

João Guilherme Fonseca Siqueira

# **Um modelo de visualização e rastreamento de comportamento de animais durante o pastoreio**

Brasil

Março de 2025

João Guilherme Fonseca Siqueira

**Um modelo de visualização e rastreamento de comportamento  
de animais durante o pastoreio**

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Computação

Orientador: Prof. Dr. Edvard Martins de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Josef Spillner

Brasil

Março de 2025

*Dedico este trabalho à minha família e à minha noiva,  
cujo apoio, incentivo e compreensão foram essenciais  
para a realização deste trabalho.*

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, saúde e pela oportunidade de chegar até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edvard Martins de Oliveira, pela orientação segura, paciência e incentivo constante durante todas as etapas desta pesquisa.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Josef Spillner, pelas contribuições técnicas e pelo olhar crítico que enriqueceram este trabalho.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio incondicional, amor e compreensão nos momentos de maior desafio.

À minha noiva, pelo companheirismo, paciência e apoio emocional ao longo de toda esta jornada, especialmente nos momentos mais exigentes do mestrado.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Computação da UNIFEI, pela troca de conhecimentos, discussões produtivas e parceria ao longo da caminhada acadêmica.

À empresa Inovafarm, pela disponibilização dos *datasets* e pelo apoio à pesquisa aplicada, fundamentais para a validação deste trabalho.

À empresa IWS, pela disponibilização do dispositivo móvel utilizado nos testes práticos de rastreamento, contribuindo diretamente para a realização do experimento piloto.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação, deixo aqui meu sincero agradecimento.

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,  
mas transformai-vos pela renovação da mente,  
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:  
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.  
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)*

# Resumo

O monitoramento de animais em pastagens é uma prática importante para aumentar a produtividade, promover o bem-estar animal e apoiar práticas sustentáveis na pecuária. Entretanto, no contexto das soluções analisadas neste trabalho, observa-se uma limitação na disponibilidade de ferramentas replicáveis para análise de dados de movimentação em ambientes extensivos. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar uma metodologia de rastreamento baseada em tecnologias de baixo custo e em conjuntos de dados reais. A pesquisa foi conduzida em dois cenários experimentais: (i) um experimento piloto utilizando um *smartphone* adaptado para coletar dados de localização de um bezerro em pastagem e (ii) a análise de cinco conjuntos de dados fornecidos pela empresa Inovafarm, envolvendo o monitoramento de até 198 animais por períodos de até dez meses. A partir desses dados foi desenvolvida a ferramenta computacional AgroTrack, responsável por processar, filtrar e visualizar as informações coletadas por meio de mapas de calor, trajetórias e visualizações temporais dinâmicas. Os resultados demonstram a viabilidade do uso de dispositivos de baixo custo para geração de dados úteis à análise comportamental, além de evidenciar a escalabilidade da solução em cenários com grandes rebanhos e a importância do monitoramento contínuo para identificação de padrões de movimentação e áreas de uso preferencial. Dessa forma, o trabalho contribui para ampliar as possibilidades de adoção de práticas de pecuária de precisão tanto por pequenos produtores, por meio do uso de dispositivos reaproveitados, quanto por grandes propriedades, com a utilização de sensores dedicados como brincos eletrônicos.

**Palavras-chave:** rastreamento animal; pecuária de precisão; visualização de dados; IoT; monitoramento comportamental.

# Abstract

Monitoring grazing animals is essential to increase productivity, promote animal welfare, and support sustainable livestock practices. However, there is still a gap in the availability of accessible tools and replicable methodologies for behavioral analysis in extensive grazing environments. This dissertation aimed to develop and evaluate a low-cost tracking methodology using both adapted devices and real-world datasets. The research was conducted in two complementary scenarios: (i) a pilot experiment using a smartphone adapted to collect data from a calf in pasture and (ii) the analysis of five datasets provided by the company Inovafarm, including the monitoring of up to 198 animals over periods of up to ten months. Based on these data, the computational tool AgroTrack was developed to process, filter, and visualize information through heatmaps, trajectories, and dynamic videos. The results demonstrated the feasibility of using affordable devices, the scalability of the solution for large herds, and the importance of continuous monitoring to identify movement patterns and preferential grazing areas. Overall, the integration of accessible devices with computational analysis techniques can expand access to precision livestock farming, benefiting both small-scale and large-scale producers.

**Keywords:** animal tracking; precision livestock farming; data visualization; IoT; behavioral monitoring.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Fluxograma metodológico da pesquisa. . . . .	25
Figura 2 – Diagrama de sequência do fluxo de dados. . . . .	27
Figura 3 – Fluxo de processamento e análise dos dados. . . . .	32
Figura 4 – Exemplo de mapa de calor da movimentação do animal na área experi- mental. . . . .	32
Figura 5 – Exemplo de trajetória registrada durante o período de monitoramento. . . . .	33
Figura 6 – Frame de vídeo dinâmico mostrando a movimentação do animal ao longo do tempo. . . . .	34
Figura 7 – Diagrama de casos de uso do sistema de rastreamento AgroTrack. . . . .	37
Figura 8 – Arquitetura geral do sistema de rastreamento AgroTrack. . . . .	38
Figura 9 – Frame de vídeo dinâmico mostrando a movimentação do animal ao longo do tempo. . . . .	40
Figura 10 – Fluxograma do processo automatizado para geração sequencial de mapas de calor a partir de janelas temporais do <i>dataset</i> . . . . .	41
Figura 11 – Mapa de calor do deslocamento do bezerro durante 43 horas de monito- ramento. . . . .	45
Figura 12 – Trajeto percorrido pelo bezerro no experimento (43 horas). . . . .	46
Figura 13 – Mapa de calor gerado a partir de um <i>dataset</i> da Inovafarm - Fazenda IfGoiano. . . . .	49
Figura 14 – Mapa de calor do deslocamento do bezerro em um intervalo de uma hora. . . . .	53

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Resumo dos artigos sobre Privacidade e Segurança . . . . .	18
Tabela 2 – Resumo de artigos sobre capacidade de processamento . . . . .	19
Tabela 3 – Resumo de artigos sobre IoT com integração em nuvem . . . . .	21
Tabela 4 – Resumo dos <i>datasets</i> analisados . . . . .	47
Tabela 5 – Estatísticas diárias de registro por animal para cada dataset . . . . .	48

# Lista de abreviaturas e siglas

API	Application Programming Interface
CSV	Comma-Separated Values
FAIR	Findable, Accessible, Interoperable, Reusable
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GPS	Global Positioning System
HTML	HyperText Markup Language
IA	Inteligência Artificial
IMU	Inertial Measurement Units
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
LoRa	Long Range
LTE	Long Term Evolution
MGU	User Management Module
MSL	Software Requisition Module
PNG	Portable Network Graphics
REST	Representational State Transfer
RFID	Identificação por Rádio Frequência
SMS	Short Message Service
TI	Tecnologia da Informação
UWB RTLS	Banda Ultralarga
WAN	Wide Area Network
Wi-Fi	Wireless Fidelity

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	Objetivo	13
1.2	Justificativa	13
1.3	Objeto	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>16</b>
2.1	Privacidade e Segurança	16
2.2	Capacidade de Processamento	18
2.3	Nuvem e IoT	19
2.4	Monitoramento de Gado	21
2.5	Monitoramento Computacional de Ovinos	22
2.6	Tecnologias emergentes e implicações	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>25</b>
3.1	Abordagem Metodológica	26
3.2	Materiais e Ferramentas	26
3.2.1	Infraestrutura Tecnológica	26
3.2.2	Fonte dos Dados	27
3.2.3	Equipamentos	27
3.3	Procedimentos de Pesquisa	28
3.3.1	Primeira Fase – Adaptação da API de Entrega	28
3.3.2	Segunda Fase – Uso do <i>Dataset</i> da InovaFarm	29
3.4	Técnicas de Análise	30
3.5	Critérios de Validação e Limitações	30
3.6	Aspectos Éticos e Legais	31
3.7	Fluxo Metodológico	31
3.7.1	Mapas de Calor	31
3.7.2	Trajcetórias	33
3.7.3	Vídeos Dinâmicos	34
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>35</b>
4.1	Publicação dos Primeiros Resultados	35
4.2	Embasamento inicial do AgroTrack	36
4.3	Casos de Uso	37
4.4	Arquitetura do Sistema	37
4.5	Modelo de geração de vídeos do rebanho	39

5	<b>EXPERIMENTOS E RESULTADOS</b>	43
5.1	Cenário 1 – Experimento com o Bezerro	43
5.2	Cenário 2 – <i>datasets</i> da Inovafarm	47
5.3	Ferramenta Desenvolvida	51
5.4	Síntese dos Resultados	52
5.5	Análise de Dados	53
5.6	Aplicações e Perspectivas Futuras da Ferramenta AgroTrack	54
6	<b>CONCLUSÃO</b>	55
	<b>REFERÊNCIAS</b>	57

# 1 Introdução

O manejo de animais em pastejo envolve o acompanhamento contínuo do deslocamento e da utilização do espaço pelos rebanhos. Em muitos sistemas produtivos, o monitoramento ainda depende de observações diretas ou registros manuais realizados pelos produtores, o que pode limitar a frequência e o nível de detalhamento das informações coletadas. Nesse contexto, o uso de tecnologias de sensoriamento e análise de dados tem sido explorado como uma alternativa para apoiar o acompanhamento das atividades do rebanho e ampliar as possibilidades de análise dessas informações.

Neste trabalho, o experimento piloto utilizou o *software* de rastreamento de entrega desenvolvido pela empresa IWS para coleta e pré-processamento dos dados, enquanto a ferramenta proposta nesta dissertação, denominada AgroTrack, foi desenvolvida para a análise e geração de visualizações (mapas de calor e trajetórias de animais de pastoreio) a partir das coordenadas obtidas.

Esta dissertação apresenta uma abordagem para o rastreamento de animais em pastejo e descreve tecnologias e modelos utilizados na coleta e análise de dados de localização. O trabalho concentra-se na identificação de metodologias utilizadas nesse contexto, bem como nos desafios envolvidos na implementação dessas soluções, considerando aspectos relacionados à reutilização de dados, códigos e resultados. A partir dessa análise, busca-se apresentar um panorama das abordagens utilizadas e discutir possibilidades de aprimoramento no manejo de rebanhos.

Inicialmente são apresentados os conceitos relacionados ao rastreamento de animais em pastejo, seguidos por uma descrição de tecnologias frequentemente utilizadas para obtenção de dados de localização, como o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), sensores de atividade e câmeras de vídeo. Em seguida, são discutidas abordagens de análise de dados que podem ser aplicadas para interpretar as informações coletadas e identificar padrões de deslocamento nos registros obtidos. Por fim, são discutidos desafios técnicos e operacionais relacionados ao uso dessas tecnologias, bem como possíveis direções para pesquisas futuras.

Apesar da disponibilidade de diferentes tecnologias de sensoriamento aplicadas à pecuária de precisão, ainda se observa a necessidade de ferramentas que facilitem a análise e a visualização dos dados de rastreamento em ambientes extensivos. Muitas soluções disponíveis dependem de infraestrutura proprietária ou apresentam custos elevados, o que pode dificultar sua adoção em determinados contextos produtivos. Nesse cenário, torna-se relevante investigar abordagens baseadas em dispositivos de baixo custo e metodologias que permitam a análise e visualização de dados de rastreamento animal de forma mais

acessível.

## 1.1 Objetivo

**Tema:** O monitoramento de animais de pastoreio busca **analisar** o comportamento dos animais no pasto, considerando padrões de movimentação, rotinas de atividade e formas de utilização do espaço disponível.

**Delimitação do Tema:** Este estudo foi conduzido com foco na análise comportamental de um bezerro em uma área delimitada de pastagem, utilizando tecnologia de rastreamento por GNSS para a coleta de dados. A pesquisa se restringe ao uso de um dispositivo de rastreamento adaptado e ao desenvolvimento de ferramentas computacionais para a análise dos dados coletados.

**Objetivo Geral:** Desenvolver e aplicar uma metodologia para o rastreamento e análise do comportamento animal, utilizando diferentes dispositivos e softwares de monitoramento — incluindo o uso do sistema IWS no experimento piloto — e propondo a ferramenta AgroTrack para processamento e visualização dos dados.

**Objetivos Específicos:** Para atingir o objetivo geral proposto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Implementar um sistema de rastreamento a partir de dispositivos adaptados (ex.: celulares) e brincos eletrônicos, avaliando sua viabilidade técnica e comparando seus desempenhos.
- Criar ferramentas computacionais capazes de processar e visualizar os dados coletados, produzindo mapas de calor, trajetórias e análises temporais configuráveis.
- Investigar padrões de movimentação e uso do espaço, identificando consistências e variações no comportamento dos animais.
- Realizar comparações entre os diferentes cenários de coleta (experimento piloto e *datasets* da Inovafarm), destacando vantagens, limitações e oportunidades de cada abordagem.

## 1.2 Justificativa

A Agropecuária representa um dos pilares da economia brasileira, sendo responsável por uma parcela expressiva da produção de proteína animal (CNA, 2025). Nesse contexto, a adoção de tecnologias digitais voltadas para o monitoramento de animais em regime de pastoreio constitui uma estratégia promissora para o aprimoramento do manejo, da

produtividade e do bem-estar animal. Apesar dos avanços recentes no desenvolvimento de dispositivos de rastreamento e sensores, observa-se uma lacuna relevante quanto à utilização dessas tecnologias para a análise comportamental contínua em ambientes extensivos.

As abordagens consideradas nesta pesquisa, tanto em estudos acadêmicos analisados quanto em soluções disponíveis no mercado, utilizam diferentes tecnologias para coleta de dados sobre a atividade dos animais, como sensores de movimento, registros em vídeo, dispositivos comerciais de monitoramento ou sistemas baseados em Identificação por Rádio Frequência (RFID). No entanto, nos cenários analisados, essas soluções concentram-se principalmente na coleta de métricas isoladas de atividade fisiológica ou locomotora. Dessa forma, torna-se necessário o uso de ferramentas adicionais capazes de apoiar a análise do uso do espaço ao longo do tempo e a identificação de padrões de movimentação em regimes de pastejo. Além disso, em muitos casos os dados gerados permanecem restritos aos sistemas de consulta dos próprios dispositivos, o que limita sua integração com ferramentas computacionais voltadas à análise e visualização dos registros coletados.

Considerando esse cenário, a presente pesquisa justifica-se pela proposição de um modelo integrado de rastreamento e predição de comportamento animal, com base em tecnologias e metodologias computacionais aplicadas à análise espacial e temporal dos dados. O estudo contribui teoricamente ao propor uma abordagem metodológica voltada ao contexto da zootecnia de precisão e, do ponto de vista prático, pode subsidiar melhorias significativas no manejo dos rebanhos por meio da identificação antecipada de alterações comportamentais que indiquem risco sanitário ou subutilização da área de pastagem.

Trata-se, portanto, de uma iniciativa com potencial para ampliar o entendimento do comportamento de animais de pastoreio em condições naturais, bem como para promover inovações nos processos de monitoramento e gestão na pecuária brasileira.

