

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JULIO VITOR BASSO ROCKENBACH

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO
INGESTIVO DE RUMINANTES A PARTIR DE UM CONJUNTO DE SENSORES**

PATO BRANCO

2022

JULIO VITOR BASSO ROCKENBACH

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO
INGESTIVO DE RUMINANTES A PARTIR DE UM CONJUNTO DE SENSORES**

**Cattle ingestive behaviour evaluation system development based on multiple
sensors**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Fábio Luiz Bertotti.

PATO BRANCO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JULIO VITOR BASSO ROCKENBACH

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO
INGESTIVO DE RUMINANTES A PARTIR DE UM CONJUNTO DE SENSORES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 29/novembro/2022

Kleiton de Moraes Sousa
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Gustavo Weber Denardin
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Gustavo Gomes Kuhn
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

PATO BRANCO

2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, me acompanharam durante a trajetória acadêmica, me auxiliando nos momentos difíceis e vibrando com minhas conquistas. Em especial aos meus amigos Thales Noal e Henrique Kurta, e à minha namorada Neriani Duarte, que me acompanham desde o início da formação.

Agradeço à minha família, que sempre me incentivou e apoiou minhas decisões.

Agradeço ao meu professor orientador, Dr. Fábio Luiz Bertotti, pelo auxílio e tempo disponibilizado para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná em conjunto ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e ao meu orientador no programa de iniciação científica, Dr. André Luís Finkler da Silveira, por terem sido a porta de entrada para este projeto e pela possibilidade de realização dos testes em campo do sistema desenvolvido.

A verdadeira sabedoria é reconhecer o valor da
própria ignorância
(Lee Sin)

RESUMO

O uso de tecnologias e boas práticas na criação de bovinos tem gerado aumentos significativos na produtividade da pecuária brasileira. Compreender o comportamento ingestivo desses animais fornece ao produtor indicativos sobre a saúde e relação com o meio no qual está inserido, podendo ser utilizados de modo a melhorar a produtividade e longevidade do animal. Nos últimos anos, pesquisadores vem utilizando de métodos automáticos de identificação do comportamento ingestivo de bovinos, de modo a descrever os períodos de alimentação, ócio e ruminação realizados pelo animal em campo. Contudo, a maioria dos trabalhos presentes demonstram dificuldade na identificação de períodos ruminatórios, ocasionado pela limitação dos métodos de aquisição utilizados. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de aquisição portátil baseado na aquisição de sinais inerciais e de pressão, de modo a superar a dificuldade apresentada nos demais trabalhos na identificação de atividades de ruminação. Para isso, foi proposta a utilização de um conjunto de sensores, envolvendo dois acelerômetros e um sensor de pressão. O sistema desenvolvido também conta com um microcontrolador, responsável pela inicialização dos sensores, leitura e organização dos sinais adquiridos e uma bateria para alimentação do conjunto, garantindo a portabilidade do arranjo. O sistema foi acomodado em uma caixa de montagem e acoplado em um cabresto, possibilitando testes em animais confinados. Primeiramente foram executados testes em bancada, de modo a avaliar o funcionamento do sistema de aquisição e, na sequência, foram desenvolvidos testes em animais isolados, fornecendo dados que foram posteriormente analisados de maneira gráfica, a partir desses dados foi possível diferenciar os movimentos mastigatórios desenvolvidos pelo animal com a cabeça abaixada e levantada, indicando a capacidade na identificação de períodos ruminatórios utilizando o conjunto desenvolvido.

Palavras-chave: produtividade; comportamento ingestivo; ruminação; sensores.

ABSTRACT

The usage of technology and good practices in cattle breeding has led to a significant increase in Brazilian livestock productivity. Understanding these animals' ingestive behaviours grants the producer health and well-being indicators, which can be used in order to increase the cattle productivity and longevity. In the latest years, many researchers have been using automatic identification methods to analyze the cattle ingestive behaviour, in order to describe grazing, rumination and idle periods. However, most of these works show difficulty on the rumination periods identification, caused by the acquisition method's limitations. This work proposes the development of an acquisition system based on an approach using two different types of sensor, inertial and pressure, in order to overcome the other works' limitations in rumination periods identification. Thereunto, an inertial and pressure sensor based system was designed. The system is also equipped with a microcontroller, responsible for the sensors' command, data recording and handling, an external battery was used to feed the circuit, granting the set's portability. The system was placed inside in a plastic project box and attached to an halter, which made possible to implement tests in confined animals. Firstly, bench tests were performed, in order to evaluate the acquisition system's operational behaviour, later it was possible to test the circuit in isolated animals, providing data that was later analyzed graphically, which made possible to differ periods when the animal was chewing with its head pointing upwards and downwards, indicating the system's capability on identifying rumination periods.

Keywords: productivity; ingestive behaviour; rumination; sensors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Orientação dos eixos axiais MPU-6050™	23
Figura 2 – Dispositivo MEMS	24
Figura 3 – Demonstração de movimentação de massa de prova	24
Figura 4 – Posicionamento do sensor	26
Figura 5 – Posicionamento dos sensores inerciais.	27
Figura 6 – Fluxograma de funcionamento do sistema de aquisição.	29
Figura 7 – Microcontrolador STM32L432KC	31
Figura 8– Sensor inercial MPU-6050™	33
Figura 9 – Protocolo de comunicação MPU-6050™	34
Figura 10 – Transdutor de pressão MPS20N0040D-S	35
Figura 11 – Circuito interno do transdutor de pressão	35
Figura 12 – Módulo HX711	36
Figura 13 – Módulo de cartão de memória	37
Figura 14 – Bateria para alimentação do sistema	38
Figura 15 – módulo de carga	39
Figura 16 - Caixa plástica para montagem de circuitos	39
Figura 17 – Faixa de nylon	40
Figura 18 – Botão para acionamento do sistema	40
Figura 19 – LEDs verde e vermelho	40
Figura 20 - Protoboard utilizada para conexão do conjunto	41
Figura 21 – Posicionamento dos acelerômetros	45
Figura 22 – Máquina de estados	47
Figura 23 – LEDs e botão	49
Figura 24 – Sensor de pressão e saída de cabos acelerômetro	50
Figura 25 – Saída dos cabos de alimentação	50
Figura 26 – Vista interna do circuito	51
Figura 27 – Sistema posicionado para testes - face A	52
Figura 28 - Sistema posicionado para testes - face B	52
Figura 29 – Sinal do sensor de pressão – Testes em bancada	53
Figura 30 – Aceleração no eixo ‘X’ – Testes em bancada	55
Figura 31 - Aceleração no eixo ‘Y’ – Testes em bancada	55
Figura 32 - Aceleração no eixo ‘Z’ – Testes em bancada	56
Figura 33 – Sistema desenvolvido instalado no animal	57
Figura 34 – Acelerômetro 1 x Sensor de pressão	58
Figura 35 – Acelerômetro 1 Eixo “Y” x Sensor de pressão	59
Figura 36 – Acelerômetro 2 x Sensor de pressão	60
Figura 37 – Animal mastigando com a cabeça abaixada – Acelerômetro 2 x pressão	61
Figura 38 – Orientação da cabeça	62

Figura 39 – Movimentos bruscos	63
--------------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Estrutura da Monografia	16
2	REVISÃO DOS MÉTODOS	17
2.1	Métodos Diretos	17
2.2	Métodos Indiretos	18
2.2.1	Análise Visual.....	18
2.2.2	Fístula Esofágica	18
2.3	Métodos Eletrônicos	19
2.3.1	Sensores Acústicos	19
2.3.2	Eletromiografia	20
2.3.3	Sensores de Pressão e Deformação.....	21
2.3.4	Sensores Inerciais	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	Introdução	29
3.2	Materiais	30
3.2.1	Placa com Microcontrolador	30
3.2.2	Sensores Inerciais	32
3.2.3	Transdutor de Pressão	34
3.2.4	Instrumentação para transdutor de pressão.....	36
3.2.5	Módulo de Cartão SD	37
3.2.6	Bateria e Módulo de Carga.....	38
3.2.7	Caixa de montagem e periféricos	39
3.2.8	Custos de desenvolvimento	41
3.3	Métodos	42
3.3.1	Leitura dos Sinais de Pressão	42
3.3.2	Leitura do sensor MPU-6050™	44
3.3.3	Armazenamento em Cartão SD.....	45
3.3.4	Rotina para Aquisição de Dados	46
3.3.5	Implementação do sistema.....	49
4	RESULTADOS	53

4.1	Testes com Sensor de Pressão.....	53
4.2	Testes com Acelerômetro.....	54
4.3	Testes em Campo.....	57
4.4	Análise dos Sinais Obtidos	60
5	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira representa uma grande parcela do mercado nacional. No ano de 2020, de acordo com a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC), esse setor movimentou R\$747,05 bilhões de reais, representando 10% do produto interno bruto (PIB) total do país. O Brasil também conta com o maior rebanho de gado do mundo, apresentando, no ano de 2020, 217 milhões de cabeças de gado e ocupando a posição de maior exportador de carnes bovinas do mundo, com 2,2 milhões de toneladas exportadas, representando 14,4% do mercado internacional (ABIEC, 2021).

Segundo Carvalho (2021), o mercado pecuário, no primeiro semestre de 2021, foi diretamente influenciado pela oferta enxuta de animais prontos para o abate, retenção de fêmeas (destinadas à produção) e a demanda chinesa pela carne bovina. As principais causas da baixa oferta de animais para corte foram devido ao ciclo pecuário e à escassez de chuvas nos principais estados produtores do país (EMBRAPA, 2021).

Ainda, segundo ABIEC (2021), nota-se que é de suma importância que sejam realizados investimentos em tecnologia na pecuária nacional, tendo em vista que entre 1990 e 2020, a pecuária brasileira apresentou um aumento de 122% em sua produção, e um aumento de 159% em sua produtividade, apresentando em 2020, uma produção de 4,2 arrobas por hectare por ano, resultados esses que só foram possíveis devido aos investimentos feitos ao longo dos anos em tecnologia e técnicas de manejo.

Contudo, os níveis de produção atuais podem não ser suficientes para suprir a demanda de exportação de carne bovina. De acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), projeções realizadas para os próximos anos apontam um aumento de 73,34% na demanda de exportação de carne bovina até 2030, com base nos valores registrados em 2020, resultando em uma demanda de 3,495 milhões de toneladas.

Com base nisso, afirma-se a importância do uso de tecnologias e boas práticas na criação de gado, visando uma melhoria na produtividade da mesma, a fim de atender a demanda de exportação esperada para os próximos anos (EMBRAPA, 2021).

Segundo Tullo *et al.* (2019), a pecuária de precisão, do inglês “Precision Livestock Farming” (PLF), tem como base o estudo e classificação do comportamento animal, bem como sua interação com o meio no qual está inserido, a fim de realizar a modelagem, monitoramento e controle das respostas dos animais em campo, fornecendo dados para o produtor, o qual pode adotar diferentes técnicas de manejo a fim de melhorar a saúde e bem estar animal.

A utilização de tecnologias e inteligência computacional no estudo do comportamento ingestivo traz diversas informações sobre o animal e sua relação com o meio ambiente, proporcionando ferramentas de diagnóstico e monitoramento, possibilitando até a prevenção de doenças (MARCHESINI *et al.*, 2018). A partir do uso de câmeras, microfones, sensores e ferramentas de comunicação sem fio, é possível realizar o monitoramento fisiológico e comportamental do animal em campo de forma automática (BERCKMANS, 2014).

O comportamento ingestivo, além de descrever o início e término de refeições (ZANINE *et al.*, 2006), fornece, ao produtor, dados que podem ser utilizados de modo a melhorar a produtividade na criação, além de garantir saúde e longevidade ao animal (FISCHER *et al.*, 2002).

A fim de obter informações e monitorar o comportamento ingestivo, pesquisadores têm se baseado em diferentes métodos de aquisição, desde métodos visuais, que se baseiam unicamente de esforço humano, até métodos eletrônicos, a partir da utilização de sensores como acelerômetros, sensores de pressão, eletromiografia de superfície, sensores acústicos e sistemas de posicionamento global (GPS), os quais serão melhores explorados no capítulo seguinte deste trabalho.

Para obter dados sobre o comportamento ingestivo de bovinos, Andriamandroso *et al.* (2017) propôs a utilização de um aparelho celular como unidade sensora, contendo um acelerômetro, giroscópio, magnetômetro e GPS. A unidade sensora foi posicionada na região da nuca de um bovino, registrando seus movimentos a fim de distinguir atividades de pastejo, ruminação e outros (animal em pé, andando sem se alimentar, descansando, bebendo ou em contato com outros animais). De acordo com os pesquisadores, a ação de pastejo pode ser descrita quando o animal está com a cabeça abaixada e há movimento intensivo na mandíbula, enquanto a ação de ruminação ocorre quando o animal está com a cabeça elevada e com movimento moderado na mandíbula. Contudo, apesar da alta confiabilidade dos resultados obtidos (>90%), as atividades de ruminação obtiveram uma sensibilidade

de 53,1%, ou seja, a utilização exclusiva de sensores inerciais não é capaz de descrever por completo o comportamento ingestivo de bovinos (ANDRIAMANDROSO *et al.*, 2016).

Na busca de melhores resultados na detecção da atividade de ruminação, uma vez que a utilização de sensores inerciais não é o suficiente quando aplicada isoladamente, pode-se realizar uma abordagem a partir de um conjunto de sensores, a fim de descrever com melhor precisão as atividades desenvolvidas pelo animal.

Sabendo disso, este trabalho tem como propósito o desenvolvimento de um dispositivo de aquisição de sinais referentes às atividades de mastigação, ruminação e ócio de bovinos, propondo a utilização do sensor de pressão em conjunto a dois sensores inerciais, possibilitando produzir um dispositivo único, de baixo custo, para avaliação do comportamento ingestivo de ruminantes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e implementação de um sistema para avaliação do comportamento ingestivo de bovinos baseado em sensores inerciais e de pressão.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para o desenvolvimento do sistema de aquisição, será necessário realizar diferentes procedimentos até o resultado final, são eles:

- Configuração do circuito de instrumentação do módulo do sensor de pressão e implementação no microcontrolador;
- Aquisição de sinais provenientes da instrumentação do sensor de pressão a partir de testes em bancada;
- Desenvolvimento de biblioteca para leitura das informações provenientes dos sensores inerciais, bem como a calibração dos mesmos;
- Configuração da interface serial para cartão de memória e implementação de middleware para leitura e gravação de dados em cartão de memória;
- Integração dos circuitos, sensores e cartão de memória ao microcontrolador;
- Implementação de rotina para organização de dados;

- Acoplar o sistema desenvolvido em uma caixa de montagem;
- Desenvolver cabresto para acoplamento do sistema e testes em animais;
- Realização de testes em bancada a fim de validar o sistema;
- Realização de testes em campo.

1.2 Estrutura da Monografia

Este trabalho é dividido em cinco tópicos principais, o primeiro deles “Revisão dos Métodos” trata da evolução de sistemas de aquisição do comportamento ingestivo em animais, exemplificando, de maneira isolada, diferentes métodos para aquisição de sinais, bem como suas vantagens e desvantagens. Na sequência, a seção de “Materiais e Métodos” traz informações sobre os componentes utilizados no desenvolvimento do sistema de aquisição deste projeto, ilustrando cada um dos componentes e suas especialidades.

O terceiro tópico, “Desenvolvimento”, refere-se às etapas seguidas pelo autor durante a implementação do projeto. Neste tópico constam os meios utilizados para o desenvolvimento de cada unidade sensora, a implementação do sistema de armazenamento em cartão de memória e a rotina de aquisição utilizada para registro e organização dos dados coletados. Também é descrito o funcionamento do sistema e dos periféricos utilizados.

A seção de “Resultados” apresenta a versão final do sistema de aquisição, pronto para testes. Primeiramente, são realizados testes em bancada para verificar o funcionamento da unidade sensora e, na sequência, o circuito é acomodado em uma caixa de montagem e acoplado em um cabresto, possibilitando testes em animais isolados. Os resultados dos testes em bancada e em animais são ilustrados nessa seção.

No último tópico, “Conclusão”, são realizadas as considerações finais do trabalho, esclarecendo as motivações da utilização de diferentes sensores na análise do comportamento ingestivo e reforçando os resultados obtidos. Neste tópico também são feitas considerações sobre a influência deste projeto no cenário de pecuária de precisão.

2 REVISÃO DOS MÉTODOS

A análise do comportamento ingestivo fornece informações sobre a nutrição, saúde e bem-estar do animal em pastejo. Para obter tais informações é necessário monitorar as atividades desenvolvidas pelo animal, como períodos de alimentação, ócio e ruminação, o que possibilita, por exemplo, estimar o consumo de matéria seca. Sabendo disso, são necessários métodos de aquisição de dados a fim de descrever o comportamento realizado pelo animal (GIVENS *et al.*, 2000).

Os métodos utilizados por pesquisadores a fim de descrever as atividades de alimentação de ruminantes podem ser divididos em 3 grupos principais, sendo eles: métodos diretos, métodos indiretos e métodos indiretos automáticos (métodos eletrônicos) (CAMPOS, 2016).

Os métodos diretos se referem majoritariamente à estimativa do consumo de matéria seca pelo animal, que é obtida por meio da pesagem do animal antes e depois de refeições, bem como a pesagem do alimento ofertado no início e no término de refeições. Os métodos indiretos, por sua vez, utilizam variáveis que influenciam indiretamente a nutrição do animal. O registro de dados pode ser feito através da análise visual, a partir da contagem de bocados e duração de refeições, ou ainda avaliado a partir do material fecal produzido pelo animal. Por fim, os métodos eletrônicos são baseados na utilização de sensores a fim de descrever os movimentos realizados pelo animal, possibilitando uma análise não invasiva e sem a influência humana no registro de dados. Cada um dos tipos de métodos é detalhado na sequência.

2.1 Métodos Diretos

A fim de obter uma estimativa da quantidade de matéria seca ingerida pelo animal, são realizadas pesagens no animal em estudos no início e no término de refeições, sendo que a variação de peso do animal indica diretamente o consumo (MONTEIRO, 2007). Este tipo de avaliação apresenta um erro relativo à duração das refeições, uma vez que o animal pode ingerir líquidos, defecar ou urinar durante esse período, fazendo com que a variação de peso não esteja diretamente ligada ao consumo de matéria seca (BERCHIELLI *et al.*, 2006).

