

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
RONDÔNIA - *CAMPUS* JI-PARANÁ
SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO
DE SISTEMAS

Edson Fernando Souza Bezerra

**SISTEMA DE MONITORAMENTO INTELIGENTE DE REBANHOS
COM IOT E COMUNICAÇÃO LORA PARA GESTÃO DE SAÚDE E
LOCALIZAÇÃO EM ÁREAS RURAIS**

Ji-Paraná - RO
2025

EDSON FERNANDO SOUZA BEZERRA

**SISTEMA DE MONITORAMENTO INTELIGENTE DE REBANHOS
COM IOT E COMUNICAÇÃO LORA PARA GESTÃO DE SAÚDE E
LOCALIZAÇÃO EM ÁREAS RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - *Campus Ji-Paraná* para a obtenção do título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas..

Orientador: Prof. Dr. Wanderson Roger Azevedo Dias

Ji-Paraná - RO
2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Bezerra, Edson Fernando Souza.

Sistema de monitoramento inteligente de rebanhos com IoT e comunicação LoRa para gestão de saúde e localização em áreas rurais / Edson Fernando Souza Bezerra. - Ji-Paraná, 2025.

58 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Wanderson Roger Azevedo Dias.

Trabalho de Conclusão de Curso (Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Ji-Paraná, 2025.

1. Monitoramento de gado. 2. Internet das coisas. 3. Pecuária de precisão. I. Dias, Wanderson Roger Azevedo (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Cleuza Diogo Antunes, CRB-11/864

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wanderson Roger Azevedo Dias - IFRO

Presidente da Banca Examinadora

Prof. Me. Gleison Guardia - IFRO

Avaliador nº 1

Prof. Me. Walter Ferreira Siqueira - IFRO

Avaliador nº 2

Data da Defesa: 10 de Dezembro de 2025

Nota Final: _____

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo amor incondicional e pelos valores que me ensinaram. Aos meus irmãos, por serem meu porto seguro em todas as fases da vida. Aos meus familiares, que, de diferentes formas, contribuíram para o meu crescimento. E aos amigos, que compartilharam desafios e conquistas comigo. Cada um de vocês foi essencial para minha evolução pessoal e profissional. Sou profundamente grato por ter vocês ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força e perseverança ao longo desta caminhada.

À minha família, pelo apoio incondicional, pelo carinho e pelos ensinamentos que me guiaram até aqui. Aos meus pais, irmãos e demais familiares, minha eterna gratidão por sempre acreditarem em mim.

Aos meus amigos, que me incentivaram nos momentos de dificuldade e compartilharam comigo cada conquista.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Rondônia – Campus Ji-Paraná, pelo ensino de qualidade e pelo ambiente que proporcionou meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos professores, que foram fundamentais na construção do meu conhecimento, transmitindo com dedicação e paciência seus ensinamentos. Em especial, ao meu orientador, que me guiou com sabedoria, disponibilidade e apoio ao longo deste processo, contribuindo significativamente para a realização deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa jornada, meu muito obrigado!

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.”

Cora Coralina

RESUMO

A modernização da pecuária tem sido impulsionada pelo uso de tecnologias inovadoras, possibilitando um gerenciamento mais eficiente e preciso do rebanho. Este trabalho explora a implementação de IoT para realizar o monitoramento da localização e temperatura corporal do gado, utilizando microcontrolador ESP32, GPS, Rede LoRa e termômetro infravermelho, que permitirá a criação de um sistema eficiente de longo alcance na zona rural onde a conexão com a internet é mais complicado. O estudo baseia-se em trabalhos que demonstram os benefícios do uso de sensores e conectividade remota na identificação precoce de doenças, no controle do bem-estar animal e na otimização dos recursos da propriedade rural. A partir disso, é notável que a aplicação de um sistema de monitoramento em tempo real permite que os pecuaristas tomem decisões mais rápidas e assertivas, reduzindo perdas e aumentando a eficiência produtiva. Com o acesso contínuo às informações sobre a localização e a saúde do gado, os produtores podem minimizar riscos, melhorar o manejo do rebanho e reduzir custos operacionais.

Palavras-chave: Monitoramento de gado. Internet das Coisas. Pecuária de Precisão.