### 1.3 Objeto

**Problema:** Apesar de existirem tecnologias disponíveis para o rastreamento de animais, a literatura científica apresenta uma lacuna significativa na análise comportamental de animais de pastoreio com base em dados de movimentação. Não há ferramentas e práticas que permitam monitorar e entender o comportamento dos animais no pasto, considerando tanto a movimentação quanto o uso do espaço disponível.

**Hipótese Básica:** O uso de dispositivos de rastreamento do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) acoplados a ferramentas computacionais pode fornecer dados precisos e suficientes para identificar padrões de comportamento e uso do espaço por animais de pastoreio. Essas ferramentas podem ser desenvolvidas de forma simples e configurável para atender às necessidades de pesquisa em diferentes cenários.

- Hipóteses Secundárias:**
- O animal segue padrões consistentes de movimentação que podem ser representados graficamente por meio de mapas de calor.
  - A análise dos dados coletados pode identificar áreas do pasto que são preferencialmente utilizadas pelo animal.
  - A autonomia de dispositivos simples, como celulares antigos, pode ser suficiente para coletar dados confiáveis durante períodos prolongados, desde que estejam configurados adequadamente.

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica, destacando conceitos e estudos relacionados ao monitoramento animal. A Seção 3 descreve a metodologia adotada, detalhando as etapas de coleta e processamento de dados. A seção 4 discute o desenvolvimento da solução proposta, enquanto a Seção 5 reúne os experimentos e os resultados obtidos. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e perspectivas futuras.

## 2 Fundamentação Teórica

A pesquisa teórica foi conduzida com o objetivo de fornecer uma base para o desenvolvimento e aplicação das tecnologias utilizadas neste trabalho. A fundamentação partiu da análise de estudos recentes e da literatura consolidada sobre conceitos fundamentais e avanços em áreas correlatas, como computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT) e monitoramento de animais. Foi priorizada a seleção de trabalhos que discutem os desafios e oportunidades do uso dessas tecnologias no monitoramento animal, com atenção especial aos aspectos de privacidade, segurança e capacidade de processamento.

Esses tópicos foram escolhidos por sua relevância na aplicação prática do sistema proposto, além de fornecer um contexto teórico para compreender os desafios relacionados à coleta, processamento e análise de dados em ambientes remotos, como os sistemas de pastoreio. A seguir, são apresentados os principais conceitos e discussões teóricas que fundamentam esta pesquisa: Privacidade e Segurança [2.1](#), Capacidade de Processamento [2.2](#), Nuvem e IoT [2.3](#), Monitoramento de Vacas [2.4](#), Monitoramento de Ovelhas [2.5](#) e Tecnologias Emergentes e Implicações [2.6](#).

### 2.1 Privacidade e Segurança

A privacidade e a segurança no monitoramento de animais de pastoreio são fundamentais, uma vez que as informações sobre a localização e o comportamento dos animais são sensíveis e exigem proteção contra acessos não autorizados. Isso envolve a implementação de rigorosas medidas de cibersegurança, protocolos de acesso restrito e conformidade com regulamentações específicas, como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) no Brasil. A Tabela [1](#) apresenta um resumo dos principais artigos que discutem diversos aspectos de privacidade e segurança no monitoramento de animais.

A tecnologia IoT e seus requisitos de segurança são abordados por ([HADDAD-PAJOUH et al., 2021](#)). O texto investiga as vulnerabilidades do sistema, os requisitos de segurança e a arquitetura em camadas associada. Em detalhes, o artigo explora várias camadas de segurança, incluindo a camada *Edge*, os requisitos de segurança da camada de rede, bem como as aplicações na camada de segurança. Tópicos de privacidade no contexto da IoT também são destacados, juntamente com os desafios relacionados às questões de privacidade. Além disso, o artigo menciona o uso de protocolos.

A metodologia ([ERUKALA et al., 2025](#)) proposta adota uma arquitetura baseada em *blockchain* privadas e de consórcio para reforçar a segurança e a privacidade em redes IoT. O *blockchain* privado é utilizado para gerenciar o registro e a autenticação dos

dispositivos nas camadas de névoa, garantindo a integridade e o controle de acesso por meio de contratos inteligentes e assinaturas digitais. Já o *blockchain* de consórcio atua em ambientes de nuvem, promovendo armazenamento seguro e identificação de anomalias. A metodologia também incorpora técnicas de criptografia leve, adequadas às limitações dos dispositivos IoT, e um mecanismo de consenso eficiente, que reduz a sobrecarga computacional. Como resultado, o sistema apresenta maior resistência a ataques, melhora na verificação de identidade, escalabilidade e confiabilidade. Além disso, a comunicação entre dispositivos e serviços em nuvem torna-se mais segura e eficiente, com transações criptografadas, autenticação restrita a dispositivos autorizados e menor latência devido ao uso de servidores de névoa para processamento descentralizado.

Neste estudo (CERQUEIRA et al., 2025), os participantes receberam treinamento em LGPD e inspeções de software, formando dois grupos experimentais (G1 e G2) com base na experiência prévia, no conhecimento da LGPD e no nível acadêmico. Ambos realizaram inspeções *ad hoc* em artefatos de *Software Requisition Module* (MSL) e *User Management Module* (MGU), utilizando a técnica *LGPDCheck*, que se mostrou mais eficaz na identificação de defeitos de proteção de dados pessoais do que as inspeções tradicionais. A técnica foi avaliada de forma positiva, sendo considerada fácil de usar, útil e recomendada para profissionais da área. Além disso, o estudo destacou os desafios enfrentados pelas equipes de desenvolvimento, como a complexidade da linguagem legal da LGPD, a falta de diretrizes claras e a necessidade de suporte especializado para integrar requisitos legais ao desenvolvimento de *software*. Assim, conclui-se que o *LGPDCheck* é uma técnica viável para apoiar inspeções de conformidade, contribuindo para maior eficiência e redução de falsos positivos.

Embora o artigo (KAPITSAKI; PAPOUTSOGLOU, 2025) analisado tenha como foco a aplicação de inteligência artificial (IA) na área da saúde, seus apontamentos sobre o viés decorrente de conjuntos de dados não representativos, os desafios de coleta de informações em regiões com infraestrutura limitada e a importância de garantir práticas éticas e seguras de manejo de dados são diretamente pertinentes ao contexto do rastreamento de animais. Tecnologias de rastreamento e monitoramento, frequentemente baseadas em IoT, também dependem da coleta e do processamento de grandes volumes de dados sensíveis, como localização, estado de saúde e deslocamentos de rebanhos ou espécies monitoradas. Assim, os princípios discutidos no artigo, como a necessidade de dados representativos, a adoção de práticas de proteção de dados — análogas aos requisitos estabelecidos pela LGPD — e a aplicação de diretrizes *FAIR* (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*), podem contribuir para fundamentar diretrizes de qualidade, segurança e interoperabilidade em sistemas de rastreamento animal, especialmente em cenários rurais ou remotos, onde a infraestrutura tecnológica ainda é restrita.

Tabela 1 – Resumo dos artigos sobre Privacidade e Segurança

Artigo	Título do Artigo	Privacidade e Segurança
( <a href="#">HADDADPAJOUH et al., 2021</a> )	<i>A survey on internet of things security: Requirements, challenges, and solutions</i>	Arquitetura em Camadas, Uso de Protocolos, <i>Blockchain</i> .
( <a href="#">ERUKALA et al., 2025</a> )	<i>Cloud IoT Based Surveillance System for Tracking and Monitoring of Domestic Animals</i>	Arquitetura em Camadas, Uso de Protocolos, <i>Blockchain</i> .
( <a href="#">CERQUEIRA et al., 2025</a> )	<i>Experimental Evaluation of a Checklist-Based Inspection Technique to Verify the Compliance of Software Systems with the Brazilian General Data Protection Law</i>	Técnica de inspeção de software que identifica defeitos de proteção de dados pessoais, reduz falsos positivos e apoia a conformidade com a LGPD.
( <a href="#">NAKAYAMA et al., 2025</a> )	<i>Artificial intelligence, data sharing, and privacy for retinal imaging under Brazilian Data Protection Law</i>	Destaca princípios de coleta e proteção de dados sensíveis, desafios de infraestrutura e viés, aplicáveis à qualidade e ética no rastreamento animal.

## 2.2 Capacidade de Processamento

A capacidade de processamento desempenha um papel importante no setor da pecuária, pois permite o manuseio eficiente e rápido de grandes volumes de dados. Em um ambiente de monitoramento de animais, uma capacidade de processamento adequada é importante para garantir que os sistemas operem sem problemas e sem interrupções. Além disso, a capacidade de processamento é fundamental para a análise de *big data*, permitindo a rápida extração e análise de dados. Portanto, investir em uma infraestrutura de TI (Tecnologia da Informação) robusta e escalável é essencial para garantir a eficiência e a qualidade do manuseio dos animais. A Tabela 2 fornece um resumo dos principais artigos que discutem a capacidade de processamento na área da saúde.

O artigo ([MOUTAOUAKIL; FALIH, 2023](#)) destaca um sistema de monitoramento inteligente de gado que utiliza aprendizado de máquina em conjunto com tecnologias IoT e computação em nuvem. A capacidade de processamento se dá em múltiplas camadas, envolvendo desde a aquisição até a análise e a visualização dos dados. O uso de algoritmos de *machine learning* permite o diagnóstico precoce de doenças e a automação de decisões, demonstrando um sistema desenvolvido e eficiente em lidar com grandes volumes de dados em tempo real.

O sistema proposto (MANIKANTA et al., 2024) utiliza sensores biométricos e ambientais, cujo processamento ocorre de forma centralizada em uma plataforma na nuvem. A capacidade computacional permite analisar rapidamente os dados recebidos e gerar alertas automáticos em caso de anomalias. A eficiência do processamento é evidenciada pelos altos índices de precisão alcançados, garantindo confiabilidade e resposta ágil em situações críticas de saúde animal.

A proposta do artigo (SINGH et al., 2025) explora técnicas de visão computacional e análise preditiva, com poder de processamento aplicado ao monitoramento do gado. O sistema lida com transformações de imagem (como *flip*, *shear*, saturação, entre outras) e processa grandes volumes de dados anotados para a detecção de padrões de saúde. Essa infraestrutura demonstra não apenas uma capacidade computacional elevada, mas também eficiência na geração de informações para a tomada de decisões estratégicas.

Tabela 2 – Resumo de artigos sobre capacidade de processamento

Artigo	Nome	Contribuição
(MOUTAOUAKIL; FALIH, 2023)	<i>A design of a smart farm system for cattle monitoring</i>	Processamento em nuvem, poder computacional, algoritmos de aprendizado de máquina.
(MANIKANTA et al., 2024)	<i>Cloud IoT Based Surveillance System for Tracking and Monitoring of Domestic Animals</i>	Coleta de volumes grandes de dados em tempo real, análise e <i>machine learning</i> para processar essas informações, resultados em <i>dashboards</i> e envia alertas por SMS.
(SINGH et al., 2025)	<i>Sensor and Computer Vision Based Cattle Health Monitoring and Management</i>	Aborda o uso de sensores, análise de dados em tempo real e algoritmos de aprendizado de máquina para processar grandes volumes de informações com rapidez e precisão.

## 2.3 Nuvem e IoT

A integração da IoT com serviços em nuvem tem transformado significativamente o setor da pecuária. A computação em nuvem refere-se à disponibilização de diversos serviços computacionais — como armazenamento, processamento de dados e aplicativos — pela internet, permitindo o acesso sob demanda sem a necessidade de infraestrutura local. Ao conectar sensores ambientais, coleiras inteligentes e outros dispositivos à nuvem, os

produtores rurais podem acessar dados em tempo real sobre a saúde, o comportamento e o desempenho dos animais. Isso possibilita o monitoramento contínuo do rebanho, a identificação precoce de doenças, o ajuste da dieta e do manejo, além da detecção de padrões que indicam estresse térmico, cio ou alterações no comportamento. A análise desses dados na nuvem também contribui para a tomada de decisões mais objetivas, reduzindo perdas e aumentando a produtividade.

No entanto, a segurança e a privacidade dos dados são considerações importantes nessa integração. É imperativo que medidas rigorosas de proteção de dados sejam implementadas para garantir que as informações de saúde dos pacientes permaneçam confidenciais e seguras. A conformidade com as normas de privacidade é essencial para mitigar riscos e garantir a confiança no uso da IoT e da nuvem. A Tabela 3 fornece um resumo dos principais artigos que discutem a integração da IoT com serviços em nuvem.

O artigo destaca uma série de benefícios associados à integração das tecnologias de IoT e Computação em Nuvem. Esses benefícios incluem a utilização de uma variedade de componentes RFID (etiquetas, leitores, *software*), sensores e padrões de endereçamento. O artigo identifica os três pilares fundamentais da pesquisa como IoT, *Big Data* e Computação em Nuvem. Essa seleção se baseia no armazenamento em nuvem e na coleta de dados por meio de dispositivos de IoT, bem como na capacidade do *Big Data* de aprimorar diversas estruturas de análise. A combinação dessas tecnologias tem o potencial de revolucionar diversos setores, incluindo o da pecuária (WADHWA et al., 2022).

O artigo (MOUTAOUAKIL; FALIH, 2023) descreve um sistema inteligente para monitoramento de gado, com integração entre dispositivos IoT e a computação em nuvem. Sensores vestíveis, como coleiras ou brincos, e sensores ambientais capturam dados em tempo real sobre os animais e o ambiente, que são enviados para processamento em camadas na nuvem. Essa estrutura permite a análise e visualização dos dados por meio de interfaces *web* e *mobile*, o que proporciona maior conectividade e acessibilidade. A combinação IoT-nuvem garante escalabilidade, disponibilidade e atualização em tempo real, facilitando intervenções e tornando a gestão mais eficiente.

Este artigo (MANIKANTA et al., 2024) apresenta um sistema de vigilância para animais domésticos que integra sensores IoT e computação em nuvem para o monitoramento contínuo da saúde. A coleta de dados por sensores biométricos e ambientais é complementada pelo envio imediato à nuvem, onde ocorre o processamento e a análise. A arquitetura em nuvem oferece uma interface acessível e em tempo real, o que garante que os donos e veterinários possam acompanhar o estado dos animais de qualquer lugar. A conectividade com a nuvem ajuda nos alertas automáticos e na tomada de decisões rápidas.

O artigo (SINGH et al., 2025) propõe uma solução agrícola que combina sensores vestíveis com visão computacional, focando na integração eficiente de tecnologias IoT com

serviços em nuvem. Dados coletados dos animais e imagens processadas são integrados e analisados em uma camada superior baseada na nuvem, permitindo monitoramento contínuo e decisões preditivas. A nuvem desempenha um papel importante no armazenamento e processamento de grandes volumes de dados com agilidade, contribuindo para o bem-estar animal e o aumento da produtividade agrícola.

