



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS QUIXADÁ**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES**

**FRANCISCO LUCAS LOPES ARAUJO**

**PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS DE OVINOS NO  
SERTÃO CEARENSE**

**QUIXADÁ**

**2024**

FRANCISCO LUCAS LOPES ARAUJO

PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS DE OVINOS NO SERTÃO  
CEARENSE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Redes de Computadores do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Tecnólogo em Redes de Computadores.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rafael Braga.

QUIXADÁ

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A689p Araujo, Francisco Lucas Lopes.  
Protótipo para monitoramento de sinais vitais de ovinos no sertão cearense / Francisco Lucas Lopes  
Araujo. – 2024.  
63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá,  
Curso de Redes de Computadores, Quixadá, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Antonio Rafael Braga.

1. LoRa. 2. Bem-estar animal. 3. Monitoramento. 4. Protótipo . 5. Ovinos. I. Título.

CDD 004.6

---

FRANCISCO LUCAS LOPES ARAUJO

PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS DE OVINOS NO SERTÃO  
CEARENSE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Redes de Computadores do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Tecnólogo em Redes de Computadores.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Antonio Rafael Braga (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Luis Rodolfo Rebouças Coutinho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Zootecnista e Prof. Dr. Isac Gabriel Abrahão Bomfim  
Instituto Federal do Ceará (IFCE) e Faculdade  
Princesa do Oeste (FPO)

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente aos meus pais por todo o apoio e ajuda ao longo desta fase, sem nunca deixarem de acreditar em mim.

Ao Prof. Dr. Antonio Rafael Braga, pela excelente orientação e paciência auxílio nesta pesquisa desde o início.

Aos professores participantes da banca examinadora Luis Rodolfo Rebouças Coutinho e Isac Gabriel Abrahão Bomfim pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

"Na vastidão da natureza, cada animal é uma peça vital em uma intrincada rede de vida, onde seu monitoramento não apenas revela seus segredos, mas também desvenda os mistérios do ecossistema." (Autor Desconhecido)

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema inovador para monitorar o bem-estar e a produtividade de ovinos no Ceará, utilizando comunicação *LoRa*. O sistema coleta e monitora em tempo real parâmetros fisiológicos dos animais, como frequência cardíaca e temperatura corporal, com o objetivo de identificar anomalias que permitam intervenções rápidas e eficazes, prevenindo problemas de saúde e otimizando o manejo. Foi desenvolvido um protótipo funcional testado em uma fazenda em Solonópole, cujos dados foram armazenados em um banco de dados *MySQL* e visualizados pela plataforma *Grafana*, proporcionando ao produtor uma interface intuitiva para o acompanhamento contínuo dos animais. A solução mostrou-se viável para monitoramento remoto em áreas rurais com infraestrutura de comunicação limitada e pode ser expandida para outras vertentes da pecuária, integrando sensores mais avançados e tecnologias de inteligência artificial para aprimorar ainda mais a coleta de dados e o manejo dos rebanhos.

**Palavras-chave:** LoRa; bem-estar animal; protótipo; monitoramento; ovinos.



## **ABSTRACT**

This work presents the development of an innovative system for monitoring the welfare and productivity of sheep in Ceará, utilizing LoRa communication. The system collects and monitors physiological parameters of the animals in real time, such as heart rate and body temperature, with the aim of identifying anomalies that allow for quick and effective interventions, preventing health issues and optimizing management. A functional prototype was developed and tested on a farm in Solonópole, with data stored in a MySQL database and visualized through the Grafana platform, providing the producer with an intuitive interface for continuous monitoring of the animals. The solution proved viable for remote monitoring in rural areas with limited communication infrastructure and can be expanded to other areas of livestock farming, integrating more advanced sensors and artificial intelligence technologies to further enhance data collection and herd management.

**Keywords:** LoRa; animal welfare; prototype; monitoring; sheep.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas. . . . .	33
Figura 2 – Arquitetura proposta. . . . .	38
Figura 3 – Diagramas de blocos Funcionais da placa microcontroladora <i>Esp Wroom 32</i> . . . . .	40
Figura 4 – Diagrama funcional do sensor <i>MAX30100</i> . . . . .	42
Figura 5 – Diagrama do sensor <i>LM35</i> . . . . .	43
Figura 6 – Módulo <i>LoRa E32-915T20D</i> . . . . .	44
Figura 7 – Diagrama Esquemático da Conexão entre a <i>ESP32</i> e o Módulo <i>Long Range</i> (LoRa). . . . .	45
Figura 8 – Posicionamento do protótipo no carneiro para coleta dos dados. . . . .	46
Figura 9 – Relação entre a frequência cardíaca e a temperatura corporal dos ovinos ao longo do tempo. . . . .	47
Figura 10 – Distribuição da frequência dos dados de temperatura corporal e frequência cardíaca (Batimentos Por Minuto (BPM)) dos ovinos, mostrando a quantidade de ocorrências em cada intervalo. . . . .	47
Figura 11 – Diagrama <i>Unified Modeling Language</i> (UML) representando a estrutura de armazenamento e monitoramento dos sinais vitais de ovinos. . . . .	48
Figura 12 – Tela do <i>PhpmyAdmin</i> mostrando os bancos de dados. . . . .	49
Figura 13 – Exemplo de arquivo receptor de dados e <i>string</i> de conexão entre <i>PHP</i> e <i>MySQL</i> . . . . .	50
Figura 14 – Tela inicial do <i>Grafana</i> logo após <i>login</i> . . . . .	51
Figura 15 – Visualização em tempo real do sinais fisiológicos monitorados do ovino pelo <i>Grafana</i> . . . . .	51
Figura 16 – Diagrama do sistema de monitoramento. . . . .	53
Figura 17 – Distancia entre <i>Esp Wroom 32</i> emissora e receptora. . . . .	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise comparativa entre trabalhos relacionados e este trabalho. . . . .	32
Tabela 2 – Tabela de custos do protótipo em Setembro de 2024. . . . .	35
Tabela 3 – Especificações técnicas <i>Esp Wroom 32</i> . . . . .	41
Tabela 4 – Módulo <i>LoRa E32-915T20D</i> . . . . .	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	<i>Access Point Mode</i>
AR	<i>Air Data Rate</i>
AWS	<i>Amazon Web Services</i>
BPM	Batimentos Por Minuto
CEPEA	Centro de Estudos Avançados de Economia Aplicada
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FAWC	<i>Farm Animal Welfare Council</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LoRaWan	<i>Long Range Wide Area Network</i>
LPWA	<i>Low-Power Wide-Area</i>
NS	<i>Network Server</i>
NSF	<i>National Science Foundation</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PIB	<i>Produto Interno Bruto</i>
PPM	Pesquisa Pecuária Municipal
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RSSF	Rede de sensores sem fio
SF	<i>Spreading Factor</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SpO2	Saturação de Oxigênio
SSID	Service Set Identifier

STA	<i>Station Mode</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
VRRP	<i>Virtual Router Redundancy Protocol</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	15
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	15
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específico</i>	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	17
<b>2.1</b>	<b>Zootecnia</b>	17
<i>2.1.1</i>	<i>Ovinocultura</i>	18
<b>2.2</b>	<b>Rede de sensores sem fio</b>	19
<i>2.2.1</i>	<i>Internet das Coisas</i>	21
<i>2.2.2</i>	<i>LoRaWAN</i>	23
<b>2.3</b>	<b>Pecuária de Precisão</b>	25
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	28
<b>3.1</b>	<i>Proposta de Sistema de Baixo Custo para o Monitoramento de Ovinos</i>	28
<b>3.2</b>	<i>Desenvolvimento de um Sistema Computacional Embarcado para Aferição de Índice de Conforto Térmico Aplicado ao Bem-estar Animal</i>	29
<b>3.3</b>	<i>Implementação e Validação de um Protótipo para Monitorização de Gado</i>	30
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	33
<b>4.1</b>	<b>Implementação de <i>software</i></b>	33
<b>4.2</b>	<b>Escolhas de dispositivos para protótipo</b>	34
<b>4.3</b>	<b>Elaboração do cenário de teste</b>	35
<b>4.4</b>	<b>Coleta e análise de dados</b>	36
<b>4.5</b>	<b>Implementação de sistema de visualização</b>	36
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	38
<b>5.1</b>	<b>Elaboração da topologia lógica</b>	38
<b>5.2</b>	<b>Desenvolvimento da infraestrutura física</b>	39
<i>5.2.1</i>	<i>Escolha dos componentes</i>	40
<i>5.2.1.1</i>	<i>Placa microcontroladora</i>	40
<i>5.2.1.2</i>	<i>Sensor coletor de dados dos Ovinos</i>	42
<i>5.2.1.3</i>	<i>Módulo de transmissão LoRa</i>	43
<b>5.3</b>	<b>Coleta e análise de dados</b>	45

5.4	<b>Implementação do sistema de armazenamento . . . . .</b>	47
5.5	<b>Implementação de sistema de visualização . . . . .</b>	49
5.6	<b>Discussões . . . . .</b>	52
5.6.1	<i>Análise do sistema de monitoramento . . . . .</i>	52
6	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS . . . . .</b>	56
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	58

## 1 INTRODUÇÃO

A pecuária tem importante participação no crescimento do agronegócio brasileiro. Em 2022, o setor arrecadou uma quantia de 2,4 bilhões de reais, equivalente a 24,8% no *Produto Interno Bruto* (PIB) do Brasil. A pecuária, dentro do agronegócio, arrecadou mais de 0,6 bilhões de reais, que equivale a 27,3% dentro do agronegócio (Centro de Estudos Avançados de Economia Aplicada (CEPEA)/Confederação da Agricultura e Pecuária (CNA), 2022). No ramo da exportação da carne de ovinos, o Brasil não tem grande tradição, como Nova Zelândia e Austrália, que são os maiores produtores do mundo no ramo. O Brasil no ano de 2021 embarcou para o exterior 62 toneladas de carne ovina e faturou mais de 2,6 milhões de reais (CNA, 2021).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o tamanho do rebanho de ovinos no Brasil é maior que 21,7 milhões de cabeças (IBGE, 2023). Dos cinco maiores rebanhos do Brasil por estado, quatro ficam no Nordeste: Bahia, Pernambuco, Ceará e Piauí. A região Nordeste conta com mais de 14 milhões de ovinos, representando aproximadamente 64,8% do rebanho do país. O maior rebanho do país fica na Bahia, com 5.005.629 cabeças, o que representa aproximadamente 23,05% do rebanho nacional. O Ceará e o Pernambuco também possuem rebanhos significativos, com 2.543.214 e 3.674.659 cabeças, respectivamente.

Segundo a Pesquisa Pecuária Municipal (PPM), no ano de 2023, o Ceará contava com mais de 2,5 milhões de ovinos, sendo o quarto maior rebanho do Brasil. Com a presença de rebanhos em quase todos os municípios do Ceará, o maior rebanho está no município de Tauá, com mais de 178 mil cabeças, representando aproximadamente 7% do rebanho de todo o estado. No Sertão Central, municípios como Quixadá, Quixeramobim, Banabuiú, Senador Pompeu, Solonópole, Pedra Branca, Milhã, Choró e Piquet Carneiro também desempenham um papel significativo, somando aproximadamente 10,2% do total do rebanho do estado. Além disso, Solonópole possui um rebanho de aproximadamente 29,3 mil cabeças, contribuindo para a diversidade e a importância da ovinocultura na região.

Dos ovinos, é possível explorar a carne, o couro e a lã. Podendo-se haver uma pequena produção de leite, para a fabricação de queijos especiais. Há criações de ovinos em quase todos os continentes, isso se dá por sua grande capacidade de se adequar aos climas, relevos e vegetações das mais variadas regiões do mundo. Seus criadores utilizam esse animais principalmente para produção de carne e couro (Viana (2008), Raineri *et al.* (2013)).

Os ovinos possuem uma grande capacidade de adaptação às condições ambientais



adversas e são animais capazes de converter proteína de forma muito eficiente, os mais variados tipos de forragens, sejam ou não de boa qualidade. As vantagens dessa espécie permitem retorno econômico rápido, para seus criadores, sejam eles de grande ou pequeno porte (Filho e Kasprzykowski (2006)).

Para potencializar a produção são utilizadas técnicas da pecuária de precisão que tem como foco potencializar a produção, da maneira de cuidar e manejar o rebanho, sendo possível com sistema de identificação desses manejos, com ela devidamente implementada trará maiores lucros aos produtores e um bem-estar maior dos animais (Bernardi *et al.* (2017)).

A partir dos grandes avanços tecnológicos, foi se criando diversos mecanismos para automatizar e facilitar tarefas, dessa forma, a pecuária acabou seguindo o mesmo caminho, utilizando tecnologias como Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT) para a automatização de atividades. A Internet das coisas é um ambiente onde os dispositivos físicos estão interconectados, criando um ecossistema de computação onipresente, com o intuito de facilitar o cotidiano das pessoas, introduzindo soluções funcionais nos processos do dia a dia (Magrani (2018)).

Nesse sentido, é importante o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem o controle dos processos produtivos da ovinocultura, com atenção ao bem-estar animal. No intuito de aumentar a produtividade do rebanho, o uso de IoT tem o objetivo de facilitar tarefas, podendo ser utilizado para favorecer o manejo do rebanho. A criação de um sistema de monitoramento de ovinos trará maiores facilidades aos criadores, promovendo o bem-estar animal e ajudando a aumentar a produtividade do rebanho. O sistema contará com sensores que aferirão parâmetros fisiológicos, como frequência cardíaca e temperatura corporal dos ovinos. Deste modo, quando forem detectadas anormalidades nos parâmetros fisiológicos, o sistema alertará o produtor sobre a condição dos animais, permitindo que ele tome conhecimento da situação e trate sua criação, evitando maiores problemas.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

Desenvolver um protótipo para ovinos que monitore parâmetros fisiológicos enquanto os animais estão livres ao ar livre, permitindo a detecção rápida e eficiente de problemas de saúde de forma automática e em tempo real.

### ***1.1.2 Objetivos Específico***

- Implementar uma rede de sensores sem fio para o monitoramento de parâmetros fisiológicos dos ovinos, garantindo cobertura abrangente e comunicação eficiente;
- Desenvolver um *software* capaz de coletar, armazenar e analisar os dados capturados pelos sensores, detectando prontamente quaisquer alterações nos parâmetros fisiológicos dos animais, e utilizar ferramentas para visualizar os dados de forma intuitiva e acessível, além de emitir alertas ao produtor, facilitando o monitoramento contínuo.
- Estabelecer métricas claras e precisas para avaliar o desempenho do protótipo, assegurando a precisão dos dados e a eficácia do sistema de monitoramento;

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Zootecnia

O processo evolutivo na criação de animais começa quando o homem domesticou os animais e iniciou as tarefas referentes a essa criação. Entretanto, nos tempos antigos, as práticas de manejo eram realizadas sem normas específicas. Esta situação só mudou a partir do século XVIII, nesse período os animais começaram a ganhar importância como recurso para o fornecimento de bens básicos para o homem (comida e vestuário). O termo zootecnia foi utilizado pela primeira vez por Bourgelat, que foi fundador da primeira Escola de Veterinária em Lyon (1768), em seu livro *“Les Principes de Zootechnie”* (1768). No ano de 1965, um grupo de especialistas da *Food and Agriculture Organization* (FAO) definiu Zootecnia como sendo “a ciência da criação, sanidade e higiene animais” ou “a ciência da produção e sanidade animal” (Martins (2017)).

A zootecnia ou ciência animal é a ciência que busca desenvolver e aprimorar as potencialidades dos animais domésticos e domesticáveis, com o intuito de explorá-los como fonte de alimento racionalmente e outras maneiras junto aos seres humanos, ajudando na adaptação dos animais ao ambiente onde são criados, desta maneira, aproveitando-os de forma nutricional e econômica. A zootecnia funciona similarmente como uma “indústria”, na qual o animal é aproveitado como uma máquina viva. Com o acompanhamento correto se tem a intenção de acrescentar melhorias à sua produção, como por exemplo a alimentação, seleção genética, sanidade e manejo (Martins (2017)).

