

UNIVERSIDADE TÉCNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL AUGUSTO MÜLLER

**RESUMO DO TRABALHO DE AUGUSTO GOMES 2019 –
SISTEMA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE SINAIS DE
sEMG EM TEMPO REAL PARA O ESTUDO DO
COMPORTAMENTO INGESTIVO EM RUMINANTES**

SUMÁRIO

- 1. Introdução**
- 2. Revisão dos Métodos de Avaliação do Comportamento Ingestivo do Animal**
 - 2.1. Métodos Eletrônicos
 - 2.1.1. Sensor de Pressão e Deformação
 - 2.1.2. Sensor Acústico
 - 2.1.3. Sensor de Aceleração
 - 2.1.4. Eletromiografia de Superfície
- 3. Fundamentação Teórica**
 - 3.1. Instrumentação para sEMG
 - 3.1.1. Eletrodos
 - 3.2. Processamento em sEMG
 - 3.2.1. Pré-Processamento
 - 3.2.2. Segmentação de Sinal
 - 3.2.3. Atributos do Sinal
- 4. Material e Métodos**
 - 4.1. Unidade de Monitoramento
 - 4.1.1. Microcontrolador
 - 4.1.2. Front-End Analógico
 - 4.1.3. Sensor de Aceleração
 - 4.1.4. Sensor de Pressão
 - 4.1.5. Alimentação
 - 4.1.6. Projeto da Placa Principal
 - 4.2. Comunicação sem Fio
 - 4.2.1. Módulo de Rádio
 - 4.2.2. Ponte entre LoRa e MQTT
 - 4.2.3. Hardware do Gateway
 - 4.3. Manipulação dos Dados na Unidade de Monitoramento
 - 4.4. Aquisições de Sinais em Campo
- 5. Resultados e Discussões**
 - 5.1. Unidade de Monitoramento
 - 5.2. Aspecto Temporal do Sinal de sEMG e do Sensor de Pressão
 - 5.3. Aspecto do Comprimento da Janela de Segmentação, Classificação do Comportamento Ingestivo e Bateria
- 6. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros**

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Segundo a pesquisa “O agro no Brasil e no Mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020” realizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2021), o Brasil mostra que vem ganhando mais força em suas exportações. Em 2020 o país foi o quarto maior produtor de grãos do mundo. Já em carne bovina, não só foi considerado o maior exportador de 2020, como representou 14,3% do rebanho global, liderando as pesquisas.

Em documento publicado pela OECD/FAO (2020), a produção de bovinos tende a aumentar em 6 milhões de toneladas até 2029 e grande parte desse aumento virá de países em desenvolvimento (CiCarne, 2020), como o Brasil. É esperado que o consumo de carne bovina cresça e passe a representar 16% no aumento total de carnes. Com isso, o Brasil se beneficiará dos recursos naturais, vasta área de pastagens, ganhos de produtividade e com a valorização do Dólar.

Visto isso, a implementação de tecnologias para intensificar a produção e eficiência de um mercado tão importante para o Brasil se vê de extrema importância. A Agricultura de Precisão surgiu como um sistema de gerenciamento de informações e que teve seu crescimento potencializado a partir de avanços da tecnologia de referenciamento e posicionamento, como o GPS (do Inglês, *Global Positioning System*) e de tecnologias de sensoriamento remoto (NUNES, 2020).

Dentre inúmeras finalidades da Agricultura de Precisão, pode se destacar seu estudo e aplicação no monitoramento do processo ingestivo de animais. Toda produção que se segue depende da apropriada alimentação do ser vivo, pois ela proporciona os nutrientes e a energia necessários para realizar suas funções orgânicas corretamente. Dados como tempo de pastejo, ruminação e movimentos musculares do animal são coletados a fim de serem analisados por um especialista, podendo ser cruciais em alguns casos como a detecção prévia de doenças, que tem potencial de impactar negativamente a produção futura (Campos, 2016).

No trabalho desenvolvido por Campos (2016), a técnica de Eletromiografia de superfície (sEMG) foi empregada para obter sinais do músculo masseter de ruminantes, localizado na mandíbula e principal músculo envolvido na mastigação, permitindo obter informações a respeito do comportamento ingestivo desses animais. Na sequência, Gomes (2019) desenvolveu uma rede de sensores de eletromiografia de superfície (sEMG) para o monitoramento do comportamento ingestivo de ruminantes, permitindo extrair informações importantes para melhorar técnicas de manejo, detectar doenças, garantir o bem-estar animal e, consequentemente, maximizar a produção animal.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO INGESTIVO ANIMAL

Em se tratando de métodos para compreender o processo ingestivo do animal, o método visual é considerado o padrão por muitos pesquisadores, embora tenha mais pontos negativos do que positivos se comparado aos modernos aparelhos eletrônicos. Nela são utilizados trabalhadores treinados que veem movimentos do animal e anotam os dados para um estudo posterior com esses dados.

Apesar do método visual ser o método padrão para os estudos, existem diversas desvantagens, tais como: ser muito cansativo para quem executa, difícil de realiza-lo a noite, necessita de muitos trabalhadores e por esse motivo não é impraticável em um rebanho muito grande. Mas mesmo nos dias atuais, a mera observação do animal ainda é utilizada como comprovação dos dados registrados pelos métodos eletrônicos.

2.1 MÉTODOS ELETRÔNICOS

Os principais aparelhos eletrônicos que serão citados na sequência são capazes de obter três sinais importantes: posição e movimentos da cabeça do animal (giroscópio e acelerômetro) e detecção de bocados (sensor de pressão).