Tabela 3 – Resumo de artigos sobre IoT com integração em nuvem

Artigos	Nome	Contribuição
(WADHWA et al., 2022)	<i>Benefits of Incorporating IoT and Cloud Computing</i>	A integração de <i>Big Data</i> com IoT e computação em nuvem permite análises avançadas, melhorando a tomada de decisões.
(MOUTAOUAKIL; FALIH, 2023)	<i>A design of a smart farm system for cattle monitoring</i>	Armazenamento dos dados em nuvem.
(MANIKANTA et al., 2024)	<i>Cloud IoT Based Surveillance System for Tracking and Monitoring of Domestic Animals</i>	Coleta de volumes grandes de dados em tempo real, análise e <i>machine learning</i> para processar essas informações, resultados em <i>dashboards</i> e envia alertas por SMS.
(SINGH et al., 2025)	<i>Sensor and Computer Vision Based Cattle Health Monitoring and Management</i>	Aborda o uso de sensores, análise de dados em tempo real.

## 2.4 Monitoramento de Gado

Os artigos sobre gado concentram-se principalmente no uso de tecnologias para a detecção e rastreamento de comportamentos, monitoramento das condições ambientais e aumento da produtividade.

### 1. Detecção e Rastreamento:

- A pesquisa (MAR et al., 2022) utiliza redes neurais convolucionais (CNN) e aprendizado profundo para a detecção e o rastreamento de vacas, demonstrando alta precisão em cenários com múltiplos objetos.
- O artigo (PORTO et al., 2014) discute a tecnologia de localização em tempo real baseada em banda ultra larga (UWB RTLS), que é utilizada para identificar e localizar vacas em um curral, mostrando-se eficaz em termos de precisão de localização e sensibilidade.

- O estudo (OBERMEYER; KAYSER, 2023) combina dispositivos de rastreamento com espectroscopia no infravermelho próximo e técnicas de floresta aleatória para classificar o comportamento das vacas, integrando dados visuais e de sensores para uma análise mais detalhada.
- A pesquisa (NOOTYASKOOL; OUNSRIMUNG, 2020) desenvolve uma coleira inteligente, utilizando sensores de baixo custo e dispositivos de IoT para monitorar diversas atividades das vacas, destacando os desafios relacionados à conectividade e à precisão dos sensores.

### 2. Condições Ambientais e Saúde:

- O estudo (HRISTOV et al., 2023) utiliza um sistema de monitoramento multisensorial para avaliar as condições de vida das vacas, considerando o índice de temperatura e umidade.
- Na pesquisa (ANDRIAMANDROSO et al., 2017), um algoritmo de código aberto baseado em unidades inerciais de medição (IMU) de *smartphones* é empregado para detectar comportamentos de pastagem e ruminação, apresentando alta precisão e utilidade para a pecuária de precisão.

### 3. Produtividade e Gestão:

- O artigo (ABENI; PETRERA; GALLI, 2019) revela que a adoção de tecnologias de precisão é maior em fazendas com rebanhos maiores, enfatizando a importância da análise de custo-benefício e da gestão de dados.

## 2.5 Monitoramento Computacional de Ovinos

Os estudos sobre ovelhas abordam o uso de tecnologias de digitalização e inteligência artificial para melhorar a saúde, a eficiência e a produtividade dos animais.

### 1. Digitalização e Inteligência Artificial:

- A pesquisa (ARSHAD et al., 2024) destaca a transformação da ovinocultura por meio da digitalização e da inteligência artificial, com modelos analíticos preditivos auxiliando na tomada de decisões para otimizar a produção e a saúde animal.
- O estudo (GU et al., 2023) utiliza redes neurais convolucionais (VGG16) para classificar comportamentos específicos de ovelhas, demonstrando alta precisão em atividades fisiológicas normais e em comportamentos disruptivos.
- Um estudo chinês (ZHAO et al., 2023) desenvolveu o algoritmo *SheepInst* utilizando *ConvNeXt-E* para segmentação de instâncias de ovelhas, enfatizando

a importância de incluir diferentes espécies fenotipicamente distintas para melhorias futuras.

## 2. Monitoramento Comportamental:

- O artigo ([ALVARENGA et al., 2016](#)) emprega um acelerômetro triaxial para identificar e classificar comportamentos de ovelhas no pasto, utilizando um algoritmo de árvore de decisão para alcançar alta precisão, sensibilidade e especificidade.
- Outro estudo ([ALVARENGA et al., 2020](#)) revela que o acelerômetro é eficaz na discriminação entre comportamentos de mordida e mastigação, sugerindo pesquisas adicionais para validar os resultados.

## 3. Sistemas de Precisão e Automação:

- A pesquisa ([MAROTO-MOLINA et al., 2019](#)) descreve um sistema de baixo custo baseado em *IoT* para monitorar a localização do rebanho, utilizando coleiras com GPS e etiquetas Bluetooth, demonstrando eficácia em fazendas comerciais.
- Um estudo feito em regiões montanhosas ([MORGAN-DAVIES et al., 2018](#)) compara um sistema de manejo de precisão com um sistema tradicional, destacando a redução na necessidade de tratamento antiparasitário e no tempo de trabalho, embora o peso final das ovelhas não tenha sido significativamente afetado.

## 4. Desafios e Tendências Futuras:

- A revisão ([VAINTRUB et al., 2021](#)) discute a aplicação de sistemas de pecuária de precisão em fazendas de ovinos leiteiros no sul da Europa, explorando a aceitação das novas tecnologias por parte dos produtores e apontando barreiras como resistência financeira e falta de suporte técnico.

## 2.6 Tecnologias emergentes e implicações

Artigos adicionais fornecem informações sobre o uso de tecnologias emergentes, como redes de sensores sem fio, câmaras de lapso de tempo e *drones*, destacando as implicações para o bem-estar animal.

### 1. Redes de Sensores e Sensoriamento Remoto:

- O estudo (HANDCOCK et al., 2009) explora o uso de redes de sensores sem fio, coleiras com GPS e sensoriamento remoto via satélite para monitorar o comportamento animal e as interações com o ambiente, enfatizando a importância de compreender as preferências de paisagem e as interações sociais.

## 2. Câmeras e Inteligência Artificial:

- A pesquisa (BONNEAU et al., 2020) utiliza câmeras com captura em intervalos de tempo e a rede neural convolucional Yolo para rastrear animais em pastagens, apresentando uma alternativa valiosa às coleiras com GPS, mas destacando desafios ambientais na implementação desses sistemas.

## 3. Ferramentas Digitais e Bem-Estar Animal:

- O documento (HERLIN et al., 2021) aborda o uso de tecnologias digitais para monitorar o bem-estar animal, discutindo o uso de sensores, *drones* e cercas virtuais, bem como os riscos potenciais associados a essas tecnologias.

Os estudos apresentados neste capítulo serviram como referência para o desenvolvimento do AgroTrack e para a identificação de aspectos que poderão ser explorados em trabalhos futuros. As pesquisas sobre privacidade, segurança, capacidade de processamento e integração com a nuvem ajudaram a compreender os desafios envolvidos no tratamento e armazenamento de grandes volumes de dados, ainda que essas abordagens não tenham sido aplicadas diretamente nesta versão da ferramenta. Já os estudos sobre monitoramento de gado e ovelhas foram importantes para entender os padrões de comportamento animal e orientar as análises realizadas. Por fim, as tecnologias emergentes, como sensores, visão computacional e *drones*, indicam caminhos para futuras evoluções do AgroTrack, ampliando suas fontes de dados e suas possibilidades de aplicação.

### 3 Metodologia

A metodologia deste trabalho foi estruturada em duas fases distintas: (i) a adaptação de uma *Application Programming Interface* (API) originalmente utilizada em serviços de entrega para rastrear um bezerro em condições reais de campo; e (ii) a utilização de *datasets* fornecidos pela Inovafarm, coletados a partir de brincos eletrônicos em múltiplas propriedades rurais.

A partir dessa estrutura, são descritos os materiais, as ferramentas e os critérios de análise utilizados, de modo a oferecer uma visão clara e fundamentada do processo de pesquisa.

A Figura 1 apresenta de forma resumida as etapas da metodologia proposta, desde a coleta de dados até a análise e visualização dos resultados.

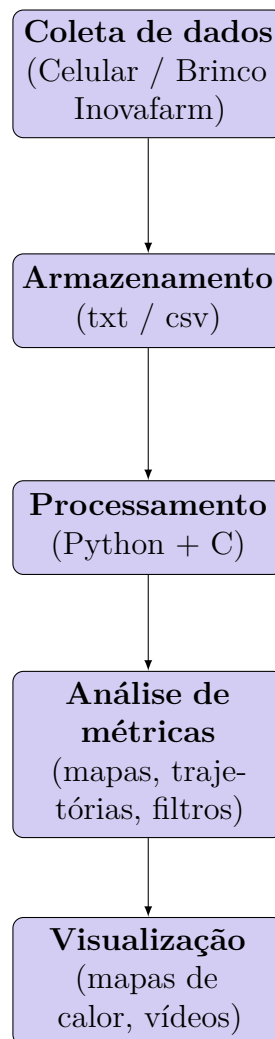


Figura 1 – Fluxograma metodológico da pesquisa.

## 3.1 Abordagem Metodológica

A presente pesquisa propôs o desenvolvimento de uma ferramenta prática para o rastreamento e monitoramento de rebanhos em áreas de pastagem. A metodologia fundamenta-se em uma abordagem quantitativa, estruturada a partir da coleta e análise de dados de localização gerados por sensores embarcados. Busca-se ainda compreender a utilização do espaço e identificar padrões de comportamento animal até então não sistematizados. Adicionalmente, a investigação prioriza o uso de tecnologias de baixo custo e alta acessibilidade, buscando viabilizar a implementação direta dessas soluções no cotidiano do manejo pecuário.

## 3.2 Materiais e Ferramentas

Essa seção descreve a infraestrutura utilizada, visando delimitar os recursos necessários para o desenvolvimento do trabalho, bem como viabilizar a reprodutibilidade.

### 3.2.1 Infraestrutura Tecnológica

Foram empregados diferentes recursos tecnológicos que compõem a infraestrutura do experimento e do desenvolvimento da ferramenta AgroTrack. Esses recursos incluem tanto componentes de *software* para processamento e visualização de dados quanto ferramentas de georreferenciamento.

- **API de rastreamento (IWS *Tracking API*):** interface originalmente desenvolvida pela empresa IWS para aplicações logísticas e de transporte, adaptada neste trabalho para o monitoramento de movimentação animal. Essa API permite a coleta contínua de coordenadas GNSS e o armazenamento dos dados em formato `.txt`. Como não existe uma documentação pública, este estudo define-a internamente como `IWS-TrackingAPI` para fins de referência metodológica.
- **Ambiente de programação:** linguagem Python (versão 3.11.4), utilizando as bibliotecas `Pandas 2.1.1` ([PANDAS, 2025](#)), `NumPy 1.26.0` ([NUMPY, 2025](#)), `Matplotlib 3.8.0` ([MATPLOTLIB, 2025](#)) e `Folium 0.15.1` ([FOLIUM, 2025](#)) para o tratamento, organização, visualização e análise dos dados. Esses pacotes foram escolhidos por sua ampla utilização na comunidade científica e por possuírem documentação aberta e atualizada.
- **Automação e visualização:** foram empregadas as bibliotecas `Selenium 4.13.0` ([SELENIUM, 2025](#)) para captura automatizada de mapas interativos e `MoviePy 1.0.3` ([MOVIEPY, 2025](#)) para a conversão de sequências de imagens em vídeos, permitindo representar a movimentação dos animais de forma dinâmica.

- **Softwares de georreferenciamento:** utilizou-se o *Google Earth Pro* (versão 7.3.6.9345) e o *QGIS* (versão 3.34.0 – Prizren) para geração e validação dos mapas de calor e trajetórias. Esses *softwares* possibilitaram conferir a precisão espacial dos resultados e exportar as camadas em formatos compatíveis com o AgroTrack.

Cada uma dessas ferramentas foi integrada de forma a permitir o fluxo completo de dados, desde a coleta das coordenadas até a visualização final, garantindo reprodutibilidade e padronização das análises.

### 3.2.2 Fonte dos Dados

O estudo foi desenvolvido em duas fases:

- **Primeira fase:** dados coletados por um dispositivo móvel (*smartphone*) adaptado e fixado em um bezerro, configurado para capturar coordenadas GNSS em intervalos regulares (5 segundos).
- **Segunda fase:** *datasets* reais fornecidos pela empresa Inovafarm, contendo informações de múltiplos animais monitorados com sensores LoRa. Os conjuntos de dados variam de 5 a quase 200 animais, com períodos de coleta entre 7 dias e 10 meses, dependendo do caso, incluindo localização da fazenda e frequência de medições. Esses dados possibilitaram a validação prática da solução.

O funcionamento da API de rastreamento pode ser descrito em etapas sequenciais, conforme ilustrado na Figura 2.

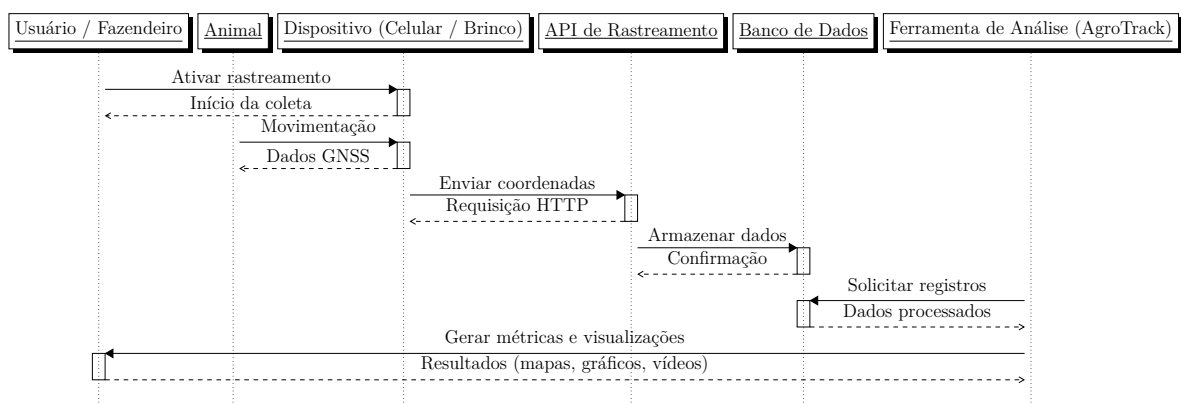


Figura 2 – Diagrama de sequência do fluxo de dados.

### 3.2.3 Equipamentos

Na primeira fase, utilizou-se um *smartphone* comercial, originalmente destinado ao rastreamento de entregas urbanas, adaptado para fixação no animal com ajustes que

garantiram conforto e segurança. Na segunda fase, foram empregados brincos eletrônicos com sensores LoRa, desenvolvidos especificamente para monitoramento de rebanhos.