Ao conhecimento biológico do animal se une aos princípios da economia e produção de alimentos, dessa maneira, suprindo o mercado com produtos para diversos fins. Pode definir que o seu objetivo principal é: "produzir o máximo, no menor tempo, visando o maior lucro, sustentando ainda o bem estar animal e ambiental" (VALLE *et al.* (2011)).

A zootecnia tem dois grandes campos de conhecimento, a zootecnia geral, que reúne teorias e princípios. Desse modo, pode ser conhecida como a disciplina que estuda as bases ou princípios científicos e técnicos sobre como se estabelecerão as diferentes tipos de produções animais, com o seu objeto de estudar o funcionamento dos animais, focadas na produção, e a zootecnia especial (ou específica), se estuda as técnicas para aplicação a um grupo de animais que aumente a sua produtividade, com por exemplo o estudo de cada uma das espécies de animais domésticos como a bovinocultura, ovinocultura, suinocultura, avicultura, entre outros (Martins

(2017)).

Para estudar o animal doméstico, como uma parte da zootecnia, se tem que levar em consideração vários agrupamentos com que o produtor e zootecnista trabalha, seja ela raça, a variedades, a família, a linhagem, para que dessa maneira se chegue ao indivíduo. Uma vez considerando o indivíduo, temos que estudá-lo de forma minuciosa para saber quais características o tornam particular. Desse modo, seja possível identificar a características repassadas para seus descendentes, expressão de características do mesmo, ou características que possam afetar o meio produtivo (Domingues (1949)).

### **2.1.1 Ovinocultura**

Há ovinocultura está presente praticamente em todos os continentes, isso se dá por sua grande capacidade de se adequar aos climas, relevos e vegetações das mais variadas regiões do mundo. São animais extremamente eficientes na conversão de proteínas, conseguindo transformar uma grande variedade de forragens, independentemente da qualidade. Seus criadores utilizam esse animais principalmente para produção de carne e pele, desse modo, essa espécie traz retorno econômico rápido, para seus criadores, sejam eles de grande ou pequeno porte (Viana (2008), Filho e Kasprzykowski (2006)).

A ovinocultura é uma movimento econômico muito explorado mundo afora, está presente em áreas que apresentam as mais diversas características, sejam elas climáticas ou do solo. Porém, apenas em poucos países, essa atividade mostra expressão econômica (Filho e Kasprzykowski (2006)). Essa atividade faz parte da Zootecnia, ela trata do estudo e da criação de ovinos. O seu objetivo é a produção de alimentos de origem ovina, na forma de carne e leite, e de outros produtos, tais como a lã extraída destes animais.

A União Europeia e os Estados Unidos são os mercados que têm maior renda no mercado de comercialização de carne ovina. A carne, nesses países, é um produto visto como diferencial, ela é muito apreciada e valorizada pelos consumidores das mais altas classes sociais, desse modo, tornando esse mercado mais visado para a exportação desses países produtores. Já na Oceania se dá mais valor ao mercado de lã, pois nesses países as raças de ovinos são laneiras (ou seja, com lã), o que resulta na obtenção de fibras mais finas, assim resultando em tecidos de maior qualidade (Viana (2008)).

Os continentes como Ásia e África apresentam produções rudimentares, ou seja, com foco na mão de obra e baixa mecanização, deste modo, ocasionando rebanhos com menor

produtividade, visto que o principal objetivo desses continentes é voltado para o consumo interno. A produção de ovinos têm intensidade na Europa e na América do Sul, as criações são confinadas em fazendas e pastos, essas criações se alimentam de pastagens naturais. Na Europa se destaca os rebanhos que produzem carne e na América do Sul há rebanhos de diversas raças, assim o seu mercado é conhecido por produzir lã e carne de qualidade (Viana (2008)).

O Brasil possui 20,5 milhões de cabeças ovinas distribuídas por todo o país, porém, concentradas em grande número no estado da Bahia e em toda região nordeste, que abriga cerca de 69,2% do rebanho brasileiro. A criação ovina na região nordeste, são ovinos de raças deslanadas (ou seja, sem lã), adaptadas ao clima tropical, que apresentam alta rusticidade e produzem carne e peles (IBGE, PPM, 2021).

Na ovinocultura, a atenção com o bem-estar animal vem crescendo quando se trata de castrações, tosquias, corte de cauda, desmame, manipulação, transporte e abate. Logo, a relação entre produtor e animal, principalmente, aqueles de produção, está continuamente focada na conduta moral e preocupações éticas. Dessa maneira, as boas práticas de manejo e cuidados nos diferentes ciclos produtivos, estão cada vez mais sendo discutidas (Schram e Moya (2023)).

Um dos conceitos que se tem maior impacto ao bem-estar animal, é um conjunto de fatores que o permite uma boa saúde, manejo, nutrição, instalações adequadas, buscando com que o produto final seja de qualidade e tenha segurança alimentar, dessa maneira, os animais terão maior crescimento, ganho de peso, qualidade de carcaça e carne, melhor desempenho reprodutivo, isso tudo conforme aos princípios éticos. Desse modo, para que animais de produção tenham as condições desejáveis de bem-estar, foi criado pela *Farm Animal Welfare Council* (FAWC), 1979) cinco liberdades onde o animal seja: Livre de fome, sede e malnutrição (liberdade nutricional), Livre de desconforto (liberdade ambiental), Livre de dor, lesões e doenças (liberdade sanitária), Livre de expressar a maioria dos seus comportamentos naturais (liberdade comportamental), Livre de medo e aflição (liberdade psicológica) (Azevedo *et al.* (2020), Moraes *et al.* (2020)).

## **2.2 Rede de sensores sem fio**

Rede de sensores sem fio (RSSF), do inglês *Wireless Sensor Networks*, foi reconhecida como uma das tecnologias mais importantes para o Século XXI. No ano de 2003, a *National Science Foundation* (NSF) dos Estados Unidos escolheu as RSSF como uma das seis principais áreas de pesquisa em Redes de Computadores. É notória, a importância destas redes no desenvolvimento da Computação e das Telecomunicações atualmente. A rede de sensores se

atribui a capacidade de monitorar uma ou mais aspectos de interesse em um determinado evento (Carvalho *et al.* (2012)).

As RSSF possuem uma característica que é composta por um número de nós sensores, do inglês (*nodes*), espalhados pelo local onde está sendo monitorado, estes nós estão interligados por uma conexão sem fio a um nó sorvedouro, do inglês (*sinknode*). Com os dados recebidos a partir de sensores são transmitidas por uma conexão sem fio até um nó sorvedouro, que provê as informações para análise em uma central de monitoramento, onde os dados são agrupado e tratados. Baseado nessas informações, é possível reparar ou substituir equipamentos, monitoramento de desastres ou detectar se um animal está doente, deste modo, evitando que maiores prejuízos ocorram. O nó sorvedouro é uma parte da estação central, conseqüentemente, deverão ter a capacidade de manusear os dados obtidos pelos nós sensores e executar o gerenciamento e controle. Essas atividades são coordenadas utilizando diferentes algoritmos, aplicando de acordo com a organização da rede (Carvalho *et al.* (2012), Gomes *et al.* (2015)).

Os nós sensores podem ser fixos ou móveis. Esses nós são relativamente baratos, pequenos, possuindo um baixo consumo de energia. Um nó sensor possui cinco componentes básicos: microcontrolador, tem a função de coletar e processar os dados recebidos dos sensores, armazenar as informações ou enviá-las para outros nós ou para o sorvedouro; memória que possui a função de armazenar programas e dados obtidos; sensores e atuadores são responsáveis pelo sensoriamento dos parâmetros de interesse da RSSF; protocolo de comunicação, que tem a função de transmitir os dados pela rede; fonte de energia, são baterias que tem o intuito de energiza os sensores (Carvalho *et al.* (2012)).

O monitoramento da biodiversidade em um ecossistema se torna mais fácil, uma vez que os sensores funcionam sem a obrigação de terem fios espalhados nos ambientes monitorados. Há várias aplicações de RSSF voltadas para o acompanhamento de espécies animais e de desastres naturais, deste modo, vem se estabelecendo a utilização de RSSF em fazendas ou plantações, com o intuito de monitorar variáveis associadas ao manejo, tanto na agricultura, como na pecuária, desse modo, buscando uma maior otimização de recurso e lucro, assim, trazendo maiores benefícios aos produtores (Carvalho *et al.* (2012)).

Com a evolução da RSSF, podemos utilizar pequenos dispositivos com capacidade de processamento, armazenamento e comunicação sem fio, desse modo, permitindo cada vez mais o uso de tecnologias como Internet das Coisas no ramo da pecuária, sendo possível monitorar individualmente animais em tempo real, assim trazendo diversos benefícios, como a melhoria

bem-estar e saúde, ajudando com o manejo e a criação dos animais, desse modo, facilitando a vida do homem do campo, automatizando tarefas do cotidiano.

### 2.2.1 *Internet das Coisas*

A tecnologia vem mudando de forma rápida como interagimos com o mundo ao nosso redor. Buscando se introduzir nas mais novas demandas dos usuários, nos tempos atuais, empresas vêm desenvolvendo produtos com interfaces altamente tecnológicas que tempos atrás seriam inimagináveis. Deste modo, com a proliferação de objetos inteligentes, a Internet das Coisas, do inglês, IoT, proporcionou avanços de diversas áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento. Dessa forma, a IoT tem recebido grande foco tanto dos estudiosos quanto da indústria, devido ao seu grande potencial de uso nas mais diferentes áreas das atividades humanas (Santos *et al.* (2016), Magrani (2018)).

A Internet das Coisas, em poucas palavras, é uma extensão da Internet atual, concedido aos objetos do dia-a-dia, porém, a ideia fundamental deste conceito é a alta variedade de coisas ou objetos presentes ao nosso redor, como *Radio Frequency Identification* (RFID), sensores, atuadores, telefones celulares e etc, que por meio do endereçamento único desses objetos, tem a capacidade de interagir entre si e colaborar com seus vizinhos, assim, alcançando objetivos comuns. A principal força da ideia da IoT é que ela terá um grande impacto em tarefas do dia a dia dos seus usuários. É importante destacar que no futuro oportunidades surgirão, a partir de que "a demanda popular combinada com os avanços tecnológicos que poderiam impulsionar a difusão generalizada de uma IoT como a Internet atual, contribuindo para o desenvolvimento econômico" (Atzori *et al.* (2010)).

Com a aptidão computacional e de comunicação, ao se conectar com a Internet. Essa conexão com a rede mundial de computadores possibilita, primeiro, controlar de forma remota os objetos, segundo, permitir que os objetos sejam acessados como provedores de serviços. Essas novas competências, dos objetos comuns, geram inúmeras oportunidades tanto no campo acadêmico quanto no industrial, com os fortes investimentos da indústria, seguindo para o uso de tecnologias integradas e do grande processamento dos dados, surgem soluções mais eficazes para problemas como poluição, congestionamentos, criminalidade, eficiência produtiva, entre outros. Entretanto, é importante frisar que essas possibilidades podem acarretar riscos e amplos desafios técnicos e sociais (Santos *et al.* (2016), Magrani (2018)).

A IoT, foi um marco que contribuiu com o aumento da comunicação entre máquinas

pela Internet, o desenvolvimento de microdispositivos, como sensores que podem ser usados das mais diversas maneiras para captação de dados a partir de seu ambiente, desse modo, se tornando integrantes da Internet, assim sendo possível trazer diversos benefícios aos usuários, como dispositivos de saúde interconectados permitindo o monitoramento mais constante e eficiente e interação mais eficaz entre paciente e médico. Sistemas de automação residencial que permitirão ao usuário, antes mesmo de chegar à sua moradia, possa enviar mensagem para os seus dispositivos, assim eles possam realizarem ações na sua residência, por exemplo, abrir os portões, desligar alarmes, preparar o banho quente, colocar música ambiente e alterar a temperatura da casa. Desta maneira, vem se formando novo perfil da Internet que vem se consolidando, assim surgindo a necessidade de identificar quais os efeitos que ocorrerão a partir dessas mudanças. Sendo assim permitido a comunicação entre objetos inteligentes, desse modo, ampliando a visão de comunicação "a qualquer hora, em qualquer lugar, qualquer mídia, qualquer coisa" (Santos *et al.* (2016), Magrani (2018), Atzori *et al.* (2010)).

Os objetos inteligentes, possuem papel importante na consolidação desse novo perfil de Internet, isso se dá porque os objetos têm capacidade de comunicação e processamento junto aos sensores (FORBES, 2014 apud SANTOS *et al.*, 2016). Utilizando recursos desses objetos, deste modo, será possível a detecção do seu contexto, assim controlá-lo e tornar viável a troca de informações uns com os outros, assim, sendo possível acessar serviços da Internet e ter interação com as pessoas (Santos *et al.* (2016)).

É visível hoje o desenvolvimento de novas interações com as máquinas e demais dispositivos interconectados, assim permitindo que algoritmos possam tomar decisões, traçar avaliações e ações que anteriormente eram tomadas por humanos. Essa é uma cultura que demanda de considerações éticas muito importantes, levando em consideração os aumentos dos impactos da interação entre máquinas e ser humano (Magrani (2018)).

Em pouco tempo, plataformas de IoT irão suportar mecanismos de comunicação que serão capazes de adaptar-se às necessidades das aplicações e será conhecedor da capacidade dos dispositivos. Deste modo, suportar aquilo que as aplicações esperam e esteja adaptado aos recursos dos dispositivos, significando ter sistemas mais eficientes e funcionais. É esperado que as plataformas disponham de suporte às aplicações e que também sejam customizadas para melhor desempenho dos dispositivos (Santos *et al.* (2023)).

As redes de comunicação IoT usam dispositivos com poucos recursos computacionais, por exemplo: processamento, memória e largura de banda. Porém, essas redes reservam ao



máximo recursos computacionais ao nível dos dispositivos. Nessa circunstância, uma delas é a necessidade das aplicações IoT de monitoramento inteligente receberem dados regularmente sobre um determinado ambiente monitorado, Tendo como exemplo, em aplicações industriais, pode ser mais vantajoso apenas receber informações dessas máquinas a cada 10 segundos, assim, enviando dados apenas após um período de tempo, economizando recursos energéticos. Esta comunicação não terá uma boa rentabilidade se for usado o modelo de requisição-resposta. No intuito de economizar recursos dos dispositivos, se tem a necessidade que a comunicação seja assíncrona com redução no número de requisições. Isto é, que a aplicação faça um único envio da requisição e os dispositivos sejam capazes de enviar os dados de forma correta e constante, assim evitando que haja novas requisições, evitando desperdícios energéticos (Santos *et al.* (2023)).

A automatização de tarefas utilizando dispositivos IoT estendem-se a várias áreas, essa é uma das tecnologias que mais pode viabilizar a pecuária de precisão, por exemplo, na gestão e produção de ovinos. O manejo dos ovinos é muito importante para que seja assegurada a qualidade de vida do animal, assim também preservando os interesses financeiros dos criadores. À medida que é observada a necessidade em uma propriedade rural a utilização de recursos de sensores de ambiente, plataformas e sistemas de gerenciamento, cuidados de saúde e monitoramento remoto de animais. Nesse sentido, é possível monitorar os ovinos das mais diversas formas. Para que seja determinado a qualidade dos produtos advindos dos ovinos (carne ou pele) depende da habilidade e experiência do criador em monitorizar e controlar o processo. Com o crescimento da produção animal, este processo se tornou mais exigente, o monitoramento de ovinos é necessário que cada animal seja observado fisicamente para verificar o seu estado de saúde e bem-estar (Pierazzoli *et al.* (2022), Aleluia *et al.* (2023)).

### **2.2.2 LoRaWAN**

As tecnologias de *Low-Power Wide-Area* (LPWA) estão se tornando uma alternativa promissora para sustentar a IoT de forma mais eficiente e sustentável. Essas tecnologias possuem a capacidade de oferecer um equilíbrio mais adequado entre consumo de energia, cobertura, taxa de dados e custo, permitindo o desenvolvimento de diferentes redes para atender a diferentes aplicações. Como resultado, as tecnologias LPWA têm o potencial de contribuir significativamente para os ecossistemas da IoT, graças às suas características únicas de longo alcance de transmissão e baixo consumo de energia (Qin *et al.* (2019)).