2.1.1 SENSOR DE PRESSÃO E DEFORMAÇÃO

Uma das técnicas mais utilizadas para avaliar o comportamento ingestivo de ruminantes utiliza um sistema de aquisição sinais oriundos de um transdutor de pressão. Nessa técnica, um tubo com um transdutor de pressão é acoplado no focinho do animal, quando ele se alimenta, gera movimentos na mandíbula que alteram a pressão no tubo e são traduzidos para variações de resistência no transdutor (Gomes, 2019). O dispositivo conhecido como RumiWatch (RWS), desenvolvido pela empresa alemã ITIN+HOCH foi amplamente utilizado em pesquisas científicas na área de nutrição animal (Zehner, 2017), pois trata-se de um aparelho portátil, de fácil utilização, produz poucos dados (por esse motivo gasta pouca bateria) e não interfere no comportamento do animal pois é muito confortável.

Os dados obtidos pelo RWS são gravados em um cartão de memória ou enviados via conexão sem fio e aplicados à um algoritmo no próprio dispositivo. Nesse programa, são contados os picos de energia registrados acima de um determinado valor, e com base

na frequência desses picos, são categorizados os movimentos como ruminação, alimentação, ingestão de líquidos, dentre outros a (ZEHNER et al., 2012; ZEHNER et al., 2017; WERNER et al., 2018).

Embora tenha aspectos negativos a exemplo de os dados elétricos mudarem dependendo da espécie do animal e de não ser tão exato quanto ao tempo de ingestão de líquidos, o RWS permite classificar com 98% de exatidão seus sinais quando comparados à observação visual (Gomes, 2019).

2.1.2 SENSOR ACÚSTICO

O sensor acústico baseia-se no estudo de que se pode categorizar os movimentos mastigatórios pelo som, por isso, é instalado um aparelho com microfone em cima da cabeça do animal ou em um local perto da boca, a fim de captar esses sinais que podem ser guardados localmente ou enviados por uma conexão sem fio.

O sensor acústico apresenta desvantagens tais como: custo computacional e o consumo de bateria. Além disso, esses sinais sonoros podem conter ruídos provenientes de outros animais ou do próprio ambiente, dificultando ainda mais a análise.

2.1.3 SENSOR DE ACELERAÇÃO

As atividades realizadas pelo animal como pastar, deitar, correr e andar podem ser capturadas por sensores inerciais, como acelerômetros e giroscópio (Gomes, 2019). O aparelho utiliza a aceleração do animal ou a gravidade para enviar sinais elétricos, analógicos ou digitais, via Bluetooth para um computador que, aplicados a um algoritmo, distinguem os movimentos.

No sistema de monitoramento desenvolvido por Gomes (2019), foi considerado o uso de sensores inerciais juntamente com outros sensores como o de eletromiografia de superfície. A hipótese do trabalho é que essa fusão de sensores possibilite uma avaliação mais abrangente a respeito do comportamento ingestivo de ruminantes.

2.1.4 ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE

A técnica que utiliza sinais de Eletromiografia de superfície (sEMG) do músculo masseter de ruminantes para avaliação do comportamento ingestivo de ruminantes foi aplicada nos trabalhos de Campos (2016) e de Gomes (2019), revelando ser uma técnica promissora e pode ser explorada em trabalhos futuros.

Previamente, a técnica da sEMG foi aplicada por (RUS et al., 2013) com um dispositivo conhecido como DairyCheck. Foi desenvolvido com dois eletrodos acoplados na cabeça do animal, que fazem a leitura de sinais de movimentos do músculo masseter,

responsável pela alimentação. Os dados são então enviados via rádio para um computador que, por meio de um algoritmo, consegue identificar a ruminação do animal, mas não a mastigação. Se comparado às observações visuais, o aparelho conseguiu uma assertividade de mais de 85% nos poucos testes envolvendo-o (Gomes, 2019).

Em um estudo realizado por Campos (2016), usando caprinos, foi constatado uma promissora diferença na frequência de sinais na mastigação e na ruminação quando analisados manualmente. Além disso foi possível diferenciar o alimento que estava sendo ingerido e calcular o seu consumo de curto prazo, isso tudo sem interferir no comportamento natural de nutrição do animal. No trabalho de Campos (2016) foi evidenciada a necessidade de um aparelho para a aquisição de sinais de sEMG de animais em pastejo livre, com tamanho reduzido, baixo consumo de energia. Em contrapartida, a falta de um aparelho vendido comercialmente, gasto com a bateria, dificuldade de posicionar os eletrodos e não existir uma diferenciação automática nas atividades de alimentação, dificultam o desenvolvimento de mais estudos.

CAPÍTULO 3: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No trabalho de Gomes (2019), o método da sEMG foi aplicado na avaliação comportamento ingestivo de ruminantes. A implementação contemplou o desenvolvimento de *hardware* e *software*, envolvendo a instrumentação para sinais de sEMG, eletrodos e técnicas para processamento de sinais.

3.1 INSTRUMENTAÇÃO PARA sEMG

Os sinais de sEMG, obtidos a partir de eletrodos, possuem amplitude de poucos milivolts, exigindo circuitos específicos para condicionamento desses sinais, como filtros e amplificadores. Esses elementos compõe a instrumentação de sinais necessária para obter informações úteis para avaliação do comportamento ingestivo de ruminantes. Devido a presença de ruído em artefatos de movimento, a aplicação de um circuito para instrumentação desses sinais é primordial. As informações mais relevantes no sEMG encontram-se na faixa de frequências de 20 a 400 Hz, sendo importante a utilização de um filtro passa-faixa para eliminar componentes indesejadas no sinal captado.

A Figura 1 apresenta, de forma simplificada, um diagrama com os elementos considerados na instrumentação sendo os seguintes: 1 – sensores; 2 - amplificador diferencial inicial; 3 - circuito RLD (do inglês, Right Leg Driver); 4 - filtro passa alta; 5 - ganho adicional auxiliar; 6 - filtro passa baixa; 7 - conversor A/D; 8 - processador digital de sinais (DSP).