## 3.3 Procedimentos de Pesquisa

### 3.3.1 Primeira Fase – Adaptação da API de Entrega

Embora o *software* desenvolvido pela empresa IWS tenha sido originalmente projetado para fins logísticos e de transporte, neste trabalho ele foi utilizado em um contexto distinto, voltado ao monitoramento animal. Não foram realizadas adaptações diretas no código-fonte nem na arquitetura do sistema; o *software* foi empregado apenas como ferramenta de coleta automática de coordenadas GNSS e geração dos mapas de trajetória. Essa aplicação em um domínio diferente do originalmente previsto permitiu aproveitar sua infraestrutura de captura e registro de dados, sem modificações estruturais. A principal diferença, portanto, reside na finalidade de uso: em vez de rastrear veículos, o sistema foi utilizado para acompanhar o deslocamento de um animal em pastagem, servindo como base para os testes de coleta e integração com o AgroTrack.

Nesta primeira etapa foi realizado um experimento controlado com um bezerro, em uma área de pastagem delimitada localizada no município de Piranguçu – MG. O principal objetivo era testar a viabilidade técnica da adaptação de uma API originalmente desenvolvida para monitoramento logístico, ajustando-a para uso no rastreamento animal.

O procedimento começou com a fixação segura de um dispositivo móvel da marca Motorola, modelo Moto E, ao cabresto do bezerro, garantindo conforto e estabilidade durante a coleta. Em seguida, a API de rastreamento foi configurada para registrar automaticamente as coordenadas GNSS em intervalos regulares de cinco segundos. Essa configuração envolveu a redefinição dos parâmetros de captura, como tempo de amostragem, formato de saída e o redirecionamento dos dados para um servidor local, permitindo que o sistema funcionasse de forma contínua, mesmo em áreas com instabilidade de sinal.

O monitoramento teve duração de aproximadamente 43 horas, cobrindo diferentes períodos do dia — manhã, tarde e noite — o que possibilitou avaliar variações de comportamento associadas ao ciclo diário de atividade em pastagem. A partir desses dados, foram gerados mapas de calor e trajetórias que evidenciaram padrões de deslocamento e uso do espaço.

O emprego do *software* desenvolvido pela empresa IWS neste estudo exemplifica uma estratégia eficiente de reuso de *software*, na qual uma infraestrutura tecnológica consolidada para o setor logístico foi transposta para o domínio da pecuária de precisão. Essa abordagem demonstra que a versatilidade de sistemas de monitoramento GNSS permite a captura e o registro de dados de alta fidelidade. Ao reaproveitar uma solução já

validada em cenários de transporte, foi possível focar os esforços na adaptação funcional e na reconfiguração de parâmetros de amostragem. Assim, o reuso não apenas validou a viabilidade técnica da API para o rastreamento animal, como também evidenciou que tecnologias de prateleira podem ser integradas ao ecossistema AgroTrack, servindo como uma base estável para a análise de padrões de comportamento e uso do espaço em pastagens.

A conclusão dessa primeira etapa permitiu validar o funcionamento do sistema em condições controladas, garantindo que o processo de coleta e transmissão de coordenadas fosse estável e confiável. Com o método de captura ajustado e a estrutura de análise consolidada, foi possível avançar para uma segunda fase, voltada à aplicação em um conjunto de dados mais amplo e complexo. Nessa nova etapa, buscou-se avaliar o desempenho da metodologia proposta em cenários reais de produção, utilizando informações coletadas em campo pela empresa Inovafarm.

### 3.3.2 Segunda Fase – Uso do *Dataset* da Inovafarm

A segunda fase teve como foco a aplicação da metodologia proposta em cenários reais, utilizando conjuntos de dados fornecidos pela empresa Inovafarm, que atua no desenvolvimento de soluções de monitoramento voltadas à pecuária de precisão. O objetivo da empresa é acompanhar o comportamento e o bem-estar dos animais, otimizar o uso das áreas de pastagem e oferecer informações estratégicas para a tomada de decisão no manejo.

Os dados utilizados foram obtidos a partir de dispositivos de rastreamento baseados na tecnologia LoRa, instalados em brincos eletrônicos acoplados aos animais. Cada dispositivo é equipado com um módulo GNSS responsável por registrar as coordenadas geográficas (latitude e longitude), o instante temporal (data e hora) e, em alguns casos, parâmetros adicionais como nível de bateria e intensidade do sinal. A transmissão ocorre por meio de *gateways* LoRa distribuídos nas propriedades, que enviam os pacotes de dados para um servidor central mantido pela empresa, onde as informações são armazenadas e disponibilizadas para consulta.

O formato de armazenamento adotado segue um padrão tabular em texto simples .csv, o que facilita a integração com ferramentas de análise e visualização. Cada linha do arquivo representa um registro individual de posição, contendo campos como *IDanimal*, *timestamp*, latitude, longitude, altitude e status sinal. Esse formato também permite identificar e corrigir inconsistências, como duplicidades ou lacunas temporais.

A frequência de amostragem variou entre os conjuntos analisados, conforme a configuração dos dispositivos e as condições de comunicação em cada fazenda. Em geral, as medições ocorreram em intervalos de dois a cinco minutos, resultando em um volume

expressivo de dados ao longo dos períodos de coleta, que variaram de uma semana a até dez meses de monitoramento contínuo.

Antes da análise, foi realizada uma etapa de pré-processamento para validação dos dados. Registros duplicados, coordenadas inválidas e lacunas temporais excessivas foram identificados e removidos. Após essa etapa, os dados foram integrados ao ambiente do AgroTrack, onde foram geradas visualizações dinâmicas — como mapas de calor, trajetórias e vídeos de movimentação — que permitiram observar o comportamento coletivo dos rebanhos e o padrão de ocupação das áreas de pastagem ao longo do tempo.

Essa fase foi essencial para validar a robustez da metodologia em condições operacionais reais, demonstrando o potencial do AgroTrack como ferramenta complementar para análise e interpretação de dados provenientes de sistemas comerciais de monitoramento animal.

### 3.4 Técnicas de Análise

A análise dos dados foi organizada em quatro eixos principais, buscando compreender de forma ampla o comportamento espacial e temporal dos animais monitorados. O primeiro eixo tratou da densidade espacial, a partir da geração de mapas de calor e trajetórias, que permitiram identificar as áreas de maior permanência dentro da pastagem. Em seguida, foi realizada a análise das trajetórias médias, obtidas pela sobreposição dos deslocamentos individuais, o que possibilitou visualizar padrões recorrentes de movimentação e a formação de trilhas naturais, os conhecidos “caminhos da roça”.

O terceiro eixo abordou a dimensão temporal do comportamento, com a segmentação dos registros em períodos da manhã e da tarde, permitindo comparar variações na rotina diária dos animais. Por fim, foi implementada uma rotina de visualização dinâmica, responsável por converter mapas de calor em vídeos, o que possibilitou observar de forma contínua a evolução espacial e temporal da movimentação ao longo do tempo.

### 3.5 Critérios de Validação e Limitações

A validação dos resultados foi conduzida por meio da comparação entre os trajetos e as áreas de permanência identificadas pelo sistema e as observações visuais realizadas em campo, garantindo coerência entre os registros digitais e o comportamento real dos animais.

Entre as principais limitações do estudo, destaca-se o fato de a primeira fase ter sido realizada com apenas um animal, o que reduz a representatividade dos resultados. Além disso, o desempenho do sistema depende diretamente da qualidade do sinal GNSS e da infraestrutura de comunicação LoRa disponível nas propriedades. A escalabilidade

da solução para rebanhos de maior porte ainda não foi testada em ambiente real, o que representa uma oportunidade para trabalhos futuros.

Após a coleta e organização dos dados nas duas fases do estudo — o experimento com o bezerro e a análise dos *datasets* da Inovafarm —, foi necessário aplicar um conjunto de técnicas que permitisse compreender de maneira mais ampla os padrões de movimentação e comportamento dos animais. As etapas descritas a seguir detalham as abordagens adotadas para transformar os registros brutos em informações úteis, bem como os critérios de validação utilizados e os cuidados éticos envolvidos no uso dos dados.

## 3.6 Aspectos Éticos e Legais

Durante toda a pesquisa, foram observados os princípios éticos e legais relacionados ao uso de dados. As informações fornecidas pela empresa Inovafarm foram utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos e científicos. O uso dos *datasets* foi formalizado por meio de um acordo de cooperação, garantindo transparência e conformidade com as boas práticas de pesquisa.

## 3.7 Fluxo Metodológico

O fluxo metodológico está representado no diagrama da Figura 3.

### 3.7.1 Mapas de Calor

Foram gerados mapas de calor (Figura 4) a partir da agregação espacial das coordenadas registradas ao longo do período de monitoramento. A densidade de permanência foi calculada com base na frequência de pontos GNSS em regiões específicas da área experimental, permitindo representar visualmente a intensidade de uso do espaço pelo animal.

A escala de cores indica a concentração relativa de registros, destacando áreas de maior permanência, como o entorno do curral e regiões específicas de pastagem. Essa visualização possibilita identificar zonas preferenciais de uso, padrões de concentração e eventuais áreas subutilizadas, fornecendo subsídios objetivos para decisões relacionadas ao manejo e à organização do espaço.

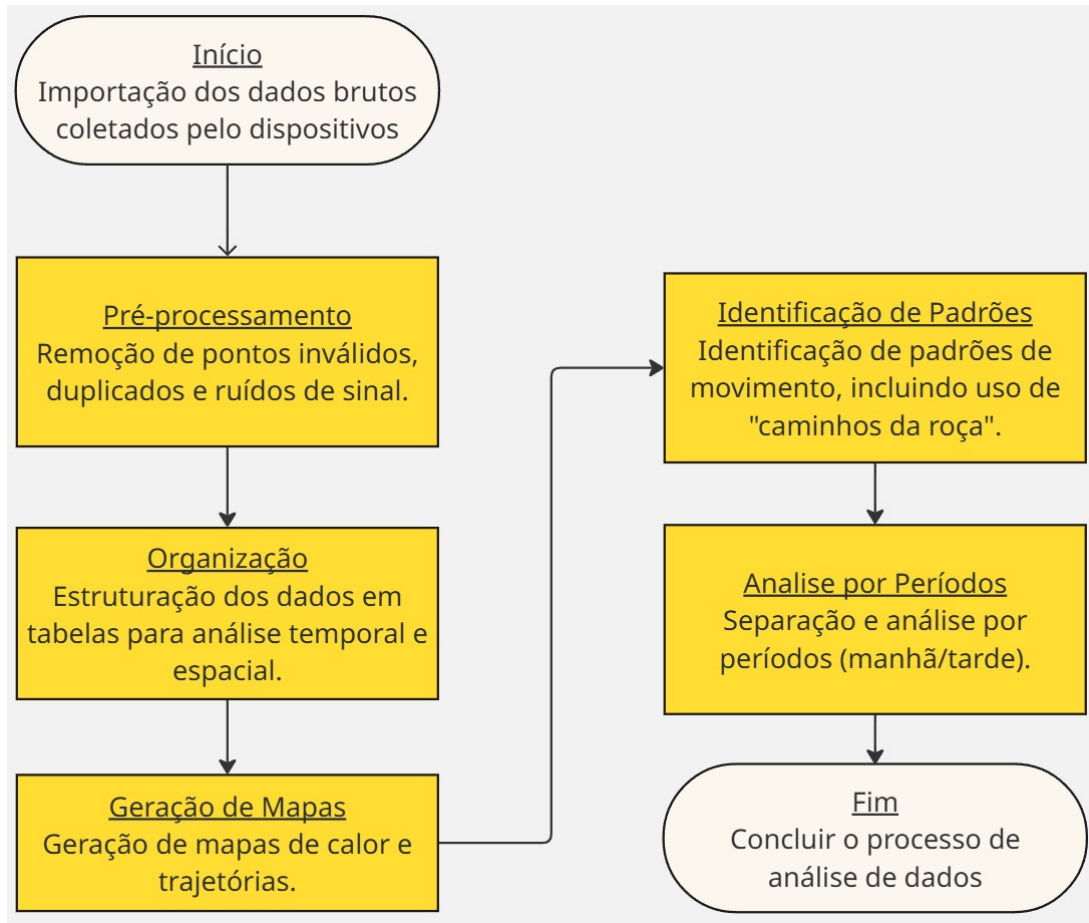


Figura 3 – Fluxo de processamento e análise dos dados.



Figura 4 – Exemplo de mapa de calor da movimentação do animal na área experimental.

### 3.7.2 Trajetórias

Foram produzidas visualizações das trajetórias individuais (Figura 5) a partir da ordenação temporal das coordenadas registradas. Cada linha representa a sequência cronológica de deslocamento do animal, permitindo analisar a dinâmica de movimentação ao longo do tempo.

Essa abordagem possibilita identificar padrões recorrentes de deslocamento, rotas preferenciais e a formação de trilhas naturais, popularmente conhecidas como “caminhos da roça”. A análise das trajetórias também auxilia na avaliação do comportamento exploratório, na identificação de possíveis barreiras físicas e na compreensão da distribuição espacial do rebanho.

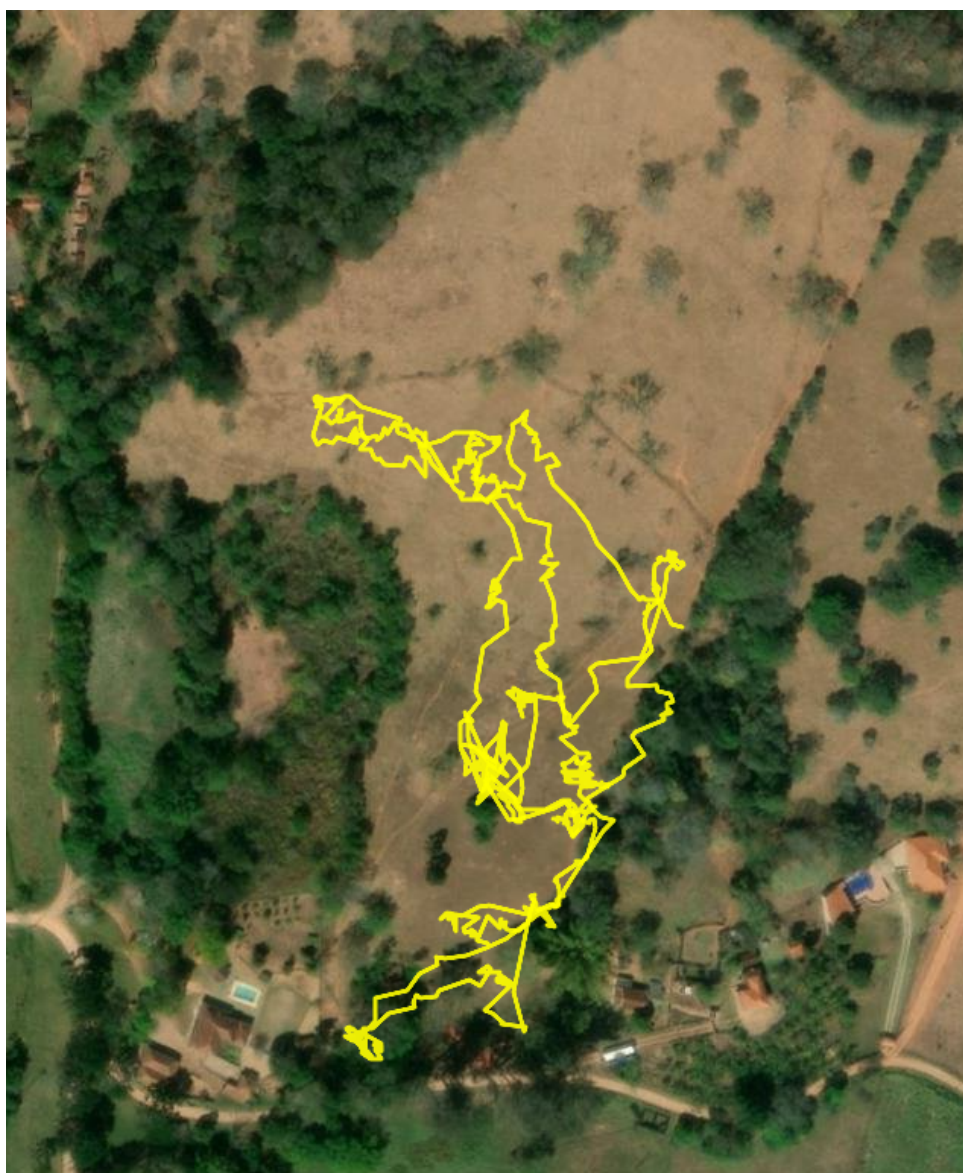


Figura 5 – Exemplo de trajetória registrada durante o período de monitoramento.

