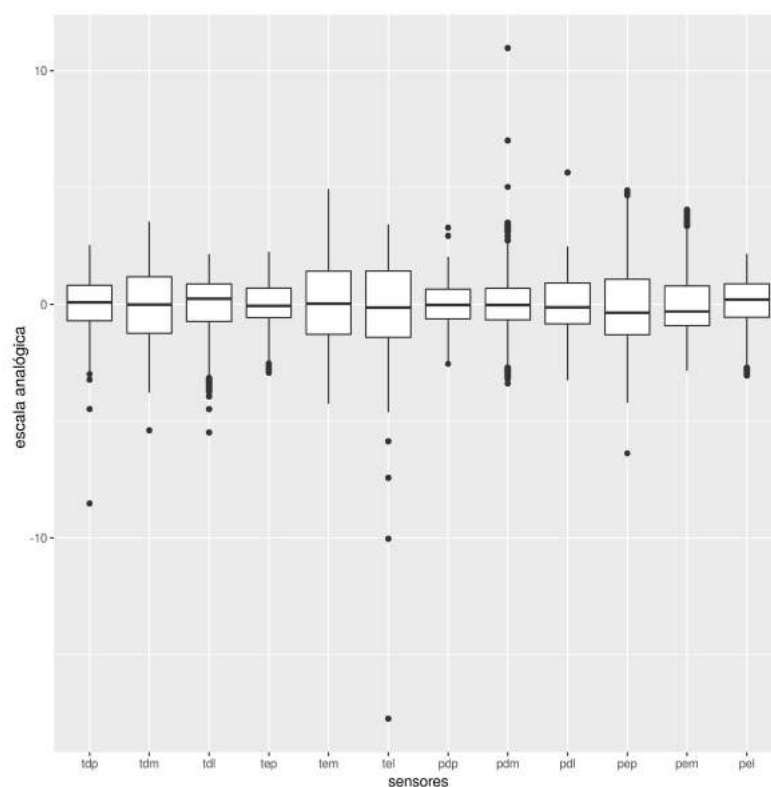


Figura 50 – Distribuição dos valores registrados pelo C3 durante a coleta do piso de grama

Tabela 9 – Distribuição dos Valores registrados do animal C3 durante a coleta na grama

Sensores	Máx.	Min.	Mediana	1 Qtl	3 Qtl
tdp	2,53	-2,93	0,08	-0,70	0,81
tdm	3,54	-3,78	-0,01	-1,25	1,17
tdl	2,16	-3,13	0,26	-0,69	0,88
tep	2,25	-2,43	-0,06	-0,56	0,70
tem	4,93	-4,26	0,03	-1,29	1,42
tel	3,41	-4,62	-0,13	-1,41	1,43
pdp	2,04	-2,53	-0,03	-0,63	0,65
pdm	2,72	-2,69	-0,03	-0,64	0,68
pdl	2,48	-3,25	-0,13	-0,83	0,91
pep	4,58	-4,22	-0,37	-1,31	1,03
pem	3,29	-2,85	-0,32	-0,91	0,75
pel	2,17	-2,69	0,20	-0,55	0,88

Na grama o animal C4 também apresentou um padrão deformação uniforme entre as regiões dos cascos.