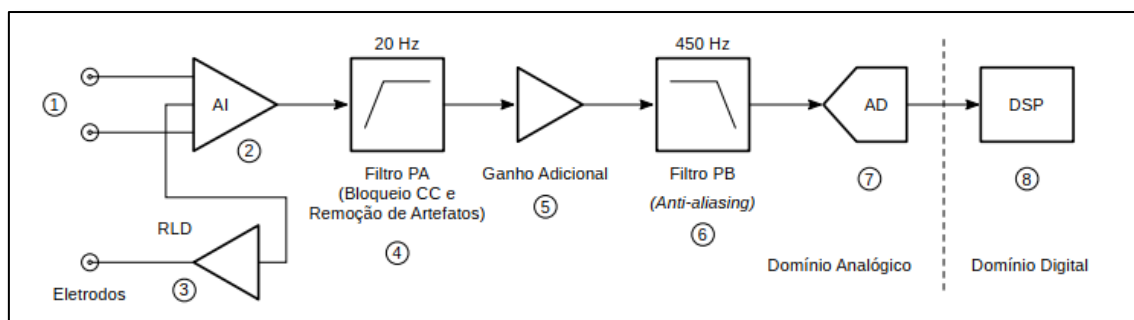


Figura 1 – Diagrama de blocos simplificado, contendo os componentes necessários para instrumentação de sinais de sEMG.

Fonte: Gomes (2019).

3.1.1 ELETRODOS

Neste trabalho são utilizados somente eletrodos de superfície, colocados sobre a pele no animal, na região do músculo masseter, que é o principal músculo envolvido na mastigação. Esses sensores são a primeira etapa do sEMG e detectam sinais elétricos decorrentes das movimentações musculares, logo, a escolha do tipo de eletrodo deve ser metódica e caso mal feita pode comprometer a qualidade dos dados.

Os eletrodos do tipo Ag/AgCl com gel condutivo, usados na eletrocardiografia, são os mais comuns, pois são: descartáveis, possuem uma fita que gruda na pele e tem uma baixa impedância em relação a outros modelos. No trabalho de Campos (2016) foi detectado que seria impraticável em muitos animais em pasto aberto, visto que é necessário raspar a pelagem regularmente para manter o eletrodo preso além de estar sujeito as mudanças de temperatura, sol e chuva. Apesar disso, esse tipo de eletrodo oferece uma ótima estabilidade bioelétrica, pouco ruído, possuem menor potencial CC e baixa impedância eletrodo-pele, que são requisitos chaves nessa pesquisa e, por esses motivos, foram adotados no trabalho de Gomes (2019).

3.2 PROCESSAMENTO DE SINAIS DE sEMG

De acordo com a Figura 2, o processamento digital de sinais de sEMG inclui um estágio de pré-processamento (aplicação de filtros digitais), um algoritmo para segmentação do sinal e a extração de atributos de cada segmento do sinal.

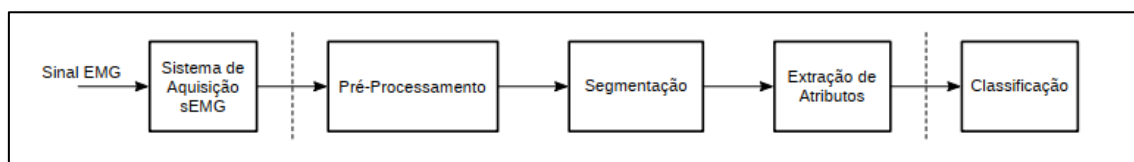


Figura 2 – Etapas do processamento de sinais de sEMG.

Fonte: Gomes (2019).

3.2.1 PRÉ-PROCESSAMENTO

Nessa etapa o objetivo é remover interferências no sinal e torná-lo digital a fim de reduzir a complexidade computacional e diminuir a utilização da bateria. Isso é feito por meio de filtros digitais (FIR ou IIR).

Filtros do tipo FIR são não recursivos, ou seja, dependem apenas do sinal de entrada, oferecem estabilidade e linearidade, que se traduz em um atraso de grupo constante, mas para isso requer uma alta complexidade computacional (Gomes, 2019).

Já os filtros IIR dependem dos sinais de saída anteriores. Chamados de recursivos, esse tipo de filtro requer baixo custo computacional, por isso pode causar instabilidade, não linearidade, gerando um atraso de grupo inconstante e ainda gerar distorções no sinal.

3.2.2 SEGMENTAÇÃO

Na segmentação a finalidade é obter um segmento do sinal digital pré-processado representando um movimento mastigatório completo (bocado). Os procedimentos que podem ser adotados são baseados em um intervalo de tempo ou em uma janela móvel

No primeiro método, é feito uma busca de amplitudes que ultrapassam um limite, baseado em parâmetros do sinal EMG, caso satisfeita essa condição e os requerimentos, é extraído o sinal. No outro, é definida uma janela de extração dos sinais fixa, com isso pode-se causar sobreposição de sinais ou até dividir um sinal de mastigação no meio.

3.2.3 ATRIBUTOS DO SINAL

Os atributos consistem de características de um sinal, como valor RMS, energia, passagem por zero, média, entre outros. O cálculo desses atributos resulta em valores com tamanho muito menor que o sinal processado, reduzindo a quantidade de dados.

Os atributos do sinal são entradas para um algoritmo de classificação, podendo ser uma Rede Neural Artificial (RNA) treinada, resultando em saídas correspondentes aos eventos de interesse.

CAPÍTULO 4: MATERIAL E MÉTODOS

Neste Capítulo será abordado, de forma resumida, o sistema de monitoramento desenvolvido por Gomes (2019). Esse sistema pode ser dividido em três partes: 1 - unidade de monitoramento (instalada no animal); 2 - Concentrador de dados; e 3 - servidor.