### 3.7.3 Vídeos Dinâmicos

Utilizando as bibliotecas `Selenium` e `MoviePy`, foram gerados vídeos dinâmicos a partir da sequência temporal de mapas de calor construídos com os dados do *dataset* analisado (Figura 6). Cada quadro representa um intervalo temporal específico, permitindo observar a evolução espacial da movimentação ao longo dos dias de monitoramento.

Diferentemente das visualizações estáticas, os vídeos possibilitam uma análise contínua do comportamento, evidenciando variações de uso do espaço em diferentes períodos do dia ou condições ambientais. Essa abordagem facilita a identificação de padrões sazonais ou recorrentes que poderiam não ser percebidos em representações isoladas.



Figura 6 – Frame de vídeo dinâmico mostrando a movimentação do animal ao longo do tempo.

Dessa forma, a metodologia proposta estabelece um fluxo completo, desde a coleta até a análise e visualização dos dados, integrando processamento espacial e temporal em um modelo estruturado e replicável. No próximo capítulo, apresenta-se o desenvolvimento detalhado da solução, com ênfase nas adaptações implementadas e na integração entre os diferentes cenários de coleta.

## 4 Desenvolvimento

O desenvolvimento deste trabalho foi motivado pela necessidade de melhorar o monitoramento animal em pastagens: a limitação no acesso e na organização de dados coletados em campo. Apesar dos avanços nas tecnologias de rastreamento, muitos estudos ainda enfrentam dificuldades quanto à estruturação e ao tratamento dos *datasets*, o que compromete a análise e a comparação entre diferentes contextos produtivos.

Com esse objetivo, o AgroTrack foi desenvolvido para trabalhar com um modelo de dados simples e direto, estruturado em formato tabular (*.csv*) contendo apenas as informações essenciais: *ID\_animal*, *data/hora*, *latitude* e *longitude*. Essa estrutura permite o armazenamento e o processamento das coordenadas obtidas pelos dispositivos de rastreamento, além de facilitar a leitura por diferentes ferramentas computacionais de análise espacial e temporal.

Este capítulo apresenta o desenvolvimento da solução proposta, estruturada em duas etapas complementares: (i) um experimento controlado, utilizando um dispositivo móvel adaptado, celular, com o *software* desenvolvido pela IWS, para o rastreamento de um bezerro em campo; e (ii) a análise de *datasets* fornecidos pela empresa Inovafarm, com registros de múltiplos animais monitorados por brincos eletrônicos.

Inicialmente, são discutidos os resultados publicados em artigos científicos que destacam a importância da estruturação e da consistência dos dados na pecuária de precisão. Em seguida, são descritos os materiais, as ferramentas e os processos empregados, estabelecendo uma ligação entre o desenvolvimento da solução e as etapas de análise apresentadas nos capítulos seguintes.

### 4.1 Publicação dos Primeiros Resultados

Oriundo desse trabalho (SIQUEIRA et al., 2025) realiza uma revisão de mais de vinte estudos sobre tecnologias de rastreamento e monitoramento de animais de pastagem, com foco na reutilização de modelos de movimento e na disponibilidade de dados contextualizados. A análise revela uma limitação na oferta de artefatos reutilizáveis, como *datasets* abertos e modelos analíticos devidamente documentados, o que dificulta tanto a reprodutibilidade científica quanto a aplicação prática em contextos reais da pecuária de precisão.

Como resposta a esses espaços, o trabalho propõe orientações para a condução de pesquisas mais marcantes, incluindo a padronização de protocolos de coleta de dados, a integração de múltiplas fontes sensoriais (como GNSS, IMU e câmeras) e o incentivo à pu-

blicação aberta de dados e modelos. Um dos principais resultados apresentados é o *Moving Moutons*, um conjunto de dados multiangular e multidimensional que combina informações de localização, vídeo e condições ambientais (vegetação, clima, relevo), permitindo análises detalhadas sobre o comportamento das ovelhas em ambiente natural.

A região alpina se destaca como um cenário desafiador e, ao mesmo tempo, promissor para o desenvolvimento e a validação de novas tecnologias de rastreamento. As dificuldades impostas pelo terreno irregular, pela variabilidade ambiental e pela limitação de conectividade tornam essas áreas ideais para o teste de soluções confiáveis e adaptáveis. O artigo argumenta que a digitalização e o uso de inteligência artificial podem aprimorar o manejo de rebanhos, fornecendo monitoramento em tempo real, modelos preditivos e alertas automatizados sobre eventos críticos, como ataques de predadores ou mudanças climáticas abruptas.

Além disso, o estudo enfatiza a importância de iniciativas colaborativas e interdisciplinares que promovam a integração entre pesquisadores, desenvolvedores e produtores rurais. O incentivo a projetos aplicados, como o *Second-Generation Alptrackers*, é apontado como fundamental para a criação de soluções práticas e escaláveis. Com isso, o artigo contribui para o avanço da pecuária digital, propondo uma abordagem fundamentada na coleta de dados contextualizados, na reprodutibilidade científica e na sustentabilidade do manejo em regiões montanhosas.

Os resultados obtidos no experimento inicial revelaram limitações, especialmente relacionadas à autonomia dos dispositivos e à cobertura em áreas extensas.

## 4.2 Embasamento inicial do AgroTrack

Para a coleta dos dados, foi utilizado um *software* desenvolvido pela empresa IWS, capaz de registrar coordenadas geográficas (GPS) em arquivos no formato .txt, gerando um ponto de localização a cada cinco segundos. A fim de garantir a máxima autonomia do dispositivo durante os testes, ele foi completamente carregado previamente, mantendo ativos apenas o *software* de coleta e o módulo GPS. Essa configuração resultou em uma autonomia operacional de aproximadamente 43 horas ininterruptas de registro.

A análise dos dados obtidos a partir do monitoramento do bezerro foi realizada por meio de um *software* desenvolvido em Python, utilizando a biblioteca *Folium* (FOLIUM, 2025) e o *plugin HeatMapWithTime*, o qual permite a geração de mapas de calor dinâmicos e configuráveis, conforme os intervalos de tempo definidos pelo usuário. Para viabilizar a leitura dos arquivos .txt contendo as coordenadas, foi implementado um programa auxiliar em linguagem C, cuja função foi adaptar o formato dos dados para garantir a compatibilidade com o sistema de visualização em Python.

Além disso, para o tratamento e análise de arquivos no formato *.csv*, foram utilizadas as bibliotecas Pandas (PANDAS, 2025), Folium (FOLIUM, 2025) com o *plugin HeatMapWithTime*, NumPy (NUMPY, 2025), bem como módulos do ambiente Google Colab e a biblioteca *io*, que facilitaram a manipulação eficiente dos dados e a execução das rotinas de visualização e análise temporal, do módulo *norm* da biblioteca *scipy.stats* (SCIPY, 2020), a biblioteca *io* para viabilizar a leitura e a manipulação eficiente dos dados.

### 4.3 Casos de Uso

Os principais atores envolvidos na utilização do sistema são o pesquisador e o produtor rural, que interagem com o sistema em diferentes níveis, como mostra a Figura 7.

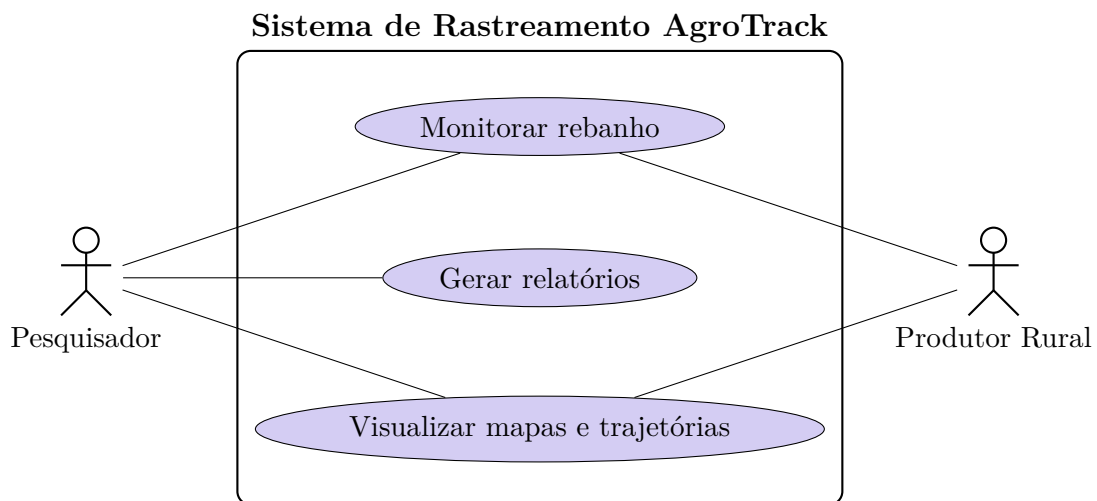


Figura 7 – Diagrama de casos de uso do sistema de rastreamento AgroTrack.

### 4.4 Arquitetura do Sistema

A arquitetura geral do sistema é apresentada na Figura 8, ilustrando o fluxo de informações desde os dispositivos de rastreamento até a visualização final.

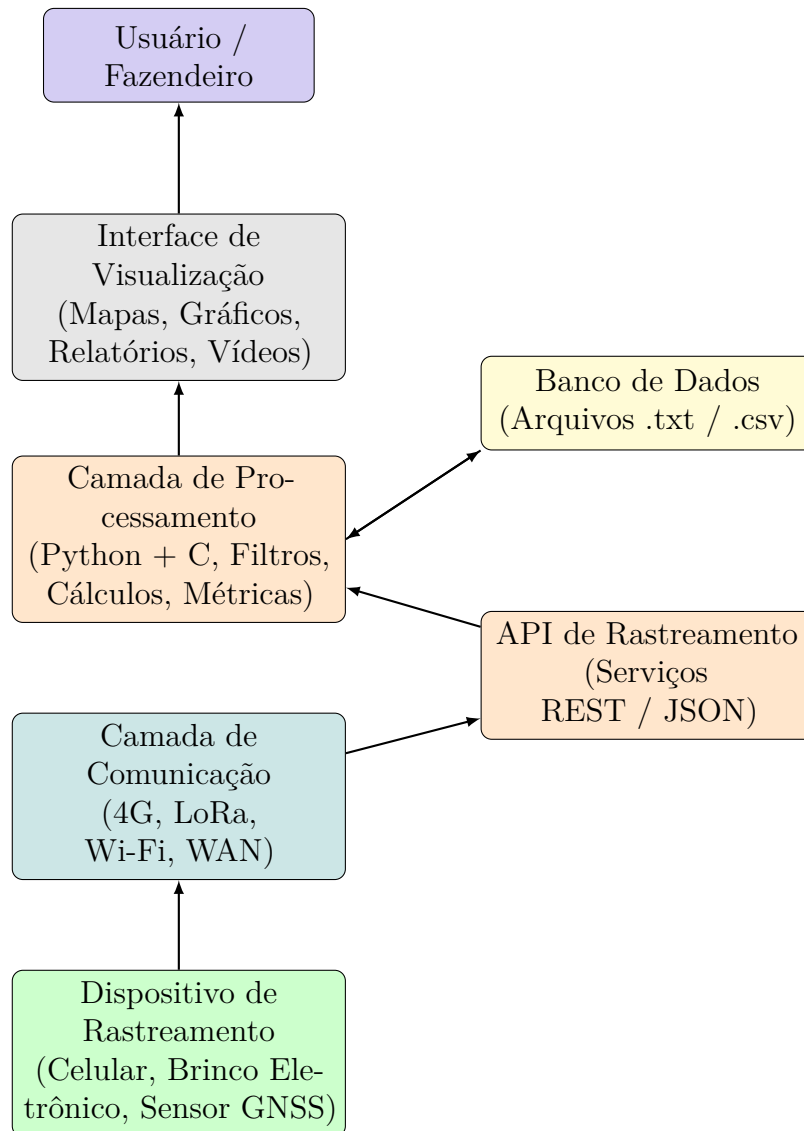


Figura 8 – Arquitetura geral do sistema de rastreamento AgroTrack.

A Figura 8 apresenta a arquitetura geral do sistema AgroTrack, organizada em cinco camadas funcionais, estruturadas de forma modular para separar responsabilidades e facilitar a escalabilidade do sistema.

Na camada de dispositivos, são realizadas a coleta e a geração dos dados de posicionamento por meio de sensores GNSS embarcados em *smartphones* ou brincos eletrônicos. Esses dados são transmitidos à camada de comunicação, responsável pelo envio das informações por diferentes tecnologias de rede, como LoRa, 4G, Wi-Fi ou WAN, conforme a infraestrutura disponível no ambiente rural.

A camada de API atua como ponto central de recepção dos dados, implementando serviços REST e utilizando o formato JSON para padronizar a troca de informações. Nessa etapa, os registros são organizados e armazenados em arquivos estruturados (.txt ou .csv), compondo o banco de dados do sistema.

A camada de processamento é responsável pela aplicação de filtros para remoção de inconsistências, cálculo de métricas comportamentais e geração de dados derivados, estabelecendo também comunicação bidirecional com o banco de dados para leitura e atualização das informações processadas.

Por fim, a camada de visualização consolida os resultados e os disponibiliza ao usuário final por meio de mapas, gráficos, relatórios e vídeos, permitindo a interpretação dos padrões de movimentação e uso do espaço pelos animais. Essa organização em camadas favorece a manutenção, a expansão do sistema e a integração futura com novos dispositivos ou módulos analíticos.