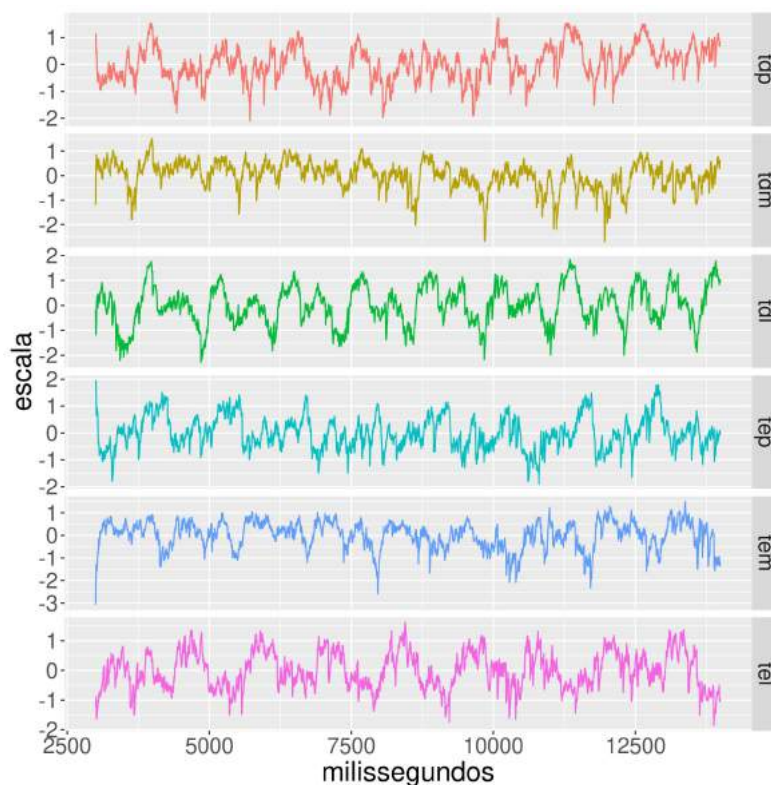


Figura 51 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros torácicos do animal C4 no piso de grama.

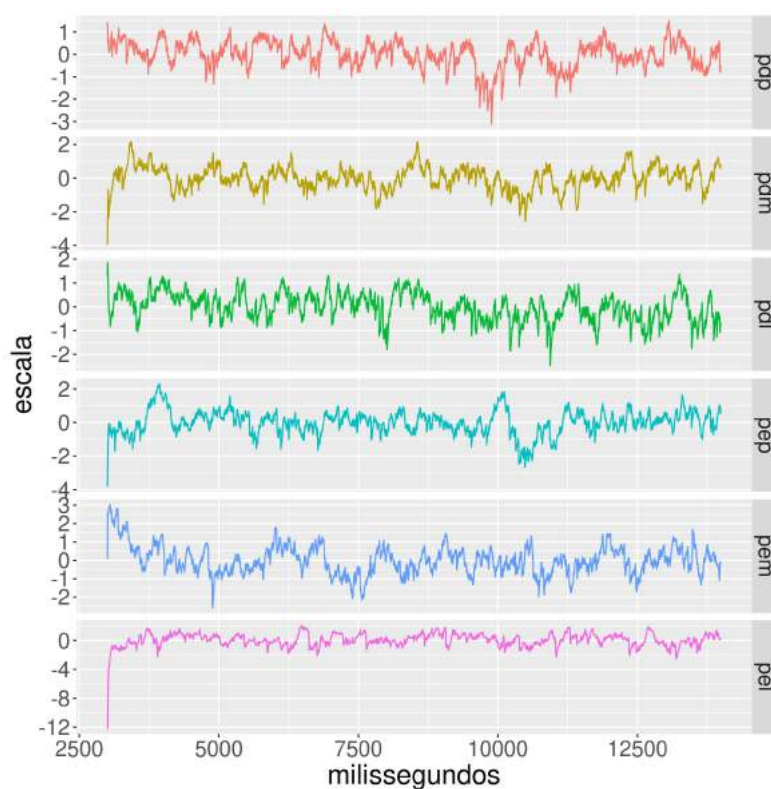


Figura 52 – Traçado dos sinais registrados pelos sensores dos membros pélvicos do animal C4 no piso de grama.