4.1 UNIDADE DE MONITORAMENTO

A unidade de monitoramento mostrada na Figura 3 é instalada na cabeça do animal capaz de adquirir, processar, armazenar e transmitir os sinais de sEMG, assim como de sensores de pressão e aceleração. Os principais elementos desse dispositivo serão explorados nas subseções seguintes.

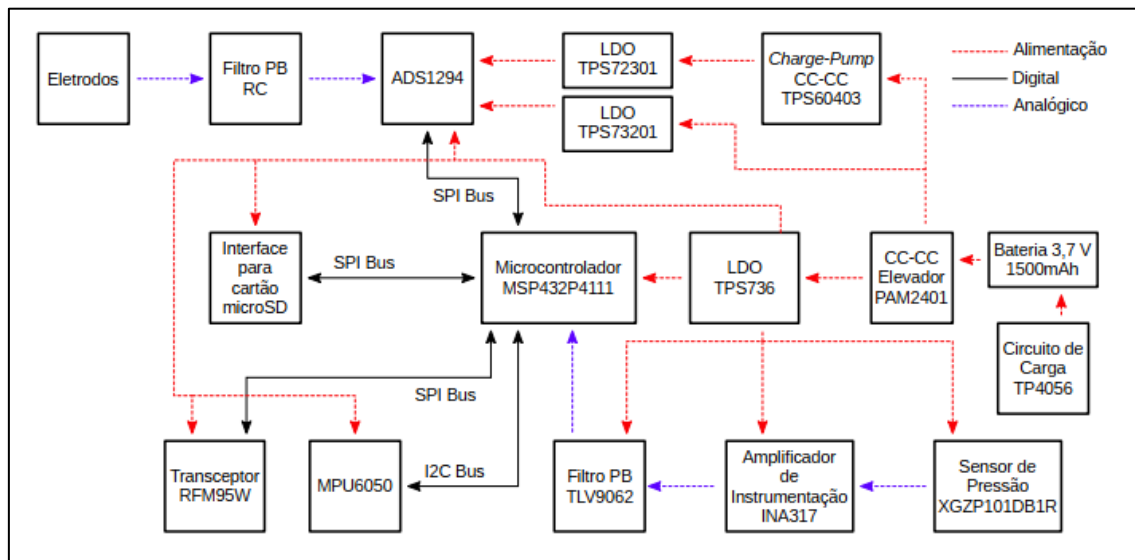


Figura 3 – Blocos de hardware que compõe a unidade de monitoramento.

Fonte: Gomes (2019).

4.1.1 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador utilizado foi um MSP fabricado pela empresa *Texas Instruments*, possuindo uma CPU ARM(R) *Cortex M4F*, 2 MB de memória *Flash*, 256 kB de memória *SRAM* e frequência máxima de operação de 48 MHz. A escolha desse dispositivo foi baseada em um bom equilíbrio de bateria e desempenho, e possui todas as entradas para os dispositivos externos necessários.

4.1.2 FRONT-END ANALÓGICO

Um front-end analógico é uma solução integrada para instrumentação de sinais analógicos, efetuando o tratamento desses sinais analógicos, conversão A/D (Analógico para Digital) e disponibilizando as informações resultantes a um microprocessador ou microcontrolador por meio de uma interface de comunicação digital. O front-end utilizado para instrumentação dos sinais de sEMG foi o dispositivo **ADS1294**, fabricado pela *Texas Instruments*, representando o estado da arte das soluções para aquisição de sinais bioelétricos. No estudo de Gomes (2019), esse dispositivo foi manejado na operação de baixo consumo, com frequência de *clock* reduzida, necessitando adicionalmente o projeto de um filtro *antialiasing* para a entrada de sinais.

4.1.3 SENSOR DE ACELERAÇÃO

Sensores inerciais instalados na cabeça de um animal podem ser utilizados para obter informações a respeito dos movimentos e posição da cabeça, permitindo identificar, por exemplo, se o animal está com a cabeça próxima ao solo para se alimentar ou ainda o arranquio de pasto. O sensor MPU6050, fabricado pela TDK-InvenSense, possui um acelerômetro triaxial e um giroscópio integrados, possibilitando detectar os movimentos da cabeça e sua posição (Alvarenga, 2016). É possível obter isso com alto nível de integração e baixo consumo de bateria, principalmente desativando funções desnecessárias.

4.1.4 SENSOR DE PRESSÃO

O método do sensor de pressão é implementado a partir do sensor XGZP..., que consiste de um sensor de pressão resistivo, na configuração de ponte de Wheatstone, para pressões na faixa de 0 a 40 kPa (REF, ANO). Além do sensor, foi desenvolvido um circuito de instrumentação baseado em um amplificador de instrumentação e filtro *anti-aliasing*.

4.1.5 ALIMENTAÇÃO

A alimentação da unidade de monitoramento é feita a partir de uma bateria de Polímeros de Lítio (LiPo), com uma célula de 3,7 V e capacidade de 1500 mA/h. O sistema de alimentação conta com um circuito para recarga dessa bateria pela energia fornecida por uma porta USB.

4.1.6 PROJETO DA PLACA PRINCIPAL

A placa principal da unidade de monitoramento foi projetada usando a ferramenta EDA (*Electronic Design Automation*), com a premissa de ser leve e compacta para que a própria unidade de monitoramento tivesse dimensões reduzidas para não causar desconforto ao animal.

4.2 COMUNICAÇÃO SEM FIO

O sistema de comunicação sem fio consiste de um enlace de RF formado por módulos de RF instalados na unidade de monitoramento e no gateway ou concentrador de dados. Essa unidade envia os dados pré-processados para um concentrador ou *gateway* via conexão Ethernet, usando os protocolos TCP/IP. O gateway resgata essas informações e transmite até o servidor via protocolo MQTT.