## 4.5 Modelo de geração de vídeos do rebanho

O desenvolvimento do subsistema de visualização foi fundamentado em uma arquitetura de processamento em camadas que visa converter o fluxo de dados brutos provenientes dos colares de monitoramento em uma ferramenta de análise visual de alta densidade informativa.

A primeira etapa consiste no pré-processamento de um *dataset* original composto por registros de latitude, longitude, identificador individual do animal e o *timestamp* de cada evento capturado. Utilizando a biblioteca Pandas, os dados são estruturados em um *DataFrame* para garantir a padronização temporal e a correção de inconsistências de formatação que poderiam comprometer a sequência lógica do vídeo. A construção da interface geográfica utiliza o pacote *Folium* para renderização geoespacial interativa, adotando como base a camada *Esri World Imagery* para fornecer o contexto de imagens de satélite da área de pastagem. O sistema opera através de janelas temporais configuráveis pelo usuário, onde o *script* realiza a ordenação cronológica e o agrupamento dos dados para calcular a média das coordenadas e centralizar o mapa em cada intervalo. Para cada janela, é gerada uma camada de calor que reflete a densidade de presença animal, e o resultado é exportado como um arquivo HTML independente. O fluxograma desse processo pode ser visto na Figura ??.

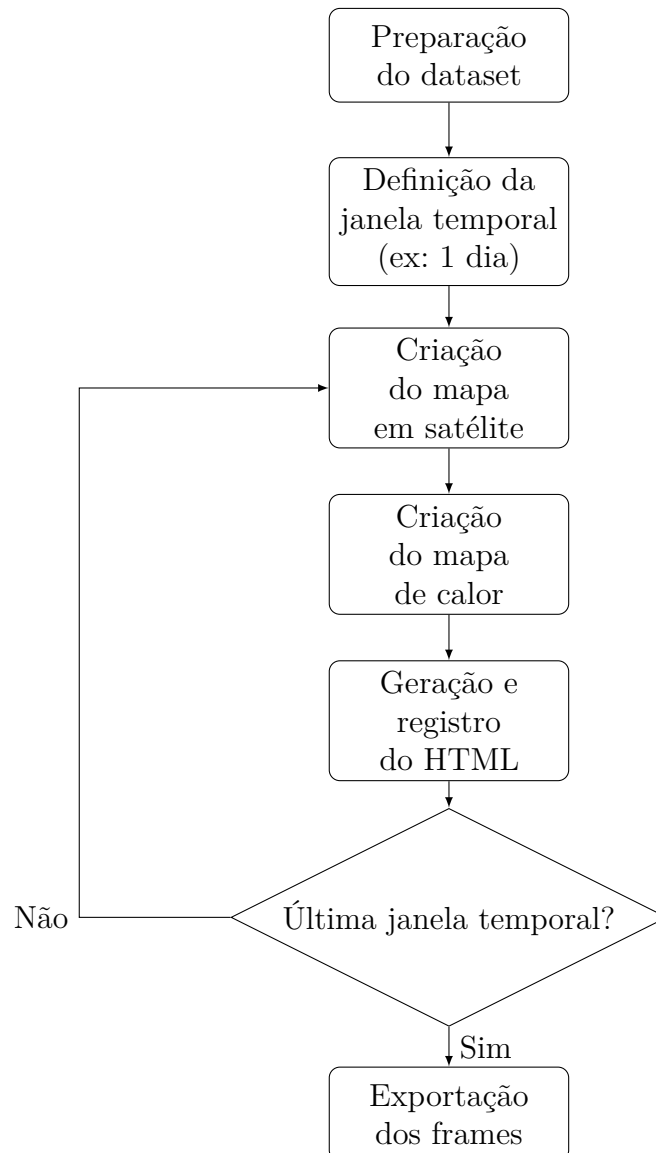


Figura 9 – Frame de vídeo dinâmico mostrando a movimentação do animal ao longo do tempo.

A segunda fase do desenvolvimento concentra-se na organização do fluxo automatizado para geração sequencial dos mapas. A Figura 10 apresenta o fluxograma do processo implementado no software, iniciando-se pela preparação do *dataset* e pela definição da janela temporal de análise (por exemplo, diária).

Para cada janela temporal, o sistema executa a criação do mapa base em modo satélite, seguida da geração do mapa de calor correspondente à densidade de registros GNSS naquele intervalo. Em seguida, é produzido um arquivo HTML contendo a visualização gerada. O processo é repetido iterativamente até que a última janela temporal seja alcançada.

Após o processamento completo de todas as janelas, os mapas gerados são exportados como *frames*, que podem posteriormente ser utilizados na composição do vídeo

dinâmico. Essa estrutura em laço garante a continuidade temporal das visualizações e assegura consistência na representação da evolução espacial do comportamento animal.

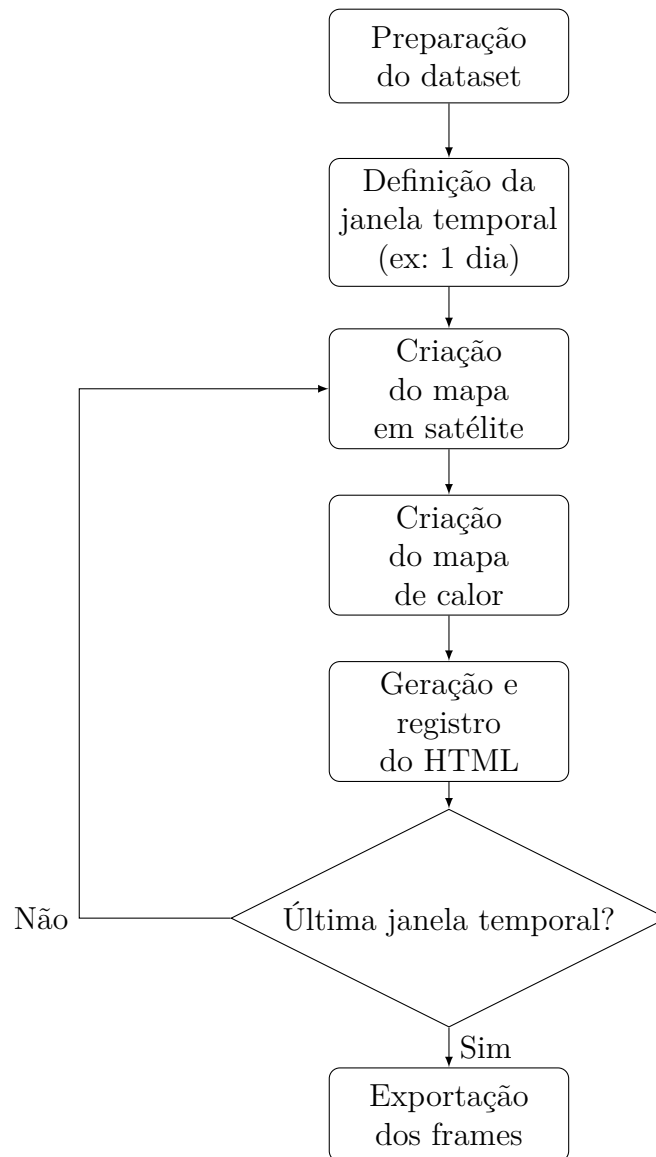


Figura 10 – Fluxograma do processo automatizado para geração sequencial de mapas de calor a partir de janelas temporais do *dataset*.

Dessa forma, o presente capítulo apresentou o desenvolvimento completo do Agro-Track, desde a concepção inicial baseada em um experimento controlado até a consolidação de uma arquitetura modular capaz de integrar múltiplas fontes de dados e diferentes tecnologias de comunicação. Foram detalhados os componentes responsáveis pela coleta, armazenamento, processamento e visualização das informações, bem como o modelo automatizado para geração sequencial de mapas e vídeos a partir de janelas temporais configuráveis. A integração entre dispositivos de rastreamento, estruturação padronizada dos dados e processamento espacial-temporal demonstra a viabilidade técnica da solução proposta e estabelece a base operacional para as análises e validações apresentadas no

capítulo seguinte.

## 5 Experimentos e Resultados

Este capítulo apresenta os experimentos realizados e os principais resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta. O objetivo foi validar o funcionamento da ferramenta AgroTrack e verificar sua capacidade de processar e visualizar dados de rastreamento animal em diferentes contextos. Para isso, foram conduzidos dois estudos complementares: o primeiro, em ambiente controlado, com a adaptação de um dispositivo móvel para monitoramento individual; e o segundo, utilizando conjuntos de dados reais fornecidos pela empresa Inovafarm. Os resultados são discutidos a partir da análise espacial e temporal do comportamento dos animais, bem como da avaliação da ferramenta quanto à sua aplicabilidade prática.

### 5.1 Cenário 1 – Experimento com o Bezerro

O primeiro experimento teve como objetivo validar a viabilidade técnica da metodologia proposta em um ambiente controlado. Para isso, um dispositivo móvel da marca Motorola (modelo Moto E), originalmente destinado ao uso cotidiano, foi adaptado para funcionar como rastreador de animais. O aparelho foi acondicionado em uma capa protetora e preso ao cabresto de um bezerro, garantindo conforto e segurança durante a coleta.

O *software* instalado realizava registros de coordenadas GNSS a cada cinco segundos, totalizando aproximadamente 43 horas de monitoramento contínuo. Os dados foram armazenados em arquivos no formato `.txt` e posteriormente tratados para a análise.

O *software* de rastreamento desenvolvido pela empresa IWS, originalmente projetado para o rastreio de entregas de mercadorias, foi responsável por coletar, filtrar e armazenar os dados brutos de localização durante o experimento. Esse sistema aplicou automaticamente filtros para identificar e remover registros incoerentes.

Para isso, foi utilizada a estimativa da velocidade média entre dois pontos consecutivos, calculada a partir da relação entre a distância percorrida e o intervalo de tempo, conforme a Equação 5.1.

$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad (5.1)$$

Em que  $v$  representa a velocidade estimada,  $d$  corresponde à distância entre duas coordenadas consecutivas registradas pelo GPS, e  $\Delta t$  representa o intervalo de tempo entre essas medições.

Por exemplo, considerando um deslocamento de 300 metros em um intervalo de 5 segundos, obtém-se:

$$\frac{300 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 60 \text{ m/s} \approx 216 \text{ km/h}$$

Assim, quando a distância entre dois pontos consecutivos ultrapassava 300 metros em um intervalo de apenas cinco segundos, a velocidade estimada ultrapassaria aproximadamente 216 km/h. Como esse valor é incompatível com o deslocamento de um animal em pastagem, o registro era automaticamente descartado pelo sistema. Dessa forma, o processo de filtragem permitiu reduzir inconsistências nos dados coletados, tornando o *software* adequado para aplicações de monitoramento em animais de pastoreio.

A partir dessas coordenadas tratadas, foi utilizada a ferramenta AgroTrack, desenvolvida nessa dissertação, para gerar visualizações complementares, como mapas de calor e trajetórias. Dessa forma, foi possível observar de maneira detalhada os padrões de deslocamento do bezerro e as áreas de maior permanência na pastagem.

A análise revelou que o animal não utilizou de forma homogênea toda a área de pastagem, concentrando-se em determinadas regiões, o que sugere um padrão de áreas de preferência. Esse comportamento foi reforçado pelos mapas de calor e trajetórias, respectivamente, apresentados nas Figuras 11 e 12. Além disso, verificou-se atividade noturna, indicando que o animal manteve deslocamentos mesmo em períodos de baixa luminosidade.



Figura 11 – Mapa de calor do deslocamento do bezerro durante 43 horas de monitoramento.

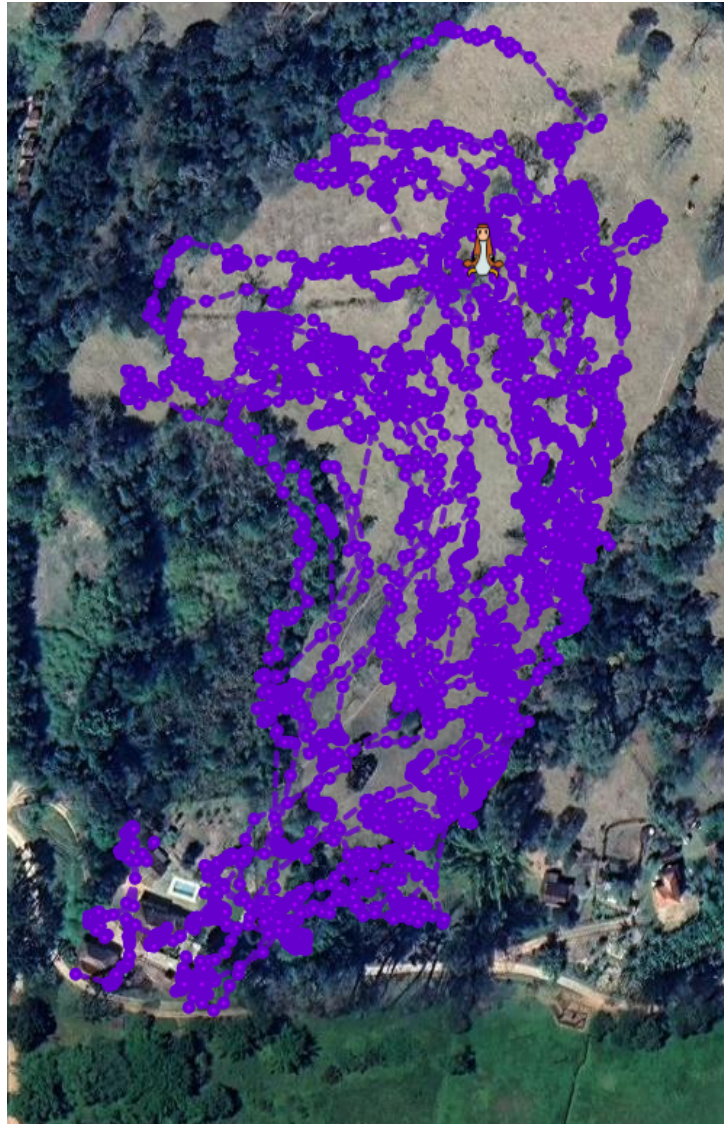


Figura 12 – Trajeto percorrido pelo bezerro no experimento (43 horas).

Essas imagens fornecem informações do trajeto percorrido. Os mapas permitem identificar, por exemplo, zonas de maior uso da pastagem onde há maior disponibilidade de sombra, água ou melhor qualidade forrageira e áreas de baixa ocupação, que podem indicar compactação do solo, declividade acentuada ou presença de obstáculos. Para o produtor, esse tipo de informação pode apoiar decisões de manejo, como o remanejamento de cercas, a rotação de pasto e o direcionamento de suplementação alimentar.

Se aplicado a um rebanho maior, com dezenas ou centenas de animais, o mapa de calor resultante evidenciaria as áreas de maior concentração coletiva, permitindo avaliar o padrão de distribuição espacial do grupo e detectar comportamentos anômalos, como isolamento de indivíduos ou superlotação em determinadas regiões. Essas análises podem contribuir para o bem-estar animal e para o uso mais eficiente do espaço, especialmente em sistemas de pastagem extensiva.