O outro método de avaliação direta do consumo de matéria seca envolve a análise da variação da massa da forragem ofertada ao animal, desde o início até o fim da refeição, para animais isolados e em ambiente monitorado. A utilização desse método é simplificada, porém ao analisar diversos animais em pastejo livre, torna-se difícil estimar a variação de massa de forragem, sendo necessário realizar aproximações de acordo com a variação de altura do pasto em determinada área, bem como desconsiderar a ocorrência de pisoteamento no pasto (KENNEDY *et al.*, 2008).

2.2 Métodos Indiretos

2.2.1 Análise Visual

O método visual baseia-se no registro contínuo das atividades realizadas pelo animal, por meio de observadores treinados, avaliando o animal diretamente em campo ou de forma remota, por meio de gravações em vídeo. É um método de alta confiabilidade com relação ao comportamento ingestivo desenvolvido pelo animal quando executado de forma correta (MEZZALIRA *et al.*, 2009). No entanto, pelo fato de depender de esforços humanos, é um método que pode apresentar dados incorretos por erro dos observadores, ocasionando em divergências entre os registros e os movimentos realizados pelo animal (FISCHER, 1996). Além disso, o método visual apresenta diversas limitações em sua implementação, os observadores necessitam permanecer durante longas jornadas observando o animal, podendo ocorrer distrações e resultando em registros indevidos. Outra limitação é com relação ao campo de visão dos observadores, que precisam ter uma visão clara do animal, inviabilizando o monitoramento em períodos noturnos, além de não causar perturbações na atividade do animal. Por fim, é restringido a um número reduzido de animais, dependendo do número de observadores (AMBRIZ-VILCHIS *et al.*, 2015).

2.2.2 Fístula Esofágica

Utilizada a fim de analisar a composição do pasto, a fístula esofágica é inserida, por meio de um procedimento cirúrgico, no esôfago do animal, realizando a coleta do material ingerido, possibilitando descrever a composição química da forragem, apresentando dados sobre a quantidade de fibras e nutrientes que estão sendo ingeridos pelo animal. É um método altamente invasivo, uma vez que é

necessário um procedimento cirúrgico para que seja possível sua implementação. Além disso, não é capaz de descrever a quantidade de alimento ingerido pelo animal (BARRETO, 2007).

2.3 Métodos Eletrônicos

É fato que a avaliação visual oferece ótimos resultados com relação ao comportamento ingestivo dos animais, mas apresenta uma execução com grandes dificuldades. Para contornar esse problema, foram elaborados métodos eletrônicos, baseados na utilização de sensores a fim de realizar a aquisição de sinais de sensores de forma automática e com o mínimo de esforço humano, eliminando o processo laborioso do método visual. Os principais métodos eletrônicos utilizados são descritos a seguir.

2.3.1 Sensores Acústicos

O método que aplica sensores acústicos é baseado na utilização de dispositivos de captura de áudio, geralmente microfones de contato, posicionados próximos a boca do animal, com intuito de captar sons oriundos de movimentos mandibulares desenvolvidos pelo animal em estudo (CLAPHAM *et al.*, 2011). Segundo Milone *et al.* (2012), a gravação sonora dos movimentos realizados pelo animal não interfere no seu comportamento em pastejo, além de apresentar informações sobre a duração das atividades de alimentação, a distinção dos movimentos de mastigação e apreensão e uma estimativa do consumo de matéria desenvolvida pelo animal. É um método de baixo custo, não invasivo, que apresenta alta correspondência quando comparado ao método visual para atividades de mastigação e apreensão de alimento. Além disso, possibilita estimar a eficiência do pastejo e consumo de matéria seca (CHELOTTI *et al.*, 2014).

Segundo Alves *et al.* (2017), apesar da alta confiabilidade, o método acústico não apresentou grandes avanços nos últimos anos. Isso se deve a diversas limitações apresentadas, dentre elas a dificuldade na avaliação automática das formas de onda, o alto custo dos gravadores de melhor qualidade, a limitação de memória, impossibilitando o uso do método durante longas jornadas, e interferências sonoras oriundas do ambiente ou de outros animais (FONSECA, 2014).

2.3.2 Eletromiografia

A Eletromiografia (EMG) é o estudo dos potenciais de ação resultantes das contrações apresentadas pelas fibras musculares ao desempenharem algum movimento. A musculatura pode ser considerada como um conjunto de unidades motoras que, a fim de realizar movimentos, geram potenciais de ação nas fibras musculares do músculo a ser contraído, resultando em sinais elétricos que podem ser obtidos por meio de eletrodos (WILLIAMS, 2018). Segundo Campos (2016), uma fibra muscular ativa tem capacidade de emitir sinais com duração entre 3 a 15 ms e amplitude de 20 a 2000 μV , dependendo do tamanho da fibra.

O método de aquisição de sinais de EMG varia de acordo com o músculo a ser analisado. Para o registro de sinais em músculos profundos, são utilizados eletrodos do tipo agulha, os quais são posicionados sobre as fibras musculares, diretamente no interior do corpo a ser estudado e posicionados sobre as fibras do músculo em questão. Este tipo de eletrodo é geralmente utilizado para diagnosticar miopatias e dores musculares específicas (WIJNBERG; FRANSSEN, 2016).

Outra maneira de realizar a aquisição é por meio de eletrodos de superfície, posicionados sobre a pele e diretamente acima do músculo em questão. Para este tipo de análise geralmente são utilizados eletrodos de prata ou Cloreto de prata, uma vez que apresentam rápida aplicação e são descartáveis, anulando problemas de higienização. Os sinais de Eletromiografia de Superfície (sEMG) não são capazes de representar sinais de fibras únicas, como é o caso do eletrodo de agulha (ZSOLDOS *et al.*, 2010). Por conta disso, é preferível a análise de grupos musculares de grande volume, os quais apresentam um conjunto de potenciais de ação, devido ao grande número de fibras concentradas, resultando em um sinal uniformemente distribuído ao longo da musculatura (LUCA *et al.*, 2010).

A Eletromiografia de Superfície é largamente utilizada no estudo do comportamento animal, tanto no estudo de patologias (LICKA *et al.*, 2009), quanto no estudo do comportamento ingestivo (GOMES, 2019). Para análise do comportamento ingestivo em ruminantes, o músculo a ser analisado geralmente é o masseter, uma vez que apresenta uma grande área superficial, além de ser um dos principais responsáveis pelo ato de mastigação (BUCHEL; SUNDRUM, 2014).

A aquisição de sinais de sEMG é uma técnica não invasiva que possibilita o monitoramento remoto dos animais em pastejo, além de não causar distúrbios no

comportamento do animal, em oposição à aquisição a partir de eletrodos de agulha, os quais necessitam que o sujeito em análise permaneça estático, além da possibilidade de realizar mudanças no local de aplicação do eletrodo e não permitem a aquisição para grupos musculares de grande volume (HUG, 2011). A principal dificuldade com relação ao método de sinais de eletromiografia de superfície está no custo elevado e complexidade do sistema de aquisição e processamento de sinais. O método requer um sistema de condicionamento de sinais robusto, uma vez que os registros de contração muscular obtidos são altamente sensíveis e susceptíveis a ruídos (CAMPOS *et al.*, 2018).

2.3.3 Sensores de Pressão e Deformação

Considerado como pioneiro na utilização de um sensor de pressão para avaliar o comportamento ingestivo de bovinos, Penning (1983) propôs a utilização de um tubo de silicone preenchido com grânulos de carbono, com eletrodos em ambas as extremidades, posicionado na focinheira do animal. Ao realizar movimentos mastigatórios, o tubo de silicone era deformado e, com isso, a resistência elétrica do interior do tubo variava, conseqüentemente, variando também a tensão de maneira proporcional à deformação do tubo, que era captada pelos eletrodos. O dispositivo era capaz de realizar registros contínuos por 24 horas, que eram armazenados em fita cassete, possibilitando a análise automática dos dados registrados pelo sensor, por meio de um conversor analógico digital conectado à um microprocessador do modelo Midas 3, configurado em linguagem *Assembly* 8080, responsável por diferenciar movimentos de preensão, mastigação e ruminação, além de realizar a contagem do número de bocados.

Uma das principais limitações do dispositivo desenvolvido por Penning (1983) estava no armazenamento de dados em fita cassete, ocasionando uma diminuição na confiabilidade do sinal. Rutter (1997), por sua vez, utilizando-se do transdutor apresentado por Penning (1983), constituído de um tubo de silicone preenchido com grânulos de carbono, propôs a implementação de um cartão de memória RAM (*Random Access Memory*), como forma de armazenamento de dados. O sistema desenvolvido tinha capacidade de armazenamento de 2 Mbits, podendo registrar continuamente por um período de 25,5 horas.

Posteriormente, Rutter (2000) desenvolveu o *Graze*, que é um *software* de análise automática dos movimentos mandibulares registrados pelo dispositivo desenvolvido anteriormente pelo autor. Esse programa apresentava um gráfico da amplitude do movimento mandibular *versus* tempo. Além disso, a partir de critérios de amplitude e frequência determinados pelo usuário, o programa era capaz de identificar os movimentos realizados pelo animal.

Inovações e melhorias com relação aos trabalhos de Rutter (2000) foram surgindo ao decorrer dos anos, com a evolução da microeletrônica, aprimorando parâmetros de registro e armazenamento de dados. Nydegger *et al.* (2010) propôs o desenvolvimento do sistema *Agroscope Reckenholz-Tänikon* (ART), que era baseado na utilização de um tubo de silicone completamente vedado e preenchido por óleo, fixado na focinheira do animal. O princípio de registro de dados é o mesmo apresentado em Rutter (2000) e Penning (1984), em que movimentos mandibulares ocasionam uma deformação no tubo, variando a pressão interna, que era lida por um sensor de pressão, conectado a um *data logger*, responsável por realizar a aquisição do sinal a uma taxa de 10 Hz, com capacidade de armazenamento de 40 horas contínuas de registro.

Na sequência, em 2012, surge o dispositivo *Rumiwatch*, similar ao ART, que realizava a aquisição por meio de um sensor de pressão conectado a um *data logger*, a uma taxa de 10 Hz, com possibilidade de transmissão *wireless* e armazenamento em cartão SD, apresentando armazenamento superior e mais confiável com relação aos trabalhos anteriores (WERNER *et al.*, 2017). O dispositivo apresenta alta confiabilidade quanto à diferenciação e períodos de ruminância e alimentação, por outro lado, demonstra dificuldades na diferenciação de movimentos de bocado e mastigação, tornando-o inviável para estimar o consumo de matéria seca ingerido pelo animal em pastejo (LEIBER *et al.*, 2016). O mesmo problema é observado em Norbu *et al.* (2021), no qual foi realizado um estudo apontando a maior confiabilidade do *Rumiwatch* na contagem de mordidas de apreensão e menor confiabilidade na contagem de mastigação.

Mesmo apresentando limitações, é fato que a análise do comportamento ingestivo com base na utilização de sensores de pressão está sendo aprimorada constantemente, com ênfase de novos pesquisadores na melhoria do dispositivo *Rumiwatch* (RAYNOR *et al.*, 2021).

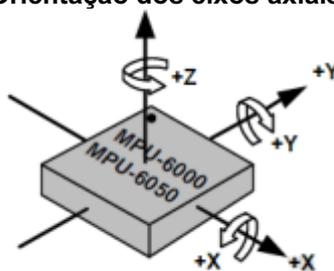
Baioco (2020), em seus estudos, demonstrou a possibilidade do registro de eventos mastigatórios utilizando um transdutor de pressão de modelo MPS20N0040D. Em seu trabalho, propôs o desenvolvimento de um circuito de instrumentação para avaliação dos sinais captados pelo transdutor. Neste trabalho, pretende-se partir de uma abordagem distinta, utilizando um circuito integrado contendo um conversor analógico digital e circuito de instrumentação, facilitando a implementação do sensor de pressão.

2.3.4 Sensores Inerciais

Os acelerômetros são dispositivos eletrônicos responsáveis pela conversão da aceleração aplicada ao dispositivo ou objeto no qual é fixado, originados pelo movimento ou pela própria gravidade, em sinais elétricos. Geralmente possuem tamanho reduzido e a implementação não é invasiva, sendo posicionados sobre a superfície do corpo do sujeito ou objeto em observação, tornando seu uso simples e eficiente (DECANDIA *et al.*, 2018).

Os sinais adquiridos por um módulo inercial tri-axial são formados por 3 sinais independentes, correspondentes aos 3 eixos axiais do sensor. A Figura 1 ilustra os eixos axiais do sensor inercial.

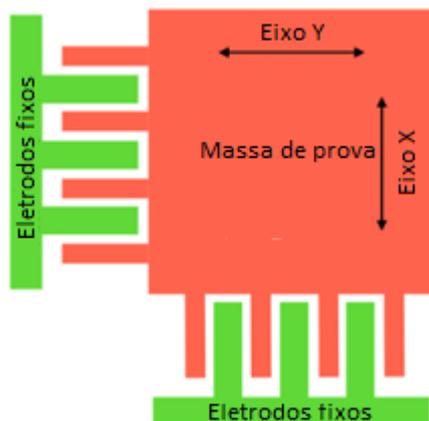
Figura 1 – Orientação dos eixos axiais MPU-6050™



Fonte: Ivensense (2012)

O funcionamento do acelerômetro contido no MPU-6050™, por exemplo, é baseado na tecnologia de Sistema Micro-Eletromecânico (MEMS), que é definida como a miniaturização de componentes e estruturas com intuito de quantificar valores de transdução, realizar a atuação e controle de sinais (JUNIOR, 2005). Neste escopo de projeto, o acelerômetro é um dispositivo sensor MEMS que se baseia na utilização de eletrodos fixos e uma massa de prova móvel, conforme ilustrado na Figura 2.

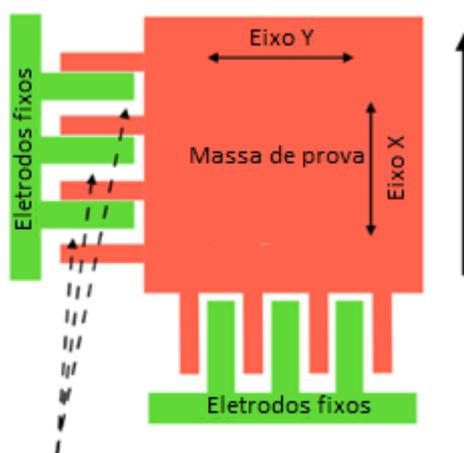
Figura 2 – Dispositivo MEMS



Fonte: Adaptado de White (2020)

Quando o dispositivo está em repouso, a massa de prova se mantém estática, mantendo constante a capacitância entre os eletrodos fixos e os “dentes” do corpo em movimento. Da mesma maneira, quando há movimentação do sensor inercial, a massa de prova se desloca, ocasionando uma variação na capacitância captada pelos eletrodos, gerando uma diferença de potencial, ocasionando no sinal lido pelo acelerômetro. A Figura 3 demonstra a movimentação da massa de prova ocasionada pela movimentação do acelerômetro.

Figura 3 – Demonstração de movimentação de massa de prova



Fonte: Adaptado de White (2020)

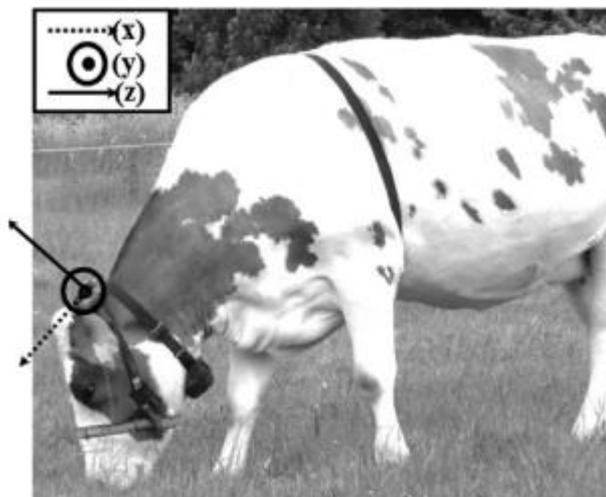
Na medicina moderna, pesquisadores têm utilizado sensores inerciais com intuito de monitorar e classificar os movimentos e a postura de indivíduos de forma remota, a fim de desenvolver um método de supervisão automatizado, geralmente

usando um acelerômetro triaxial posicionado na região do quadril (MATHIE *et al.*, 2004; KARANTONIS *et al.*, 2006). Este tipo de sensor também é utilizado na identificação de claudicação em equinos (RUNGSRI *et al.*, 2014), suínos (CHAPA *et al.*, 2020) e bovinos (RIABOFF *et al.*, 2021). Outro uso recorrente dos acelerômetros na pecuária de precisão é no registro e classificação de movimentos mastigatórios, a fim de descrever períodos de pastejo, ruminação e ócio (ROBERT *et al.*, 2009), bem como a quantidade de matéria seca ingerida (CARPINELLI *et al.*, 2019).

Giovanetti *et al.* (2017), na busca de obter informações sobre as atividades descritas por ovelhas em pastejo, propôs a utilização de um dispositivo de aquisição automática de dados referentes às ações desenvolvidas pelo animal em pastejo, na busca por alimento. O dispositivo proposto era composto por um acelerômetro triaxial de modelo ADXL335, posicionado sobre a parte inferior da região externa da boca do animal, por meio de um cabresto desenvolvido em tecido, conectado a um microcontrolador de 8 bits, alimentados por uma bateria externa de Polímero de Lítio (Li-Po). O dispositivo tinha como finalidade realizar a leitura das acelerações dinâmicas, desenvolvidas pelo animal ao se movimentar, e estáticas, referentes à aceleração gravitacional. O microcontrolador coletava os dados registrados pelo acelerômetro a uma taxa de 62,5 Hz realizando uma filtragem por meio da seleção dos três maiores picos de aceleração por segundo e por eixo, retornando o valor zero caso não tenha ocorrido movimentos evidentes. De acordo com os pesquisadores, o dispositivo apresentou concordância de 93% para as atividades mastigatórias em geral, sendo elas a pastagem, ruminação e ócio.

Em um trabalho semelhante, Andriamandroso *et al.* (2017), utilizou-se de um *smartphone* do modelo iPhone 4S, juntamente com um aplicativo disponibilizado pelo desenvolvedor, capaz de realizar leituras por meio de um sensor de medidas inerciais (IMU) embutido no *hardware* do dispositivo. O IMU contido no iPhone 4S é composto por um acelerômetro triaxial de modelo STMicro STM33DH, um giroscópio triaxial de modelo STMicro AGDI e um compasso eletrônico triaxial, que funciona como um magnetômetro, de modelo AKM 8963. A Figura 4 ilustra o posicionamento do sistema desenvolvido por Andriamandroso *et al.* (2017).