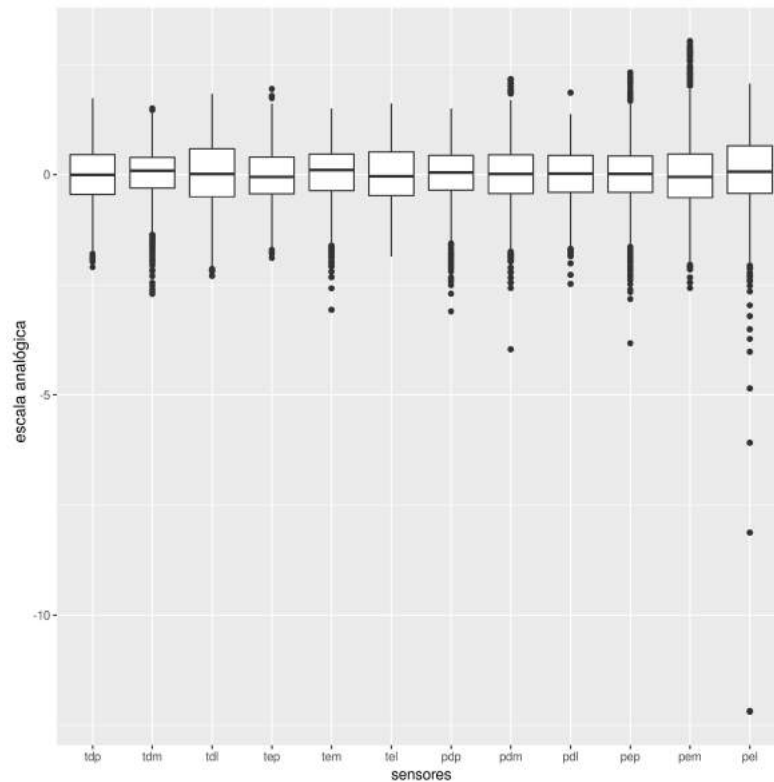


Figura 53 – Distribuição dos valores registrados pelo C4 durante a coleta do piso de grama

Tabela 10 – Distribuição dos valores registrados do animal C4 durante a coleta na grama

Sensores	Máx.	Min.	Mediana	1 Qtl	3 Qtl
tdp	1,73	-1,80	0,00	-0,44	0,46
tdm	1,42	-1,35	0,10	-0,27	0,40
tdl	1,83	-2,10	0,02	-0,50	0,58
tep	1,62	-1,67	-0,05	-0,43	0,40
tem	1,50	-1,59	0,11	-0,34	0,47
tel	1,62	-1,86	-0,04	-0,47	0,51
pdp	1,50	-1,53	0,06	-0,33	0,45
pdm	1,69	-1,74	0,02	-0,42	0,44
pdl	1,37	-1,64	0,03	-0,40	0,44
pep	1,66	-1,64	0,03	-0,37	0,42
pem	1,94	-1,98	-0,06	-0,53	0,44
pel	2,07	-1,99	0,08	-0,41	0,66

## 4.7 Discussão

Buscou-se comprovar o funcionamento do dispositivo demonstrando a deformação em diferentes regiões dos quatro cascos simultaneamente durante a locomoção do animal em velocidade de passo. O dispositivo foi testado em quatro animais em dois pisos diferentes (concreto e grama). Apesar de não ser o objetivo desse trabalho, diferente do esperado,

não houve mudanças significativas na intensidade do sinal e nem no padrão de deformação dos cascos entre os pisos.

Existem estudos sobre a deformação do casco, tanto *in vitro* quanto *in vivo*, mas nenhum é focado no desenvolvimento de um dispositivo para analisar o comportamento do casco. Por exemplo, Roepstorff, Johnston e Drevemo 2001, discutem sobre a relação da dilatação dos cascos em animais com e sem ferraduras, Roepstorff usa um equipamento chamado *3-D kinematic*, onde o animal é submetido a uma esteira de testes com sensores fixados, os quais são monitorados por câmeras especiais que gravam e medem a movimentação dos sensores, também utiliza de um mecanismo com potenciômetro, o qual é fixado em um bulbo do casco de onde origina-se um fio elétrico e esse é fixado no outro bulbo, assim quando o casco se expande “puxa” o fio e esse aciona o potenciômetro. No sistema *3-D kinematic*, além de ser um equipamento específico e de alto custo, o animal precisa estar em um ambiente controlado e preparado. Enquanto o dispositivo apresentado além de ser economicamente viável, possibilita o animal se locomover livremente em diferentes terrenos possibilitando o uso *in loco*. Em relação ao mecanismo do potenciômetro o que difere o sistema proposto é a utilização de sensores em regiões distintas do casco possibilitando a entender mais detalhadamente a deformação do casco.

Colles 1989, demonstrou uma forma de avaliar a deformação do casco em cavalos e pôneis. Foi testada a deformação do casco com ferraduras de aço, com ferraduras de alumínio, e sem ferraduras. Diferentemente do trabalho aqui exposto, Colles, usou o *strain gauge* para capturar a deformação do casco, analisou apenas um casco de cada animal e fixou os sensores nas posições lateral e medial da pinça, nos talões e também na ferradura. Colles explica a necessidade de uma preparação no local onde foi aplicado o sensor para deixá-lo plano, dificultando a sua instalação. Não foi claro em seu trabalho a reutilização dos sensores fazendo supor que para cada experimento foram usados novos sensores. O dispositivo apresentado nesse trabalho é de fácil aplicação e reutilizável. Colles não explica qual membro avaliado, por meio das imagens supõe-se que o membro avaliado foi o torácico esquerdo. Apesar das diferenças do experimento de Colles (sensores diferentes, posicionados em outras regiões e captura apenas de um membro), é possível identificar semelhanças entre os traçados de seu trabalho com o trabalho aqui proposto.