## 5.2 Cenário 2 – *datasets* da Inovafarm

A segunda etapa do trabalho utilizou *datasets* fornecidos pela empresa Inovafarm, especializada no desenvolvimento de brincos eletrônicos com conectividade LoRa para monitoramento animal. A utilização desses dados possibilitou avaliar a metodologia proposta em cenários reais de operação, caracterizados por variação no número de animais monitorados, duração dos experimentos e condições de coleta. Essa diversidade é particularmente relevante do ponto de vista computacional, uma vez que impõe diferentes desafios relacionados a volume, variabilidade e consistência dos dados.

Foram analisados cinco *datasets* distintos, provenientes de diferentes propriedades rurais, conforme resumido na Tabela 4. Observa-se que os conjuntos de dados abrangem desde experimentos de curta duração, com poucos animais, até monitoramentos extensos envolvendo centenas de indivíduos ao longo de vários meses. Essa heterogeneidade contribui para uma avaliação mais abrangente do pipeline proposto, permitindo observar seu comportamento tanto em cenários reduzidos quanto em contextos de maior escala.

Tabela 4 – Resumo dos *datasets* analisados

Dataset	Total de Registros	Nº de Animais	Período
engenharia carvalho	3.308	10	7 dias
if goiano	17.996	18	7 meses e 11 dias
nutri pura	35.423	58	8 meses e 15 dias
santa helena	324.303	198	10 meses e 1 dia
teste santa rita	2.105	5	2 meses e 1 dia

Além da quantidade total de registros, foi analisada a consistência diária da coleta por animal, conforme apresentado na Tabela 5. Essa análise permite avaliar a regularidade com que os dispositivos conseguiram registrar dados ao longo do tempo e identificar flutuações no número de animais efetivamente monitorados em cada propriedade. Os valores mínimos, máximos, médias e desvios padrão indicam que, em alguns *datasets*, há variação significativa na disponibilidade diária de registros, evidenciando instabilidade na coleta.

Para isso, os dados foram inicialmente agrupados por dia, contabilizando-se o número de animais distintos registrados em cada data a partir do identificador *tagId*. A partir desses valores diários, foram calculadas estatísticas descritivas como mínimo, máximo, média e desvio padrão.

A média diária de animais registrados foi calculada conforme a Equação 5.2.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.2)$$

Em que  $\bar{x}$  representa a média do número de animais registrados por dia,  $x_i$  corresponde ao número de animais distintos registrados no dia  $i$ , e  $n$  representa o número total de dias analisados.

Para avaliar a variabilidade na quantidade de animais registrados ao longo do período, foi calculado também o desvio padrão amostral, conforme a Equação 5.3.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.3)$$

Em que  $s$  representa o desvio padrão,  $x_i$  corresponde ao número de animais registrados no dia  $i$ ,  $\bar{x}$  representa a média diária, e  $n$  corresponde ao número total de dias analisados.

Tabela 5 – Estatísticas diárias de registro por animal para cada dataset

<b>Dataset</b>	<b>Total</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
engenharia carvalho	10	6	10	8,2	1,72
if goiano	18	1	14	5,8	4,55
nutri pura	58	1	48	8,3	13,86
santa helena	198	8	110	51,3	27,70
teste santa rita	5	1	4	1,3	0,63

Essas flutuações podem estar associadas a fatores como limitações de cobertura da rede LoRa, falhas temporárias de comunicação, aspectos operacionais relacionados ao uso dos dispositivos ou ao próprio comportamento natural dos animais no ambiente de pastoreio. Do ponto de vista computacional, essa característica reforça a necessidade de soluções capazes de lidar com dados incompletos e irregulares, mantendo a coerência da análise mesmo diante de variações temporais na coleta.

Os *datasets* disponibilizados pela Inovafarm já haviam sido submetidos a processos internos de tratamento e validação, garantindo a consistência básica das informações. Dessa forma, nesta dissertação, os dados foram utilizados prioritariamente para análises descritivas e geração de visualizações, sem a aplicação de filtros adicionais ou transformações complexas. Essa escolha permitiu concentrar a avaliação na capacidade do modelo proposto de organizar, representar e explorar visualmente dados reais em diferentes escalas.

Para a geração das visualizações, foi utilizada a ferramenta AgroTrack, empregada como recurso de leitura e renderização das coordenadas previamente tratadas. A partir desses dados, foram produzidos mapas de calor e tabelas estatísticas, possibilitando a análise espacial do comportamento coletivo dos animais ao longo do tempo. A Figura 13 apresenta um exemplo de mapa de calor gerado a partir de um dos *datasets* analisados, evidenciando regiões da pastagem com maior concentração de registros e indicando áreas de uso mais frequente pelos animais.



Figura 13 – Mapa de calor gerado a partir de um *dataset* da Inovafarm - Fazenda IfGoiano.

Além das visualizações estáticas, o modelo proposto contempla a geração de vídeos que representam a evolução temporal das posições registradas. A criação desses vídeos justifica-se pela necessidade de explicitar a dinâmica do comportamento animal ao longo do tempo, aspecto que não é plenamente capturado por representações agregadas, como mapas de calor. Os vídeos permitem observar trajetórias, padrões de deslocamento e alterações no comportamento coletivo, contribuindo para uma análise mais detalhada da movimentação dos animais.

Do ponto de vista do monitoramento, os vídeos facilitam a identificação de eventos temporais específicos, como concentrações momentâneas em determinadas regiões da pastagem, dispersões do rebanho ou mudanças no padrão de uso do espaço. Ao sintetizar grandes volumes de dados em sequências visuais contínuas, essa abordagem torna a interpretação mais intuitiva e acessível, ampliando o potencial de uso da metodologia em contextos reais de acompanhamento e tomada de decisão.

De forma integrada, o uso de tabelas estatísticas, visualizações estáticas e vídeos demonstra-se adequado para o monitoramento de rebanhos em diferentes escalas. Enquanto as tabelas fornecem uma visão quantitativa da consistência e do volume dos dados, as visualizações e os vídeos permitem explorar padrões espaciais e temporais de maneira complementar. Assim, a metodologia proposta evidencia o papel das técnicas computacionais de visualização como ferramentas centrais na análise exploratória de dados de rastreamento animal.

No que diz respeito aos resultados técnicos da geração de vídeos, a implementação deste *pipeline* permitiu transformar grandes volumes de dados de monitoramento em produtos visuais intuitivos. A análise da precisão dos mapas de calor revela que a eficácia visual está ligada à densidade de pontos capturados por tempo de permanência do rebanho em determinadas áreas.

A aplicação do algoritmo de calor permite identificar que áreas de maior intensidade coincidem com pontos críticos da pastagem, como bebedouros e áreas de sombra, onde a frequência de transmissão de dados gera uma sobreposição maior de coordenadas. Observou-se que a técnica de *heatmap* é importante para lidar com a sobreposição de dados quando vários animais ocupam a mesma área. Durante os testes com as janelas temporais, como o exemplo de cinco horas, o sistema demonstrou claramente a evolução da ocupação da área pelo animal ao longo do dia, agrupando os dados de forma que o primeiro quadro representa o período inicial e os *frames* subsequentes revelam o deslocamento progressivo.

As vantagens da implementação de um mecanismo de monitoramento baseado em síntese de vídeo e mapas de calor na pecuária impactam diretamente a eficiência do manejo. Primeiramente, o sistema facilita a atividade do gestor, que deixa de analisar planilhas extensas para interpretar padrões comportamentais em segundos de vídeo. A visualização dinâmica permite identificar anomalias no uso da pastagem, como o sobrecarga em setores específicos ou a negligência de áreas inteiras, possibilitando ajustes rápidos na rotação do rebanho. Além disso, a correlação visual com imagens de satélite provê um contexto geográfico essencial para o bem-estar animal, evidenciando se o gado está acessando corretamente os recursos hídricos e de sombreamento em horários críticos de temperatura.

Outra vantagem estratégica reside na capacidade de auditoria e histórico; o vídeo serve como um registro temporal robusto para validar práticas de manejo sustentável e rastreabilidade, agregando valor ao produto final. Do ponto de vista técnico, a conversão de dados *LoRa* em mapas de calor suaviza imprecisões inerentes ao GPS e falhas pontuais de transmissão, transformando ruídos estatísticos em tendências espaciais claras.

Como relação às limitações, pode-se citar a utilização do *Selenium WebDriver* para a captura de *frames* apresenta limitações de desempenho e ao tempo de processamento. Como a ferramenta depende da renderização completa de cada arquivo HTML em uma instância do navegador *Chrome*, o tempo total de síntese do vídeo escala linearmente com o número de janelas temporais definidas. Em cenários com milhares de *frames*, a latência acumulada pela abertura e fechamento de processos do navegador pode tornar a geração do vídeo muito lenta.

Além disso, a precisão visual do mapa de calor pode ser afetada se a janela temporal for excessivamente larga, o que resultaria em uma mancha de calor difusa que não representa as trajetórias reais de deslocamento. Outra limitação reside na dependência de uma conexão estável para o carregamento das camadas de satélite da *Esri* durante o processo de renderização do *Folium*, o que pode gerar falhas nos *frames* caso existam oscilações na rede durante a execução do *script* de captura automatizada.

## 5.3 Ferramenta Desenvolvida

Como resultado deste trabalho, foi desenvolvida a ferramenta computacional AgroTrack, voltada ao processamento, análise e visualização de dados de rastreamento animal. A ferramenta integra rotinas em Python e C e oferece um conjunto de funcionalidades que incluem:

- leitura e padronização de arquivos nos formatos `.txt` e `.csv`;
- segmentação temporal em diferentes escalas (segundos, minutos, horas ou dias);
- geração de mapas de calor dinâmicos, trajetórias e vídeos históricos;
- aplicação de filtros de consistência baseados em velocidade e distância;
- cálculo de métricas espaciais e temporais, como área ocupada, tempo de permanência em zonas específicas e velocidade média.

Atualmente, o AgroTrack encontra-se em fase inicial de desenvolvimento e foi utilizado nesta pesquisa como ferramenta de apoio às etapas de análise e visualização de dados. A versão atual possui caráter experimental e não está pronta para distribuição pública. Por esse motivo, o código-fonte não será disponibilizado nesta primeira versão, pois ainda requer ajustes estruturais, padronização e testes adicionais para garantir reprodutibilidade, estabilidade e compatibilidade com diferentes ambientes.

A ferramenta foi implementada em Python, utilizando bibliotecas livres como *Pandas*, *NumPy* e *Folium*, o que viabiliza sua futura disponibilização como *software* de código aberto. A expectativa é que, após a conclusão da dissertação, uma versão revisada e aprimorada seja organizada e disponibilizada em um repositório público (como *GitHub*), acompanhada de exemplos de uso e instruções de instalação.

Enquanto a versão estável não é disponibilizada, o funcionamento essencial do AgroTrack pode ser reproduzido por meio das etapas detalhadas neste trabalho — leitura dos arquivos de coordenadas (`.txt` ou `.csv`), processamento e filtragem dos dados, e geração das visualizações interativas descritas na Seção 3.

Em resumo, o código-fonte da ferramenta não está disponível publicamente nesta etapa devido ao estágio de desenvolvimento e à ausência de uma versão final validada, mas sua estrutura geral e lógica de funcionamento são apresentadas nesta seção, permitindo que versões futuras possam ser replicadas, avaliadas ou aprimoradas.

## 5.4 Síntese dos Resultados

Os experimentos conduzidos nos dois cenários complementares, o teste com o bezerro e a análise dos dados fornecidos pela Inovafarm, permitiram concluir três principais contribuições desta pesquisa:

- **Validação prática:** o experimento inicial demonstrou a viabilidade técnica do uso do *software* de rastreamento da IWS em um contexto distinto do qual foi originalmente desenvolvido. A ferramenta mostrou-se eficaz para coletar e armazenar coordenadas GNSS de forma contínua, garantindo integridade dos dados e estabilidade na transmissão. Embora o uso de um *smartphone* como dispositivo rastreador tenha atendido ao propósito experimental, sua adoção em larga escala não seria economicamente viável. Para aplicações práticas, o mesmo modelo de coleta pode ser implementado em dispositivos mais adequados, como brincos eletrônicos ou sensores dedicados de baixo consumo.
- **Escalabilidade:** a metodologia demonstrou capacidade de adaptação a diferentes volumes e fontes de dados. Enquanto o primeiro experimento envolveu um único animal, os *datasets* da Inovafarm permitiram o processamento de informações referentes a centenas de indivíduos monitorados simultaneamente, sem necessidade de alterações estruturais no fluxo de análise. Isso mostra que o sistema pode ser ampliado para diferentes realidades produtivas, preservando a consistência dos resultados. Nesse contexto, o termo escalabilidade refere-se à capacidade da metodologia e da ferramenta utilizada de lidar com um volume crescente de dados, como múltiplos animais e longos períodos de monitoramento — sem perda significativa de desempenho ou necessidade de ajustes estruturais no processo de análise.
- **Ferramenta computacional:** o AgroTrack foi desenvolvido como uma ferramenta de apoio à análise e visualização de dados de rastreamento animal. Sua principal função é transformar registros brutos de localização em informações interpretáveis — como trajetórias e mapas de calor — permitindo identificar áreas de maior permanência, padrões de deslocamento e possíveis indícios de subutilização da pastagem. Assim, a ferramenta demonstra um potencial de uso de tecnologias de rastreamento e análise espacial como suporte à gestão e ao manejo do rebanho.

A comparação entre os dois cenários avaliados reforça a complementaridade da abordagem. O experimento individual possibilitou testar o fluxo completo de coleta e tratamento dos dados em um ambiente controlado, enquanto os conjuntos da Inovafarm demonstraram o potencial de aplicação em larga escala, em propriedades com infraestrutura consolidada de IoT. Dessa forma, o sistema proposto se mostra flexível e adaptável a diferentes contextos de produção.

## 5.5 Análise de Dados

A análise dos dados coletados foi estruturada em três etapas principais: filtragem, segmentação e cálculo de métricas. O objetivo foi transformar registros brutos de coordenadas em informações que permitissem compreender padrões espaciais e temporais do comportamento animal.

1. **Filtragem:** exclusão de registros inconsistentes, como deslocamentos impossíveis ( $>300$  m em 5 s), garantindo a integridade dos dados.
2. **Segmentação temporal:** divisão dos registros por intervalos de tempo (segundos, minutos, horas ou dias), permitindo observar variações de comportamento ao longo do dia.
3. **Métricas extraídas:**
  - Área total utilizada (via *Convex Hull*);
  - Tempo de permanência em zonas específicas;
  - Frequência de retorno a pontos fixos.

A Figura 14 apresenta um exemplo de mapa de calor gerado para um intervalo de uma hora. Essa visualização permite identificar áreas de maior concentração de movimento do bezerro, indicando os locais de preferência durante o período observado.