Figura 4 – Posicionamento do sensor



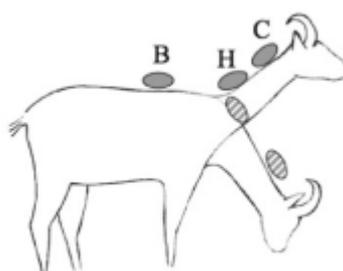
Fonte: Adaptado de Andriamandroso *et al.*, 2017

Já o dispositivo desenvolvido pelos pesquisadores era composto pelo iPhone, posicionado na região da nuca do bovino, registrando dados pelos 3 sensores citados anteriormente, e uma bateria de Li-Po externa, utilizada para ampliar o tempo de registro do dispositivo, possibilitando gravações de 24 horas contínuas. De acordo com os autores, os resultados obtidos foram eficazes na classificação de atividades de pastagem, apresentando sensibilidade de 91,1%, uma vez que é notável a variação dos parâmetros de aceleração e variação angular quando o animal abaixava a cabeça, em busca de alimento. No entanto, nos períodos de ruminação, os movimentos realizados pela cabeça do animal são sutis, não apresentando variação significativa de aceleração, muito menos de variação angular, uma vez que o sensor inercial foi posicionado na nuca do animal, distante da mandíbula, local onde a movimentação é mais evidente durante a ruminação, dificultando a diferenciação de atividades de ruminação e ócio. Por isso, a sensibilidade resultante foi de 53,1% para o registro das atividades de ruminação.

O mesmo problema pode ser observado em Rayas-Amor *et al.* (2017), no qual foi desenvolvido um dispositivo de aquisição de sinais inerciais, constituído de um *data logger* de modelo HOB0 UA-004-64 (ONSET, 2021), que apresenta um acelerômetro triaxial interno. O sensor foi posicionado na região lateral externa da boca do animal e os resultados obtidos foram semelhantes aos apresentados por Andriamandroso *et al.* (2017), inferindo uma alta concordância para atividades de pastagem, na faixa de 94,5 a 96,1%, enquanto que para a ruminação os resultados foram bem inferiores, na faixa de 53 a 75%.

Visando obter resultados com maior confiabilidade, pesquisadores têm proposto o posicionamento dos sensores inerciais em diferentes partes do corpo de animais em estudo. Moreau *et al.* (2009), utilizando-se do mesmo dispositivo presente em Rayas-Amor *et al.* (2017), realizando estudos em ovinos, propôs a aquisição dos dados inerciais a partir de três locais, ilustrados na Figura 5, como pode ser observado, em um primeiro momento, o sensor foi posicionado em um cinto nas costas do animal (B), posteriormente na região do pescoço (H) e, por fim, na região da nuca (C). De acordo com os pesquisadores, a posição menos eficiente para o posicionamento do sensor é a posição B, uma vez que os movimentos realizados pelo animal ao se alimentar se resumem a movimentação vertical da cabeça. Já as posições C e H apresentaram um comportamento semelhante, com maior confiabilidade nos dados adquiridos e apontando como as duas opções mais viáveis entre as propostas.

Figura 5 – Posicionamento dos sensores inerciais.



Fonte: Adaptado de Moreau *et al.* (2009)

Um estudo semelhante é apresentado em Barwick *et al.* (2018), no qual os pesquisadores avaliam os parâmetros inerciais a partir de sensores posicionados em três diferentes posições, na região do pescoço, na orelha e na perna de ovinos. Segundo os pesquisadores, o sensor posicionado na perna do animal é capaz de diferenciar apenas quando o animal está andando ou parado, uma vez que há muita movimentação nesse membro, não sendo útil na análise das atividades mastigatórias descritas pelo animal em pastejo. Já o sensor posicionado na orelha do animal apresentava duas principais dificuldades de implementação, a primeira era a fixação, na qual não havia uma grande área de contato para fixar o dispositivo, sendo necessário o uso semelhante a um brinco, e a segunda dificuldade estava na estabilidade do sensor, uma vez que balançava muito, mesmo quando o animal não apresentava movimentos bruscos, tornando-o inutilizável para descrever o comportamento ingestivo. O sensor posicionado no pescoço, por sua vez, semelhante

aos demais trabalhos descritos anteriormente, apresentava bons resultados quando às atividades de pastejo, repouso e movimentação do animal no campo. Em um posterior trabalho, os pesquisadores realizaram um novo estudo mantendo as posições descritas anteriormente, inferindo novamente a maior eficácia do sensor posicionado no pescoço do animal quanto à descrição das atividades desenvolvidas (BARWICK *et al.*, 2020).

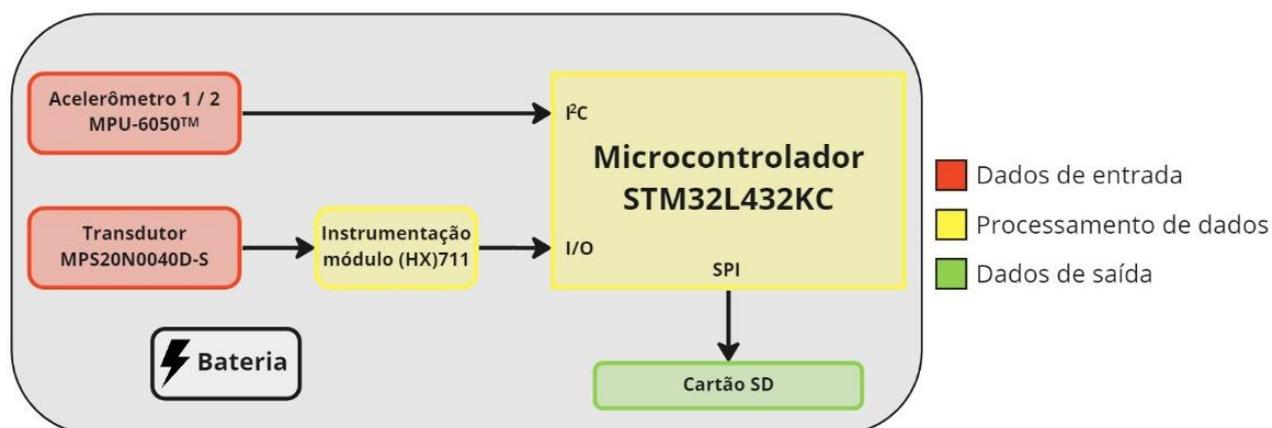
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar a aquisição de dados relacionados ao comportamento ingestivo de ruminantes, será desenvolvido um sistema de aquisição contendo sensores inerciais e um sensor de pressão e deformação, controlado a partir de um microcontrolador e alimentado por uma célula de carga. Além disso, os registros serão armazenados em cartão de memória de segurança digital (SD). Cada segmento do dispositivo é melhor explorado no tópico Materiais.

3.1 Introdução

O sistema desenvolvido tem como intuito registrar os movimentos realizados pela cabeça do animal durante eventos mastigatórios. Para isso, será utilizado um conjunto de sensores, visando a obtenção de sinais que evidenciem a movimentação da cabeça realizada pelo animal, por meio de dois sensores inerciais, o primeiro, posicionado no pescoço, e o segundo, na região inferior à boca do bovino na parte externa, bem como o evidenciamento de bocados, utilizando-se de um transdutor de pressão conectado a um tubo de silicone, posicionado junto ao segundo acelerômetro, próximo a boca do animal. A Figura 6 é um fluxograma que representa o funcionamento do sistema.

Figura 6 – Fluxograma de funcionamento do sistema de aquisição



Fonte: Autoria própria

A informação captada pelo primeiro acelerômetro, utilizada em conjunto com os demais sensores, pode ser utilizada para determinar quando o bovino está mastigando com a cabeça abaixada ou levantada, sendo assim, será possível diferenciar movimentos mastigatórios relacionados à busca de alimento de

movimentos relacionados à ruminção, questão apresentada como a principal dificuldade encontrada pelos pesquisadores.

Com sinal gerado pelo segundo acelerômetro, espera-se captar os movimentos desenvolvidos pelo bovino ao abrir e fechar a boca, porém, devido à alta movimentação nessa parte do corpo e também à baixa amplitude de abertura da boca, é possível que o segundo sensor inercial não seja tão eficaz quanto o primeiro.

Um microcontrolador é utilizado para realizar o acionamento, leitura e organização dos dados registrados pelo conjunto de sensores. A rotina de aquisição de dados se dá pela implementação de uma máquina de estados, que avalia quando cada sensor está apto a transmitir os dados lidos, registrando-os, quando possível, e transmitindo os valores para um arquivo de dados presente no cartão de memória, no qual são armazenados, possibilitando uma análise posterior.

3.2 Materiais

Nesta seção são descritos os componentes utilizados para o desenvolvimento do circuito de aquisição. O sistema foi composto por um microcontrolador, dois acelerômetros, um transdutor de pressão, um módulo de carga, uma bateria externa, um módulo de cartão de memória, um botão e dois diodos emissores de luz (leds). Para realização de testes em animais, o sistema desenvolvido foi acomodado em uma caixa de montagem, além disso, foi necessário o desenvolvimento de um cabresto para acoplagem do sistema e posicionamento dos sensores.

3.2.1 Placa com Microcontrolador

O microcontrolador é responsável por realizar a leitura dos sensores, do sinal oriundo do módulo de instrumentação do transdutor de pressão e o envio de dados ao módulo do cartão SD. Além disso, é o componente que comanda o dispositivo por inteiro, organizando os dados adquiridos pelos sensores e transferindo-os de maneira eficaz para o cartão SD, no qual são armazenados para posterior análise.

O microcontrolador escolhido para o trabalho deve possibilitar a integração do conjunto de sensores, módulo de carga, sistema de armazenamento e periféricos do sistema. O modelo escolhido foi a placa modelo STM32L432KC, ilustrada na Figura 7.

Interface SPI	2
Interface USART	3
Interface LPUART	1
Interface SWPMI	1
Interface infravermelho	1
Rede de controle em área	1

Fonte: STMicroelectronics (2018)

Dentre os periféricos disponíveis no microcontrolador escolhido, serão utilizados os seguintes:

- Uma interface de comunicação do tipo SPI (*Serial Peripheral Interface*) para comunicação de dados com o cartão SD;
- Duas interfaces do tipo I²C (*Inter-Integrated Circuit*) para estabelecer comunicação com os sensores inerciais;
- RTC (*Real Time Clock*): para obter uma etiqueta de tempo para sincronização dos dados;
- Temporizadores: para estabelecer a frequência de leitura dos sensores e gravação de dados no cartão SD;
- Portas de I/O (Input/Output): para comunicação digital serial específica com o módulo de instrumentação do transdutor de pressão, acionamentos de leds para indicar o estado do sistema e leitura de chave para iniciar/parar o processo de aquisição.

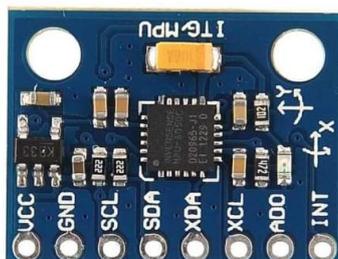
3.2.2 Sensores Inerciais

Como citado anteriormente, sinais de sensores inerciais podem ser utilizados a fim de descrever os movimentos realizados pelo animal em campo (ANDRIAMANDROSO *et al.*, 2017). Neste trabalho, serão utilizados dois acelerômetros. O primeiro será posicionado na região externa à bochecha do animal e será responsável pela determinação da posição da cabeça, uma vez que, com a movimentação vertical da cabeça realizada ao apanhar o alimento, é esperada uma variação significativa dos valores captados pelo sensor, podendo assim, determinar se o animal está com a cabeça abaixada ou levantada.

O módulo escolhido para a aquisição de sinais inerciais, o MPU-6050TM, é formado pela combinação de um giroscópio tri-axial, um acelerômetro tri-axial e um

processador de movimentação digital (DMP) possibilitando assim uma aquisição completa em 9 eixos, também conta com um sensor de temperatura, operando na faixa de -40 a 85 °C (IVENSENSE, 2012). O módulo inercial é controlado pela interface I²C, com frequência máxima de clock de 400 kHz. A placa com o modelo de sensor inercial escolhido é ilustrada na Figura 8.

Figura 8– Sensor inercial MPU-6050™



Fonte: Ivensense (2012)

Neste projeto será abordado apenas o uso dos acelerômetros, uma vez que, deixando de lado o giroscópio, foi possível poupar tempo de processamento por parte do microcontrolador, possibilitando focar nos dados adquiridos pelos acelerômetros e pelo sensor de pressão.

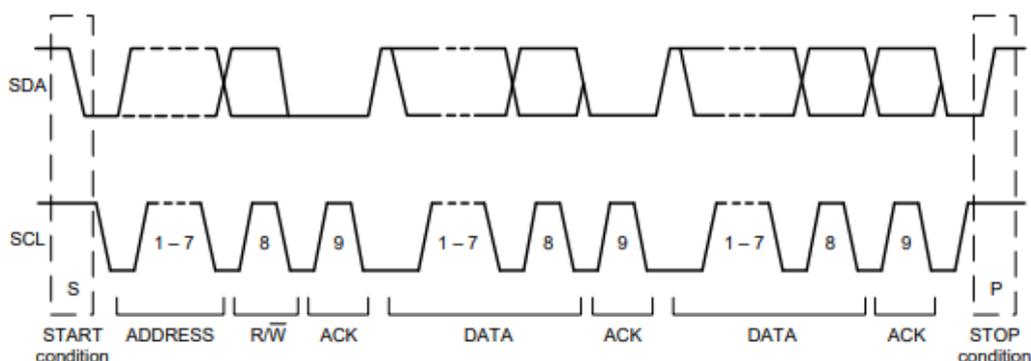
Os valores lidos devido à movimentação da massa de prova são convertidos em um sinal digital, que varia na faixa de 0 a 32750. A sensibilidade do acelerômetro se dá a partir dessa faixa de valores, apresentando valor padrão de 2 g, ou seja, a aceleração da gravidade, em condições normais de temperatura e pressão, que é equivalente à 1 g, seria lida como 16384 (IVENSENSE, 2012).

A comunicação entre sensor inercial e microcontrolador se dá a partir da interface I²C, que é representada pela utilização de um barramento de comunicação serial que utiliza apenas dois fios, o primeiro sendo a saída de dados (SDA) e o segundo um *clock* (SCL). Além destes, o sensor inercial também conta com pinos externos para alimentação (VCC), pino de referência (GND), pinos auxiliares para saída serial de dados e *clock* (XDA e XCL, respectivamente), pino de endereçamento (ADO) e um pino de interrupção (INT). Para esse projeto serão utilizados apenas os pinos SDA e SCL, para comunicação I²C, e os pinos de alimentação.

Na comunicação I²C, são conectados dois, ou mais, dispositivos através dos canais SDA e SCL, um deles sendo o dispositivo “escravo”, neste caso o sensor inercial, e o outro sendo o dispositivo “mestre”, neste caso o microcontrolador. O

protocolo de comunicação do acelerômetro, representado pela Figura 9, é descrito, de maneira simplificada, na sequência.

Figura 9 – Protocolo de comunicação MPU-6050TM



Fonte: Ivensense (2012)

De acordo com a Figura 9, com o sinal de *clock* (SCL) em nível alto, o dispositivo “mestre” atribui uma borda de descida do sinal SDA, indicando que está preparado para transmitir os dados adquiridos. Na sequência, o dispositivo “mestre” envia um sinal de 8 bits, sendo eles, 7 bits de endereçamento e o último bit indicando a leitura ou gravação por parte do “mestre”, e aguarda o sinal de reconhecimento (ACK) que é enviado pelo “escravo”. Depois de captado o sinal ACK, o dispositivo “escravo” transmite 7 bits de dados, seguidos de um oitavo bit de reconhecimento, prosseguindo nessa sequência até o momento em que o “mestre” envia um sinal de parada, mantendo o sinal de *clock* em nível alto e finalizando a transmissão.

3.2.3 Transdutor de Pressão

O transdutor de pressão escolhido foi o modelo MPS20N0040D (E-RADIONICA), um componente utilizado em larga escala, por conta de seu custo e dimensões reduzidas e alta disponibilidade no mercado nacional, e pode ser encontrado em sensores automotivos, bombas de ar pressurizado, monitores de pressão sanguínea e freios a ar. O modelo opera a uma tensão de 5 V, apresenta faixa de medição de 0 a 40 kPa e saída analógica. O transdutor de pressão é ilustrado na Figura 10.

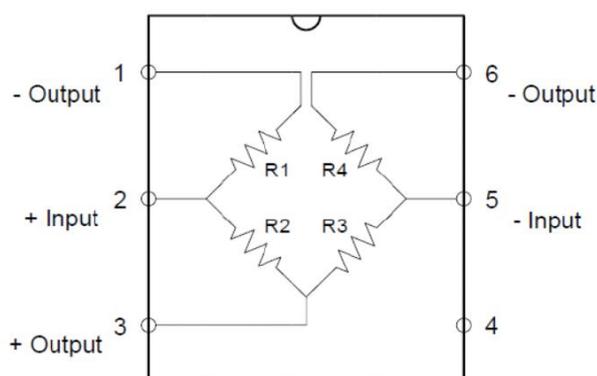
Figura 10 – Transdutor de pressão MPS20N0040D-S



Fonte: E-Radionica

Seu funcionamento é relativamente simples, baseado em uma ponte de *Wheatstone* contendo 4 resistores, 3 deles (R_2 , R_3 e R_4) com a mesma resistência, e o último (R_1), com resistência variável em função da pressão aplicada na entrada do transdutor. O circuito contido no transdutor de pressão é ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Circuito interno do transdutor de pressão



Fonte: E-Radionica

Os terminais 1 e 6 foram curto-circuitados, por meio da soldagem dos pinos externos do componente, dessa maneira a tensão de saída do circuito, lida através dos pinos *+Output* e *-Output*, é dada pela Equação 1.

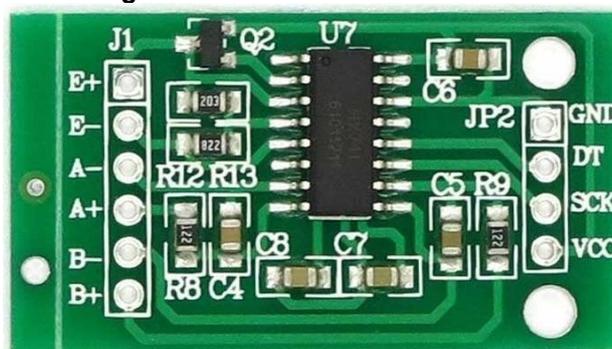
$$V_{Output} = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{Input} \quad (1)$$

Dessa forma, quando a pressão imposta na entrada do transdutor é nula, temos uma ponte equilibrada e a tensão na saída é zero. Variando a pressão na entrada, temos uma variação na impedância de R_1 que torna a tensão na saída diferente de zero. Vale notar que o MPS20N0040D-S também é apto a realizar leituras de pressão negativas (vácuo), por meio da mesma equação descrita anteriormente.