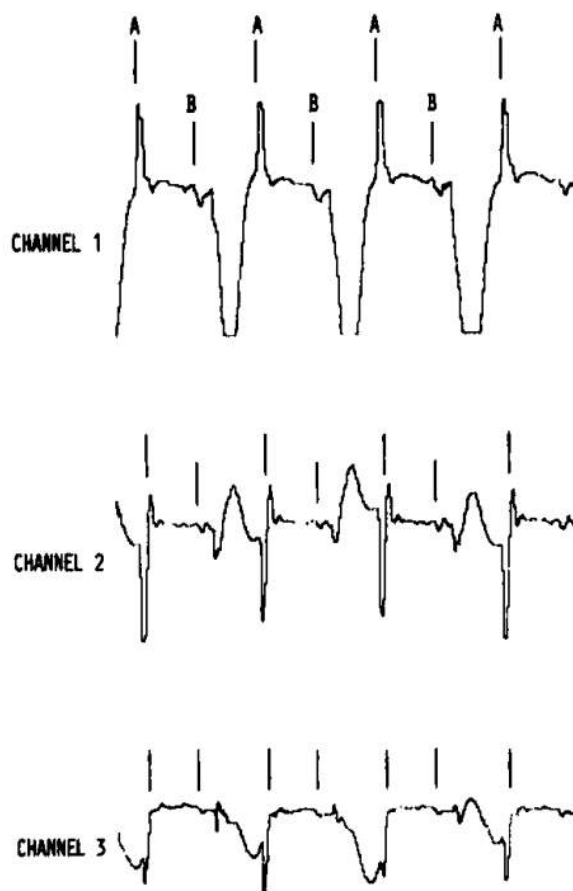


Figura 54 – Traçado do pônei com ferradura velocidade de trote trabalho Colles, channel 1 deformação do casco, channel 2 deformação vertical do casco, channel 3 deformação vertical da pinça. "A" momento aplicado a pressão, "B" momento que a pressão é sessada

Fonte (Colles 1989)

Como é observado nos resultados os sensores funcionaram adequadamente, possibilita identificar a região do casco que sofre a deformação, intensidade da expansão e o ciclo de passos durante a locomoção do animal.

É possível detectar alterações funcionais dos cascos em graus menores do que a claudicação, o que possibilita estabelecer uma metodologia de avaliação matemática, e determinar um protocolo que permita comparar as mensurações da expansão do casco à locomoção e aplicá-las em diagnósticos para então direcionar o animal ao tratamento de enfermidades podais.

Com tal dispositivo também é possível tornar mensurável o trabalho de profissionais especializados na região podal do animal, como os ferrageadores e casqueadores, que trabalham para deixar o casco apumado e equilibrado. Sendo assim, com o dispositivo é possível analisar o antes e o depois do tratamento podal.

Estudos futuros poderão utilizar-se desse equipamento para relacionar o comportamento de deformação estrutural do casco com fatores que podem influenciar diretamente sua

dilatação, como: peso (massa), raça, velocidade do movimento, tipo de solo, ferrageamento, casqueamento entre outros.

## 5 Conclusão

O resultado final desse trabalho foi a criação de um dispositivo que cumpriu o seu propósito, capturou a deformação do casco durante o movimento do animal e a converteu em sinais digitais para acompanhá-la em tempo real. Do ponto de vista tecnológico, o dispositivo desenvolvido demonstrou ser uma ferramenta em potencial para estudo das variações estruturais naturais do casco durante a locomoção.

Os sinais coletados nos testes permitiram criar traçados gráficos, que auxiliam no entendimento das deformações dos cascos durante a locomoção dos animais. O dispositivo possibilitou criar algumas suposições baseadas nos resultados, tais como: O animal C1 apoia o peso de forma diferente entre os membros torácicos; o animal C2, no piso de grama, teve aproximadamente 1 apoio por segundo e esse animal, nos membros pélvicos, tem um maior apoio nas regiões laterais; o animal C3, na grama, teve o padrão de deformação esperado, pois as regiões de pinça se deformaram menos que as demais; o animal C4 tem uma deformação uniforme entre as regiões dos cascos.