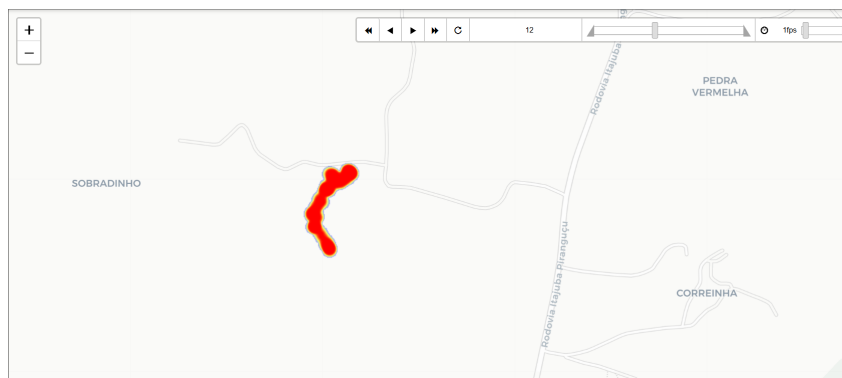


Figura 14 – Mapa de calor do deslocamento do bezerro em um intervalo de uma hora.

Esse tipo de mapa é especialmente útil para o produtor rural, pois fornece uma visão imediata das regiões mais utilizadas e das áreas subaproveitadas do pasto. Em situações com múltiplos animais, por exemplo: um rebanho de 100 cabeças. O mapa resultante apresentaria sobreposição de zonas de calor, revelando padrões coletivos de uso do espaço. Tais informações podem orientar decisões sobre rotação de pastagens, disposição de cochos e bebedouros, e até planejamento de cercas elétricas virtuais.

Assim, o mapa de calor não apenas mostra onde o animal esteve, mas também auxilia na interpretação do comportamento e na otimização do manejo do rebanho.

## 5.6 Aplicações e Perspectivas Futuras da Ferramenta AgroTrack

A ferramenta AgroTrack insere-se no conjunto de soluções computacionais voltadas ao monitoramento de rebanhos e à gestão de pastagens, com ênfase na análise espacial e temporal do comportamento animal. Seu diferencial está na simplicidade de uso e na capacidade de gerar representações visuais e quantitativas das áreas mais utilizadas pelos animais ao longo do tempo. Com base nessas informações, o produtor pode compreender padrões de ocupação do pasto, otimizar o manejo e planejar ações de forma mais sustentável.

Entre as principais aplicações, destaca-se o potencial do AgroTrack em auxiliar decisões sobre o uso da propriedade. O mapeamento das áreas pouco exploradas pelos animais pode orientar o produtor a destinar esses locais a outras finalidades produtivas, como a instalação de painéis solares, o cultivo de culturas complementares ou até a implantação de pequenas estruturas de captação e armazenamento de água. Em regiões de topografia elevada, as áreas não utilizadas também podem ser aproveitadas para a instalação de torres de transmissão ou equipamentos de telecomunicação, agregando valor ao espaço rural.

Os potenciais usuários da ferramenta incluem pequenos e médios produtores, técnicos em manejo de pastagem, instituições de pesquisa e empresas de tecnologia voltadas à pecuária de precisão. Por ser uma solução leve e compatível com dados em formato `.txt` e `.csv`, o AgroTrack pode ser facilmente integrado a sistemas já existentes, servindo como ferramenta complementar de análise.

Em versões futuras, a ferramenta poderá incorporar novas funcionalidades, como a integração com bases meteorológicas, detecção automática de padrões de comportamento e interface gráfica interativa para uso direto em dispositivos móveis. Essas melhorias visam tornar o AgroTrack uma plataforma completa de apoio à decisão, contribuindo para o avanço da pecuária de precisão e para o uso mais inteligente e sustentável das áreas rurais.

## 6 Conclusão

Esta dissertação apresentou o desenvolvimento de um modelo de visualização e rastreamento do comportamento de animais durante o pastoreio, com base em um *pipeline* computacional que integra coleta, armazenamento, processamento e visualização de dados. A proposta teve como objetivo principal oferecer uma abordagem estruturada para a análise de dados comportamentais, permitindo transformar registros brutos em informações organizadas e visualmente interpretáveis.

Entre as principais contribuições do trabalho, destaca-se a concepção de um fluxo completo de dados, capaz de lidar com informações espaciais e temporais provenientes de diferentes fontes. A organização das etapas do *pipeline* possibilitou a construção de uma solução modular e flexível, adequada à incorporação de novos formatos de dados e técnicas de análise. Essa estrutura favorece tanto a reprodutibilidade quanto a adaptação do modelo a diferentes cenários de aplicação, mantendo a coerência entre as etapas de processamento e análise.

Os resultados obtidos evidenciam que o modelo proposto é capaz de apoiar a análise de métricas relevantes relacionadas ao comportamento animal em ambientes de pastoreio. As visualizações geradas, como mapas de calor e trajetórias, permitiram identificar padrões espaciais e temporais de forma mais clara e intuitiva quando comparadas a abordagens baseadas exclusivamente em dados tabulares. Dessa forma, a visualização assumiu papel central no processo analítico, funcionando como um mecanismo de apoio à interpretação dos dados.

Os objetivos estabelecidos no início desta pesquisa foram alcançados, uma vez que foi possível estruturar um modelo computacional funcional, validar sua aplicação com dados reais e demonstrar sua capacidade de transformar registros brutos em representações visuais significativas. A hipótese de que a organização estruturada dos dados aliada à visualização geoespacial dinâmica pode facilitar a análise comportamental em sistemas de pecuária foi confirmada pelos resultados obtidos.

Embora o trabalho tenha alcançado seus objetivos, algumas limitações devem ser consideradas. A qualidade das análises realizadas está diretamente associada à precisão e à frequência dos dados coletados, o que pode influenciar os resultados obtidos. Além disso, o escopo da dissertação concentrou-se na análise exploratória e na visualização dos dados, não abordando de forma aprofundada técnicas automatizadas de classificação ou predição de comportamentos.

Como desdobramentos futuros, aparecem diferentes possibilidades de continuidade desta linha de pesquisa. Em nível de mestrado, propõe-se o desenvolvimento de um modelo

preditivo baseado em aprendizado de máquina para classificação automática de padrões comportamentais e detecção de anomalias no rebanho. Em nível de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), sugere-se a implementação de uma interface web interativa integrada ao *pipeline* do AgroTrack, permitindo a visualização em tempo real dos dados coletados em campo.

No âmbito de Iniciações Científicas (IC), duas frentes podem ser exploradas: (i) o estudo comparativo entre diferentes técnicas de interpolação e suavização espacial aplicadas aos dados GNSS para melhoria da qualidade das visualizações; e (ii) a integração de dados ambientais (clima, relevo e cobertura vegetal) ao modelo atual, investigando sua influência sobre os padrões de movimentação animal.

Conclui-se, portanto, que o trabalho apresenta uma contribuição relevante ao propor uma abordagem integrada para o rastreamento e a visualização do comportamento animal, demonstrando o potencial do uso de técnicas computacionais para apoiar a análise de dados em contextos reais. A solução desenvolvida reforça a importância da visualização de dados como ferramenta fundamental na transformação de grandes volumes de informações em conhecimento útil, consolidando uma base sólida para pesquisas futuras na área de pecuária digital.

# Referências

ABENI, F.; PETRERA, F.; GALLI, A. A survey of italian dairy farmers' propensity for precision livestock farming tools. *Animals*, v. 9, n. 5, p. 202, 2019. Citado na página 22.

ALVARENGA, F. A. P. et al. Discrimination of biting and chewing behaviour in sheep using a tri-axial accelerometer. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 168, p. 105051, 2020. Citado na página 23.

ALVARENGA, F. A. P. et al. Using a three-axis accelerometer to identify and classify sheep behaviour at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 181, p. 91–99, 2016. ISSN 0168-1591. Citado na página 23.

ANDRIAMANDROSO, A. L. H. et al. 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. ISSN 0168-1699. Citado na página 22.

ARSHAD, M. F. et al. The groundbreaking impact of digitalization and artificial intelligence in sheep farming. *Research in Veterinary Science*, v. 170, p. 105197, 2024. Citado na página 22.

BONNEAU, M. et al. Outdoor animal tracking combining neural network and time-lapse cameras. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 168, p. 105150, 2020. ISSN 0168-1699. Citado na página 24.

CERQUEIRA, D. A. et al. Experimental evaluation of a checklist-based inspection technique to verify the compliance of software systems with the brazilian general data protection law. *Empirical Software Engineering*, v. 30, n. 5, 2025. Cited by: 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105007445503&doi=10.1007%2fs10664-025-10681-7&partnerID=40&md5=2c0e14d1916d715af7d87df0bb172c8d>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

CNA, C. da Agricultura e Pecuária do B. Pib do agronegócio cresce 6,49% no primeiro trimestre de 2025. 2025. Acesso em: 15 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/pib-do-agronegocio-cresce-6-49-no-primeiro-trimestre-de-2025>>. Citado na página 13.

ERUKALA, S. B. et al. A secure end-to-end communication framework for cooperative iot networks using hybrid blockchain system. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, 2025. Cited by: 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105001658189&doi=10.1038%2fs41598-025-96002-w&partnerID=40&md5=d673fe99417e4660bd239f7805ab49dd>>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 18.

FOLIUM. *Folium Documentation*. 2025. <<https://python-visualization.github.io/folium/>>. Acesso em: out. 2025. Citado 3 vezes nas páginas 26, 36 e 37.

GU, Z. et al. A two-stage recognition method based on deep learning for sheep behavior. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 212, p. 108143, 2023. Citado na página 22.

- HADDADPAJOUH, H. et al. A survey on internet of things security: Requirements, challenges, and solutions. *Internet of Things*, v. 14, p. 100129, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 18.
- HANDCOCK, R. N. et al. Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, gps collars and satellite remote sensing. *Sensors*, v. 9, n. 5, p. 3586–3603, 2009. Citado na página 24.
- HERLIN, A. et al. Animal welfare implications of digital tools for monitoring and management of cattle and sheep on pasture. *Animals*, v. 11, n. 3, p. 829, 2021. Citado na página 24.
- HRISTOV, H. I. et al. Monitoring of living conditions in cow farm through a multisensory system. In: *2023 32nd International Scientific Conference Electronics (ET)*. [S.l.: s.n.], 2023. Citado na página 22.
- KAPITSAKI, G. M.; PAPOUTSOGLU, M. Evolution of repositories and privacy laws: Commit activities in the gdpr and ccpa era. *Journal of Systems and Software*, v. 230, p. 112515, 2025. ISSN 0164-1212. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121225001839>>. Citado na página 17.
- MANIKANTA, A. N. et al. Cloud iot based surveillance system for tracking and monitoring of domestic animals. In: . [s.n.], 2024. Cited by: 2. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85191703436&doi=10.1109%2fICICACS60521.2024.10498549&partnerID=40&md5=4b3477cf6624eeffd672bd64c9f66721>>. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 21.
- MAR, C. C. et al. A hybrid approach: Image processing techniques and deep learning method for cow detection and tracking system. In: *2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech)*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 566–567. Citado na página 21.
- MAROTO-MOLINA, F. et al. A low-cost iot-based system to monitor the location of a whole herd. *Sensors (Switzerland)*, v. 19, n. 10, p. 2298, 2019. Citado na página 23.
- MATPLOTLIB. *Matplotlib Documentation*. 2025. <<https://matplotlib.org/stable/contents.html>>. Acesso em: out. 2025. Citado na página 26.
- MORGAN-DAVIES, C. et al. Impacts of using a precision livestock system targeted approach in mountain sheep flocks. *Livestock Science*, v. 208, p. 67–76, 2018. ISSN 1871-1413. Citado na página 23.
- MOUTAOUAKIL, K. E.; FALIH, N. A design of a smart farm system for cattle monitoring. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, v. 32, n. 2, p. 857 – 864, 2023. Cited by: 2; All Open Access, Gold Open Access, Green Open Access. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85174177662&doi=10.11591%2fijeecs.v32.i2.pp857-864&partnerID=40&md5=e74c325000e1316b59dafb4fb744064d>>. Citado 4 vezes nas páginas 18, 19, 20 e 21.
- MOVIEPY. *MoviePy Documentation*. 2025. <<https://zulko.github.io/moviepy/>>. Acesso em: out. 2025. Citado na página 26.

- NAKAYAMA, L. F. et al. Artificial intelligence, data sharing, and privacy for retinal imaging under brazilian data protection law. *International Journal of Retina and Vitreous*, v. 11, n. 1, 2025. Cited by: 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105005060419&doi=10.1186%2fs40942-024-00596-8&partnerID=40&md5=093b967f95472ac352221c3520a178c3>>. Citado na página 18.
- NOOTYASKOOL, S.; OUNSRIMUNG, P. Smart collar design to predict cow behavior. In: *2020 17th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 92–97. Citado na página 22.
- NUMPY. *NumPy Documentation*. 2025. <<https://numpy.org/doc/>>. Acesso em: out. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 37.
- OBERMEYER, K.; KAYSER, M. On-farm assessment of grazing behaviour of dairy cows in two pasture management systems by low-cost and reliable cowtrackers. *Smart Agricultural Technology*, v. 6, p. 100349, 2023. Citado na página 22.
- PANDAS. *Pandas Documentation*. 2025. <<https://pandas.pydata.org/docs/>>. Acesso em: out. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 37.
- PORTO, S. M. C. et al. Localisation and identification performances of a real-time location system based on ultra wide band technology for monitoring and tracking dairy cow behaviour in a semi-open free-stall barn. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 108, p. 221–229, 2014. Citado na página 21.
- SCIPY. *SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python*. 2020. 261–272 p. Disponível em: <<https://scipy.org/>>. Citado na página 37.
- SELENIUM. *Selenium Documentation*. 2025. <<https://www.selenium.dev/documentation/>>. Acesso em: out. 2025. Citado na página 26.
- SINGH, D. et al. Sensor and computer vision based cattle health monitoring and management. *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, v. 12, n. 1, p. 94 – 103, 2025. Cited by: 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85216482997&doi=10.14445%2f23488379%2fIJEEE-V12I1P109&partnerID=40&md5=d4d635564e562f16f78b2830a1331421>>. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 21.
- SIQUEIRA, J. G. F. et al. Grazing animal tracking and prediction: a critical view on reproducible research. In: *45. GIL-Jahrestagung, Digitale Infrastrukturen für eine nachhaltige Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 2025. p. 231–236. ISBN 978-3-88579-802-6. Citado na página 35.
- VAINTRUB, M. O. et al. Review: Precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming. *Animal*, v. 15, n. 3, p. 100143, 2021. ISSN 1751-7311. Citado na página 23.
- WADHWA, D. et al. Benefits of incorporating iot and cloud computing. In: *IEEE Digital Library*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–4. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- ZHAO, H. et al. Sheepinst: A high-performance instance segmentation of sheep images based on deep learning. *Animals*, v. 13, n. 8, p. 1338, 2023. Citado na página 22.