Para atender às demandas de aplicações altamente escaláveis, como infraestruturas

de monitoramento inteligente, onde apenas uma pequena quantidade de dados precisa ser transmitida, a tecnologia LoRa é uma solução eficiente, pois é uma tecnologia de comunicação de longo alcance que opera na camada física e foi desenvolvida como uma alternativa eficiente para comunicações de baixa potência e longo alcance. Baseada na tecnologia de espectro disperso por *chirp Chirp Spread Spectrum (CSS)*. Isso torna o LoRa adequado para aplicações que requerem monitoramento de baixa taxa de dados, mas com cobertura estendida, como redes de sensores em larga escala (Qin *et al.* (2019), Filho *et al.* (2020)).

O LoRa opera em frequências não licenciadas, em 433 MHz, 868 MHz e 915 MHz. Utilizando a tecnologia de espalhamento espectral por *chirp*, é possível empregar osciladores de baixo custo, porém altamente estáveis no receptor. Essa abordagem resulta em dispositivos mais acessíveis. Além disso, diferentes usuários podem compartilhar a mesma faixa de rádio utilizando diversos *Spreading Factor (SF)*, com os diferentes SF, que é o número de *bits* codificados por símbolo no LoRa possuindo um parâmetro ajustável, assim sendo possível utiliza-los no LoRa que é necessário sensibilidades distintas no receptor, resultando em alcances de transmissão e taxas de dados variáveis, devido a esses canais abrangerem sua largura de banda pertence a 125 kHz, 250 kHz ou 500 kHz (Qin *et al.* (2019), Filho (2021)).

O *Long Range Wide Area Network (LoRaWan)* é o protocolo que define a comunicação e a arquitetura do sistema para uma rede que utiliza a tecnologia LoRa na camada física. Tanto o protocolo quanto a arquitetura de rede desempenham um papel fundamental em vários aspectos do sistema de comunicação, incluindo a capacidade da rede, a qualidade do serviço, a segurança, a vida útil da bateria dos dispositivos finais e os tipos de serviços oferecidos pela rede (Filho (2021)).

Uma rede LoRaWan é composta por um ou mais *gateways*, todos conectados a um *Network Server (NS)*, que atua como o coordenador central da rede. O NS é responsável por gerenciar a comunicação entre os dispositivos finais (*end devices*) e as plataformas de serviços ou aplicações, como *Amazon Web Services (AWS)*, *Microsoft Azure*, entre outros. Essa arquitetura permite que os dispositivos finais enviem dados para o NS por meio dos *gateways*, que por sua vez encaminham esses dados para as plataformas de serviços, onde podem ser processados, analisados e utilizados para diversas aplicações e serviços. Quando um quadro LoRaWan é recebido e possui um código de verificação *Cyclic Redundancy Check (CRC)*, ele será enviado para o NS encapsulado em um quadro *Internet Protocol (IP)*. Em outras palavras, se a verificação de integridade do quadro estiver correta, o *gateway* encaminhará o quadro para o servidor de rede

(NS) dentro de um pacote IP para processamento adicional (Filho *et al.* (2020), Filho (2021)).

O LoRaWan define três classes de dispositivos finais: Classes A, B e C. O dispositivo Classe A oferece suporte à comunicação bidirecional, com a mensagem de *uplink* (do dispositivo para o *gateway*) sempre existente. Nessa classe, o dispositivo final pode enviar uma mensagem a qualquer momento. Após o envio da mensagem pelo dispositivo final, são abertas duas janelas de recepção, com durações de 1 e 2 segundos, respectivamente. Essas janelas podem ser utilizadas pelo NS para o envio de mensagens de confirmação. Na Classe B, é possível agendar a janela de recebimento de mensagens de *downlink* do NS, proporcionando maior flexibilidade no recebimento de dados. Já na Classe C, a janela de recebimento é mantida aberta, a menos que os dispositivos finais estejam transmitindo (Filho (2021), Filho *et al.* (2020)).

### 2.3 Pecuária de Precisão

A produção animal de precisão, também conhecida como pecuária de precisão, refere-se ao emprego de tecnologias, principalmente recursos computacionais, para monitorar de forma individualizada indicadores fisiológicos, comportamentais e/ou de produção em animais. O objetivo é maximizar a produtividade e obter um retorno econômico otimizado. (NASCIMENTO *et al.* (2015)).

Para que a pecuária de precisão seja executada de forma correta é necessário a identificação eletrônica dos animais com base em sua espécie e raça, desse modo, se tem informações dos animais, assim se pode tomar a decisão adequada para seu manejo de forma ágil, vale ressaltar a necessidade do conhecimento comportamental do animal, assim sendo uma informação fundamental para o desenvolvimento de métodos integradas com tecnologia eletrônica sem fio e sistemas de decisão para o manejo. Incluindo sistemas de controles ambientais, fisiológicos e comportamentais, de identificação, de monitoramento e controle alimentar e reprodutivo (BERNARDI *et al.* (2018)).

A utilização da pecuária de precisão pelos criadores permite aumentar a eficiência do uso de insumos, redução de perdas, aumentar a qualidade dos produtos agropecuários, reduzir esforços e otimizar o trabalho, resultando em melhores condições de vida no campo. Havendo reflexos que também atingem o meio ambiente, com mitigação de gases de efeito estufa, principalmente pela utilização eficiente dos insumos agropecuários e redução do consumo de água e energia elétrica para irrigação (BERNARDI *et al.* (2018)).

A pecuária de precisão teve o início na identificação e conhecimento comportamental

dos animais, pois esse entendimento é essencial para a construção de métodos integrados com tecnologia eletrônica sem fio, com os sistemas de decisão para o manejo de animais. A identificação eletrônica dos animais permite, a rastrear informações referentes àquele indivíduo, dessa maneira, fornecendo informações para a tomada de decisão de forma mais rápida e adequada sobre o manejo. Existem diversas opções de identificadores animais sendo utilizadas em pesquisas e comercialmente (Paiva *et al.* (2016)).

O conceito de precisão, aplicado à ovinocultura, está relacionado à gestão da variabilidade espacial, com o objetivo de maximizar o retorno econômico e minimizar os impactos negativos ao meio ambiente. No cenário atual de expansão da produção agropecuária, o conjunto de tecnologias adotadas na Agricultura e Pecuária de Precisão pode ser decisivo (Paiva *et al.* (2016)).

As maiores oportunidades e ganhos se dão na utilização de tecnologias de precisão na pecuária, que estão vinculadas a tarefas rotineiras que ocupam grande parte do tempo do produtor ou que representam a maior parte do custo de produção, como produção de alimentos, alimentação e reprodução. Nesse sentido, o aumento na adoção de tecnologias, que auxiliam a mão de obra e a facilita, dessa forma, proporciona economias, diminui o desperdício e o tempo das operações e aumentam a produtividade, que é uma tendência mundial. Com o uso de tecnologias de precisão, traz um outro grande benefício que consiste na identificação precoce de animais doentes. Esse é um componente muito importante de qualquer sistema de produção, sendo de grande interesse o desenvolvimento de métodos, dispositivos e processos para o monitoramento da saúde dos animais (Paiva *et al.* (2016)).

Existem vários motivos que levam o produtor rural a adquirir sistemas de monitoramento por sensores, frequentemente denominados de tecnologias de precisão, destacam-se: limitada e custo da mão de obra; redução do trabalho e facilitar o manejo diário do rebanho; redução de problemas relativos à sucessão familiar e estimular a aceitação de novas tecnologias pelos mais jovens (Paiva *et al.* (2016)).

O uso de tecnologia da informação, sensores e atuadores para o registro de informações que são associadas ao sistema de produção e às intervenções das variáveis ambientais no setor produtivo. Tendo em vista reduzir ou evitar perdas localizadas, Desse modo, proporciona um controle preciso sobre a utilização dos recursos envolvidos nas etapas da cadeia produtiva. As tecnologias trazem soluções simples e eficientes para problemas que afetam a produtividade, relacionados com o ambiente, gerenciamento de equipamentos e controle dos rebanhos para

produção industrial (Pandorfi *et al.* (2012)).

Dessa forma, o uso de tecnologias de Pecuária de Precisão tende a apresentar um resultado econômico positivo, especialmente pela redução esperada sobre os custos da mão de obra. Em pesquisa realizada na Holanda, fazendas que adotam tecnologia de precisão houve uma redução de até 23% das horas trabalhadas, comparadas àquelas outras que não adotaram uso do sistemas de monitoramento por sensores (Bernardi *et al.* (2017)).

A contribuição na precisão das informações dos animais, fornece meios aos produtores de monitorar seus empreendimentos de forma prática, e alcançar maiores índices produtivos com base em informações geradas pelos sistemas. Entretanto, para que isso ocorra, é necessário a utilização de ferramentas tecnológicas que reduzam as perdas e possibilitem o maior controle do sistema produtivo, de maneira a tornar a indústria brasileira mais competitiva e empreendedora (Pandorfi *et al.* (2012)).

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

#### 3.1 *Proposta de Sistema de Baixo Custo para o Monitoramento de Ovinos*

O estudo realizado pelos autores Pierazzoli *et al.* (2022) no artigo "*Proposta de Sistema de Baixo Custo para o Monitoramento de Ovinos*" Propõe-se um sistema inovador para reduzir significativamente a alta taxa de mortalidade de cordeiros recém-nascidos no Rio Grande do Sul, baseado em extensa pesquisa realizada em diversas fazendas da região. Os resultados revelaram uma preocupante taxa de mortalidade entre 15% e 40%, sendo que 25% dos cordeiros não sobrevivem logo após o parto. Além disso, constatou-se que a maioria dos óbitos ocorre dentro dos primeiros sete dias após o nascimento.

Um fator crucial identificado pela pesquisa é a necessidade de manter a temperatura dos cordeiros em torno de 39°C, que é a temperatura corporal normal desses animais. Temperaturas mais baixas no ambiente podem causar problemas de saúde e até mesmo levar à morte dos cordeiros.

Para solucionar esse desafio, propõe-se a implementação de um sistema abrangente que aborde diversas questões relacionadas à alta taxa de mortalidade de cordeiros recém-nascidos. Esse sistema monitora durante e após do parto dos cordeiros, colocando sensores para parâmetros fisiológicos, deste modo, aumentar o maior número de cordeiros sobreviventes. Em seguida é citado alguns pontos críticos que podem ocasionar a morte do ovino filhote, é apresentado um fluxograma de cuidados para o cordeiro em caso de problemas.

É utilizado dispositivos próximos à pele no intuito de captar e transmitir os dados. Fazendo a instalação da ferramenta no pescoço, com a utilização de sensores se tem uma rede monitoramento dos sinais fisiológicos do ovino. Além disso, seria essencial promover a capacitação dos produtores rurais, fornecendo conhecimentos atualizados sobre os cuidados com os cordeiros recém-nascidos, incluindo boas práticas de manejo, alimentação adequada, monitoramento da saúde e identificação precoce de possíveis problemas.

Por meio desse sistema integrado e abrangente, espera-se reduzir significativamente a taxa de mortalidade de cordeiros recém-nascidos, garantindo o desenvolvimento saudável e a sobrevivência desses animais tão importantes para a indústria agrícola do Rio Grande do Sul.

É esperado que os sensores obtenham os dados, e a partir daí seja possível enviar alertas ao criador, para que ele faça os cuidados, os exemplos citados foram quando cordeiro fica hipotérmico e quando ocorre a queda de glicose. Após o nascimento são coletados dados do

filhote, como temperatura e peso, para o monitoramento de cordeiros recém-nascidos, observando o conforto térmico do ambiente e os sensores para a captura dos sinais fisiológicos do recém-nascido. E em caso de alterações, serão emitidas alertas para o proprietário, dessa forma o agricultor poderá tratar o problema de forma ágil e assim evitar que ocorra a morte do cordeiro. Ele identificou que com o monitoramento pode-se evitar a morte de cordeiros, pois agindo de forma rápida e realizando os cuidados certos, houve um aumento de filhotes sobreviventes.

Como uma possível oportunidade de melhoria, é expandir o sistema de monitoramento não apenas para cordeiros recém-nascidos, mas para todo o rebanho de ovinos. Com o objetivo é melhorar o bem-estar animal, prevenir doenças e evitar a morte tanto dos ovinos adultos quanto dos filhotes. Ao implementar um sistema de monitoramento abrangente para todo o rebanho, será possível enviar alertas ao criador sempre que um animal apresentar sinais de anormalidade. Esses alertas permitirão uma intervenção rápida por parte do criador, possibilitando cuidados imediatos e aumentando as chances de recuperação dos ovinos. Dessa forma, o sistema contribuirá para reduzir a mortalidade e promover a saúde do rebanho como um todo.

Essa expansão do sistema de monitoramento representará um avanço significativo no manejo e na criação de ovinos, fornecendo aos criadores informações em tempo real sobre a condição de saúde de cada animal. Além de evitar perdas financeiras, o monitoramento do rebanho possibilitará uma abordagem preventiva, identificando precocemente possíveis doenças e permitindo a implementação de medidas preventivas antes que se tornem problemas graves. Ao tomar medidas proativas com base nos alertas fornecidos pelo sistema, os criadores poderão garantir um melhor bem-estar para seus ovinos, prevenir surtos de doenças e, em última análise, aumentar a sobrevivência e o sucesso da criação. Esse sistema de monitoramento abrangente representa um importante passo em direção a uma produção de ovinos mais saudável e sustentável.

### ***3.2 Desenvolvimento de um Sistema Computacional Embarcado para Aferição de Índice de Conforto Térmico Aplicado ao Bem-estar Animal***

O estudo realizado pelos autores Gomes *et al.* (2022) do artigo "*Desenvolvimento de um Sistema Computacional Embarcado para Aferição de Índice de Conforto Térmico Aplicado ao Bem-estar Animal*" analisou os efeitos da temperatura ambiente e umidade relativa do ar na produção de suínos na cidade de Recife, em Pernambuco. Os resultados indicaram que altas temperaturas podem levar a perdas de peso e produtividade, causando estresse nos suínos.

Para contornar esses problemas e garantir o bem-estar dos animais, a utilização da pecuária de precisão por meio da tecnologia se tornou fundamental. O uso de sensores para monitorar regularmente as variáveis meteorológicas no ambiente de criação dos suínos permite evitar desconfortos e perdas na produção. Os autores desenvolveram um sistema computacional capaz de medir a temperatura e umidade relativa do ar, facilitando o manejo dos animais.

O estudo foi conduzido em Recife, que possui um clima tropical úmido, com uma temperatura média de 25,9°C. O sensor *DHT-22* foi utilizado como hardware para medir a temperatura e umidade relativa do ar devido ao seu baixo consumo energético, interface simples e conexão digital de um único pino. Esses sensores podem ser facilmente integrados a plataformas como *Arduino*, por meio de bibliotecas de código aberto.

Quanto ao software, utilizou-se a plataforma *Arduino* para desenvolver um programa capaz de capturar os dados de temperatura e umidade do sensor *DHT-22*. No entanto, observou-se que o sensor *DHT-22* tende a superestimar a umidade relativa do ambiente e subestimar os valores de temperatura. Portanto, ajustes específicos precisam ser implementados por meio de programação para aumentar a precisão das informações obtidas pelo sensor.

Com base nos testes realizados, constatou-se que a temperatura tem um impacto maior no bem-estar dos animais do que a umidade. Essas informações são valiosas para auxiliar os produtores na tomada de decisões e no manejo adequado dos suínos, proporcionando um ambiente mais confortável e favorável ao seu desenvolvimento saudável e produtivo.

Como possível oportunidade de melhoria, ficou visível que a rede está sendo utilizada apenas para o monitoramento ambiente, pode ser feita uma adição para medir a temperatura dos ovinos, dessa maneira utilizar sensores para monitorar sinais vitais, e assim seja possível a detecção de anomalias nos sinais vitais, com base em algumas pesquisas, As ovelhas são ruminantes extremamente sensíveis ao estresse, quando isso ocorre pode haver uma perda calórica, utilizar um sistema de baixo custo visando monitorar o bem-estar do animal, e com base em seus dados, o agricultor dono do rebanho pode fazer um manejo eficiente, no intuito de inibir o estresse, assim haver um aumento de produção de carne por ovino.