3.2.4 Instrumentação para transdutor de pressão

A saída do sensor de pressão gera um dado analógico, tensão, em Volts, por conta disso, para que seja possível realizar a leitura através do microcontrolador, é necessário converter o sinal de tensão em um sinal digital, em bits, para isso, em conjunto ao transdutor de pressão, optou-se pela utilização de um módulo com circuito de instrumentação completo, incluindo conversor A/D e interface de comunicação serial específica. Dessa forma, foi escolhido o módulo HX711 (AVIA), que possui um amplificador com ganho programável e outro de instrumentação conectado a um conversor A/D de 24 bits. O módulo HX711 é ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Módulo HX711



Fonte: AVIA Semiconductor

O módulo HX711 não necessita de nenhuma programação, sendo controlado pelos pinos externos de sua placa, apresentando dois canais diferenciais de entrada, com ganho selecionável de 32, 64 ou 128. Com taxa de transmissão variável de 10 ou 80 amostras por segundo e opera na faixa de tensão de 2,6 a 5,5 V.

O conversor utilizado tem dois canais para leitura de dados, o primeiro, Canal A, é projetado para operar diretamente com sinais diferenciais oriundos de sensores do tipo ponte resistiva, e apresenta ganho configurável de 64 ou 128, o ganho de 128 é previsto para ser utilizado quando a tensão de entrada apresentar valores muito reduzidos. Alimentando o HX711 com 5 V, a faixa de tensão permissível para o módulo é de ± 20 mV para o ganho de 128 e ± 40 mV para o ganho de 64.

O segundo canal de entrada, Canal B, apresenta um ganho fixo de 32, e uma faixa de tensão de entrada de ± 80 mV, para uma alimentação de 5 V. Para o trabalho em questão, foi escolhido como padrão o Canal A, com ganho de 128.

Além do ganho variável na entrada do módulo, o HX711 também apresenta taxa de aquisição configurável, possibilitando optar por 10 ou 80 amostras por segundo. A escolha da taxa de aquisição se dá por meio do pino *RATE* que, quando

colocado em nível baixo, realiza 10 amostras por segundo, enquanto que em nível alto a taxa aumenta para 80 amostras por segundo.

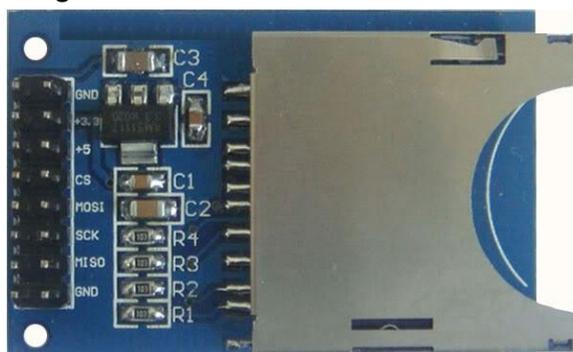
O sinal de saída do módulo A/D é dado no formato “complemento de dois”, variando na faixa de 800000 h (valor mínimo) até 7FFFFFFh (valor máximo), o valor máximo é apresentado quando ocorre a saturação na entrada do conversor, que para este projeto é definido como 40 mV, e permanece neste valor enquanto o valor de pressão estiver fora dos limites de saturação.

Os pinos *+Output* e *-Output* do transdutor de pressão foram conectados às entradas *+A* e *-A* do módulo HX711, com isso, a variação de pressão obtida pelo transdutor é transferida diretamente ao conversor, em forma de tensão.

3.2.5 Módulo de Cartão SD

Neste trabalho, o conjunto de módulo de cartão SD e cartão de memória são utilizados como forma de armazenar os dados registrados pelos sensores, depois de organizados em forma de arquivo pelo microcontrolador. Os modelos de módulo de cartão de memória, em sua maioria, são de fácil acesso e não apresentam diferenças que possam gerar um impacto à implementação deste projeto, por conta disso, foi utilizado um componente de posse do autor do fabricante Catalex. O módulo de cartão SD é ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Módulo de cartão de memória



Fonte: Catalex (2013)

O módulo opera com tensão de 5 V, possui um regulador de tensão, responsável por reduzir a tensão de entrada para 3,3 V, seu comando é realizado com base na comunicação SPI, apresenta suporte para cartão micro SD e um soquete para encaixe do cartão de memória com uma trava que impede a saída do cartão durante a operação (CATALEX, 2013).

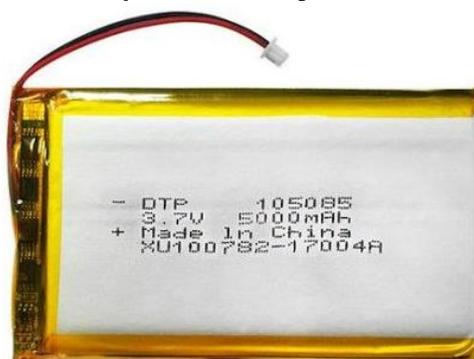
A comunicação entre microcontrolador e módulo de cartão de memória se dá pelo protocolo *Serial Peripheral Interface* (SPI). O módulo apresenta 6 pinos para comunicação, sendo eles os pinos de alimentação (VDD e GND) e os 4 restantes destinados à comunicação SPI (MISO, MOSI, CS e SCK). Também é dotado de um regulador de tensão que rebaixa a tensão de entrada de 5 V para 3,3 V.

3.2.6 Bateria e Módulo de Carga

Com intuito de realizar testes em bancada, o sistema de aquisição desenvolvido foi alimentado pela entrada USB, porém, para implementação em campo, se fez necessária a utilização de bateria externa, uma vez que a alimentação do circuito utilizando um cabo USB se torna inviável, podendo até ser invasiva para o animal, alterando seu comportamento e comprometendo os sinais adquiridos.

Sendo assim, foi utilizada uma bateria externa de Polímero de Lítio (LiPo), conectada aos pinos do microcontrolador, que era responsável por alimentar o circuito por completo. A bateria externa escolhida para o trabalho alimenta o circuito com 3,7 V e apresentava carga elétrica de 5000 mAh. A bateria utilizada é ilustrada na Figura 14.

Figura 14 – Bateria para alimentação do sistema



Fonte: LITER

Para alimentação da bateria externa foi utilizado um circuito integrado de módulo de carga, similar aos presentes em dispositivos *power bank*, utilizados em *smartphones*. O módulo de carga também evitou que os terminais da bateria externa fossem soldados diretamente nos pinos do microcontrolador. O modelo de módulo de carga escolhido foi o KCF7113, do fabricante KEC, por apresentar custo reduzido. A Figura 15 ilustra o módulo de carga do sistema.

Figura 15 – módulo de carga

Fonte: KEC (2014)

A alimentação da bateria externa foi realizada soldando os terminais da bateria nos pinos de saída do módulo de carga e alimentando-os por meio da entrada USB. Em contrapartida, durante a execução de testes, o sistema de aquisição foi alimentado apenas pela bateria externa, por meio da conexão dos pinos de entrada de tensão e referência do microcontrolador com os terminais de saída da bateria.

3.2.7 Caixa de montagem e periféricos

Para que fosse possível a realização dos testes em animais, o sistema desenvolvido foi acomodado em uma caixa plástica para montagem de circuitos. A escolha da caixa de montagem se deu pelas dimensões (125x80x32mm) e custos reduzidos, ilustrada na Figura 16.

Figura 16 - Caixa plástica para montagem de circuitos

Fonte: Piscaled Componentes Eletrônicos

Além disso, para o posicionamento do sistema na cabeça do bovino, foi necessário o desenvolvimento de um cabresto, constituído por faixas de nylon, com 50mm de espessura. As faixas de nylon utilizadas são ilustradas na Figura 17.

Figura 17 – Faixa de nylon



Fonte: Mercado livre

O controle do sistema de aquisição é realizado por um botão, posicionado na lateral da caixa de montagem, o componente foi escolhido por seu custo reduzido e disponibilidade no mercado nacional. O botão utilizado é ilustrado na Figura 18.

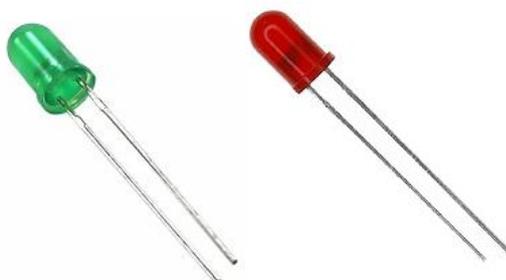
Figura 18 – Botão para acionamento do sistema



Fonte: Usina Info

Para ilustrar o funcionamento do sistema, foram utilizados dois leds, um vermelho e outro verde, ilustrados na Figura 19.

Figura 19 – LEDs verde e vermelho



Fonte: Baú da Eletrônica

Por fim, a conexão do sistema de aquisição, sensores, módulo de carga, cartão SD e periféricos foi feita utilizando uma *protoboard* de 170 pontos, uma vez que

as dimensões desse componente são suficientemente pequenas para ser acomodado dentro da caixa de montagem escolhida. A figura 20 ilustra a *protoboard* utilizada.

Figura 20 - Protoboard utilizada para conexão do conjunto



Fonte: Baú da Eletrônica

3.2.8 Custos de desenvolvimento

O intuito deste trabalho é desenvolver um sistema de aquisição para análise do comportamento ingestivo de ruminantes, de baixo custo, possibilitando a utilização em larga escala. Dessa forma, a relação de custos dos componentes utilizados na implementação do sistema é descrita na Tabela 2.

Tabela 2 – Custos de desenvolvimento

Definição	Quantidade	Preço unitário (R\$)
STM32L432KC	1	112,12
MPS20N0040D-S	1	14,48
MPU-6050	2	16,65
HX711	1	9,81
Bateria	1	13,90
Caixa de montagem	1	12,80
LED	2	0,24
Faixa de nylon (2m)	1	3,20
Botão	1	2,76
<i>Protoboard</i> 170 pontos	1	4,05
KCF-7113	1	1,69
Total		208,59

Fonte: Autoria própria

3.3 Métodos

O início do projeto se deu pela implementação do sensor de pressão, de maneira isolada. Foi desenvolvida uma rotina para aquisição dos dados de pressão e realizados testes em bancada. Na sequência foi implementado o sensor inercial, também de maneira isolada, adaptando uma biblioteca existente para aquisição de sinais utilizando o MPU-6050TM, desenvolveu-se uma rotina para aquisição e leitura dos sinais inerciais.

Em seguida, se fez necessária a implementação do módulo de cartão SD, a fim de realizar leituras utilizando as bibliotecas desenvolvidas para os sensores, e armazenar os dados no cartão de memória. Para isso, partindo do código utilizado para aquisição de sinais inerciais, foi implementado o armazenamento em cartão SD, dessa forma, realizou-se a integração do módulo de aquisição de sinais inerciais com o armazenamento de dados, restando apenas a integração com o módulo de aquisição de sinais de pressão.

A fim de integrar os sistemas citados, foi desenvolvida uma rotina para aquisição e gerenciamento de dados dos sensores, uma vez que, cada sensor opera isoladamente e em taxas de aquisição distintas. Para suprir essa necessidade foi desenvolvida uma máquina de estados, incorporando os sensores inerciais e de pressão, o sistema de armazenamento de dados, um botão externo para acionar e desligar o sistema, e dois LEDs para indicar o funcionamento do circuito.

Cada etapa citada é descrita isoladamente, de maneira detalhada, na sequência.

3.3.1 Leitura dos Sinais de Pressão

A comunicação entre o microcontrolador e o módulo de sensor de pressão é realizada diretamente pelos canais de entrada e saída do microcontrolador. De acordo com o *datasheet* fornecido pelo fabricante, os pinos *PD_SCK* e *DOUT*, são os responsáveis pela saída de dados, seleção de entrada e de ganho. Quando os dados de entrada ainda estiverem sendo convertidos pelo módulo, o pino *DOUT* permanece em nível alto, indicando que o resultado ainda não deve ser lido, neste período, o pino *PD_SCK* permanece em nível baixo.

No momento em que o pino *DOUT* muda para nível baixo, significa que os dados devem ser lidos pelo microcontrolador, para isso, é necessário enviar 25 pulsos de *clock* ao pino *PD_SCK*. Cada pulso realiza a ação de *shift* nos bits da saída do conversor e o último pulso faz com que o pino *DOUT* retorne para nível alto. Essa configuração é válida apenas para a entrada e ganho especificados, variando o número de pulsos necessários de acordo com a entrada e ganho desejados.

Sendo assim, implementou-se uma rotina que identifica quando o HX711 está apto a transferir os dados coletados e, na sequência, são enviados os 25 pulsos de *clock* e o sinal obtido é lido pelo microcontrolador. Primeiramente foram implementadas duas funções, uma para ativar e uma para desativar a aquisição de dados do sensor.

A função *hx711_power_on()* é utilizada para atribuir o valor “0” no pino de *clock* do sensor de pressão (*PD_SCK*), dessa forma, habilitando a leitura de dados. De maneira inversa, a função *hx711_power_off()* atribui o valor “1” para o pino de *clock*, assim impossibilitando a leitura de dados.

Com intuito de ler os dados provenientes do sensor de pressão, conforme citado anteriormente, são necessários 25 pulsos de *clock*, dessa maneira, foi implementada uma função denominada “*hx711_read_raw_data()*”. Essa função tem como finalidade enviar os pulsos de *clock* e, a cada pulso, realizar a operação de *shift* no último bit lido, resultando em uma *string* de 24 bits. O último pulso enviado retorna o valor do pino *PD_SCK* para “0”, habilitando o sensor para uma próxima leitura.

O sinal de 24 bits obtido é manipulado, primeiramente pela correção de *offset* e, na sequência, é reduzido em tamanho para 16 bits, por meio de um *shift* de 8 bits. Por fim, a função retorna o valor lido.

Com a intenção de evitar sinais ruidosos, foi implementada a função *hx711_get_data()*, essa função tem como finalidade filtrar o sinal lido pela função *hx711_read_raw_data()*, por meio de um filtro do tipo passa baixas. O filtro utilizado foi calculado por meio de um *website*, seu intuito é criar uma atenuação de -60 dB para sinais com frequência superior à 15 Hz, descartando sinais indesejados, uma vez que o sensor de pressão é previsto para operar a 10 Hz.

Por fim, para definir a frequência de operação do sensor de pressão, foi utilizado um *timer*, com tempo de disparo de 100 ms. O microcontrolador utilizado dispõe de 6 *timers* programáveis, 1 *Real Time Clock* (RTC) e 2 *Low Power Timers* (LPTIM), para a execução do projeto foram utilizados 5 *timers*, sendo um deles o RTC.

A configuração do temporizador para o sensor de pressão é simples, o microcontrolador, utilizando-se de um oscilador interno, gera um sinal de *systick* com frequência de 32 MHz. Para configuração do temporizador, visando obter um sinal de 10 Hz, basta dividir o sinal de *systick* por 32, por meio de um *Prescaler* presente na configuração do *timer*, e realizar a contagem até 100000 pulsos, dessa forma, obtendo um sinal de 10 Hz.

De maneira simplificada, a atuação do sensor de pressão começa com a função *hx711_power_on()*, habilitando o a leitura, na sequência o temporizador inicia sua contagem, depois de 100 ms o microcontrolador aguarda o sinal do pino *DOUT*, indicando que a leitura foi finalizada. Por fim, a função *hx711_get_data()* é chamada e os dados lidos pelo sensor são enviados ao microcontrolador, nessa etapa também é realizada a filtragem do sinal lido e o ciclo recomeça, partindo da contagem do temporizador.

3.3.2 Leitura do sensor MPU-6050™

A aquisição de sinais inerciais se deu a partir da adaptação de uma biblioteca pré-existente de implementação do sensor MPU-6050™, desenvolvida por Konstantin (2019). Foram utilizadas duas funções da biblioteca citada, a primeira delas referente à inicialização do sensor, denominada "*MPU6050_Init()*", essa função é responsável por atribuir valores a determinados registradores da biblioteca I²C. Atribuindo o valor '0' no registrador *0X6B*, habilita-se o sensor inercial, na sequência, atribui-se o valor de '0x07' no registrador *SMPLRT_DIV*, fixando a taxa de aquisição do sensor em 1 kHz, por fim, o valor '0' no registrador *ACCEL_CONFIG* fixa a sensibilidade do acelerômetro em seu valor padrão, 2 g.

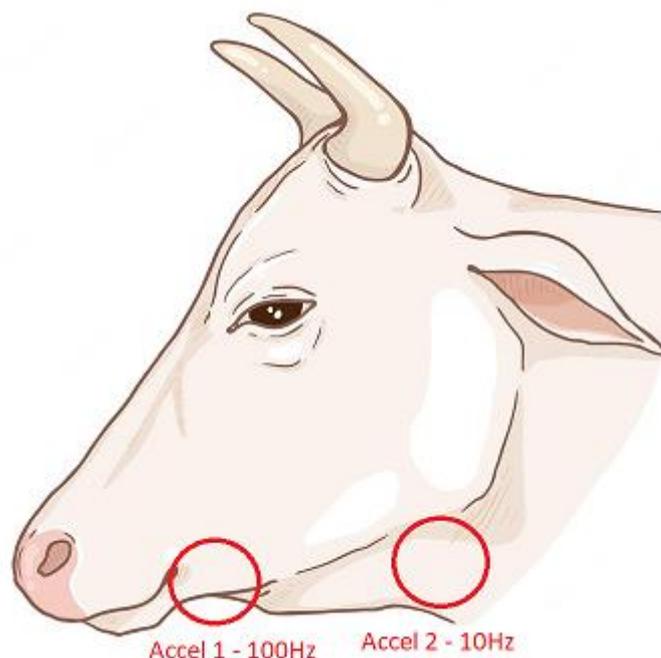
A segunda função desenvolvida por Konstantin é denominada "*MPU6050_Read_All*", responsável pela leitura de 14 bytes de dados oriundos do sensor. Essa função apenas realiza a ação de leitura do registrador *ACCEL_XOUT_H_REG* e organiza os dados lidos em 3 vetores, cada um representando um eixo cartesiano.