4.2.1 MÓDULO DE RÁDIO

Como um dos requisitos do sistema é funcionar em longas distâncias (até 10 km), foi empregado um módulo de RF com tecnologia LoRa (Long Range) com frequência de 915 MHz. Embora tenha baixa taxa de transferência de dados, esse rádio cumpre o proposto pelo projeto além de gastar pouca bateria.

4.2.2 PONTE ENTRE LORA E MQTT

Os dados recebidos pelo concentrador, via módulo de RF LoRa, precisam ser enviados a um computador ou servidor. Para isso, foi aplicado o protocolo MQTT, que permita conexões simultâneas. O papel dessa ponte é obter os dados enviados pela unidade de monitoramento no rádio do gateway e enviar para o servidor. Esse protocolo estabelece e gerencia conexões entre clientes (unidades de monitoramento) e servidor.

4.2.3 HARDWARE DO GETAWAY

O concentrador foi implementado a partir de kit de desenvolvimento LAUNCHPAD MSP-EXP432E401Y, possuindo módulos de RF LoRa para comunicação com unidades sensoras, um microcontrolador e interface de rede do tipo Ethernet. Os protocolos TCP/IP são utilizados para estabelecer conexão com um computador ou servidor, enquanto o protocolo MQTT operacionaliza a comunicação entre clientes e servidor.

4.3 MANIPULAÇÃO DOS DADOS NA UNIDADE DE MONITORAMENTO

O processamento dos dados de sEMG e sensores é representado pelo diagrama mostrado na Figura 4. Os sinais brutos de sEMG, obtidos pelo dispositivo ADS1294, são armazenados em cartão de memória para posterior análise, filtrados digitalmente e segmentados. Os atributos de cada segmento são extraídos e enviados para o concentrador de dados. Os sinais condicionados do sensor de pressão são adquiridos por meio do conversor A/D do microcontrolador e gravados no cartão de memória. Por último, as informações do sensor inercial são lidas pelo microcontrolador e armazenadas diretamente no cartão de memória, em um único arquivo, juntamente com os dados de sEMG e do sensor de pressão.

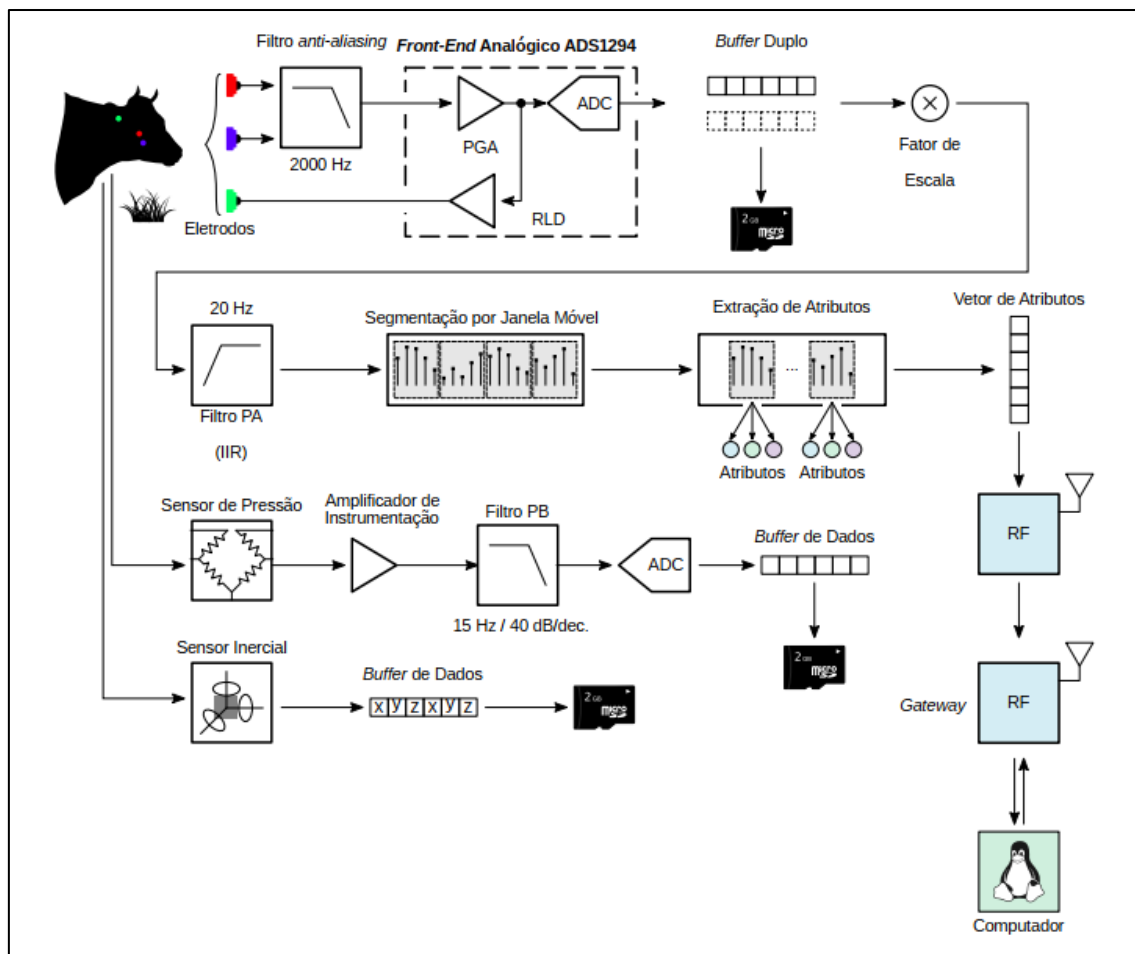


Figura 4 – Diagrama esquemático do fluxo dos dados no sistema proposto.
Fonte: Gomes (2019).