### ***3.3 Implementação e Validação de um Protótipo para Monitorização de Gado***

Os autores Aleluia *et al.* (2023) do artigo "*Implementação e Validação de um Protótipo para Monitorização de Gado*" propõem uma solução de identificação e monitoramento de animais, com foco no monitoramento de bovinos. Eles apresentam uma proposta de infraestrutura



de comunicação de dados tolerante a falhas, utilizando os módulos de comunicação LoRaWan e *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), juntamente com o mecanismo de redundância do protocolo *Virtual Router Redundancy Protocol* (VRRP).

A Internet das Coisas é uma tecnologia que pode viabilizar a agricultura de precisão, incluindo a gestão e produção de gado. Com o aumento da produção animal, tornou-se mais desafiador e trabalhoso monitorar individualmente cada animal para verificar sua saúde e bem-estar, como é feito no método tradicional de monitoramento de gado.

Nesse contexto, os autores desenvolveram um protótipo funcional de baixo custo com tolerância a falhas para o monitoramento de gado. Eles projetaram uma arquitetura de rede composta por colares com sensores, dispositivos IoT e módulos de comunicação LoRaWan e Wi-Fi.

A rede LoRaWan foi escolhida por ser de longo alcance e baixo consumo energético, embora sua taxa de transferência de dados varie de 0,3 kb/s a 50 kb/s. Por outro lado, a rede Wi-Fi possui um alcance menor e consumo energético mais elevado em comparação à LoRaWan, mas oferece uma velocidade de transferência de dados muito maior. Inicialmente, os autores consideraram utilizar apenas a rede LoRa, mas devido à necessidade de monitorar um grande número de animais, optaram por implantar as duas redes, LoRa e Wi-Fi, para otimizar a eficiência da rede.

Para reduzir custos, o protótipo foi baseado em dois dispositivos microcontroladores: o *ESP8266* e o *ESP32*, ambos com suporte Wi-Fi e compatíveis com a biblioteca *PainlessMesh*. Três tipos de dispositivos foram utilizados: nós sensoriais, que são baseados no dispositivo D1 Mini Pro com o microcontrolador ESP8266 e módulo Wi-Fi embutido; nós ponte, responsáveis por estabelecer a conexão entre as redes Wi-Fi e LoRa, utilizando um transceptor LoRa que opera em frequências de rádio sem licença; e o nó *gateway*, que atua como intermediário entre a rede LoRa e a plataforma em nuvem, tornando os dados obtidos visíveis ao agricultor.

Essa solução proporciona um sistema de monitoramento eficiente e confiável para o rebanho bovino, permitindo o acompanhamento em tempo real do estado de cada animal. A coleta contínua de parâmetros biológicos por meio dos sensores possibilita a detecção, tratamento e prevenção de doenças e lesões. Com essa abordagem, os criadores de gado podem agir rapidamente para garantir a saúde e o bem-estar de seus animais, melhorando a produtividade e reduzindo perdas na criação.

Uma possível oportunidade de melhoria é a adaptação do monitoramento para ovinos.

Os ovinos são altamente suscetíveis a feridas na pele durante o inverno, quando há um aumento na população de moscas varejeiras. Essas moscas depositam suas larvas nas feridas dos ovinos, que começam a se alimentar da carne do animal, agravando a lesão. Sem o devido tratamento, as feridas não cicatrizam. Muitas vezes, essas lesões só são percebidas quando já estão graves, com um grande ferimento, o ovino começando a perder peso e aparentando estar debilitado.

No entanto, com o monitoramento adequado, é possível emitir alertas para o criador assim que as feridas surgirem, permitindo que o tratamento seja fornecido aos ovinos no início do ferimento. Isso evita que o animal sofra um impacto tão significativo. Além disso, o monitoramento contínuo também permite a detecção precoce de outros problemas de saúde nos ovinos, possibilitando um tratamento ágil e eficiente.

A Tabela 1 apresenta uma análise comparativa entre diversos estudos relacionados e o presente trabalho, destacando critérios analisados, animais monitorados, sinais monitorados, placas de desenvolvimento, dispositivos utilizados e a tecnologia de comunicação empregada.

Tabela 1 – Análise comparativa entre trabalhos relacionados e este trabalho.

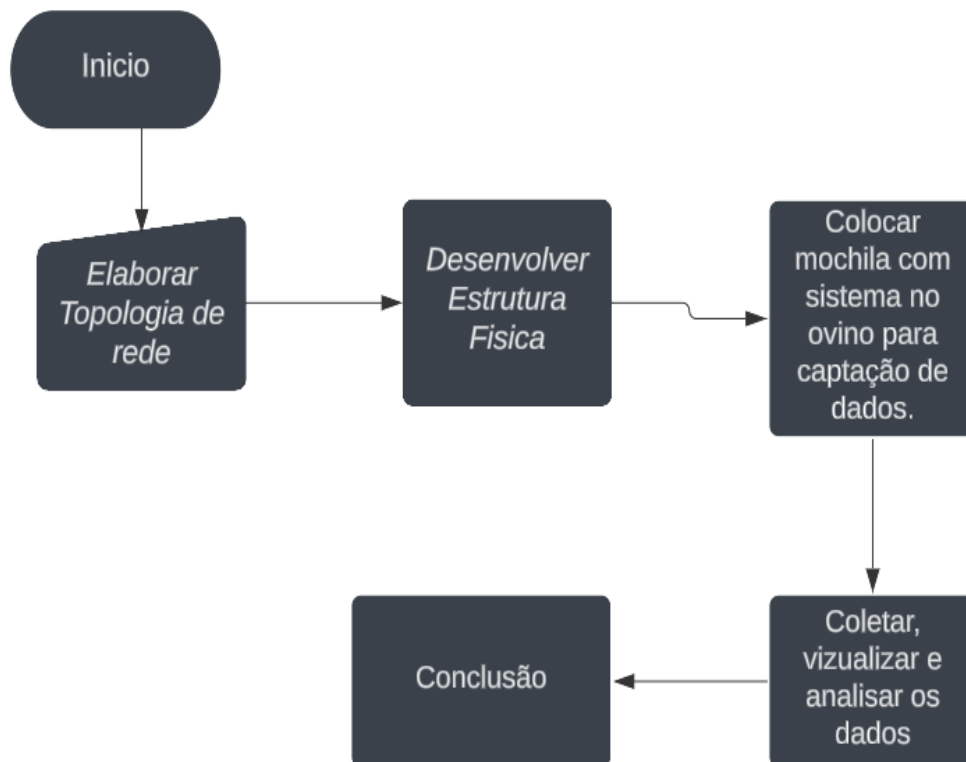
<b>Trabalhos relacionados / Critérios analisados</b>	<b>Animais monitorados</b>	<b>Sinais monitorados</b>	<b>Placa de desenvolvimento</b>	<b>Dispositivos utilizados</b>	<b>Tecnologia de comunicação</b>
Pierazzoli <i>et al.</i> (2022)	Ovinos recém nascidos	temperatura corporal e glicose	ESP32	<i>IoT e Wearable Technology</i>	<i>Wi-Fi 802.11, Bluetooth v 4.2 e Bluetooth</i>
Gomes <i>et al.</i> (2022)	Suínos	umidade relativa do ar e temperatura ambiente	ESP8266	<i>DHT-22 e RTC (Real Time Clock)</i>	<i>HOBO U12-001</i>
Aleluia <i>et al.</i> (2023)	Bovinos	temperatura corporal, temperatura ambiente e umidade do ar	<i>ESP32 e ESP8266</i>	<i>DI Mini Pro e TTGO</i>	<i>LoRaWAN e WiFi</i>
Este Trabalho	Ovinos	Temperatura corporal e batimentos cardíacos	<i>ESP Wroom 32</i>	<i>MAX30100 e LM35</i>	<i>LoRaWAN e WiFi</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta a metodologia proposta neste trabalho, estruturada em etapas que devem ser executadas de forma sequencial. Para alcançar os objetivos definidos, é necessário seguir rigorosamente as fases descritas nas seções a seguir. Cada etapa é interdependente, de modo que a falha ou não conclusão de uma etapa impede o início da próxima. A metodologia é dividida em dois períodos principais: o primeiro foca na avaliação de desempenho, enquanto o segundo trata da conexão da infraestrutura e da implementação de um sistema de monitoramento e visualização remota para o usuário. A Figura 1 ilustra a sequência e a organização dessas etapas.

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.1 Implementação de *software*

A primeira etapa do projeto consistirá na implementação de um sistema que captura dados importantes, como temperatura corporal e batimentos cardíacos dos ovinos, por meio de sensores conectados a um *ESP Wroom 32*. Esses dados serão essenciais para identificar possíveis

desconfortos ou alterações nos sinais vitais dos animais, facilitando o manejo adequado dos ovinos.

O software será desenvolvido em *C++* e executado em quatro fases. Primeiramente, será estabelecida a comunicação entre os sensores *MAX30100* (batimentos cardíacos e Saturação de Oxigênio (*SpO2*) e *LM35* (temperatura), e a placa *ESP32*. Os dados capturados pelos sensores serão transmitidos para outro *ESP Wroom 32* via *LoRa*, essa segunda *ESP* se conectará a *Wi-Fi*, garantindo a correta obtenção e envio das informações.

A segunda fase envolverá o desenvolvimento do código de comunicação entre as placas *ESP32* e o armazenamento dos dados no computador. A placa *ESP Wroom 32* receptora estará conectada via *Wi-Fi* a um roteador, ao qual o computador responsável pelo armazenamento dos dados também estará conectado. Nesse processo, os dados coletados pela *ESP32* serão transmitidos ao computador, onde serão enviados para um banco de dados *MySQL*, permitindo que as informações sejam inseridas diretamente nesse banco para posterior análise e visualização.

Na terceira fase, o foco será a inserção dos dados coletados no banco de dados local. Utilizando o *XAMPP* como servidor local, o banco de dados *MySQL* será configurado para armazenar informações sobre a temperatura e batimentos cardíacos dos ovinos. Isso permitirá o registro e a análise histórica dos dados, além de gerar alertas para os responsáveis sobre quaisquer alterações nos sinais dos animais, facilitando o monitoramento em tempo real e a gestão da saúde do rebanho.

Por fim, na quarta fase, será configurada a comunicação entre o banco de dados e o *Grafana*, que fornecerá uma interface *web* para a visualização dos dados em tempo real. Isso permitirá aos produtores monitorar os sinais vitais dos ovinos de forma acessível e receber alertas sobre mudanças nos parâmetros de saúde dos animais. Sendo uma comunicação feita de maneira segura e confiável, garantindo a integridade e a privacidade das informações.

Ao concluir essas etapas, o sistema permitirá uma captura, armazenamento e visualização eficientes dos dados dos ovinos, possibilitando uma gestão mais rápida e precisa da saúde dos animais, contribuindo para um cuidado mais atento e uma produção mais eficiente.

## **4.2 Escolhas de dispositivos para protótipo**

Essa etapa é dividida em dois momentos principais. No primeiro, será feita a seleção dos componentes responsáveis pelas funções de comunicação, controle e coleta de dados, com base na topologia desenvolvida na etapa anterior. Durante a escolha dos componentes, serão con-

sideradas premissas como custo, facilidade de implementação e compatibilidade com o projeto. No segundo momento, cada um dos componentes selecionados passará por testes individuais, cujo objetivo é verificar se seu funcionamento está de acordo com as especificações esperadas para sua função. Após essa validação, será iniciada a integração dos componentes em um único dispositivo. Serão realizados novos testes, buscando identificar possíveis interferências no funcionamento integrado, além de erros ou irregularidades que possam ter passado despercebidos nas fases anteriores. Concluída essa fase de testes, será iniciado o desenvolvimento dos protótipos, preparando-os para testes em campo e instalação no ambiente externo.

A Tabela 2 lista os parte dos componentes para construir o protótipo de um dispositivo capaz de monitorar e transmitir os dados usando mais de uma tecnologia. O ponto crítico é a bateria de *lithium* que é o componente que apresenta maior desgaste exposto a altas temperaturas, o couro utilizado na mochila de fixação não sofre muito desgaste sobre a exposição a raios solares.

Tabela 2 – Tabela de custos do protótipo em Setembro de 2024.

<b>Quantidade</b>	<b>Item</b>	<b>Custo em reais</b>
2	Módulo <i>ESP Wroom 32</i>	119,80
1	Sensor de frequência cardíaca <i>MAX30100</i>	24,90
1	Sensor de temperatura corporal <i>LM35</i>	24,90
1	Bateria 18650 de 2200mAh	29,90
2	Módulo <i>LoRa E32-915T20D</i> e Antena	199,80
1	Couro	10,00
1	<i>Software</i> de Programação	0
	Total	409,30

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Elaboração do cenário de teste

O cenário de testes foi implementado em uma fazenda de criação de ovinos localizada no município de Solonópole, no estado do Ceará. Essa região apresenta um clima semiárido, com uma temperatura média anual em torno de 29°C. Além disso, a umidade relativa do ar é baixa.

Os ovinos são criados e manejados de forma rudimentar nesse local. Para implementar a coleta de dados dos parâmetros fisiológicos, foi desenvolvido um protótipo que afere esse

sinais e envia até um banco de dados. A fazenda possui uma área de aproximadamente 1504x308 metros de terra, com pastos e disponibilidade abundante de água.

Um carneiro da raça Santa Inês, com 1 ano e 9 meses de idade, foi selecionado para o estudo com o objetivo de analisar seu comportamento e monitorar seus sinais vitais. Após a conclusão do protótipo, a validação foi realizada por meio de testes contínuos ao longo de dois dias, monitorando atentamente o animal durante todo o período.

Durante esse período, os parâmetros fisiológicos do ovino foram aferidos a cada 5 minutos, tanto de dia quanto à noite. Esse monitoramento detalhado e prolongado permitiu uma análise mais precisa das variações fisiológicas, contribuindo para uma compreensão aprofundada do comportamento dos ovinos e fornecendo dados valiosos para o estudo.

#### **4.4 Coleta e análise de dados**

Nesta etapa, foi realizada a avaliação de desempenho da tecnologia aplicada ao monitoramento dos ovinos. A avaliação foi composta por uma série de experimentos. Durante a experimentação, os dados coletados dos sensores de batimentos cardíacos e temperatura corporal foram registrados em um banco de dados. Após a coleta, os dados passaram por um processo de tratamento, incluindo cálculos estatísticos, para facilitar a interpretação. A análise dos resultados foi conduzida com o auxílio de gráficos e comparações entre os diferentes experimentos realizados. O objetivo foi avaliar o desempenho da tecnologia no ambiente rural do semiárido do sertão central do Ceará, nas condições em que foi aplicada, permitindo concluir e inferir sobre sua eficiência e adequação para o monitoramento dos ovinos.

#### **4.5 Implementação de sistema de visualização**

A visualização dos dados foi uma parte crucial para o monitoramento eficiente dos parâmetros fisiológicos dos ovinos e, neste trabalho, isso foi feito utilizando o *Grafana*. O *Grafana* é uma poderosa ferramenta de visualização de dados em tempo real, que permitiu acompanhar e analisar os sinais vitais dos ovinos de forma intuitiva e dinâmica. Para viabilizar essa visualização, foi estabelecida uma integração com o *XAMPP*, que hospedava localmente o banco de dados *MySQL* onde os dados coletados pelos sensores foram armazenados.

Através da conexão do *ESP32* com o banco de dados no *phpMyAdmin* do *XAMPP*, os dados de temperatura corporal, batimentos cardíacos e saturação de oxigênio SpO2 dos

ovinos foram enviados continuamente. O *Grafana* foi configurado para se conectar ao banco de dados *MySQL* e transformar esses dados em gráficos interativos e *dashboards* personalizados, permitindo que os responsáveis visualizassem o comportamento fisiológico dos animais em tempo real.

Com essa configuração, foi possível criar alertas automáticos no *Grafana*, notificando os responsáveis sempre que houvesse alterações significativas nos parâmetros monitorados. Essa abordagem não apenas facilitou a visualização detalhada dos dados históricos e em tempo real, mas também contribuiu para uma tomada de decisão rápida e precisa em situações de emergência, como em caso de alterações abruptas nos sinais vitais dos ovinos.