Na implementação do código, foram programados 2 *timers*, um para cada sensor inercial, o primeiro deles com tempo de disparo de 10 ms e o segundo 100 ms. Os *timers*, ao serem disparados, solicitam a aquisição de seu respectivo sensor, dessa maneira, obteve-se um sensor com taxa de aquisição de 100 Hz e o outro 10 Hz. Os

valores lidos são armazenados em 3 vetores, cada um contendo 2 endereços, cada um dos vetores armazena o sinal lido em um eixo cartesiano, enquanto o endereçamento (0 ou 1) do vetor indica a origem do sinal, ou seja, indica de qual sensor o sinal foi lido.

Na implementação do dispositivo para testes em campo, um dos acelerômetros é posicionado dentro da caixa de montagem, enquanto o outro é posicionado na região inferior externa à boca do animal, junto ao tubo de silicone. O acelerômetro posicionado na caixa de montagem realiza aquisições a 10 Hz, assim como o sensor de pressão, já o acelerômetro na boca do animal, registra a 100 Hz, uma vez que a movimentação na região da boca é maior. A Figura 21 ilustra o posicionamento dos acelerômetros.

Figura 21 – Posicionamento dos acelerômetros



Fonte: Adaptado de FreePik

3.3.3 Armazenamento em Cartão SD

O código utilizado para realizar o armazenamento dos sinais obtidos pelos sensores é derivado de uma biblioteca pré-existente, desenvolvida por Chan (2014), essa biblioteca é baseada na adaptação dos arquivos *user_diskio.c* e *user_diskio.h* os quais são gerados automaticamente pelo software do microcontrolador.

Na função principal (*main.c*), foi implementada uma função denominada *SD_card_ini()*, essa função é responsável por preparar o conjunto de módulo e cartão SD para receber os dados processados pelo microcontrolador, a função primeiramente aciona um *delay* de 100 ms, o qual, de acordo com Chan, é importante para evitar erros na montagem do cartão de memória, na sequência, é invocada a função *f_mount()*, essa função, presente na biblioteca utilizada, realiza a montagem do cartão SD.

Na sequência, é invocada a função *f_open()*, responsável pela criação de um arquivo no formato “txt”, onde serão armazenados os dados. A função *f_sync()* tem aparição recorrente no *loop* da função principal, seu intuito é sincronizar a transferência de dados do cartão SD, no caso da ocorrência de algum erro, essa função tem como finalidade confirmar que os dados estão sendo transcritos sempre na última linha possível dentro do arquivo txt.

Para a transcrição dos dados, a função *sprintf()* é utilizada para gerar uma linha de dados no formato *string*, e para transferi-los até o cartão SD, é utilizada a função *f_write()*, que também se encontra na biblioteca adaptada.

Finalizada a obtenção de dados, a função *f_close()* é invocada, salvando o arquivo txt gerado e fechando-o, por fim, é invocada novamente a função *f_mount()*, agora com argumento nulo, representando a desconexão do cartão de memória, evitando perdas acidentais de dados.

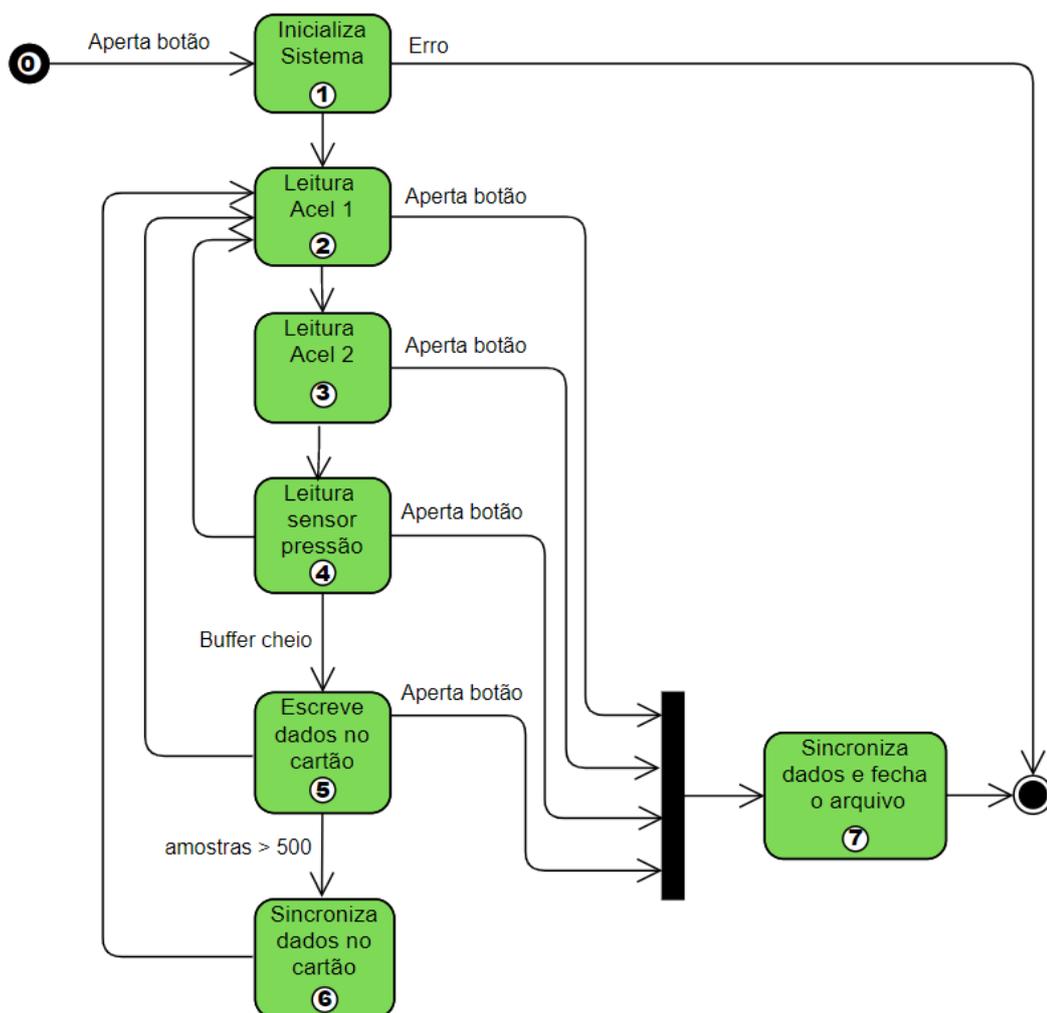
3.3.4 Rotina para Aquisição de Dados

Em primeiro lugar, a rotina realiza a inicialização dos periféricos configurados, incluindo as entradas e saídas do microcontrolador, interfaces de comunicação SPI e I2C, *timers* e *Real Time Clock* (RTC). O RTC será uma ferramenta importante para a obtenção do tempo de aquisição, responsável pela contagem de tempo desde o início da rotina até sua finalização.

Em seguida, são inicializados os sensores inerciais, através da função *MPU6050_Init()*, na sequência se faz necessária a preparação do cartão de memória, utilizando a função *SD_card_ini()*. Por fim, o RTC inicia a contagem de tempo, atribuindo o valor zero para seus contadores e registrando o tempo inicial (tempo 00:00) que é transmitido diretamente em forma de *string* e armazenado no cartão de memória, indicando que o processo de aquisição iniciou.

A partir desse momento, o sistema entra em uma máquina de estados, que é responsável por monitorar o estado atual do sistema. A Figura 22 ilustra o funcionamento da máquina de estados implementada.

Figura 22 – Máquina de estados



Fonte: Autoria própria

O estado inicial, denominado “0”, é um estado de espera, no qual o microcontrolador aguarda o acionamento externo, por meio de um botão, do início da aquisição de dados. Com o acionamento do botão externo, configurado como porta de entrada, denominada *botão_pin*, o sistema é levado para o estado “1” e uma variável auxiliar, denominada *AQ_ON* é atribuída com o valor 1.

O estado 1 apenas inicializa o processo de contagem dos *timers* referentes aos sensores e, na sequência, leva o sistema ao estado “2”. Após o sistema ter transcorrido os estados 0 e 1, o mesmo não retorna a esses estados, sendo apenas estados de preparação para o sistema.

Os estados “2”, “3” e “4”, são referentes a cada um dos sensores do sistema, quando um *timer*, que foi previamente inicializado no estado 1, finaliza a contagem de tempo, o seu sensor correspondente realiza uma aquisição, armazenando os valores obtidos no sistema, na sequência, uma variável auxiliar indica que o sensor finalizou a aquisição, indicando que os valores lidos pelo sensor podem ser enviados para o cartão de memória. Essa rotina é válida para os 3 sensores presentes no sistema.

Quando a máquina de estados passa pelos estados 2, 3 e 4, ela realiza a checagem da variável auxiliar de fim de aquisição, caso a variável indique o fim de leitura, o sistema permanece no estado, realiza a conversão dos valores lidos em *string* e os envia para o cartão SD, nessa etapa também é feita a contagem isolada de números de aquisição para cada sensor, incrementando uma unidade cada vez que o sistema envia os dados lidos.

A máquina de estados checa se o buffer de armazenamento de dados está cheio, se esse for o caso, passa pelo estado 5, no qual são enviados os dados para o cartão de memória, esvaziando o buffer. Caso o número de amostras seja maior ou igual a 500, o sistema vai para o estado 6, caso contrário, retorna a checagem das variáveis de fim de aquisição.

O estado 6, por sua vez, apresenta duas funções distintas, a primeira é a possibilidade de atribuir um valor máximo de leituras, encerrando o processo de aquisição depois de um número determinado de leituras, essa função é utilizada apenas nos testes do sistema. A segunda função é a de resincronização do sistema, invocando a função *f_sync()* a cada 500 leituras, evitando erros de escrita no cartão SD. Além disso, ao realizar a resincronização dos dados, o estado 6 também envia uma *string* contendo o tempo atual de aquisição, dessa forma é possível monitorar o tempo a cada 500 leituras.

Por fim, o estado “7” corresponde à finalização da aquisição, é acessado quando o botão externo do sistema é pressionado pela segunda vez (a primeira vez correspondendo ao início da aquisição). Nesse estado são finalizados os contadores dos sensores, impedindo que ocorram mais leituras, também é realizada a leitura do valor final de tempo, através do RTC, indicando o tempo total de aquisição, que é convertido em *string* e enviado ao cartão de memória. A função de sincronismo (*f_sync()*) é invocada uma última vez, para evitar que existam valores não salvos no cartão SD, e finalmente as funções *f_close()* e *f_mount()* fecham o sistema de arquivos

e desmontam o cartão de memória do sistema, concluindo a rotina de aquisição de dados.

A fim de indicar o funcionamento do sistema, foram utilizados dois LEDs, um de cor verde e o outro vermelho. O LED verde pisca na ocorrência de leituras, indicando que o sistema está operando de acordo com o desejado, já o LED vermelho só é ativado quando ocorre algum erro na execução da rotina. Da maneira que foi desenvolvido, o sistema não é resetável através do botão externo, dessa forma, na ocorrência de um erro na aquisição, é necessário desenergizar o sistema e energizá-lo novamente, reiniciando o processo.

3.3.5 Implementação do sistema

Para que fosse possível a realização dos testes em animais, primeiramente o sistema desenvolvido foi acomodado em uma caixa plástica para montagem de circuitos.

Utilizando uma mini retífica, foram realizadas 6 incisões na caixa, sendo elas, a primeira para instalação do botão para acionamento do sistema, duas para os LEDs indicadores do funcionamento do circuito, uma para entrada dos cabos de alimentação do circuito, uma para encaixe do sensor de pressão e a última para saída dos canais de comunicação de um dos acelerômetros. A Figura 23 ilustra a face lateral contendo o botão e os LEDs, a Figura 24 ilustra a face contendo a saída dos canais do acelerômetro e o sensor de pressão e a Figura 25 ilustra a passagem dos cabos de alimentação do circuito.

Figura 23 – LEDs e botão



Fonte: Autoria própria

Figura 24 – Sensor de pressão e saída de cabos acelerômetro



Fonte: Autoria própria

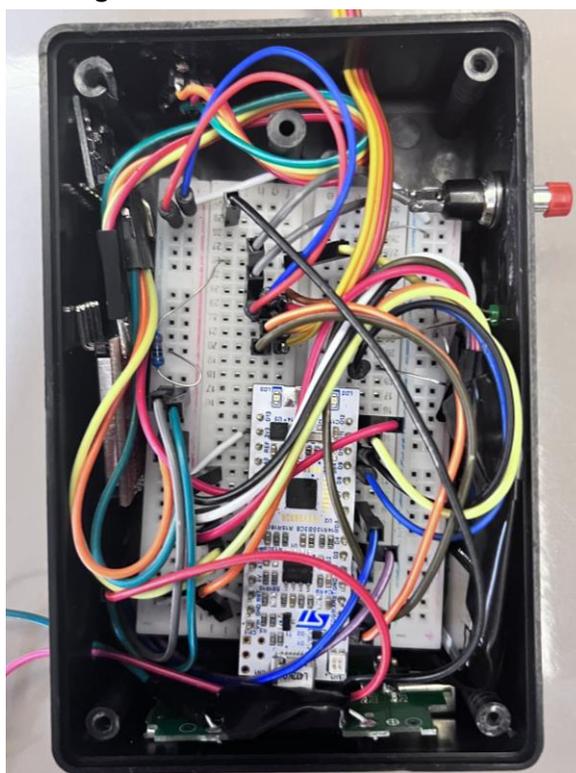
Figura 25 – Saída dos cabos de alimentação



Fonte: Autoria própria

Realizadas as incisões para posicionamento dos periféricos, também foi necessária a acomodação do restante do circuito dentro da caixa de montagem.

O sistema inicial, utilizado para testes, foi montado em uma *protoboard* de 400 pontos, com dimensões de 83x55x10 mm, uma vez que o tamanho da caixa de montagem é reduzido, já que deseja-se obter um sistema compacto, foi necessário transferir o circuito para uma *protoboard* menor, que possibilitasse a acomodação na caixa desejada. Para isso foi utilizada uma *protoboard* de 170 pontos e o circuito acomodado dentro da caixa de montagem é ilustrado na Figura 26.

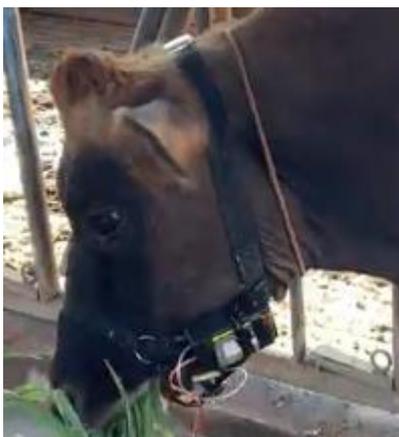
Figura 26 – Vista interna do circuito

Fonte: Autoria própria

Dentro da caixa de montagem estão acomodados o microcontrolador, um acelerômetro, módulo de cartão SD e módulo HX711. Dessa maneira, obteve-se uma solução prática e simples para a acomodação do sistema. Devido ao espaço interno da caixa de montagem apresentar tamanho reduzido, os cabos de ligação ocupam grande parte do espaço disponível e, com a utilização da tampa da caixa, os cabos exercem esforços comprimindo os demais componentes, evitando que os mesmos se movimentem dentro da caixa de montagem.

Na sequência, se fez necessário o desenvolvimento de um cabresto, a fim de acoplar o sistema desenvolvido e encaixá-lo na cabeça do animal, para que fosse possível a coleta de dados em campo. Para isso, tomando como base uma cabeça bovina prototipada em impressora 3D, foram utilizadas faixas de nylon para confecção de um cabresto. As figuras 27 e 28 ilustram o sistema acoplado no cabresto, posicionado na cabeça do animal.

Figura 27 – Sistema posicionado para testes - face A



Fonte: Autoria própria

Figura 28 - Sistema posicionado para testes - face B



Fonte: Autoria própria

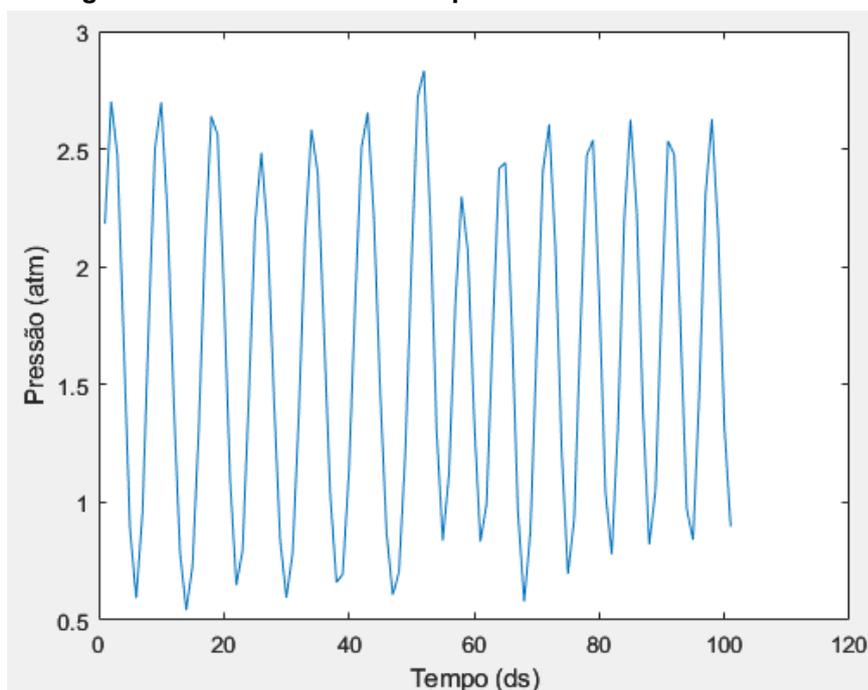
4 RESULTADOS

Para testar o funcionamento do sistema de aquisição, primeiramente foram realizados testes em bancada isolados com cada sensor. Os dados coletados, armazenados no cartão de memória, foram transferidos para um computador e, utilizando o *software* Matlab, em sua versão acadêmica, foi possível gerar gráficos da variação de pressão e aceleração em função do tempo. Os resultados obtidos nesses testes são descritos na sequência.

4.1 Testes com Sensor de Pressão

Para comprovar o funcionamento do sensor de pressão, foi utilizado um tubo de silicone vedado, conectado ao sensor. A fim de simular os bocados realizados pelo animal, o autor comprimia com as mãos o tubo de silicone, e os dados eram registrados pelo sensor de pressão. Uma faixa dos resultados obtidos é ilustrada na Figura 29 na qual o eixo “X” do gráfico representa o tempo, em decisegundos (equivalente a 0,1 segundos) e o eixo “Y” representa a pressão lida pelo sensor em atm (pressão atmosférica a nível do mar).