Como citado na discussão, há similaridade entre os resultados do trabalho de Colles e o presente trabalho.

Com algumas melhorias é possível torná-lo em um produto comercializável, transformando o dispositivo em uma ferramenta de auxílio a diagnósticos de enfermidades podais, que também é passível de ser utilizada no monitoramento da recuperação de tais enfermidades.

Essa ferramenta possibilitaria quantificar e qualificar os trabalhos de ferrageadores e casqueadores. Também auxiliaria nos estudos sobre o comportamento da deformação estrutural do casco.

## Referências

- Andrade 1986 ANDRADE, L. O condicionamento do equino no brasil. *Recife: Equicenter*, p. 201, 1986.
- Arduino 2016 ARDUINO, H. Disponível em:< <http://www.arduino.cc/>>. *Acesso realizado em: Mar, 2016.*
- Atmel 2014 ATMEL. *DataSheet - Atmel ATmega640, V-1280, V-1281, V-2560, V-2561.* 2549q. ed. [S.l.], 2014.
- Atom 2016 ATOM, A. h. t. e. Disponível em:< <https://atom.io/docs> >. *Acesso realizado em: Mar, 2016.*
- Balch, Butler e Collier 1997 BALCH, O.; BUTLER, D.; COLLIER, M. Balancing the normal foot: hoof preparation, shoe fit and shoe modification in the performance horse. *Equine Veterinary Education*, Wiley Online Library, v. 9, n. 3, p. 143–154, 1997.
- Bertram e Gosline 1987 BERTRAM, J.; GOSLINE, J. Functional design of horse hoof keratin: the modulation of mechanical properties through hydration effects. *Journal of Experimental Biology*, The Company of Biologists Ltd, v. 130, n. 1, p. 121–136, 1987.
- Bonfiglio e Rossi 2011 BONFIGLIO, A.; ROSSI, D. D. *Wearable Monitoring Systems.* [S.l.]: Springer, 2011.
- Borges 2014 BORGES, L. E. *Python para Desenvolvedores: Aborda Python 3.3.* [S.l.]: Novatec Editora, 2014.
- Budras, Sack e Rock 2003 BUDRAS, K.-D.; SACK, W. O.; ROCK, S. *Anatomy of the horse: an illustrated text.* [S.l.]: Schlütersche, 2003.
- Cintra 2011 CINTRA, A. G. d. C. O cavalo: características, manejo e alimentação. *São Paulo: Roca*, 2011.
- Colles 1989 COLLES, C. A technique for assessing hoof function in the horse. *Equine veterinary journal*, Wiley Online Library, v. 21, n. 1, p. 17–22, 1989.
- Debian DEBIAN, R. Manual do usuário pós-instalação muito compreensível–rede: <http://www.debian.org/doc/manuals/debian-reference/>–pacote: debian-reference-pt-br–arquivo: file. *usr/share/doc/Debian/reference.*
- Denoix 1994 DENOIX, J.-M. Functional anatomy of tendons and ligaments in the distal limbs (manus and pes). *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, v. 10, n. 2, p. 273, 1994.
- Doughty, Cameron e Garner 1996 DOUGHTY, K.; CAMERON, K.; GARNER, P. Three generations of telecare of the elderly. *Journal of Telemedicine and Telecare*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 2, n. 2, p. 71–80, 1996.
- Floyd e Mansmann 2007 FLOYD, A.; MANSMANN, R. *Equine Podiatry-E-Book.* [S.l.]: Elsevier Health Sciences, 2007.