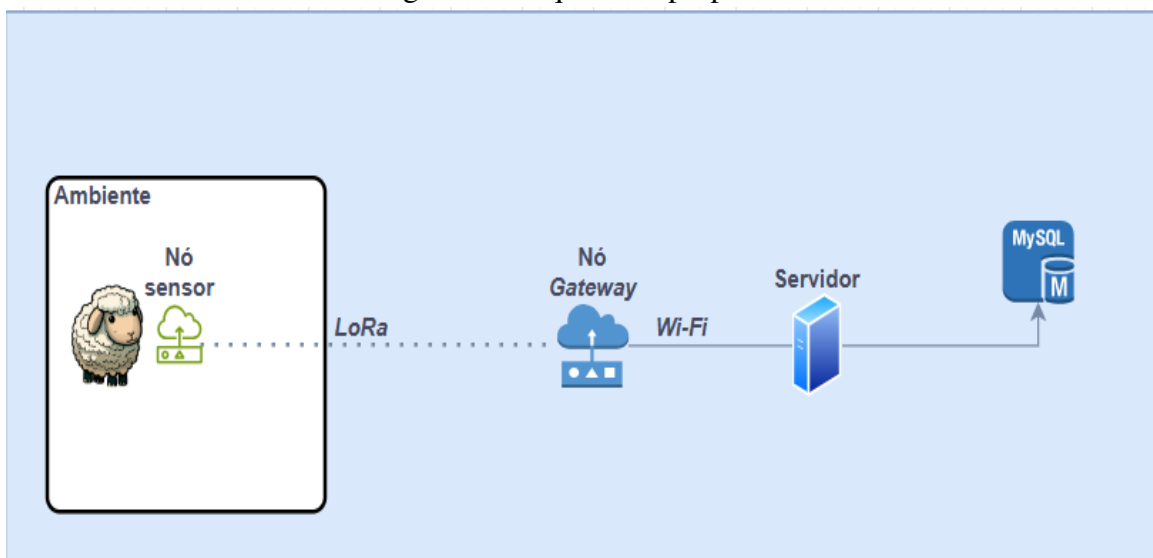
## 5 RESULTADOS

Este capítulo descreve a realização das etapas metodológicas propostas na metodologia, como também apresenta os resultados obtidos ao final da realização dessas etapas.

### 5.1 Elaboração da topologia lógica

A tecnologia LoRaWan utiliza uma topologia em estrela, conforme afirmam (Devalal e Karthikeyan (2018)). Com essa configuração, um componente gerencia o fluxo de dados na rede, e o *gateway* assume essa função. Entretanto, devido ao elevado custo de aquisição desse item e à dificuldade de desenvolver um protótipo que atue como *gateway*, permitindo comunicação bidirecional entre o sensor e o componente (Pereira (2023)). É importante ressaltar que o LoRa permite a utilização de diversas outras topologias. Na topologia em estrela, os nós operam apenas como clientes, transmitindo dados ao *gateway*. Essa configuração se mostrou eficaz para a realização dos experimentos propostos, oferecendo uma alternativa viável para comunicação unidirecional. A Figura 2 ilustra uma topologia em estrela para monitoramento dos sinais vitais de um ovino. A estrutura funciona da seguinte maneira: O nó sensor, localizado na mochila do ovino, que monitoram os sinais vitais do animal. A *ESP32* do nó sensor envia os dados coletados através da tecnologia LoRa para o nó *gateway*. Este nó *ESP32*, que recebe os dados via LoRa, está conectado por Wi-Fi a um servidor. O servidor, por sua vez, recebe os dados transmitidos e os armazena em um banco de dados *MySQL*.

Figura 2 – Arquitetura proposta.



Fonte: Elaborada Pelo autor.



- **Nó gateway** é responsável por receber dados enviados pelo módulo LoRa, que contém informações sobre a frequência cardíaca (BPM) e a temperatura corporal de ovinos. Durante a operação, ela inicia a conexão com a rede Wi-Fi, configurando o Service Set Identifier (SSID) e a senha da rede desejada. Após a conexão bem-sucedida, ela aguarda requisições para receber dados sobre a frequência cardíaca (BPM) e a temperatura corporal dos ovinos. No *loop* principal, a *ESP Wroom 32* verifica continuamente se há novos dados disponíveis através de requisições *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). Quando os dados são recebidos, a *ESP Wroom 32* os processa e exibe as informações no console para monitoramento. Esses dados são armazenados no *MySQL* e assim sendo possível ser analisados posteriormente, permitindo um acompanhamento contínuo da saúde dos ovinos.
- **Nó sensor** é responsável por coletar dados fisiológicos dos ovinos utilizando um sensor de temperatura (*LM35*) e um sensor de frequência cardíaca e oxigenação (*MAX30100*). Na inicialização, ele configura a comunicação serial para depuração, inicializa os sensores e configura o módulo LoRa para transmissão. No *loop* principal, o nó solicita a temperatura, atualiza os dados de frequência cardíaca, e formata essas informações em uma *string*. Em seguida, ele envia essa *string* como um pacote através do módulo LoRa a cada 5 minutos, permitindo a transmissão contínua dos dados de saúde dos ovinos.

Um outro motivo, não menos relevante, para a escolha deste tipo de topologia foi a facilidade de gerenciamento e manutenção dos dispositivos. Essa configuração permite que cada nó sensor se conecte diretamente a um ponto central, facilitando a comunicação e a troca de dados. Em um cenário com diversos ovinos, essa abordagem aumenta significativamente a confiabilidade da comunicação. Se um nó falhar, os demais continuam operando sem interrupções, assegurando a coleta contínua de dados essenciais para o monitoramento da saúde do rebanho. Isso permite uma supervisão mais eficaz, contribuindo para o bem-estar dos animais.

## 5.2 Desenvolvimento da infraestrutura física

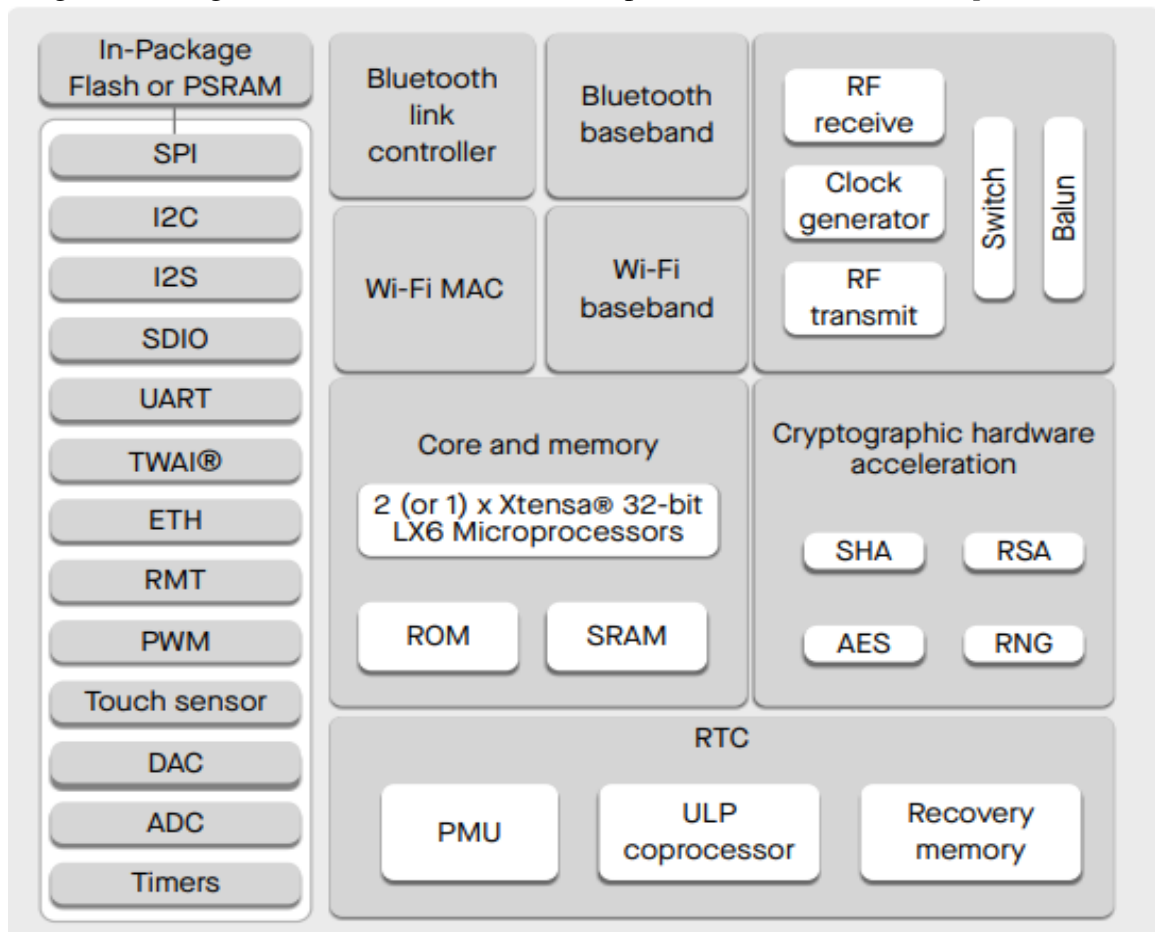
Na primeira fase dessa etapa, o foco foi selecionar os componentes mais adequados para as tarefas da arquitetura, considerando critérios como qualidade, precisão na obtenção dos dados, custo-benefício e dimensões. Esses fatores foram cuidadosamente avaliados para evitar impactos negativos na versão final do protótipo.

## 5.2.1 Escolha dos componentes

### 5.2.1.1 Placa microcontroladora

A placa microcontroladora é o elemento central dos dispositivos que compõem nossa arquitetura, desempenhando um papel crucial no gerenciamento dos componentes internos. Ela é responsável por processar os dados coletados pelos sensores e transmiti-los de forma eficiente ao módulo de comunicação. A Figura 3 mostra o diagramas de blocos funcionais da *ESP Wroom 32* utilizada no projeto.

Figura 3 – Diagramas de blocos Funcionais da placa microcontroladora *Esp Wroom 32*.



Fonte: Espressif (2024).

No projeto, utilizamos a *ESP32 Wroom 32*, uma poderosa placa voltada para projetos de IoT e automação, baseada no *chip ESP32-WROOM-32D*. Essa placa oferece alta capacidade de processamento com baixo consumo de energia, graças ao seu microprocessador *Xtensa LX6* de 32 bits. O processador *dual-core* permite o uso simultâneo de múltiplos sensores, módulos e interfaces, mantendo a eficiência e o desempenho do sistema. A Tabela 3 apresenta

uma descrição técnica do *Esp Wroom 32*, contendo informações sobre suas especificações de operação, dimensões físicas, e características elétricas e de memória.

Tabela 3 – Especificações técnicas *Esp Wroom 32*.

<b>Esp Wroom 32</b>	<b>Valores</b>
Tensão de operação	-40° à +85°C
Dimensões	51 x 27.5 x 5MM
Peso	9g
Memoria RAM	520 bytes
Memoria ROM	448 KBytes
Corrente de consumo típica	80mA

Fonte: Espressif (2024).

Compatível com a *Integrated Development Environment (IDE)* do *Arduino*, a *ESP32 Wroom 32* foi escolhida para o projeto devido à sua versatilidade e capacidade de lidar com projetos que exigem alto desempenho com baixo consumo energético. A placa suporta os modos de operação *Station Mode (STA)*, *Access Point Mode (AP)* e *STA+AP* simultaneamente, proporcionando flexibilidade no gerenciamento de redes Wi-Fi. Além disso, sua ampla gama de interfaces de comunicação, como *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)*, *Serial Peripheral Interface (SPI)* e *Inter-Integrated Circuit (I2C)*, facilita a integração com diversos sensores e dispositivos, o que é essencial em aplicações de IoT.

- **UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*)**: Utilizada para a comunicação entre a *ESP Wroom 32* e o módulo *LoRa E32-915T20D*, responsável pela transmissão de dados entre os dispositivos. A UART é essencial no projeto para garantir a troca de dados de longa distância de forma eficiente.
- **I2C (*Inter-Integrated Circuit*)**: Utilizada para conectar o sensor *MAX30100*, que mede a frequência cardíaca e o nível de oxigenação do sangue. A interface I2C é ideal para este projeto, pois permite a comunicação com sensores que requerem poucos pinos, otimizando o uso de recursos da *ESP32*.

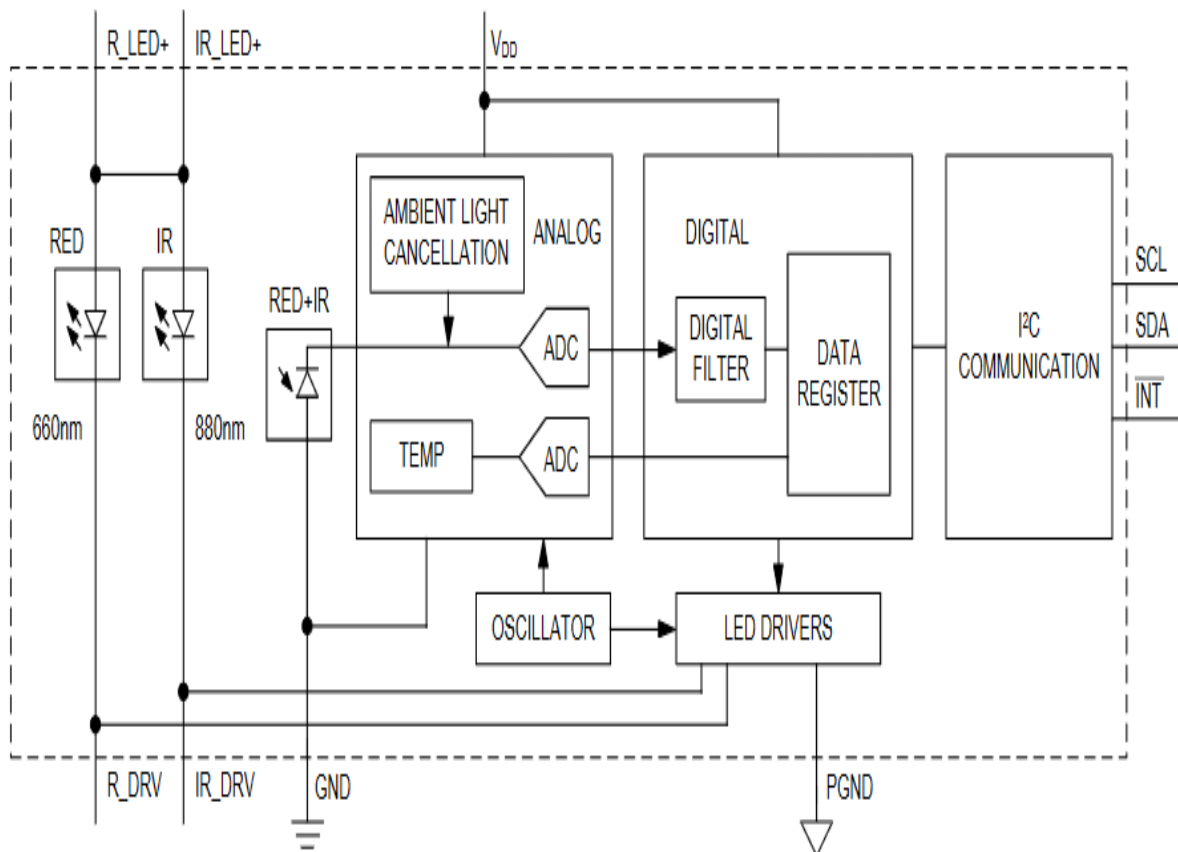
Essas duas interfaces foram escolhidas devido à sua compatibilidade com os componentes do projeto e pela eficiência em comunicação de dados em tempo real. A UART possibilita a transmissão de dados de forma confiável para o módulo LoRa, enquanto a I2C permite a leitura precisa de dados de sensores com um consumo mínimo de pinos, maximizando o potencial da placa em projetos de IoT e automação.