Figura 29 – Sinal do sensor de pressão – Testes em bancada



Fonte: Autoria própria

Observa-se que a variação do sinal do sensor devido à compressão do tubo, nunca leva o sinal lido para o valor “zero”, uma vez que isso representaria que a

pressão interna do tubo é nula, o que não condiz com a realidade, já que, mesmo sem comprimir o tubo, ainda existe pressão no fluido interno. Também não há registros de pressão negativa, as quais representariam que existe vácuo dentro do tubo, fato que poderia ocorrer caso o volume interno do tubo se expandisse mantendo a pressão original, o que não deve ocorrer.

Como pode ser observado, ao aplicar força comprimindo o tubo de silicone, é possível gerar uma grande variação no sinal lido pelo sensor, apertando o tubo com muita força, levamos o sinal à saturação. Porém, deve-se levar em conta o fato de que o animal não realizará tanto esforço comprimindo o tubo de silicone ao realizar os bocados, dessa maneira, a saturação não deve ser atingida com facilidade.

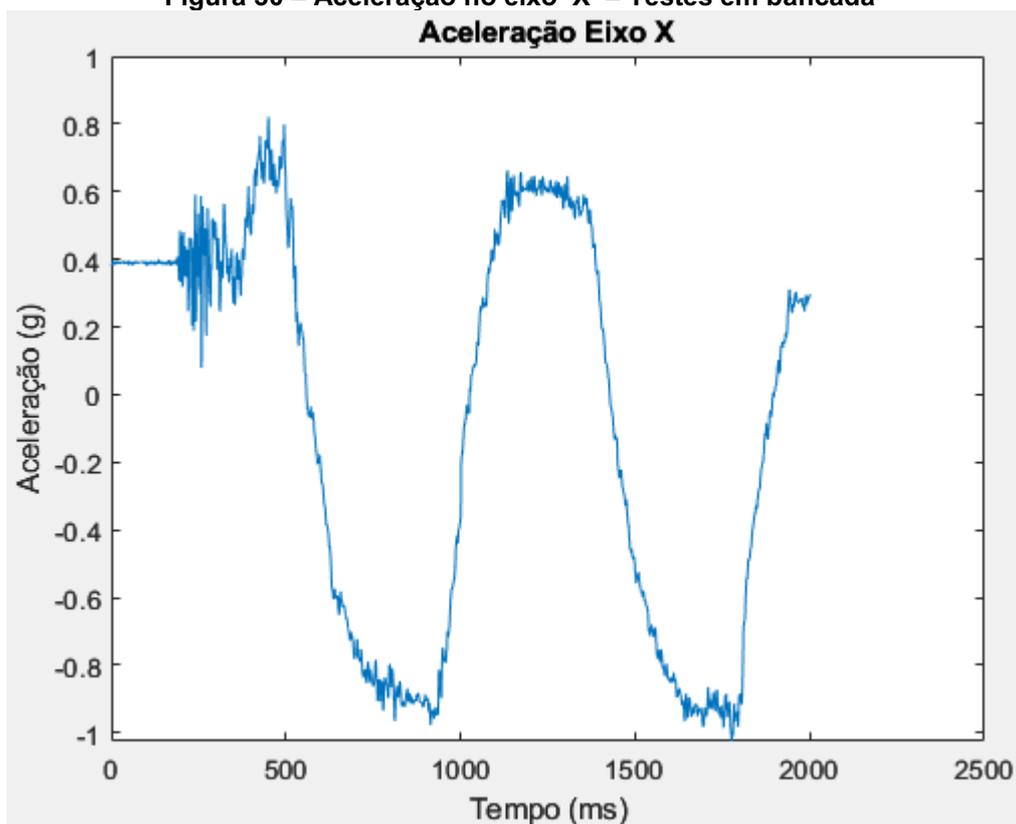
Com o resultado obtido nos testes em bancada, mostrou-se possível o registro de bocados utilizando o conjunto de sensor e tubo de silicone.

4.2 Testes com Acelerômetro

O teste em bancada com o sensor inercial se deu a partir do posicionamento do sensor em cima de uma bancada plana e, na sequência, realizar movimentos com o sensor. No início do teste, o acelerômetro foi primeiramente posicionado com a face principal apontando para cima, em seguida, foi movimentado de forma a variar com maior influência o eixo X.

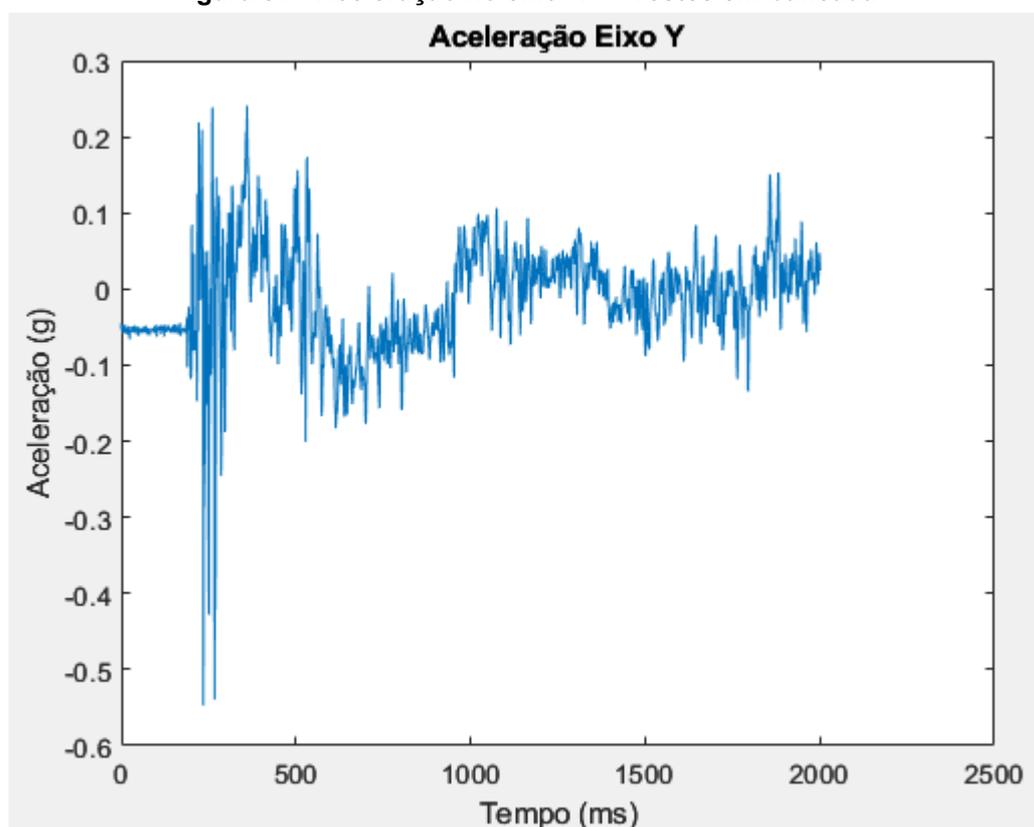
Os movimentos realizados foram o de rotação em 90 graus do eixo Y, no sentido horário, posicionando o sensor com o eixo X apontando para baixo, ponto no qual a aceleração gravitacional é mínima. Na sequência, foi rotacionado de modo a retornar à posição inicial e, em seguida repete-se a sequência descrita. Os dados obtidos são ilustrados nas Figuras 30, 31 e 32, nas quais, o eixo "X" do gráfico representam o tempo, em milissegundos e o eixo "Y" representa a aceleração lida pelo sensor, em g ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Figura 30 – Aceleração no eixo 'X' – Testes em bancada

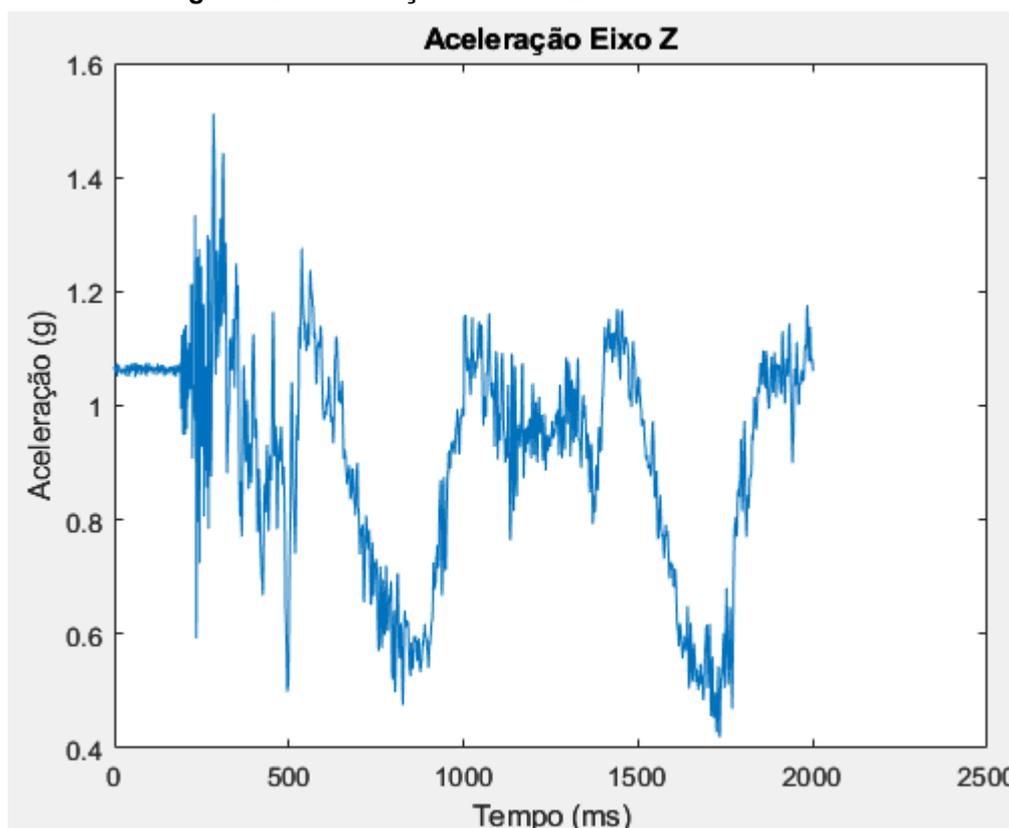


Fonte: Autoria própria

Figura 31 - Aceleração no eixo 'Y' – Testes em bancada



Fonte: Autoria própria

Figura 32 - Aceleração no eixo 'Z' – Testes em bancada

Fonte: Autoria própria

Como pode ser observado através dos gráficos gerados, a variação do sinal lido pelo sensor relacionado ao eixo X do acelerômetro é capaz de identificar os movimentos realizados com o sensor. É possível notar que, no início, antes de começar a movimentar o sensor, todos os eixos se mantinham constantes e, a partir da movimentação do sensor, todos os eixos sofrem variação no sinal lido.

O sinal relacionado ao eixo Y é mantido em certa constância, uma vez que os movimentos não geram impacto na aceleração referente a este eixo. Por outro lado, uma vez que o sensor foi rotacionado manualmente, ocorre certa variação, já que não foi possível rotacionar mantendo o eixo em perfeito equilíbrio.

O sinal do eixo Z apresenta similaridades com relação ao eixo X, uma vez que, com o sensor no estado inicial, parado, o eixo Z era submetido à maior parte da aceleração gravitacional e, conforme o sensor era rotacionado, nota-se um decréscimo no valor lido, uma vez que o eixo passava a apontar para os lados, enquanto que no início apontava diretamente para cima.

Através dos sinais obtidos, nota-se que a posição do sensor influencia diretamente nos valores indicados nos eixos axiais, dessa forma, torna-se possível estimar a orientação do sensor em um determinado ponto. Com base nisso, é

esperado que seja possível diferenciar quando o animal está mastigando com a cabeça abaixada ou levantada, uma vez que a aceleração estará presente em sua maior parte, a apenas um eixo do sensor.

Levando isso em conta, a utilização do sensor inercial como base para descrever a orientação da cabeça do animal se apresenta como uma possível maneira de diferenciar os períodos de ruminação e alimentação, tomando como ponto principal o fato de que o animal se alimenta com a cabeça abaixada e ruma com a cabeça levantada.

4.3 Testes em Campo

Os testes em campo foram realizados em animais confinados, nas dependências do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), no polo de pesquisa de Pato Branco. O sistema foi acomodado na cabeça do animal e foi lhe servido *Urochloa brizantha*, também conhecido como Capim-marandu. Foram realizadas aquisições do animal se alimentando durante aproximadamente 5 minutos, em seguida os dados foram coletados e aguardou-se até que o animal ruminasse, o que não ocorreu. A Figura 33 ilustra o sistema acoplado no animal, durante a aquisição.

Figura 33 – Sistema desenvolvido instalado no animal

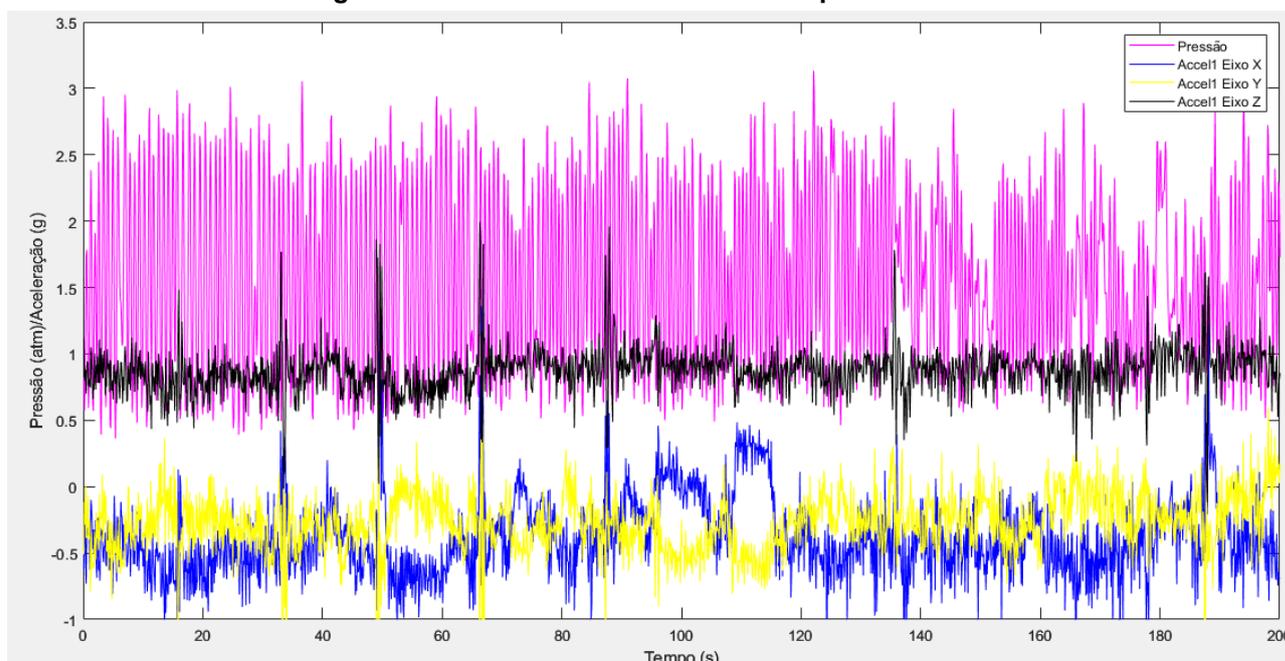


Fonte: Autoria própria

Com intuito de comparar os valores obtidos a partir dos acelerômetros e do sensor de pressão, os dados coletados foram armazenados e, utilizando a ferramenta Matlab, foram gerados os sinais inerciais para cada acelerômetro em função do sinal do sensor de pressão, para cada eixo axial dos acelerômetros. A Figura 34 representa a faixa de dados coletada dos eixos “X”, “Y” e “Z” do acelerômetro posicionado na

região da boca do animal, em azul, amarelo e preto, respectivamente, em conjunto com o sinal do sensor de pressão, em roxo. Na figura, o eixo “X” do gráfico representa o tempo, em ds, e o eixo “Y” representa os valores de pressão, em atm, e a aceleração, em g, lidas pelos sensores.

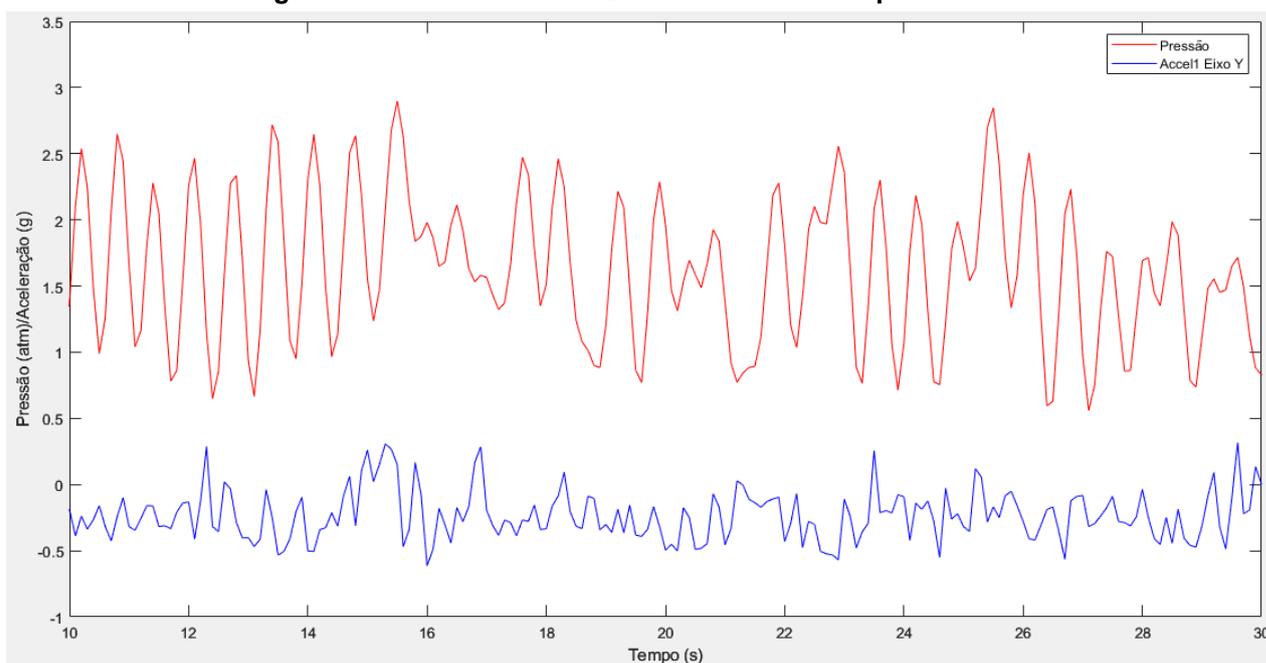
Figura 34 – Acelerômetro 1 x Sensor de pressão



Fonte: Autoria própria

Os sinais inerciais obtidos a partir do sensor posicionado na região da boca do animal são diretamente influenciados pelo ato de mastigação, o movimento de abrir e fechar a boca causa variação no sinal do acelerômetro. Isso pode ser observado ao selecionar uma pequena faixa de dados e analisar um dos eixos do acelerômetro isoladamente, em função da variação lida pelo sensor de pressão. A Figura 35 representa uma faixa de dados indicando a variação do eixo “Y” do acelerômetro posicionado na boca do animal, em azul, em conjunto ao sinal do sensor de pressão, em vermelho. No gráfico, o eixo “X” representa o tempo, em ds, e o eixo “Y” representa os valores de pressão, em atm, e a aceleração, em g, lida pelo sensor.