4.4 AQUISIÇÃO DE SINAIS EM CAMPO

Os experimentos foram realizados em três vacas diferentes, com idades e pesos semelhantes, no período da manhã e em três dias distintos no IAPAR de Pato Branco.

Foi feita a preparação da pele do animal para posicionar os sensores e fornecidos 8Kg de silagem para os testes, que foram filmados e concluídos em 100 minutos aproximadamente. Foram estudadas as atividades de alimentação, ruminação e ócio do animal.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 UNIDADE DE MONITORAMENTO

O dispositivo foi encapsulado por uma capa de plástico feita em uma impressora 3D e pode ser observado na Figura 5. Nos testes conduzidos, foi escolhido um local com

pouca atividade muscular para afixar o dispositivo, por isso foi posto na parte dorsal do pescoço, como pode ser visto na Figura 6.

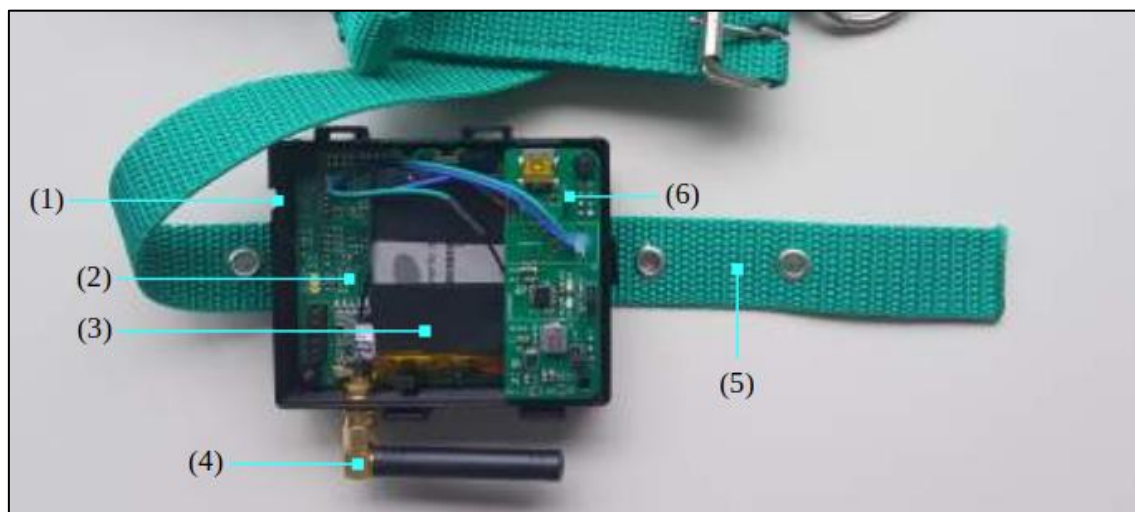


Figura 5 – Circuito completo acomodado em uma caixa plástica. (1) caixa plástica; (2) placa principal da unidade de monitoramento; (3) bateria de LiPo; (4) antena do rádio; (5) buçal; (6) placa de alimentação e controle de carga da bateria;

Fonte: Gomes (2019).



Figura 6 – À esquerda é possível visualizar o posicionamento dos eletrodos de modo diferencial, bem como a caixa plástica que protege o circuito afixada no animal. À direita é mostrado o animal realizando movimentos para apanhar o alimento ofertado.

Fonte: Gomes (2019).

5.2 ASPECTO TEMPORAL DO SINAL DE sEMG E DO SENSOR DE PRESSÃO

A Figura 7 mostra as atividades dos três animais do experimento num mesmo período. Tomando o animal 2 como exemplo, é possível observar que ele se alimentou por bastante tempo, fez uma pausa, se alimentou mais um pouco e depois ficou em ócio até que ruminou perto do final. É possível notar também uma diferença na amplitude do

sinal do animal 3 comparado aos outros, isso ocorreu devido ao possível descolamento dos eletrodos.