### 5.2.1.2 Sensor coletor de dados dos Ovinos

O primeiro componente avaliado para ser utilizado na mochila que irá no ovinos foi um sensores que seja capaz de aferir o batimentos cardíacos, e outro que seja capaz de medir a temperatura corporal, esses sensores foram o *MAX30100* e o *LM35*.

O sensor *MAX30100* é um dispositivo integrado que combina um oxímetro de pulso e um sensor de frequência cardíaca. Ele utiliza dois *LEDs* (vermelho e infravermelho) para medir a saturação de oxigênio no sangue (*SpO2*) e a frequência cardíaca. Suas principais características incluem medição baseada em fotopletismografia, baixo consumo de energia, interface *I2C* para fácil integração com microcontroladores como o *ESP Wroom 32* e um *design* compacto. A Figura 4 apresenta o diagrama funcional do *MAX30100*, ilustrando a arquitetura interna de um sensor de pulso oximétrico e frequência cardíaca.

Figura 4 – Diagrama funcional do sensor *MAX30100*.

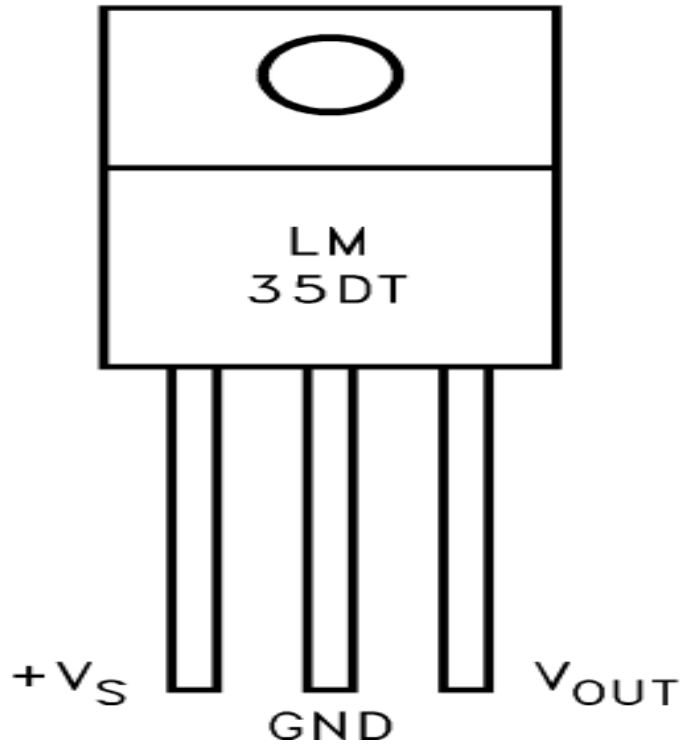


Fonte: Datasheet (2014).

O sensor *LM35* é um sensor de temperatura analógico de alta precisão que converte a temperatura em um sinal elétrico proporcional, sem necessidade de calibração externa.

Amplamente utilizado em projetos eletrônicos e de automação, ele oferece medição precisa da temperatura e se destaca pelo baixo consumo de energia. O sensor *LM35* pode ser visualizado em um diagrama na Figura 5 abaixo.

Figura 5 – Diagrama do sensor *LM35*.



Fonte: Instrument (2016).

### 5.2.1.3 Módulo de transmissão LoRa

O módulo de transmissão LoRa E32-915T20D desempenha um papel crucial em nossa arquitetura. Ele é responsável por enviar os dados coletados pelos sensores conectados a um *ESP Wroom 32* para um segundo dispositivo *ESP*, que atua como receptor. Esse receptor, por sua vez, encaminha as informações recebidas para o banco de dados, garantindo um fluxo contínuo de dados para armazenamento e análise eficiente. Este processo é essencial para assegurar a monitorização constante e precisa dos parâmetros fisiológicos dos ovinos ao ar livre, ajudando os criadores a detectar rapidamente quaisquer anomalias. O módulo LoRa E32-915T20D empregado no projeto é mostrado na Figura 6 abaixo.

Para assegurar uma comunicação sem problemas de interoperabilidade, ambos os dispositivos utilizam o mesmo modelo. Escolhemos o módulo *E32-915T20D*, que integra o chip *SX1276* da *Semtech* e adota o protocolo UART (*Asynchronous Receiver/Transmitter*). Além disso,

Figura 6 – Módulo *LoRa* E32-915T20D.

Fonte: Ebyte (2021).

o módulo opera na faixa de frequência de 900 a 930 MHz, proporcionando uma comunicação eficiente e confiável entre os dispositivos. Mais parâmetros do componente obtidos por meio de seu *datasheet* são apresentados na Tabela 4.

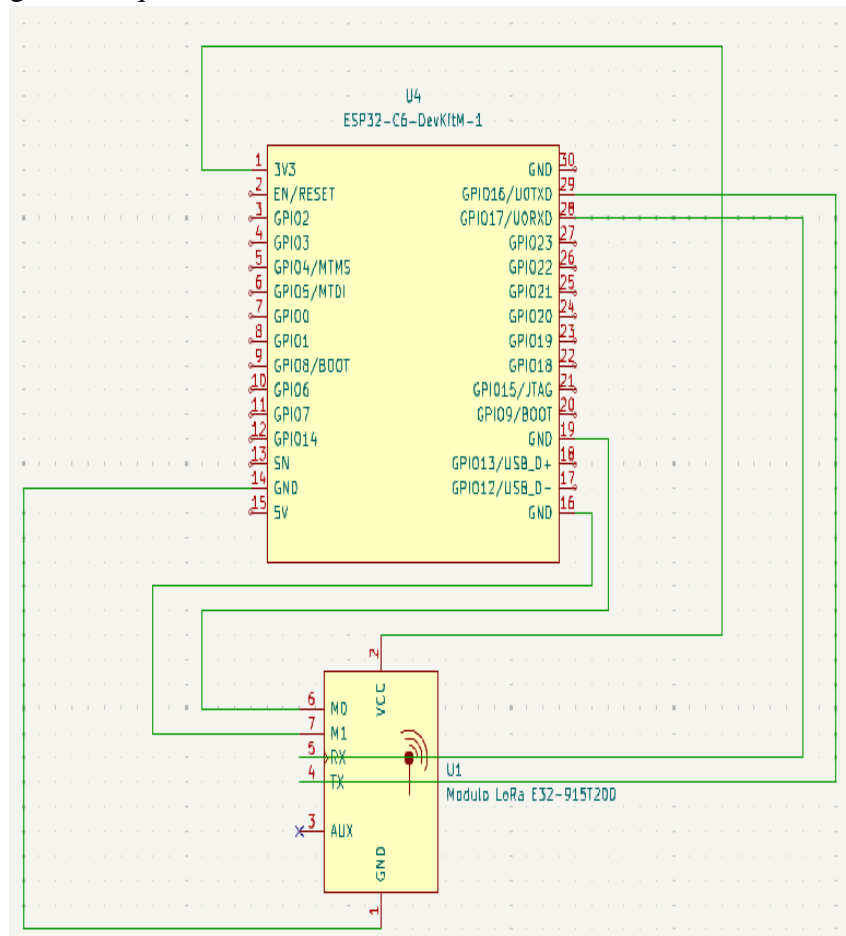
Tabela 4 – Módulo *LoRa* E32-915T20D.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Tensão de operação	2.3 a 5.2 <i>Volts</i>
Dimensões	36 x 21 mm
<i>Buffer</i>	512 <i>bytes</i>
Tamanho máximo do pacote	58 <i>bytes</i>

Fonte: Ebyte (2021).

Ainda que existam outros módulos com tamanhos menores em comparação ao *E32-915T20D*, a escolha deste módulo foi motivada, principalmente, pela sua facilidade de implementação e pela diversidade de parâmetros configuráveis. Entre essas opções está a taxa de dados do *Air Data Rate* (AR), que determina diretamente os valores das propriedades físicas. Além do mais, é viável acessar bibliotecas de código aberto disponibilizadas por comunidades de *software* livre, facilitando o acesso e a configuração dos parâmetros oferecidos pelo módulo. A Figura 7 apresenta um diagrama esquemático da conexão entre a *ESP32* e o Módulo *LoRa*, destacando os pinos e suas correspondências para estabelecer comunicação sem fio de longa distância. A *ESP32*, conecta-se ao Módulo *LoRa* para transmitir dados a longas distâncias, essencial em aplicações de IoT.

Figura 7 – Diagrama Esquemático da Conexão entre a ESP32 e o Módulo LoRa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 5.3 Coleta e análise de dados

A coleta de dados foi realizada com sensores posicionados em contato direto com o couro do carneiro, fixados por meio de um protótipo preso ao animal. Para a comunicação entre os dispositivos, foi utilizada a tecnologia LoRa, que permitiu a transmissão dos dados de forma eficiente, mesmo em áreas remotas. O experimento foi conduzido de forma contínua ao longo de dois dias, capturando informações a cada 5 minutos sobre a temperatura corporal e batimentos cardíacos (BPM) dos animais. A Figura 8 apresenta o carneiro utilizado nos testes. O protótipo foi posicionado de forma que o animal não demonstrou sinais de incômodo, comportando-se de maneira tranquila. A figura também mostra o cenário rural onde o teste foi conduzido. Após a soltura, o carneiro pastou normalmente, indicando que o dispositivo não interferiu em suas atividades cotidianas.

As Figuras 9 e 10 ilustram a relação entre a frequência cardíaca (BPM) e a temperatura corporal dos ovinos, com as barras amarelas representando a temperatura corporal e as

Figura 8 – Posicionamento do protótipo no carneiro para coleta dos dados.



Fonte: Elaborada pelo autor.

barras verdes correspondendo à frequência cardíaca (BPM). Com base nos dados de monitoramento, podemos inferir os seguintes pontos: A maioria das amostras de temperatura corporal está concentrada na faixa entre 38°C e 39,9°C, com um pico próximo de 40°C. Este padrão é esperado para ovinos, que geralmente mantêm uma temperatura corporal média entre 38°C e 40°C. Fatores como atividade física, condições ambientais e estado de saúde influenciam essas variações. Os valores de BPM estão distribuídos de forma consistente entre 56 e 88 BPM. Ovinos saudáveis normalmente apresentam uma frequência cardíaca entre 70 e 80 BPM, o que é refletido na maioria dos dados concentrados nessa faixa, embora haja algumas variações.

A coleta e análise desses dados são essenciais para detectar anomalias e tomar decisões informadas sobre o bem-estar dos animais. O gráfico demonstra a capacidade do sistema de registrar e visualizar dados em tempo real, permitindo um monitoramento contínuo e eficaz. A análise detalhada desses dados permite intervenções rápidas e precisas, promovendo o bem-estar dos animais e a eficiência do manejo.

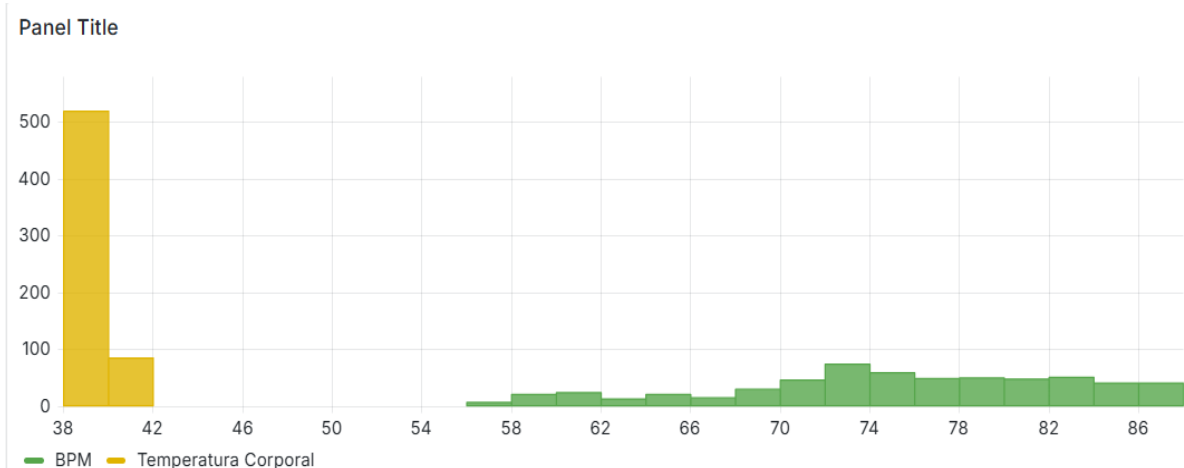


Figura 9 – Relação entre a frequência cardíaca e a temperatura corporal dos ovinos ao longo do tempo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 10 – Distribuição da frequência dos dados de temperatura corporal e frequência cardíaca (BPM) dos ovinos, mostrando a quantidade de ocorrências em cada intervalo.



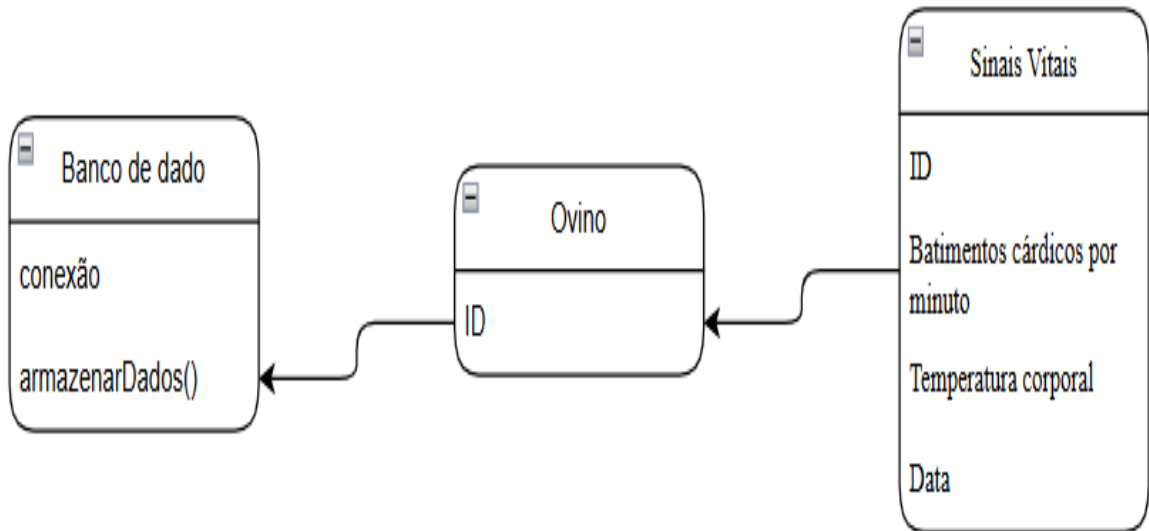
Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 5.4 Implementação do sistema de armazenamento

Para o desenvolvimento deste projeto, utilizou-se o *XAMPP* como ambiente local para servidor, banco de dados e interface de gerenciamento, facilitando o armazenamento e a visualização dos dados coletados pelos sensores *LM35* e *MAX30100* conectados à *ESP32*. A escolha do *XAMPP* se deu por ser uma solução multiplataforma de fácil configuração, integrando as principais ferramentas necessárias, como *Apache*, *MySQL* e *Hypertext Preprocessor (PHP)*, para a criação de um servidor *web* local.

A Figura 11 apresenta um diagrama que representa a estrutura de armazenamento dos sinais vitais dos ovinos, mostrando como as diferentes classes se relacionam para garantir um monitoramento eficiente dos parâmetros de saúde dos animais.

Figura 11 – Diagrama UML representando a estrutura de armazenamento e monitoramento dos sinais vitais de ovinos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

No computador, o *XAMPP* permitiu a criação do servidor local, utilizando o Apache para lidar com as requisições HTTP, o *MySQL* para armazenar as leituras dos sensores, e o PHP para processar e enviar os dados da *ESP32* ao banco de dados. Essa configuração local foi essencial para testar e validar a comunicação entre os dispositivos antes da implantação em um ambiente real. O gerenciamento do banco de dados foi feito por meio da interface *phpMyAdmin*, que pode ser visualizada na Figura 12, acessada pelo navegador, onde foi criado o banco de dados *ovino monitoring* para armazenar os dados dos sensores. A partir dessa estrutura, foi possível analisar os dados recebidos e ajustar os parâmetros de monitoramento conforme necessário. Esse processo garantiu uma base sólida para o funcionamento eficiente do sistema de monitoramento quando implantado no campo.