Figura 35 – Acelerômetro 1 Eixo “Y” x Sensor de pressão

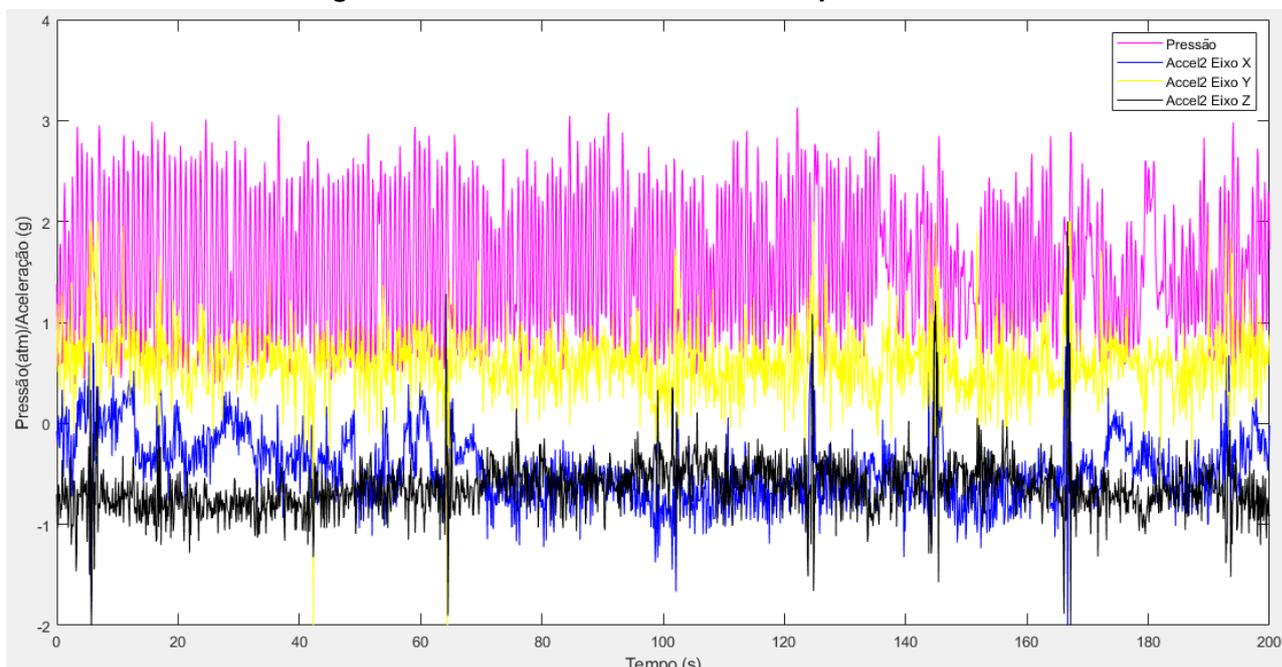


Fonte: Autoria própria

A partir do sinal indicado pela Figura 35, é possível notar que existe uma relação direta entre a ocorrência de bocados e a variação da aceleração lida pelo eixo “Y” do primeiro acelerômetro. Observa-se que, a cada pico positivo no sinal do sensor de pressão, um pico negativo é registrado pelo acelerômetro e vice-versa. Esse comportamento do sinal indica que o acelerômetro pode ser capaz de registrar os movimentos desenvolvidos durante os bocados. Com base nisso, é possível inferir que há possibilidade de utilização dos sensores inerciais para o registro e identificação de bocados.

O sensor posicionado na caixa de montagem, por sua vez, não sofre variações no sinal devido à mastigação, uma vez que está posicionado distante da boca do animal, dessa forma, o sinal lido pelo sensor resume-se aos movimentos realizados pela cabeça do bovino. A Figura 36 representa a faixa de dados coletada dos eixos “X”, “Y” e “Z” do acelerômetro posicionado na caixa de montagem, em azul, amarelo e preto, respectivamente, em conjunto com o sinal do sensor de pressão, em vermelho.

Figura 36 – Acelerômetro 2 x Sensor de pressão



Fonte: Autoria própria

4.4 Análise dos Sinais Obtidos

Tomando como base o sinal do acelerômetro posicionado na caixa de montagem foram selecionadas 2 faixas principais para avaliação do sinal obtido. Durante o período de aquisição, o animal não ruminou, dessa forma, foi necessário identificar um período no qual o animal estivesse mastigando com a cabeça levantada, similar aos movimentos descritos na ruminação.

Algo que ocorria com frequência eram movimentos bruscos da cabeça do animal, levantando-a rapidamente, devido à não estar acostumado a se alimentar utilizando cabresto, esses movimentos foram sim registrados pelo sensor inercial.

O sinal analisado foi dividido em 3 faixas principais, a primeira indica a ocorrência de bocados enquanto o animal mantinha a cabeça abaixada. Na segunda faixa de sinal, podemos observar o animal variando a orientação da cabeça, primeiramente abaixada e na sequência levantada.

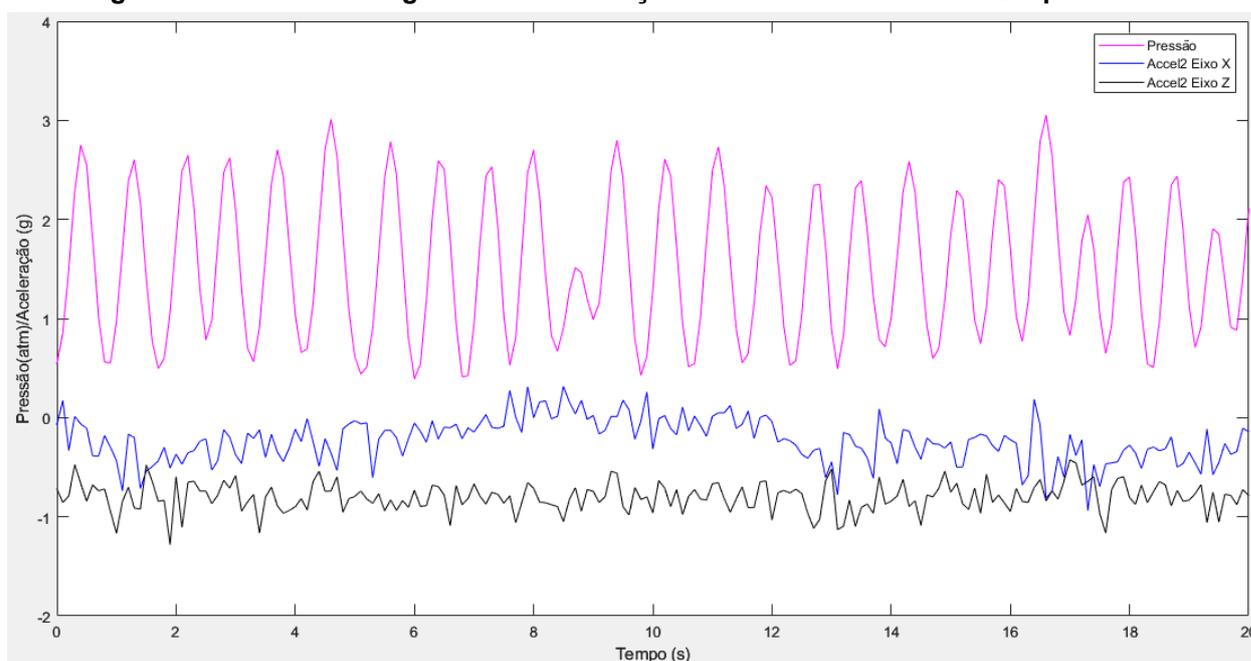
Na terceira faixa de sinal, é possível observar duas ocorrências de movimentos bruscos realizados pelo animal, movimentando rapidamente a cabeça na vertical. Todos os eventos são analisados a partir da variação dos sinais do acelerômetro nos eixos “X” (Acce2 Eixo X) e “Z” (Acce2 Eixo Z).

Os dados adquiridos pelo eixo “Y” (Acce2 Eixo Y) do segundo acelerômetro são referentes à movimentos laterais realizados pelo animal. Já que os testes foram

realizados com o animal confinado, preso por um canzil, não havia possibilidade de movimentação lateral da cabeça, diferente de quando o animal está em pastejo livre. Por conta disso, o sinal proveniente do eixo “Y” do segundo acelerômetro não será analisado.

A primeira faixa de sinal é ilustrada na Figura 37. Na figura, o sinal azul corresponde aos valores registrados pelo sensor inercial no eixo “X”, o sinal preto aos valores do eixo “Z” e o sinal roxo ao sensor de pressão.

Figura 37 – Animal mastigando com a cabeça abaixada – Acelerômetro 2 x pressão



Fonte: Autoria própria

Para essa faixa de sinal podemos observar o comportamento do sinal inercial. Nota-se que o sinal “Acce2 Eixo X” se mantém levemente acima do sinal referente ao eixo “Acce2 Eixo Z”, durante toda a faixa selecionado. Isso se dá pela orientação do sensor quando o animal está com a cabeça abaixada, durante este período, o eixo “X” do acelerômetro aponta em direção à traseira do boi, levemente inclinado para baixo, com isso a aceleração gravitacional incide levemente sobre o eixo do sensor e o sinal se mantém em valores negativos e próximos a zero.

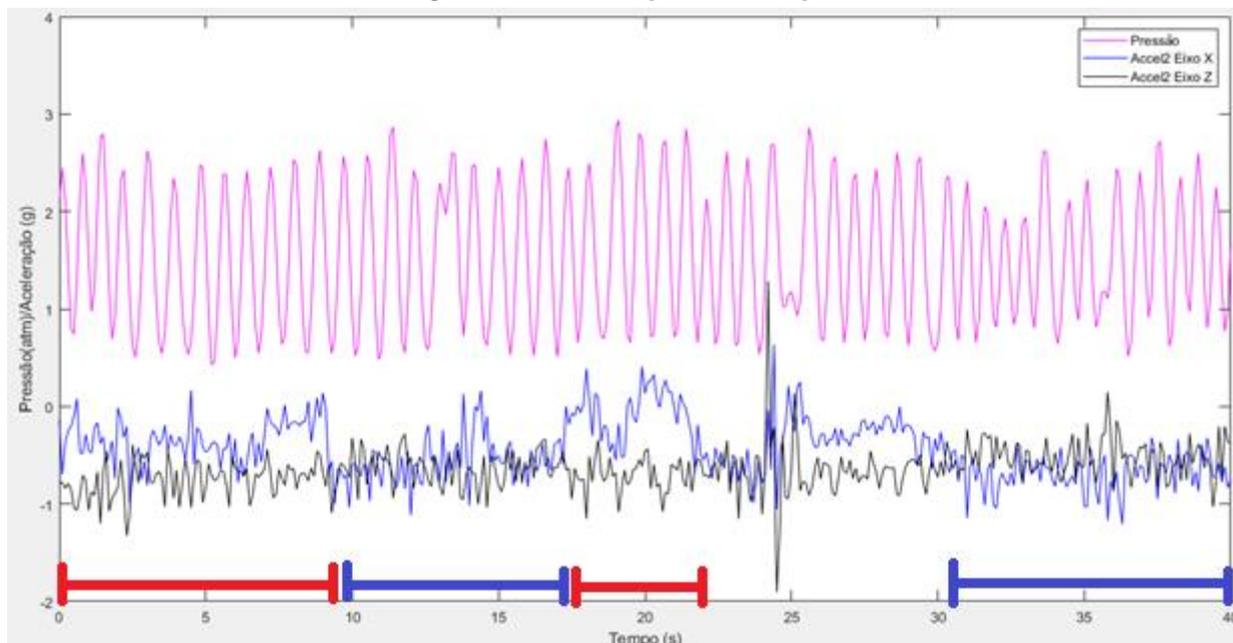
O eixo “Z”, por sua vez, defasado de 90° do eixo “X”, aponta para baixo com uma leve defasagem. Essa orientação faz com que a aceleração gravitacional seja aplicada de maneira completa sobre o eixo do sensor, isso pode ser visualizado na Figura 37, que mostra o sinal “Acce2 Eixo Z” se mantendo sempre próximo a -1 g.

O sensor de pressão demonstra que o animal estaria mastigando constantemente, fato que ocorreu durante a aquisição. Sendo assim, pode-se inferir

que é possível descrever movimentos mastigatórios do bovino com a cabeça abaixada, baseando-se na análise dos eixos “X” e “Z” do segundo acelerômetro.

A segunda faixa de sinal analisada demonstra a variação da orientação da cabeça do animal ilustrada na Figura 38.

Figura 38 – Orientação da cabeça



Fonte: Autoria própria

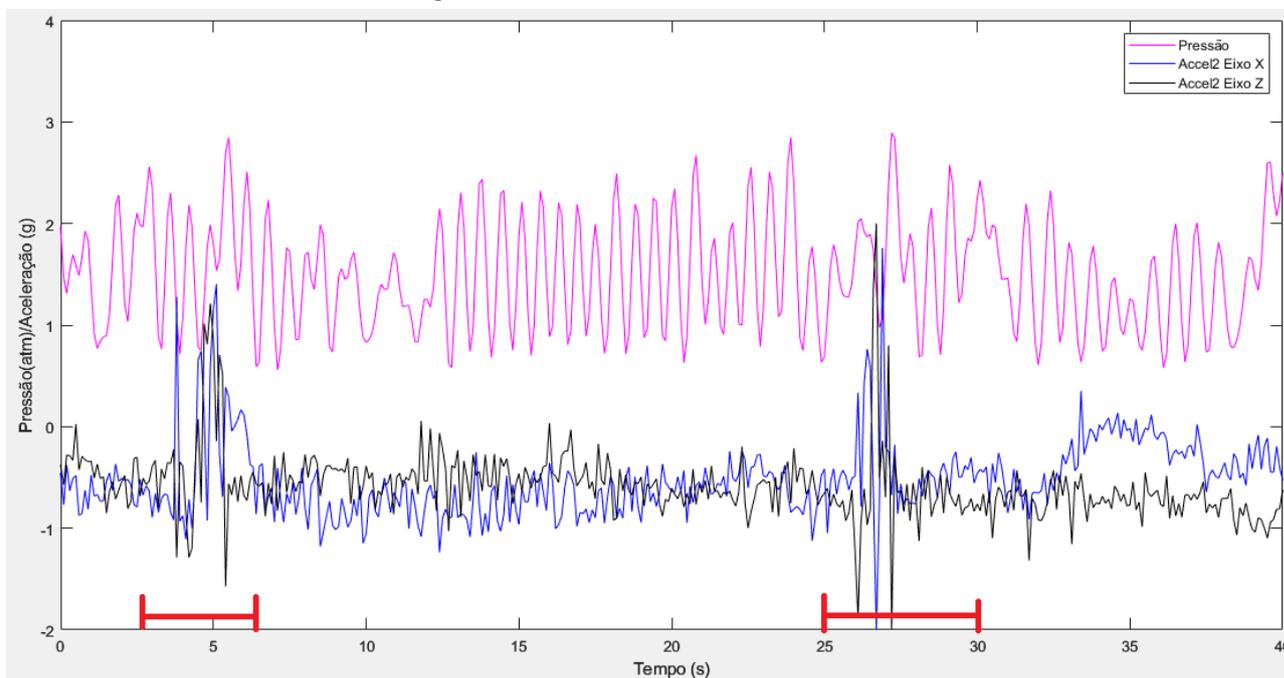
A faixa de sinal ilustrada na Figura 38 ilustra a ocorrência de mastigação com a cabeça abaixada e levantada, nota-se que, em certos períodos, há uma sobreposição dos sinais dos eixos “X” e “Z”. Esse fato ocorre, pois, no momento em que o animal levanta a cabeça, a orientação do módulo inercial faz com que a aceleração gravitacional incida de maneira similar em ambos os eixos do acelerômetro.

Nas seções marcadas em vermelho, observa-se o sinal do eixo “X” posicionado acima do eixo “Z”, assim como ilustrado na figura 37. Já nas seções marcadas em azul, ambos os sinais possuem valores similares, ocasionados pela incidência da aceleração gravitacional. Com base nisso, torna-se possível identificar e diferenciar períodos de mastigação com a cabeça abaixada e levantada, e dessa forma, evidenciando a capacidade do sistema desenvolvido em distinguir atividades ruminatórias.

A última faixa de sinal a ser analisada representa movimentos bruscos realizados pelo animal, durante a aquisição, ilustrados na Figura 39. Na figura, o sinal azul corresponde aos valores registrados pelo sensor inercial no eixo “X”, o sinal preto

aos valores do eixo “Z” e o sinal roxo ao sensor de pressão. O eixo “X” do gráfico representa o tempo, em ds, e o eixo “Y” representa os valores de pressão, em atm, e a aceleração, em g, lidas pelos sensores.

Figura 39 – Movimentos bruscos



Fonte: Autoria própria

Analisando a faixa de sinal representada na Figura 39, é possível notar dois grandes picos no sinal inercial, definidos pelas seções marcadas em vermelho, ambos os picos representam movimentos repentinos realizados pelo animal, levantando e abaixando a cabeça rapidamente.

Baseando-se nas faixas de sinal analisadas, constata-se que o sistema de aquisição desenvolvido é capaz de identificar a ocorrência de bocados com base no sinal do sensor de pressão e, possivelmente, pelo sinal do eixo “Y” do primeiro acelerômetro. Além disso, é apto a identificar movimentações anormais e abruptas desenvolvidas pelo animal.

A identificação da orientação da cabeça do bovino também se mostrou possível, partindo da análise dos eixos “X” e “Z” do segundo acelerômetro. Por conta disso, é esperado que seja possível descrever os movimentos relacionados à ruminação, utilizando os mesmos critérios descritos acima.