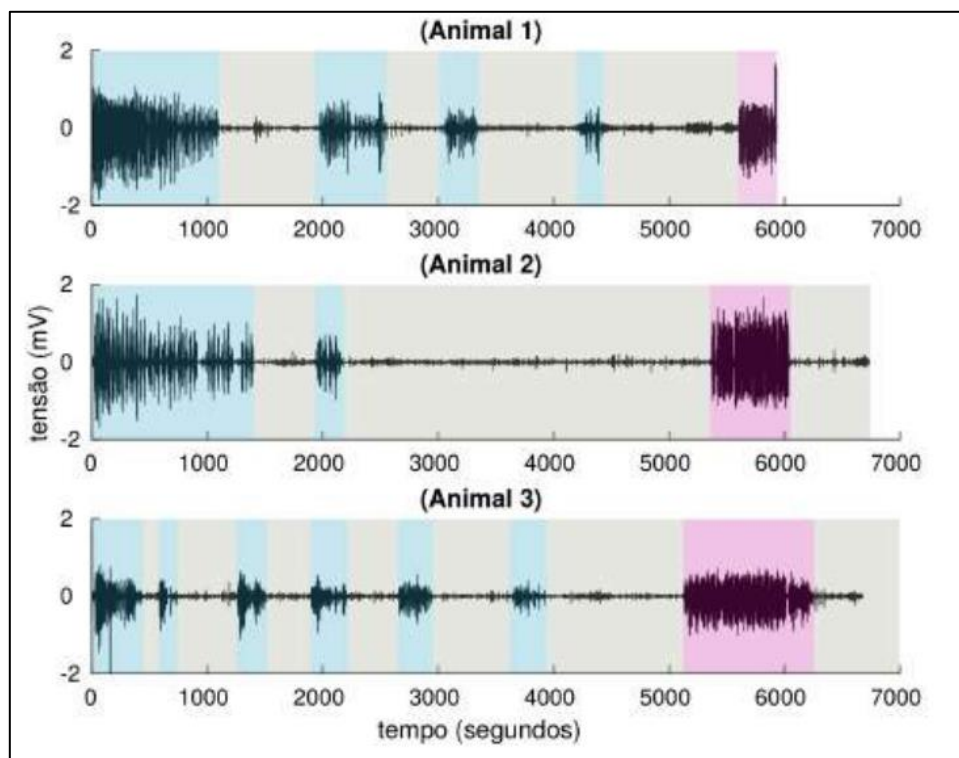


Figura 7 – Sinais de sEMG após passarem pelo filtro digital passa alta. Em azul, atividade de alimentação, em vermelho, ruminação e em cinza, ócio.

Fonte: Gomes (2019).

O sensor de pressão é capaz de captar vários movimentos do animal, como espantar uma mosca, já o sEMG não tem esse tipo de ruído e por isso pode causar uma desproporcionalidade em picos de amplitude quando comparados os sinais.

5.3 ASPECTO DO COMPRIMENTO DA JANELA DE SEGMENTAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO INGESTIVO E BATERIA

Para a classificação do sinal, foi treinada uma rede neural capaz de distinguir as atividades realizadas pelo animal entre período de alimentação, ruminação e ócio, conforme ilustrado na Figura 8. Dentre os testes realizados, foi constatado que uma janela de 3 segundos obteve a melhor precisão na classificação.

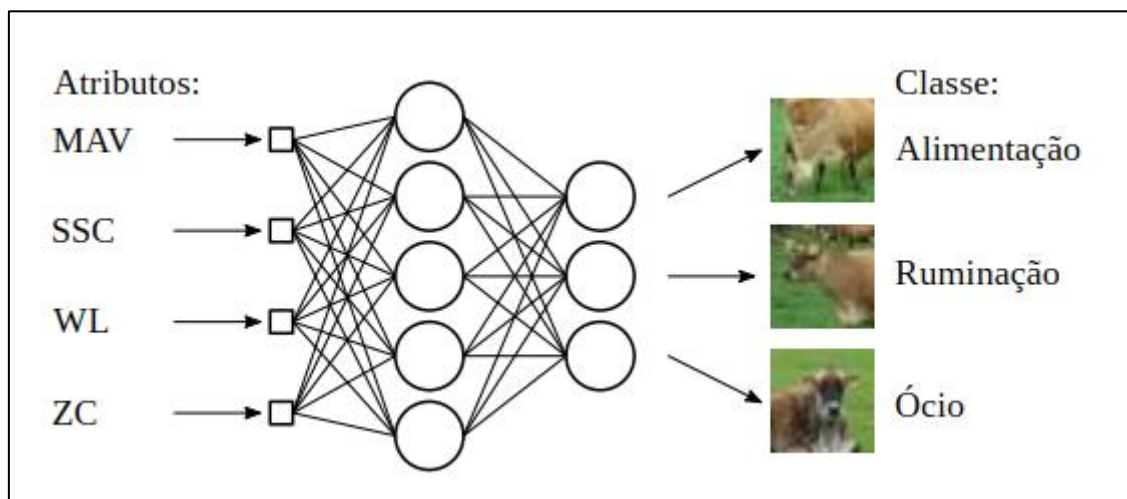


Figura 8 – Configuração da rede neural utilizada para classificar os comportamentos de alimentação, ruminação e ócio, a partir dos atributos do sinal de sEMG.

Fonte: Gomes (2019).

A partir disso, os testes resultaram em uma acurácia global de 86% para as classificações. A Figura 9 mostra que a rede teve melhor sucesso em determinar a atividade de ócio, seguido da alimentação e depois de ruminação em janelas de 3 segundos.

	precisão	sensibilidade	medida-f1
Alimentação	0,82	0,85	0,83
Ruminação	0,87	0,77	0,82
Ócio	0,89	0,95	0,92

Figura 9 – Tabela de precisão de captura dos movimentos.

Fonte: Gomes (2019).

A duração da bateria nos testes foi medida com o software *EnergyTrace*, e teve como parâmetros intervalos de 3 segundos, utilizando um cartão de memória e enviando dados via rádio a cada 21 segundos. Nesse caso, a autonomia com a bateria de 1500 mA/h foi estimada em 6 dias e 8 horas.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo proposto desenvolveu um sistema para aquisição de sinais de sEMG do músculo masseter de animais, assim como sinais de sensor de pressão e sensores inerciais. Os sinais de sEMG são processados, segmentados e atributos desse sinal são extraídos.

Parte do sucesso do trabalho foi a implementação de um dispositivo compacto para que o registro dos sinais, que não incomodasse o animal. Além disso, a frequência de amostragem do sinal de sEMG (1 ksp/s) é maior que a frequência de 10 Hz utilizada no trabalho de Büchel (2014). Isso significa que uma maior quantidade de informações é obtida do sinal de sEMG, refletindo no resultado de classificação, demonstrando uma precisão global de 86% nas classificações das atividades e mostra que a continuação desse trabalho é extremamente válida.

Quanto a estudos posteriores, o autor cita utilizar eletrodos de contato seco, pois embora a estimativa de uso da bateria do dispositivo seja de 6 dias, os eletrodos descartáveis duram apenas algumas horas, limitando a coleta de sinais. Outra dica é capturar os dados do acelerômetro somente quando houver mastigação, a fim de aumentar a vida da bateria e reduzir a quantidade de sinais amostrados.