Para que a *ESP32* enviasse os dados dos sensores ao banco de dados, foi implementado dois *scripts* PHP no servidor Apache. Estes *scripts* recebe os dados da *ESP32* por meio de requisições HTTP, insere-os no banco de dados *MySQL*, e armazena as leituras dos sensores. Este *scripts* foram armazenados no diretório de documentos do *XAMPP*, e será acessado pela *ESP32* ao enviar os dados via *HTTP GET*. A Figura 13 mostra o código PHP utilizado para gravar os dados no banco de dados, recebendo os sinais vitais dos sensores conectados à *ESP32* e inserindo-os na tabela.

Figura 12 – Tela do *PhpmyAdmin* mostrando os bancos de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A escolha do *XAMPP* e do *phpMyAdmin* se deu pela facilidade de instalação, proporcionando um ambiente local robusto para o armazenamento dos dados. Além disso, a fácil integração com o *Grafana* permite a visualização em tempo real dos dados, oferecendo uma interface interativa que facilita o monitoramento contínuo dos parâmetros vitais dos animais.

## 5.5 Implementação de sistema de visualização

O propósito desta seção é detalhar a implementação do sistema de visualização de dados desenvolvido para monitoramento de ovinos. Após considerar diversas opções de plataformas de visualização, foi escolhida a ferramenta *Grafana* devido à sua facilidade de implementação, flexibilidade e integração com várias fontes de dados, incluindo o *MySQL*, que

Figura 13 – Exemplo de arquivo receptor de dados e *string* de conexão entre *PHP* e *MySQL*.

```

dados.php
1 <?php
2 include 'bd.php';
3
4 // Captura os dados enviados pela ESP32 via GET
5 $temperatura_lm35 = trim(strip_tags($_GET['temperatura_lm35']));
6 $bpm = trim(strip_tags($_GET['bpm']));
7
8 $sql = "INSERT INTO ovino_monitoring (temperatura_lm35, spo2, bpm)
9     VALUES ($temperatura_lm35, $spo2, $bpm)";
10
11 echo "Dados gravados com sucesso!";
12 echo "<br>";
13 echo "Temperatura LM35: $temperatura_lm35 °C";
14 echo "<br>";
15 echo "BPM: $bpm";
16
17 if (!$mysqli->query($sql)) {
18     die("Erro na gravação dos dados no BD: " . $mysqli->error);
19 }
20
21 $mysqli->close();
22 ?>

bd.php
1 <?php
2 header("Access-Control-Allow-Origin: *");
3
4 $mysqli = new mysqli('localhost', 'root', '', 'ovino_monitoring');
5
6 if ($mysqli->connect_error) {
7     die("Erro de conexão: (" . $mysqli->connect_error . ")");
8 }
9 ?>
10

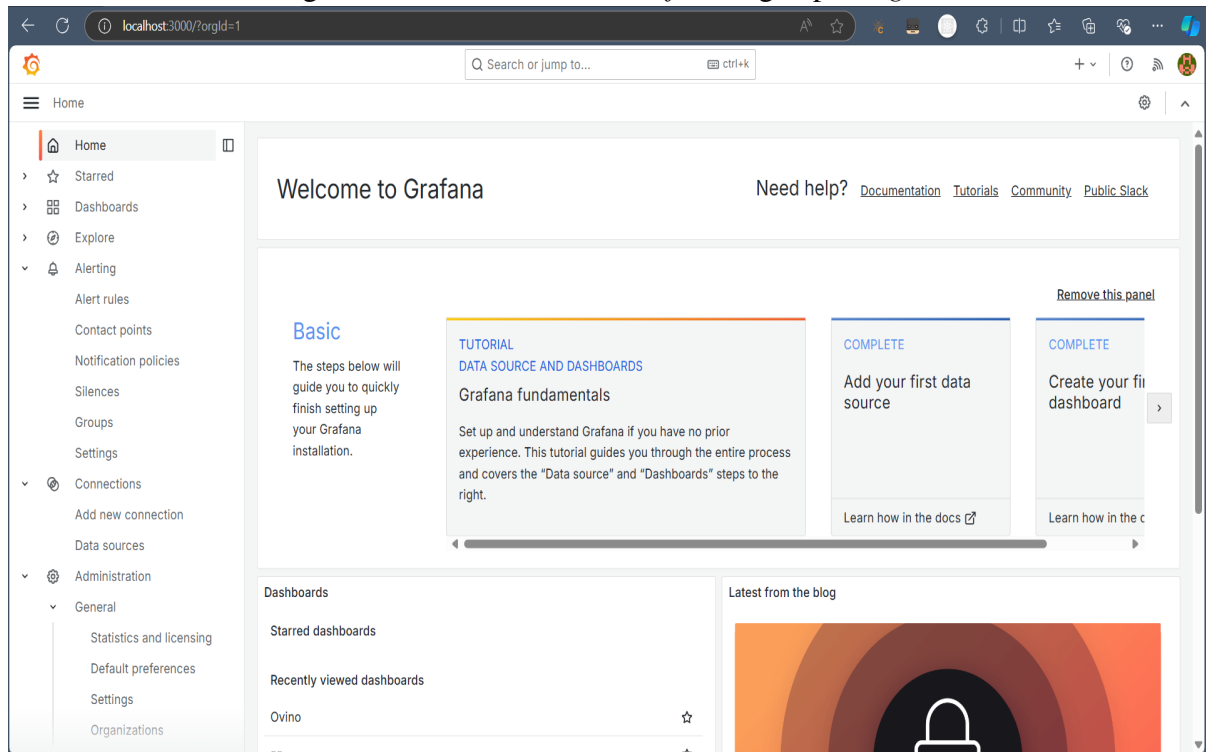
```

Fonte: Elaborado Pelo autor.

já era utilizado no sistema configurado no *XAMPP*. O *MySQL* é responsável pelo armazenamento dos dados coletados pelos sensores conectados ao microcontrolador *ESP Wroom 32*, como batimentos cardíacos (BPM) e temperatura corporal, registrados em intervalos de 5 minutos. O *XAMPP* facilita o desenvolvimento e gerenciamento do banco de dados local, permitindo fácil recuperação e análise dos dados. A Figura 14 apresenta a tela principal do *Grafana*, onde é possível visualizar os dados monitorados de maneira acessível. Esta ferramenta permite que os criadores acompanhem em tempo real a saúde dos animais.

O *Grafana* se destaca como uma plataforma gratuita e de código aberto, ideal para análise e visualização interativa de dados em tempo real. No projeto, ele foi configurado para se conectar ao banco de dados *MySQL* hospedado localmente no *XAMPP*, permitindo a visualização em tempo real dos dados de BPM e temperatura dos ovinos. A estrutura de dados no *MySQL* foi organizada para registrar os parâmetros fisiológicos a cada 5 minutos, facilitando a análise contínua e o monitoramento da saúde dos animais. A Figura 15, apresenta o *Grafana*, exibindo

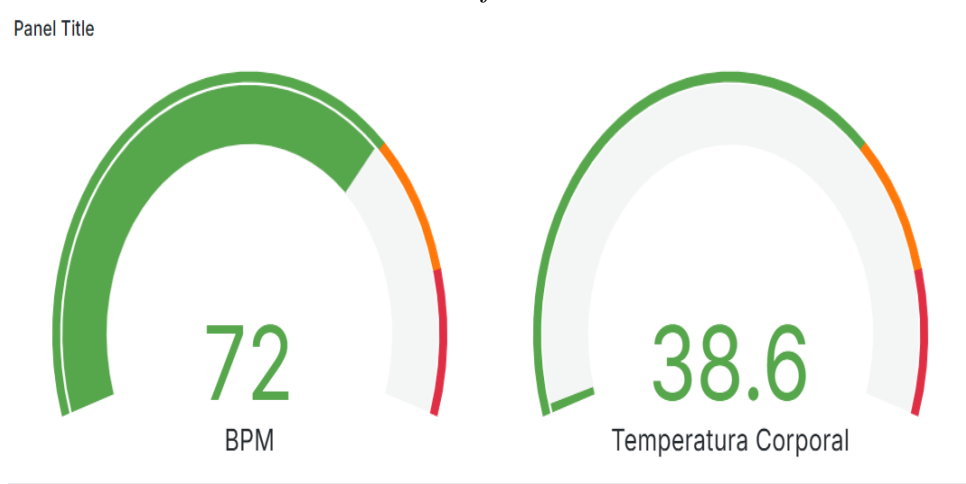
Figura 14 – Tela inicial do *Grafana* logo após *login*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

uma amostra de dados fisiológicos de um ovino, destacando a frequência cardíaca e a temperatura corporal.

Figura 15 – Visualização em tempo real do sinais fisiológicos monitorados do ovino pelo *Grafana*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma funcionalidade importante do *Grafana* é a capacidade de configurar diferentes visualizações para dados de dia e noite. Por exemplo, durante o período noturno, os batimentos cardíacos dos ovinos tendem a ser mais baixos e constantes, enquanto durante o dia, os valores

são um pouco mais elevados e estáveis. Esses comportamentos foram devidamente refletidos nos gráficos gerados pelo *Grafana*, facilitando a identificação de padrões e possíveis anomalias.

Além disso, o *Grafana* permite configurar alertas baseados em condições específicas, como variações anormais nos batimentos cardíacos ou temperaturas fora da faixa esperada, enviando notificações aos responsáveis quando necessário. Isso aumenta a eficácia no monitoramento da saúde dos ovinos, oferecendo suporte à tomada de decisões rápidas e precisas.

A interface amigável do *Grafana* também oferece filtros dinâmicos que permitem aos usuários selecionar e visualizar dados de diferentes ovinos individualmente ou em conjunto, conforme necessário. Outro benefício é a possibilidade de integrar o sistema de monitoramento com outras ferramentas e serviços de nuvem, o que abre a possibilidade de expandir o sistema para um cenário de produção mais amplo, utilizando plataformas como AWS ou *Microsoft Azure*.

Em resumo, a implementação do *Grafana* neste projeto proporcionou uma solução eficaz e de fácil gerenciamento para visualizar e monitorar os dados coletados pelo sistema de sensores. Sua flexibilidade e poder de integração permitiram a criação de um ambiente de monitoramento que contribuiu significativamente para a gestão da saúde dos ovinos, ajudando na detecção precoce de problemas e no aumento da eficiência produtiva.

## **5.6 Discussões**

A implementação do sistema de monitoramento utilizando LoRa para a ovinocultura no município de Solonópole, Ceará, apresentou resultados promissores no que diz respeito à coleta de dados fisiológicos em tempo real. Nesta seção, discutiremos os principais achados deste estudo e suas implicações para a pecuária de precisão, além de compará-los com a literatura existente.

### **5.6.1 Análise do sistema de monitoramento**

O desenvolvimento, construção e avaliação do sistema proposto neste trabalho, com o objetivo de criar uma solução eficiente para o monitoramento de sinais fisiológicos dos ovinos. O sistema foi projetado para fornecer informações relevantes que auxiliem na avaliação do bem-estar animal, permitindo intervenções rápidas e precisas. Para atingir esses objetivos, o dispositivo foi implementado e submetido a uma série de testes práticos a fim de verificar sua eficácia no ambiente rural. Todos os componentes selecionados, foram testados em condições

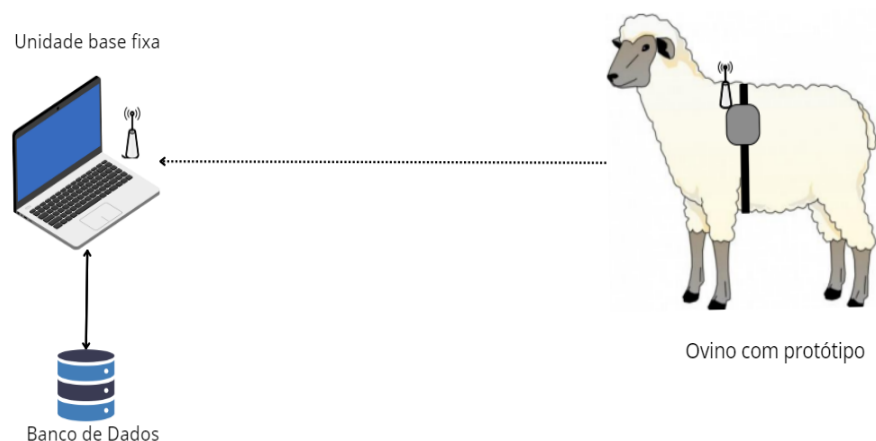
reais de operação, garantindo a integridade e a confiabilidade do sistema.

A taxa de aquisição e registro dos dados foi configurada para uma amostragem de cinco minutos entre cada coleta dos sinais fisiológicos (batimentos cardíacos e temperatura corporal), garantindo um volume adequado de dados para o monitoramento contínuo dos ovinos. Esse intervalo de tempo foi suficiente para captar variações importantes nos sinais e facilitar o processamento posterior, assegurando a confiabilidade dos dados.

O período de armazenamento dos dados é limitado para evitar envios frequentes e reduzir o consumo de energia, essencial em áreas rurais com acesso restrito a fontes de alimentação. A redução da frequência de transmissões otimiza o consumo energético dos módulos LoRa e dos sensores, prolongando a vida útil das baterias e garantindo maior autonomia do sistema no campo. A unidade móvel embarcada no ovino pode operar de forma contínua, enviando dados para o banco de dados.

A Figura 16 apresenta um sistema de monitoramento de ovinos. O protótipo usa um módulo LoRa e sensores *MAX30100* e *LM35* para capturar dados de temperatura corporal e batimentos cardíacos. Esses dados são enviados para um laptop que atua como *gateway* e, em seguida, armazenados em um banco de dados *MySQL*, acessado pelo *Grafana* para visualização pelo usuário final.

Figura 16 – Diagrama do sistema de monitoramento.



Fonte: Adaptado de Costa (2014).

A transmissão de dados pelo módulo LoRa pode alcançar distâncias de até 3 km em campo aberto, superando significativamente o limite observado em outros trabalhos, como o de Costa (2014), que registrou alcance máximo de 120 metros. Essa diferença reflete a otimização

do alcance do LoRa, especialmente vantajosa em ambientes rurais. Durante os testes, o sistema se mostrou plenamente funcional, sem interrupções, o que destaca o benefício do LoRa em aplicações que exigem comunicação estável e de longo alcance, ideal para monitoramento remoto em áreas extensas (Pereira (2023)). A Figura 17 mostra uma imagem de satélite do *Google Maps* que ilustra a localização dos testes. O ponto superior está identificado como o *Receptor*, a parte onde os dados são armazenados, e o ponto inferior como o *Emissor*, que representa o ovino equipado com sensores captando os sinais vitais. A distância entre os dois pontos é de 549,55 metros. O caminho entre eles é obstaculizado apenas por árvores, sem outras interferências significativas.

Figura 17 – Distância entre *Esp Wroom 32* emissora e receptora.



Fonte: Adaptada do *Google Maps*.

Os ovinos apresentaram um aumento significativo nas frequências cardíacas durante o período da tarde, com valores entre 77,83 BPM e 85,44 BPM, indicando uma resposta ao acúmulo de calor ao longo do dia. No entanto, durante o restante do dia, as frequências cardíacas se mantiveram mais estáveis, variando entre 66 BPM e 85 BPM. Esse comportamento sugere uma adaptação fisiológica dos animais às condições ambientais, possivelmente como uma estratégia para regular a temperatura corporal e dissipar o calor acumulado (Oliveira *et al.* (2011)). Os dados coletados durante os testes deste projeto revelaram uma diferença significativa nas frequências



cardíacas entre os períodos diurno e noturno. Durante a tarde, o ovino testado registrou os maiores batimentos por minuto, refletindo o comportamento fisiológico esperado da espécie. Durante o dia, as frequências cardíacas mantiveram-se entre 70 e 87 BPM, enquanto à noite esses valores variaram de 57 a 75 BPM, indicando um estado de repouso dos animais. Essa variação nas frequências cardíacas evidencia a adaptação dos ovinos às condições ambientais e seus ritmos naturais.