5 CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas em cada etapa do projeto, conclui-se que a utilização de sensores inerciais em conjunto a sensores de pressão é uma alternativa para identificação de movimentos mastigatórios em bovinos. Devido as dimensões e custo reduzidos que o sistema apresenta, é um método de aquisição com potencial de utilização em larga escala, podendo também ser utilizado como base para trabalhos futuros.

Os dados adquiridos pelo sistema desenvolvido são de simples identificação, principalmente os dados do sensor de pressão, que está diretamente ligado aos movimentos mandibulares realizados pelo animal, podendo ou não, estarem relacionados à eventos mastigatórios. Já os sensores inerciais foram de grande auxílio na identificação dos movimentos realizados pela cabeça do bovino.

O acelerômetro acomodado dentro da caixa de montagem do sistema apresentou um sinal de análise intuitiva, baseado na direção na qual os eixos estão apontando, simulando a direção da cabeça do animal.

O sistema de aquisição desenvolvido mostrou-se como uma opção para identificação de movimentos mastigatórios de bovinos em pastejo.

Analisando dos sinais obtidos, foi possível ilustrar os períodos de mastigação com a cabeça abaixada e levantada, bem como movimentos anormais desenvolvidos pelo animal em observação. Por conta disso, pressupõe-se que seja possível a identificação de períodos de ruminação, partindo de uma abordagem semelhante à utilizada para diferenciar a orientação da cabeça.

O sinal do eixo “Y” do segundo acelerômetro não se mostrou de grande relevância, por conta da baixa movimentação desenvolvida pela cabeça do animal no eixo horizontal, devido a estar preso ao canzil, sem muito espaço para se mover livremente. Para análises em que o animal esteja confinado, é possível descartar a abordagem desse eixo do acelerômetro, de modo a poupar tempo de processamento por parte do microcontrolador.

Espera-se que o sistema desenvolvido seja uma grande contribuição no contexto de pecuária de precisão, demonstrando a possibilidade da abordagem através do conjunto de sensores inerciais e sensores de pressão, visando uma melhoria no sinal obtido, uma vez que, como citado nos trabalhos já existentes,

métodos utilizando sensores de maneira isolada apresentam dificuldade na diferenciação de períodos de alimentação e ruminação em bovinos.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. Beef Report - Perfil da Pecuária no Brasil. **Brazilian Beef**, p. 11–28, 2021.
- ALVES, F. V.; VOLPI, D.; ARGUELHO, A. S.; ZOPOLLATTO, M. Bioacústica como ferramenta de avaliação do comportamento ingestivo de bovinos a pasto. **Embrapa Gado de Corte**. 2017.
- ANDRIAMANDROSO, A. L. H.; BINDELLE, J.; MERCATORIS, B.; LEBEAU, F. A review on the use of sensors to monitor cattle jaw movements and behavior when grazing. **Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement**, v. 20, n. s1, p. 273–286, 2016.
- ANDRIAMANDROSO, A. L. H.; LEBEAU, F.; BECKERS, Y.; FROIDMONT, E.; DUFRASNE, I.; HEINESCH, B.; DUMORTIER, P.; BLANCHY, G.; BLAISE, Y.; BINDELLE, J. Development of an open-source algorithm based on inertial measurement units (IMU) of a smartphone to detect cattle grass intake and ruminating behaviors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 139, p. 126–137, 2017.
- AVIA. **HX711: 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales DESCRIPTION**. v. 2. Disponível em: <https://www.mouser.com/datasheet/2/813/hx711_english-1022875.pdf>. Acesso em 28 fev 2022.
- BAIÔCO, G. L. Sistema de aquisição de sinal para avaliação de movimentos mandibulares em bovinos. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, 2020.
- BARRETO, F. M. Esofagostomia experimental em caprinos, com cânula definitiva e removível. **Universidade Federal do Piauí**. 2007.
- BARWICK, J.; LAMB, D. W.; DOBOS, R.; WELCH, M.; TROTTER, M. Categorising sheep activity using a tri-axial accelerometer. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 145, n. January, p. 289–297, 2018.
- BARWICK, J.; LAMB, D. W.; DOBOS, R.; WELCH, M.; SCHNEIDER, D.; TROTTER, M. Identifying sheep activity from tri-axial acceleration signals using a moving window classification model. **Remote Sensing**, v. 12, n. 4, p. 1–13, 2020.
- BAÚ DA ELETRÔNICA. Caixa Plástica para montagem de circuitos. Disponível em: <<https://www.piscaled.com.br/caixa-plastica-para-montagem-de-circuitos-125x80x32mm-preta>>. Acesso em 29 out 2022.
- BAÚ DA ELETRÔNICA. LED Difuso 5mm. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/led-difuso-5mm-vermelho.html>>. Acesso em 29 out 2022.
- BAÚ DA ELETRÔNICA. Protoboard 170 Pontos Branco. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/protoboard-170-pontos-branco.html>>. Acesso em 02 nov 2022.

BERCKMANS, D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. **OIE Revue Scientifique et Technique**, v. 33, n. 1, p. 189–196, 2014.

CAMPOS, D. P. **Avaliação do comportamento ingestivo utilizando eletromiografia de superfície do músculo masseter**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. 2016.

CAMPOS, D. P.; ABATTI, P. J.; BERTOTTI, F. L.; HILL, J. A. G.; SILVEIRA, A. L. F. Surface electromyography segmentation and feature extraction for ingestive behavior recognition in ruminants. **Computers and Electronics in Agriculture**. 2018.

CARPINELLI, N. A.; ROSA, F.; GRAZZIOTIN, R. C. B.; OSORLO, J. S. Technical note: A novel approach to estimate dry matter intake of lactating dairy cows through multiple on-cow accelerometers. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 12, p. 11483–11490, 2019.

CARVALHO, T. B. Baixa oferta de bois e exportação ditam mercado. **Coluna do Cepea**. 2021. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/documentos/texto/baixa-oferta-de-bois-e-exportacao-ditam-mercado-artigo-publicado-na-revista-dbo-em-setembro-2021-autores-thiago-bernardino-de-carvalho-e-alessandra-da-paz.aspx>>. Acesso em: 14 mai. 2022.

CATALEX. Micro SD Card Micro SDHC Mini TF Card Adapter Reader Module for Arduino. 2013.

CHAN. FatFs - Generic FAT Filesystem Module. Disponível em: <http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html>. Acesso em: 15 mar 2022.

CHAPA, J. M.; MASCHAT, K.; IWERSEN, M.; BAUMGARTNER, J.; DRILLICH, M. Accelerometer systems as tools for health and welfare assessment in cattle and pigs – A review. *Behavioural Processes*. **Elsevier B.V.** 2020.

CHELOTTI, J. O.; ARRASIN, C. H.; VANRELL, S. R.; RUFINER, H. L.; GIOVANINI, L. L. Desarrollo e implementación de un dispositivo de adquisición y almacenamiento de sonidos para ganadería de precisión. 2014

CLAPHAM, W. M.; FEDDERS, J. M.; BEEMAN, K.; NEEL, J. P. S. Acoustic monitoring system to quantify ingestive behavior of free-grazing cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 76, n. 1, p. 96–104, 2011.

DECANDIA, M.; GIOVANETTI, V.; MOLLE, G.; ACCIARO, M.; MAMELI, M.; CABIDDU, A.; COSSU, R.; SERRA, M. G.; MANCA, C.; RASSU, S. P. G.; DIMAURO, C. The effect of different time epoch settings on the classification of sheep behaviour using tri-axial accelerometry. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 154, n. July, p. 112–119, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Boas Práticas de Criação de Bovinos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-bovina/producao-de-carne-bovina/criacao>>. Acesso em: 3 out. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>>. Acesso em: 3 out. 2021.

E-RADIONICA. **Pressure Sensor MPS20N0040D-S Datasheet.** Disponível em: <https://www.e-radionica.com/productdata/Pressure_Sensor.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021.

FISCHER, V. Efeitos Do Fotoperíodo, Da Pressão De Pastejo E Da Dieta Sobre O Comportamento Ingestivo De Ruminantes. **Tese de doutorado em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.** 1996.

FISCHER, V.; DESWYSEN, A. G.; DUTILLEUL, P.; BOEVER, J. Padrões da distribuição nictemeral do comportamento ingestivo de vacas leiteiras, ao início e ao final da lactação, alimentadas com dieta à base de silagem de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 2129–2138, 2002.

FONSECA, L. Os sons do pastejo. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL FACULDADE DE AGRONOMIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA.** 2014.

FREEPIK. Desenhos animados cabeça de vaca ilustração vetorial de gado vista lateral. Disponível em: <https://br.freepik.com/vetores-premium/desenhos-animados-cabeca-de-vaca-ilustracao-vetorial-de-gado-vista-lateral_24211933.htm>. Acesso em 08 set 2022.

GIVENS, D.I.; OWEN, E.; AXFORD, R. F. E.; OMED, H. M. Forage evaluation in ruminant. **CABI Publishing.** 2000.

GIOVANETTI, V.; DECANDIA, M.; MOLLE, G.; ACCIARO, M.; MAMELI, M.; CABNIDDU, A.; COSSU, R.; SERRA, M. G.; MANCA, C.; RASSU, S. P. G.; DIMAURO, C. Automatic classification system for grazing, ruminating and resting behaviour of dairy sheep using a tri-axial accelerometer. **Livestock Science**, v. 196, p. 42–48, 2017.

GOMES, O. A. Sistema de aquisição e processamento de sinais de sEMG em tempo real para o estudo do comportamento ingestivo em ruminantes. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná,** 2019.

HUG, F. Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography? **Journal of Electromyography and Kinesiology**, fev. 2011.

INVENSENSE. **MPU-6000/MPU-6050 Product Specification.** Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/517744/ETC1/MPU-6050.html>>. Acesso em: 31 out. 2021.

KARANTONIS, D. M.; NARAYANAN, M. R.; MATHIE, M.; LOVELL, N. H.; CELLER, B. G. Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial

accelerometer for ambulatory monitoring. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, v. 10, n. 1, p. 156–167, 2006.

KEC. IC for CMOS Detector Monolithic IC KIC71** Series. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/974506/KEC/KIC7113/1>>. Acesso em 04 set 2022.

KENNEDY, E.; O'DONOVAN, M.; DELABY, L.; O'MARA, F. P. Effect of herbage allowance and concentrate supplementation on dry matter intake, milk production and energy balance of early lactating dairy cows. **Livestock Science**, v. 117, n. 2–3, p. 275–286, 2008.

KONSTANTIN, B. STM32 HAL library for GY-521 (MPU6050) with Kalman filter. Disponível em: <<https://github.com/leech001/MPU6050>>. Acesso em: 21 jan 2022.

LEIBER, F.; HOLINGER, M.; ZEHNER, N.; DORN, K.; PROBST, J. K.; ANET, S. N. Intake estimation in dairy cows fed roughage-based diets: An approach based on chewing behaviour measurements. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 185, p. 9–14, 2016.

LICKA, T.; FREY, A.; PEHAM, C. Electromyographic activity of the longissimus dorsi muscles in horses when walking on a treadmill. **Veterinary Journal**, v. 180, n. 1, p. 71–76, 2009.

LUCA, C. J.; GILMORE, L. D.; KUZNETSOV, M.; ROY, S. H. Filtering the surface EMG signal: Movement artifact and baseline noise contamination. *Journal of Biomechanics*, v. 43, n. 8, p. 1573–1579, 2010.

LITER. Bateria de polímero de lítio 4000mah 337090 v, 3.7. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/32745694283.html>>. Acesso em 15 ago 2022.

MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2020/21 a 2030/31 - Projeções de Longo Prazo. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, p. 101, 2021.

MARCHESINI, G.; MOTTARAN, D.; CONTIERO, B.; SCHIAVON, E.; SEGATO, S.; GARBIN, E.; TENTI, S.; ANDRIGHETTO, I. Use of rumination and activity data as health status and performance indicators in beef cattle during the early fattening period. **Veterinary Journal**, v. 231, p. 41–47, 2018.

MATHIE, M. J.; CELLER, B. G.; LOVELL, N. H.; FOSTER, A. C. F. **Classification of basic daily movements using a triaxial accelerometer**. [s.l: s.n.].

MEZZALIRA, C. J.; CARVALHO, P. C. F.; FONSECA, L.; BREMM, C.; REFFATTI, M. V.; POLO, C. H. E. C.; TRINDADE, J. K. Aspectos metodológicos do comportamento ingestivo de bovinos em pastejo. v. 14, n. 4, 2009.

MERCADO LIVRE. Fita De Nylon Cba 50 Mm Reforçada - 50 Metros Preta. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1622173043-fita-de-nylon-cba-50-mm-reforcada-50-metros-preta-_JM>. Acesso em 03 nov 2022.

MILONE, D. H.; GALLI, J. R.; CANGIANO, C. A.; RUFINER, H. L.; LACA, E. A. Automatic recognition of ingestive sounds of cattle based on hidden Markov models. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 87, p. 51–55, set. 2012.

MONTEIRO, A. L. G. et al. Bocados de caprinos na pastagem de aruana (“Panicum Maximum”) e de HE. 2007.

MOREAU, M.; SIEBERT, S.; BUERKERT, A.; SCHLECHT, E. Use of a tri-axial accelerometer for automated recording and classification of goats’ grazing behaviour. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 119, n. 3–4, p. 158–170, 2009.

NORBU, N.; HESS, P. S.; LEURY, B. J.; WRIGHT, M. M.; DOUGLAS, M. L.; MOATE, P. J.; WILLIAMS, S. R. O.; MARETT, L. C.; GARNER, J. B.; WALES, W. J.; AULDIST, J. Assessment of RumiWatch noseband sensors for the quantification of ingestive behaviors of dairy cows at grazing or fed in stalls. **Animal Feed Science and Technology**, v. 280, 2021.

NYDEGGER, F.; GYGAX, L.; EGLI, W. Centre spécialisé dans la détention convenable des ruminants et des porcs. **Recherche Agronomique Suisse**. 2011

ONSET. HOBO UA-004-64 Data Logger. Disponível em: <<https://www.instrumart.com/assets/UA-004-64-datasheet.pdf>>. Acesso em: 25 mai 2022.

PISCALED. Caixa plástica para montagem de circuitos. Disponível em: <<https://www.piscaled.com.br/caixa-plastica-para-montagem-de-circuitos-125x80x32mm-preta>>. Acesso em: 28 ago 2022.

PENNING, P. D. et al. Further development and use of an automatic recording system in sheep grazing studies. **Grass and Forage Science**. v. 39, 1984

PENNING, P. D. Proceedings Part 1: Feeding Behaviour in Domestic Animals GRAZING BEHAVIOUR OF CHILLINGHAM CATTLE TECHNIQUES FOR AUTOMATIC RECORDING OF EATING AND RUMINATION IN SHEEP. **Applied Animal Ethology**. Elsevier Science Publishers B.V, 1983.

RAYAS-AMOR, A. A.; ALMARÁZ, E.; VELÁSQUEZ, G.; ALBERTO, R.; MARTÍNEZ, A.; GARCÍA, C.; MONTERROSA, R.; LAMA, G. M. Triaxial accelerometers for recording grazing and ruminating time in dairy cows: An alternative to visual observations. **Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research**, v. 20, p. 102–108, 2017.

RAYNOR, E. J.; DERNER, J. D.; SODER, K. J.; AGUSTINE, D. J. Noseband sensor validation and behavioural indicators for assessing beef cattle grazing on extensive pastures. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 242, 2021.

RIABOFF, L.; REULUNJ, A.; PEIOT, C.; FEUILLOY, M.; COUVREUR, S.; MADOUASSE, A. Identification of discriminating behavioural and movement variables in lameness scores of dairy cows at pasture from accelerometer and GPS sensors using a Partial Least Squares Discriminant Analysis. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 193, 2021.

ROBERT, B.; WHITE, B. J.; RENTER, D. G.; LARSON, R. L. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 67, n. 1–2, p. 80–84, 2009.

RUNGSRI, P. K.; STAECKER, W.; LEELAMANKONG, P.; ESTRADA, R. J.; SCHULZE, T.; LISCHER, C. J. Use of body-mounted inertial sensors to objectively evaluate the response to perineural analgesia of the distal Limb and intra-articular analgesia of the distal interphalangeal joint in horses with forelimb Lameness. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 34, n. 8, p. 972–977, 2014.

RUTTER, S. M. Graze: A program to analyze recordings of the jaw movements of ruminants. **Behavior Research Methods, Instruments. & Computers**. 2000.

RUTTER, S. M.; CHAMPION, R. A.; PENNING, P. D. An automatic system to record foraging behaviour in free-ranging ruminants. **Applied Animal Behaviour Science**. 1997.

ST Microelectronics. Ultra-low-power ARM® Cortex®-M4 32-bit MCU+FPU, 100DMIPS, up to 256KB Flash, 64KB SRAM, USB FS, analog, audio. Disponível em: <<https://www.farnell.com/datasheets/2581764.pdf>>. Acesso em: 11 jan 2022.

TULLO, E.; FINZI, A.; GUARINO, M. Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 2751–2760, 2019.

USINA INFO. Chave Push Button PBS-102 104 Vermelha NF 1A. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/botoes-e-pulsadores/chave-push-button-pbs-102-104-vermelha-nf-1a-4668.html>>. Acesso em 02 nov 2022.

WERNER, J.; LESO, L.; UMSTATTER, C.; NIEDERHAUSER, J.; KENNEDY, E.; GEOGHEGAN, A. Evaluation of the RumiWatchSystem for measuring grazing behaviour of cows. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 300, p. 138–146, 2018.

WIJNBERG, I. D.; FRANSSEN, H. The potential and limitations of quantitative electromyography in equine medicine. **Veterinary Journal** Bailliere Tindall Ltd. 2016.

WILLIAMS, J. M. Electromyography in the Horse: A Useful Technology? **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 60, p. 43- 58.e2, 2018.

WHITE, M. J. The MPU6050 Explained. Disponível em: <<https://mjwhite8119.github.io/Robots/mpu6050>>. Acesso em: 03 mar 2022.

ZANINE, A. M.; SANTOS, M. E. Tempo de pastejo, ocio, ruminacao e taxa de bocadas de bovinos em pastagens de diferentes estruturas morfológicas. **Revista Eletrônica de Veterinaria**. 2006.

ZSOLDOS, R. R.; KOTSCHWAR, A. B.; GROESEL, M.; LICKA, T. Electromyography activity of the equine splenius muscle and neck kinematics during walk and trot on the treadmill. **Equine Veterinary Journal**, v. 42, n. SUPPL. 38, p. 455–461, 2010.