Por fim, a implementação de um programa para controle dinâmico da potência do rádio e a criação de um banco de dados com várias amostras, compõem as observações finais do autor para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, F. A. P.; BORGES, I.; PALKOVIČ, L.; RODINA, J.; ODDY, V. H.; DOBOS, R. C. Using a three-axis accelerometer to identify and classify sheep behaviour at pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, Elsevier, v. 181, p. 91–99, 2016.
- BÜCHEL, S. Sensor-based Control of Chewing and Rumination Behavior of Dairy Cows. Tese (Doktor der Agrarwissenschaften) — Faculty of Organic Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Animal Health, University of Kassel, Kassel, 2014.
- BÜCHEL, S.; SUNDRUM, A. Technical note: Evaluation of a new system for measuring feeding behavior of dairy cows. *Comput. Electron. Agric.*, Elsevier, v. 108, p. 12–16, 2014.
- Gomes, Otavio Augusto - Sistema de Aquisição e Processamento de Sinais de sEMG em Tempo Real para o Estudo do Comportamento Ingestivo em Ruminantes 2019.
- CAMPOS, D. P. de; ABATTI, P. J.; BERTOTTI, F. L.; SILVEIRA, A. L. F. da; HILL, J. A. G. Surface electromyography measurements for ingestive behaviour identification on goats. In: IEEE LATIN AMERICAN SYMPOSIUM ON CIRCUITS & SYSTEMS (LASCAS), 7., 2016, Florianópolis. *Anais...* [S.l.]: IEEE, 2016. p. 271–274.
- CAMPOS, D. P.; ABATTI, P. J.; BERTOTTI, F. L.; HILL, J. A. G.; SILVEIRA, A. L. F. da. Surface electromyography segmentation and feature extraction for ingestive behavior recognition in ruminants. *Comput. Electron. Agric.*, Elsevier, v. 153, p. 325–333, 2018.

CAMPOS, D. P.; ABATTI, P. J.; BERTOTTI, F. L.; GOMES, O. A.; BAIOCO, G. L.; HILL, J. A. G.; SILVEIRA, A. L. F. da. Ingestive pattern recognition on cattle using EMG segmentation and feature extraction. In: BRAZILIAN CONGRESS ON BIOMEDICAL ENGINEERING (CBEB), 26., 2018, Armação de Búzios. Anais... [S.l.]: Springer, 2019. p. 281–288.

CAMPOS, D. P.; ABATTI, P. J.; BERTOTTI, F. L.; VIEIRA, A. D. P.; HILL, J. A. G.; SILVEIRA, A. L. F. da. Short-term fibre intake estimation in goats using surface electromyography of the masseter muscle. *Biosystems Eng.*, Elsevier, v. 183, p. 209–220, 2019.

CAMPOS, D. P. de. Avaliação do comportamento ingestivo utilizando eletromiografia de superfície do músculo masseter. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco, Pato Branco, 2016.

GUARALDO, MARIA CLARA.; “Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo”. EMBRAPA, Brasília, 01/06/2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias?p_auth=IGCStHXB&p_p_id=buscanoticia_WAR_pcebusca6_1portlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=pop_up&p_p_mode=view&buscanoticia_WAR_pcebusca6_1portlet_javax.portlet.action=visualizarNoticia&buscanoticia_WAR_pcebusca6_1portlet_journalArticleId=62619259&buscanoticia_WAR_pcebusca6_1portlet_titulo=brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo. Acesso em: 11/10/2021.

MALAFIA, GULHERME CUNHA.; BISCOLA, PAULO H. N.; TEIXEIRA, FERNANDO RODRIGUES. EMBRAPA, Brasília, 24/07/2020. Disponível em: <https://www.cicarne.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Boletim-CiCarne-15.pdf>. Acesso em: 11/10/2021.

NUNES, JOSÉ L. DA SILVA.; “A AGRICULTURA DE PRECISÃO COMO FERRAMENTA PARA O PRODUTOR RURAL”. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/precisao/artigos/A%20AGRICULTURA%20DE%20PRECISAO%20COMO%20FERRAMENTA%20PARA%20O%20PRODUTOR%20RURAL.pdf>. Acesso em: 11/10/2021

OECD/FAO (2020), OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029, FAO, Rome/OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>.

RUS, M. A.; WOBSCHALL, A.; STORM, S.; KAUFMANN, O. DairyCheck - a sensor system for monitoring and analysis of the chewing activity of dairy cows. *Landtechnik, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft eV (KTBL)*, v. 68, n. 6, p. 395–399, 2013.

WERNER, J.; LESO, L.; UMSTATTER, C.; NIEDERHAUSER, J.; KENNEDY, E.; GEOGHEGAN, A.; SHALLOO, L.; SCHICK, M.; O'BRIEN, B. Evaluation of the RumiWatchSystem for measuring grazing behaviour of cows. *J. Neurosci. Methods*, Elsevier, v. 300, p. 138–146, 2018.

WERNER, J.; UMSTATTER, C.; ZEHNER, N.; NIEDERHAUSER, J. J.; SCHICK, M. Validation of a sensor-based automatic measurement system for monitoring chewing activity in horses. *Livest. Sci.*, Elsevier, v. 186, p. 53–58, 2016.

ZEHNER, N.; UMSTÄTTER, C.; NIEDERHAUSER, J. J.; SCHICK, M. System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable-fed cows. *Comput. Electron. Agric.*, Elsevier, v. 136, p. 31–41, 2017.

ZEHNER, N.; NIEDERHAUSER, J. J.; NYDEGGER, F.; GROTHMANN, A.; KELLER, M.; HOCH, M.; HAEUSSERMANN, A.; SCHICK, M. Validation of a new health monitoring system (RumiWatch) for combined automatic measurement of rumination, feed intake, water intake and

locomotion in dairy cows. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING CIGR-AGENG, 2012, Valência, Espanha. Anais... [S.l.], 2012. p. C0438.