- GNU 2004 GNU, G. P. L. Disponível em:< <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>>. Acesso em Março 2017, v. 8, 2004.
- Hickman 1977 HICKMAN, J. *Farriery: a complete illustrated guide*. [S.l.]: Allen, 1977.
- Javed 2016 JAVED, A. *Building Arduino Projects for the Internet of Things: Experiments with Real-World Applications*. [S.l.]: Apress, 2016. ISBN 978-1-484219-39-3.
- Kasapi e Gosline 1996 KASAPI, M. A.; GOSLINE, J. M. Strain-rate-dependent mechanical properties of the equine hoof wall. *Journal of experimental biology*, The Company of Biologists Ltd, v. 199, n. 5, p. 1133–1146, 1996.
- Leach e Zoerb 1983 LEACH, D.; ZOERB, G. Mechanical properties of equine hoof wall tissue. *American journal of veterinary research*, v. 44, n. 11, p. 2190–2194, 1983.
- Lindström 2007 LINDSTRÖM, J. Security challenges for wearable computing-a case study. In: VDE. *Applied Wearable Computing (IFAWC), 2007 4th International Forum on*. [S.l.], 2007. p. 1–8.
- Matthew 1992 MATTHEW, W. D. The evolution of the horse,. *Horse Breeding and Management*, p. 1–37, 1992.
- McRoberts 2011 MCROBERTS, M. *Arduino básico*. São Paulo: Novatec, 2011.
- Microsoft 2016 MICROSOFT. Visual code studio - disponível em:< <https://atom.io/docs>>. Acesso realizado em: Mar, 2016.
- Moyer e Carter 2007 MOYER, W.; CARTER, G. Diagnostic evaluation of equine foot. *FLOYD, AE; MANSMANN, RA Equine podiatry*. Saint Louis: Saunders, p. 112–127, 2007.
- Noble 2009 NOBLE, J. *Programming Interactivity: A Designer's Guide to Processing, Arduino, and Openframeworks*. 1. ed. [S.l.]: O'Reilly Media, 2009. ISBN 0596154143,9780596154141.
- O'Grady e Poupard 2003 O'GRADY, S. E.; POUPARD, D. A. Proper physiologic horseshoeing. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, Elsevier, v. 19, n. 2, p. 333–351, 2003.
- Olsen 2003 OLSEN, S. L. The exploitation of horses at botai, kazakhstan. *Prehistoric steppe adaptation and the horse*, p. 83–104, 2003.
- Park e Jayaraman 2013 PARK, S.; JAYARAMAN, S. Enhancing the quality of life through wearable technology. *IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY MAGAZINE*, p. 41–48, MAY/JUN 2013.
- Parks 2003 PARKS, A. Form and function of the equine digit. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, Elsevier, v. 19, n. 2, p. 285–307, 2003.
- Pollitt 1998 POLLITT, C. The anatomy and physiology of the hoof wall. *Equine Veterinary Education*, Wiley Online Library, v. 10, n. 6, p. 318–325, 1998.
- Python PYTHON. *Python Software Foundation*. Acessado em 09-2016. Disponível em: <<https://www.python.org/doc/>>.



- Roepstorff, Johnston e Drevemo 2001 ROEPSTORFF, L.; JOHNSTON, C.; DREVEMO, S. In vivo and in vitro heel expansion in relation to shoeing and frog pressure. *Equine Veterinary Journal*, Wiley Online Library, v. 33, n. S33, p. 54–57, 2001.
- Rowland 2015 ROWLAND, J. The future of wearable healthcare in the veterinary profession. *Veterinary Record*, p. 513–514, November 2015.
- Souza 2013 SOUZA, F. *Arduino - Entradas Analógicas*. 2013. <https://www.embarcados.com.br/arduino-entradas-analogicas/>. Acessado 10-01-2017.
- Souza 2016 SOUZA, F. Arduino - primeiros passos - disponível em:< <https://www.embarcados.com.br/arduino/> >. 2016.
- Spectra-Symbol SPECTRA-SYMBOL. *DataSheet - Flex Sensor Special Edition Lenght*. [S.l.]. REV 2.
- Texas-Instruments TEXAS-INSTRUMENTS. *DataSheet - LM324 Quadruple Operacional Amplifiers*. [S.l.].
- Thewissen 1990 THEWISSEN, J. G. Evolution of paleocene and eocene phenacodontidae (mammalia, condylarthra). Museum of Paleontology, the University of Michigan, 1990.
- Thomason, Biewener e Bertram 1992 THOMASON, J.; BIEWENER, A.; BERTRAM, J. Surface strain on the equine hoof wall in vivo: implications for the material design and functional morphology of the wall. *Journal of Experimental Biology*, The Company of Biologists Ltd, v. 166, n. 1, p. 145–168, 1992.
- Turner e Stork 1989 TURNER, T.; STORK, C. Hoof abnormalities and their relation to lameness. In: *Proceedings of the annual convention of the American Association of Equine Practitioners (USA)*. [S.l.: s.n.], 1989.
- Weishaupt et al. 2010 WEISHAUPT, M. et al. Velocity-dependent changes of time, force and spatial parameters in warmblood horses walking and trotting on a treadmill. *Equine Veterinary Journal*, Wiley Online Library, v. 42, n. s38, p. 530–537, 2010.