Ambos os trabalhos destacam a capacidade dos ovinos de se adaptarem às condições ambientais, mas o primeiro foca mais na resposta ao calor acumulado durante o dia. Este projeto, por outro lado, demonstra que é possível monitorar de forma contínua e sem a necessidade de intervenção humana frequente, permitindo observar as diferenças entre os períodos diurno e noturno, assim sendo possível detectar qualquer diferença fisiológica a qualquer momento, garantindo um monitoramento preciso e contínuo do bem-estar dos ovinos.

Como nos batimentos, os ovinos também mostram um pequeno aumento na temperatura corporal no período da tarde, durante a tarde foi registrando as maiores temperatura, chegando aos 40°C, durante o dia as temperaturas variaram entre 38°C e 40°C, houve uma correlação distinta e estreita com a temperatura retal dos animais expostos à radiação solar, sendo os efeitos quase lineares dentro dos limites observados (Assis *et al.* (1984)).

Neste projeto, apesar de realizarmos a medição da temperatura corporal do animal por métodos não invasivos, obtivemos resultados que se mostraram semelhantes aos encontrados em estudos anteriores que utilizaram a aferição retal em ovinos. As medições indicaram uma média de 38,6°C durante o dia e 38,2°C à noite. Observou-se também um aumento significativo da temperatura no período da tarde, alcançando até 39,9°C, o que sugere que as condições ambientais têm um impacto considerável na temperatura corporal dos ovinos.

A análise desses dados possibilitou a criação de padrões claros, facilitando o monitoramento contínuo e permitindo que anomalias fossem detectadas de forma rápida. A coleta ininterrupta de informações durante dois dias garantiu um volume de dados suficiente para identificar tendências e avaliar a saúde dos animais em tempo real, além de oferecer suporte para ajustes no manejo e na tomada de decisões preventivas.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho realizou um estudo sobre o desempenho de um sistema de monitoramento voltado para a ovinocultura, utilizando tecnologias de Internet das Coisas e a comunicação LoRa para coleta de dados fisiológicos em áreas rurais. O problema abordado foi a falta de soluções acessíveis e eficientes para o monitoramento de rebanhos em locais remotos, considerando que a maioria dos estudos concentra-se em outras áreas da pecuária. Com isso, buscou-se desenvolver um sistema que pudesse ser aplicado no manejo de ovinos, proporcionando aos criadores uma ferramenta eficiente para detectar anomalias e otimizar a saúde e bem-estar dos animais.

Para atender a esses objetivos, foi desenvolvida uma topologia lógica que serviu como base para a criação da infraestrutura física do sistema. Os dispositivos escolhidos, tais como sensores de temperatura corporal e de frequência cardíaca, responsáveis por monitorar os sinais vitais, foram integrados ao microcontrolador *ESP32*, que se comunica via LoRa. Após a implementação dos algoritmos para coleta, controle e transmissão dos dados, os componentes foram testados individualmente e, posteriormente, instalados no ambiente de criação de ovinos. O sistema foi submetido a testes em campo, onde os dados coletados foram armazenados em um servidor *MySQL* e visualizados em tempo real através do *Grafana*.

As métricas de avaliação incluíram a taxa de recebimento de pacotes de dados, o tempo de resposta da comunicação LoRa e a integridade dos dados transmitidos. A análise dos resultados indicou que a tecnologia LoRa apresentou tempos de comunicação satisfatórios, mesmo em um ambiente rural. Os únicos obstáculos no caminho eram árvores, que não interferiram na transmissão dos dados. Essas descobertas corroboram estudos anteriores que também observaram o bom desempenho da tecnologia em ambientes de baixa conectividade, como áreas rurais.

Com base nos resultados, a tecnologia LoRa se mostrou uma alternativa eficaz para o monitoramento em áreas rurais e remotas, contribuindo para a pecuária de precisão e o manejo mais eficiente dos ovinos. A visualização em tempo real dos sinais vitais dos ovinos permite ao criador acompanhar a saúde dos animais e tomar decisões rápidas em caso de variações nos parâmetros monitorados. Para trabalhos futuros, pretende-se expandir o uso desta tecnologia para outras áreas da pecuária, incorporando novas tecnologias e sensores mais avançados, como sensores de temperatura ambiente, GPS para localização dos animais e emissão de alertas quando saírem da área de pasto, bem como RFID para ajudar na identificação. Esta evolução contribuirá

para automatizar ainda mais os cuidados com ovinos, otimizando processos como alimentação, controle sanitário e bem-estar animal, resultando em maior eficiência e sustentabilidade na produção pecuária.

## REFERÊNCIAS

- ALELUIA, V. M.; SOARES, V. N.; CALDEIRA, J. M.; GASPAR, P. D. Livestock monitoring prototype implementation and validation. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, v. 30, n. 1, p. 53–65, 2023. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/127207>. Acesso em: 23 sep. 2023.
- ASSIS, V. A. Francisco de; FIGUEIREDO, A.; PANT, K. P. Variação da temperatura corporal de caprinos e ovinos sem-lã em sobral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 7, p. 915–919, 1984. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/15973>. Acesso em: 17 sep. 2024.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer networks**, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/222571757\\_The\\_Internet\\_of\\_Things\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/222571757_The_Internet_of_Things_A_Survey). Acesso em: 03 mar. 2023.
- AZEVEDO, H. H. F.; PACHECO, A.; PIRES, A. P.; NETO, J.; PENA, D. A. G.; GALVÃO, A. T.; FERRARI, E. D. M.; ALMEIDA, B.; BATISTA, T.; ARAÚJO, C. F. *et al.* Bem-estar e suas perspectivas na produção animal. **Pubvet**, v. 14, n. 1, p. a481, 2020. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/678>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- BERNARDI, A. C. d. C.; JÚNIOR, A. L.; PEREZ, N. B.; INAMASU, R. Y. Potencial de uso das tecnologias de agricultura e pecuária de precisão e automação. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170572/1/Documentos124.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2023.
- BERNARDI, A. d. C.; BERNDT, A.; GARCIA, A.; NOVO, A.; GUIMARAES, E. d. S.; PORTUGAL, J.; PEZZOPANE, J.; PALHARES, J.; JUNIOR, W. B. Aplicação da agricultura e pecuária de precisão na embrapa pecuária sudeste são carlos (sp). Embrapa Pecuária Sudeste, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1099214/aplicacao-da-agricultura-e-pecuaria-de-precisao-na-embrapa-pecuaria-sudeste-sao-carlos-sp>. Acesso em: 25 mai. 2023.
- CARVALHO, F. B. S. de; LEAL, B. G.; FILHO, J. V. dos S.; BAIOCCHI, O. R.; LOPES, W. T.; ALENCAR, M. S. de. Aplicacoes ambientais de redes de sensores sem fio. **Revista de tecnologia da informação e comunicação**, v. 2, n. 1, p. 14–19, 2012. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~brauliro.leal/pesquisa/Carvalho-1.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.
- COSTA, D. dos S. **MEDIDOR DE FREQUÊNCIA CARDÍACA E TEMPERATURA CUTÂNEA PARA PEQUENOS RUMINANTES**. 70 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Vale do São Francisco, 2014. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/ppgea/pesquisa/publicacoes-1/arquivos/daniel-dos-santos-costa.pdf>. Acesso em: 21 sep. 2023.
- DATASHEET, M. **Maxim Integrated Products**. [S. l.]: Inc, 2014. Accessed: 27 sep. 2024.
- DEVALAL, S.; KARTHIKEYAN, A. Lora technology-an overview. In: **IEEE. 2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)**. 2018. p. 284–290. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/LoRa-Technology-An-Overview-Devalal-Karthikeyan/e7423701c15d81c10545201b94dbf7a4f5e82844>. Acesso em: 17 abr. 2023.

DOMINGUES, O. Conteúdo da zootecnia geral. **BRAZILIAN JOURNAL OF AGRICULTURE-Revista de Agricultura**, v. 24, n. 5-6, p. 160–166, 1949. Disponível em: <https://www.fealq.org.br/ojs/index.php/revistadeagricultura/article/view/473>. Acesso em: 24 nov. 2023.

EBYTE. **User Manual for E32-915T20D**. [S. l.], 2021. Disponível em: [https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/e32-915t20d\\_usermanual\\_en\\_v1\\_6.pdf](https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/e32-915t20d_usermanual_en_v1_6.pdf). Acesso: 30 sep. 2024.

ESPRESSIF. **ESP32 Datasheet**. 2024. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf). Acesso: 27 sep. 2024.

FILHO, A. N.; KASPRZYKOWSKI, J. W. A. **O agronegócio da caprino-ovinocultura no Nordeste Brasileiro**. Banco do Nordeste do Brasil, 2006. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/183>. Acesso em: 20 out. 2023.

FILHO, F. H. C. d. S.; DESTER, P. S.; STANCANELLI, E. M.; CARDIERI, P.; NARDELLI, P. H.; CARRILLO, D.; ALVES, H. Performance of lorawan for handling telemetry and alarm messages in industrial applications. **Sensors**, MDPI, v. 20, n. 11, p. 3061, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/11/3061>. Acesso em: 19 abr. 2023.

FILHO, F. H. C. dos S. Estratégias de alocação de recursos em redes lorawan para inserção de alarmes. 2021. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1232976>. Acesso em: 21 abr. 2023.

GOMES, N. F.; MEDEIROS, V. W. C. de; PANDORFI, H.; GONÇALVES, G. E.; SANTANA, T. C.; COSTA, H. D. F. Desenvolvimento de um sistema computacional embarcado para aferição de Índice de conforto térmico aplicado ao bem-estar animal. In: SBC. **Anais do XIII Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais**. 2022. p. 71–80. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/362379955\\_Desenvolvimento\\_de\\_um\\_Sistema\\_Computacional\\_Embarcado\\_para\\_Afericao\\_de\\_Indice\\_de\\_Conforto\\_Termico\\_Aplicado\\_ao\\_Bem-estar\\_Animal](https://www.researchgate.net/publication/362379955_Desenvolvimento_de_um_Sistema_Computacional_Embarcado_para_Afericao_de_Indice_de_Conforto_Termico_Aplicado_ao_Bem-estar_Animal). Acesso em: 12 fev. 2023.

GOMES, R. D.; FONSECA, I. E.; ALENCAR, M. S. Protocolos multicanais para redes de sensores sem fio industriais. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v. 5, n. 2, p. 25–32, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/282731768\\_Protocolos\\_Multicanais\\_para\\_Redes\\_de\\_Sensores\\_sem\\_Fio\\_Industriais](https://www.researchgate.net/publication/282731768_Protocolos_Multicanais_para_Redes_de_Sensores_sem_Fio_Industriais). Acesso em: 12 fev. 2023.

INSTRUMENT, T. Lm35 datasheet. **LM35 Datasheet**, v. 1, 2016. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. Acesso: 27 sep. 2024.

MAGRANI, E. A internet das coisas no brasil. **Rio de Janeiro: FGV Editora**, 2018. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/b50af2ba-b001-4b1d-a1ad-5df985f6d1bb/content>. Acesso em: 13 mar. 2023.

MARTINS, J. M. **Zootecnia: Conceito, definição**. 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/22023>. Acesso em: 15 jun. 2023.

MORAES, R. E. de; SOARES, M. F.; VAZ, R. Z.; PEREIRA, G. M.; MASCARENHAS, M. W.; MOREIRA, S. M.; ARAUJO, L. d. A. P.; SILVEIRA, I. D. B. Perfil de consumo da carne ovina frente ao bem-estar animal na visão de produtores e consumidores. **Research**,

**Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e089108158–e089108158, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/8158/7296/116549>. Acesso em: 14 mar. 2023.

NASCIMENTO, E. d. O.; SANTOS, K. C. L. dos; SANTOS, G. dos; OLIVEIRA, D. de; SILVA, R. d. S.; ALMEIDA, F. N.; CARVALHO, B. C. de; ARBEX, W. Visão computacional aplicada à pecuária de precisão para determinação da condição corporal em bovinos. In: IN: WORKSHOP DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA GADO DE LEITE, 16., 2015... 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1073868>. Acesso em: 06 mar. 2023.

OLIVEIRA, D. P. de; OSTERNO, J. J.; PORTO, A.; CARVALHO, J. de; LIMA, M. d. C.; VASCONCELOS, A. de; LANDIM, A.; ROGERIO, M. Avaliação da frequência cardíaca e respiratória em ovinos de diferentes raças. In: IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 21., 2011, MACEIÓ. INOVAÇÕES .... 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43918/1/AAC-Avaliacao-da-frequencia.pdf>. Acesso em: 17 sep. 2024.

PAIVA, C.; JUNTOLLI, F.; CARVALHO, L.; BERNARDI, A. d. C.; TOMICH, T.; PEREIRA, L. Pecuária leiteira de precisão. In: VILELA, D.; FERREIRA, R. de P.; FERNANDES, EN; JUNTOLLI, FV (Ed ... , 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1065219>. Acesso em: 09 mai. 2023.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, SciELO Brasil, v. 13, p. 558–568, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/zrsddbNQGp5mTkDLnRGmFLm/>. Acesso em: 15 jul. 2023.

PEREIRA, R. L. Avaliação de desempenho e aplicação da tecnologia lora no monitoramento das colônias de abelha. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76473>. Acesso em: 13 fev. 2024.

PIERAZZOLI, E. T. S.; LOPES, J. C.; CAMARGO, S. da S. Proposta de sistema de baixo custo para o monitoramento de ovinos. **Memorias de las JAIIO**, v. 8, n. 4, p. 121–134, 2022. Disponível em: <https://ojs.sadio.org.ar/index.php/JAIIO/article/view/422>. Acesso em: 22 jun. 2023.

QIN, Z.; LI, F. Y.; LI, G. Y.; MCCANN, J. A.; NI, Q. Low-power wide-area networks for sustainable iot. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 26, n. 3, p. 140–145, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/328528856\\_Low-Power\\_Wide-Area\\_Networks\\_for\\_Sustainable\\_IoT](https://www.researchgate.net/publication/328528856_Low-Power_Wide-Area_Networks_for_Sustainable_IoT). Acesso em: 04 mar. 2023.

RAINERI, C.; LOPES, M. R. F.; STIVARI, T. S. S.; BARROS, C. S. de; NUNES, B. P.; GAMEIRO, A. H. As inovações tecnológicas na ovinocultura brasileira e seus efeitos na organização do sistema agroindustrial. **Pubvet**, PUBVET, v. 7, p. 2088–2188, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/311339446\\_As\\_inovacoes\\_tecnologicas\\_na\\_ovinocultura\\_brasileira\\_e\\_seus\\_efeitos\\_na\\_organizacao\\_do\\_sistema\\_agroindustrial](https://www.researchgate.net/publication/311339446_As_inovacoes_tecnologicas_na_ovinocultura_brasileira_e_seus_efeitos_na_organizacao_do_sistema_agroindustrial). Acesso em: 21 sep. 2023.

SANTOS, B. P.; SILVA, L. A.; CELES, C.; BORGES, J. B.; NETO, B. S. P.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. Internet

das coisas: da teoria à prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, v. 31, p. 16, 2016. Disponível em: <https://www.sbrc.com.br/sbrc/2016/Minicursos/MC-2016-31.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2023.

SANTOS, M.; ABELÉM, A.; RIKER, A. Um framework para gerenciamento da comunicação de múltiplos recursos e observadores em internet das coisas. In: SBC. **Anais do VII Workshop de Computação Urbana**. 2023. p. 121–130. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/courb/article/view/24576>. Acesso em: 27 mai. 2023.

SCHRAM, P.; MOYA, C. F. Bem-estar animal na ovinocultura no brasil: Revisão. **Pubvet**, v. 17, n. 01, 2023. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/2979>. Acesso em: 21 jan. 2024.

VALLE, E. do; VALLE, E. R. D. *et al.* Boas práticas agropecuárias: bovinos de corte: manual de orientações. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/897243>. Acesso em: 11 jul. 2023.

VIANA, J. G. A. Panorama geral da ovinocultura no mundo e no brasil. **Revista Ovinos**, v. 4, n. 12, p. 44–47, 2008. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~freitasjaf/artigosovinos/panoramaovinos.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2023.