ABSTRACT

The modernization of livestock farming has been driven by the use of innovative technologies, enabling more efficient and precise herd management. This work explores the implementation of IoT to monitor cattle location and body temperature using an ESP32 microcontroller, GPS, a LoRa network, and an infrared thermometer. This will enable the creation of an efficient long-range system in rural areas where internet connectivity is more difficult. The study builds on research demonstrating the benefits of using sensors and remote connectivity in early disease identification, animal welfare control, and optimizing farm resources. It is clear that implementing a real-time monitoring system allows livestock farmers to make faster, more assertive decisions, reducing losses and increasing production efficiency. With continuous access to information on cattle location and health, producers can minimize risks, improve herd management, and reduce operating costs.

Keywords: Livestock monitoring. Internet of Things. Precision Livestock Farming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Microcontrolador ESP32	20
Figura 2 – Modulo LoRa	21
Figura 3 – Sensor Infravermelho	22
Figura 4 – Logs recebidos na Arduino IDE	29
Figura 5 – Resposta do Servidor com receptor LoRa	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
ESP32	Microcontrolador
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
LoRa	<i>Long Range</i> (tecnologia de comunicação de longo alcance)
ROM	<i>Read-Only Memory</i> (Memória Somente de Leitura)
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i> (Memória Somente de Leitura Programável e Apagável Eletricamente)
RTC	<i>Real-Time Clock</i> (Relógio de Tempo Real)
PIB	Produto Interno Bruto
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicativos)
REST	<i>Representational State Transfer</i> (Transferência de Estado Representacional)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	<i>Objetivo geral</i>	17
3.2	<i>Objetivos específicos</i>	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1	Agricultura de Precisão	18
4.1.1	<i>Agricultura de Precisão na Criação de Bovinos</i>	18
4.1.1.1	Monitoramento do Gado	18
4.1.2	<i>Pecuária de Precisão e o Uso de Tecnologias</i>	19
4.1.3	<i>Internet das Coisas (IoT) Aplicada à Pecuária</i>	19
4.2	Microcontrolador ESP32	19
4.3	Comunicação LoRa para Monitoramento Remoto	20
4.4	Sensor de Temperatura Infravermelho	21
4.5	Firmware	22
4.5.1	<i>Linguagem de Programação</i>	23
4.5.1.1	Linguagem C++	23
4.5.2	<i>Arduino IDE</i>	23
4.6	Engenharia de Software	24
4.6.1	<i>Astah</i>	25
4.6.2	<i>Metodologia Scrum</i>	25
5	METODOLOGIA	26
5.1	Metodologia de Pesquisa	26
5.1.1	<i>Estimativa de Custos do Protótipo</i>	26
5.2	Metodologia de Desenvolvimento do Software	26
5.2.1	<i>Procedimento de Teste em Bancada</i>	27
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29

6.1	Integração dos Componentes e Funcionamento Inicial	29
6.2	Avaliação da Comunicação LoRa	30
6.3	Leitura de Temperatura com Sensor Infravermelho	31
6.4	Precisão do GPS e Localização dos Animais	31
6.5	Discussão sobre o Desempenho Geral do Protótipo	32
6.6	Limitações Observadas	32
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	34
7.1	Trabalhos Futuros	34
	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICE A – PROJETO DE SOFTWARE	39

1 INTRODUÇÃO

A pecuária é uma das atividades mais representativas do agronegócio brasileiro, responsável por sustentar economicamente milhares de propriedades rurais e por manter o Brasil entre os maiores produtores e exportadores de carne bovina do mundo. Apesar de sua relevância econômica, o setor ainda enfrenta desafios significativos relacionados ao manejo eficiente do rebanho, à garantia do bem-estar animal e ao controle de perdas decorrentes de fatores como doenças, estresse térmico, predação ou furtos. Tais desafios tornam-se ainda mais acentuados em propriedades de criação extensiva, nas quais o rebanho ocupa áreas amplas e geograficamente dispersas, dificultando o monitoramento contínuo dos animais e a tomada de decisões ágeis por parte dos pecuaristas.

Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias digitais e a consolidação da Internet das Coisas (IoT) têm promovido profundas transformações na agricultura e na pecuária. Sensores, sistemas embarcados, redes de comunicação de longo alcance e algoritmos inteligentes passaram a permitir coleta, análise e transmissão de dados em tempo real, impulsionando o surgimento da pecuária de precisão. Essa abordagem tecnológica possibilitando o acompanhamento individualizado dos animais, fornecendo dados essenciais sobre saúde, localização, comportamento e condições ambientais. Com isso, propriedades rurais conseguem reduzir custos operacionais, otimizar recursos, minimizar riscos sanitários e aumentar a produtividade, tornando-se mais eficientes, seguras e sustentáveis.

Nesse contexto, surge a necessidade de soluções que integrem tecnologias acessíveis, robustas e autônomas, capazes de operar em regiões rurais remotas, onde a conectividade é limitada e o monitoramento tradicional apresenta baixa eficácia. A utilização de sistemas embarcados baseados em microcontroladores de baixo consumo, como o ESP32, aliados a módulos GPS para rastreamento geográfico, sensores infravermelhos para medição térmica e redes LoRa para comunicação de longo alcance, apresenta-se como uma alternativa viável e promissora. Essas tecnologias permitem o desenvolvimento de dispositivos capazes de registrar a localização dos animais, monitorar sua temperatura corporal e transmitir essas informações periodicamente, mesmo em locais distantes de infraestrutura urbana ou cobertura de internet convencional.

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um sistema embarcado IoT voltado para o monitoramento da temperatura e localização de bovinos, propondo uma solução de baixo custo, eficiente e compatível com as condições adversas do meio rural. O sistema consiste na integração entre ESP32, módulo GPS, rede LoRa e sensor de temperatura infravermelho, formando um protótipo funcional capaz de coletar dados em intervalos pré-definidos, armazená-los temporariamente e transmiti-los para uma base receptora. Essa estrutura permite ao produtor acompanhar informações essenciais para o manejo do rebanho, identificar precocemente alterações no comportamento ou no estado de saúde dos animais e agir de forma preventiva, reduzindo perdas e aumentando a eficiência produtiva.

Além disso, o projeto busca demonstrar como soluções tecnológicas acessíveis podem

contribuir para a modernização da pecuária, atendendo às demandas da pecuária 4.0 e alinhando-se às tendências contemporâneas de sustentabilidade, digitalização e otimização de recursos. O estudo apresenta uma revisão bibliográfica sobre agricultura e pecuária de precisão, descreve os componentes utilizados, detalha a metodologia de desenvolvimento do protótipo e analisa os testes de comunicação, leitura de dados e consumo energético. Por fim, discute os resultados obtidos, identifica limitações do protótipo e propõe direcionamentos para aprimorar o sistema em versões futuras.

2 JUSTIFICATIVA

A pecuária desempenha um papel fundamental na economia global e brasileira, se destacando como uma das principais atividades do agronegócio. O Brasil possui um dos maiores rebanhos bovinos comerciais do mundo, com mais de 238 milhões de cabeças, segundo dados do (*INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2024*). Além disso, o setor pecuário contribui significativamente para a economia nacional, representando parcela expressiva do PIB agropecuário e mantendo o país entre os maiores exportadores de carne bovina (*Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA, 2023*).

Apesar dessa relevância, os pecuaristas enfrentam desafios recorrentes, entre eles a dificuldade de localizar o rebanho em grandes extensões de terra, especialmente em sistemas de criação extensiva. Estudos da Embrapa indicam que propriedades destinadas à pecuária de corte em regiões como o Pantanal possuem áreas amplas e, muitas vezes, de difícil acesso, o que torna o manejo, o acompanhamento do rebanho e a realização de tratamentos de saúde uma tarefa complexa e demorada (*SANTOS et al., 2008*). Essa limitação operacional não apenas compromete o bem-estar animal, como também aumenta a vulnerabilidade das propriedades, favorecendo a ocorrência de crimes rurais, como o furto e o roubo de bovinos. De acordo com o relatório Diagnóstico da Criminalidade no Campo, elaborado pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) em parceria com o Instituto CNA, o furto e o roubo de gado figuram entre os crimes que mais geram prejuízos ao setor, impactando diretamente a produtividade e a segurança no meio rural (*CNA; INSTITUTO CNA, 2018*).

Nesse contexto, a aplicação de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), pode transformar a gestão pecuária, tornando-a mais eficiente e automatizada, além de aumentar a produtividade (*SEVEGNANI, 2023*). O uso de dispositivos ESP32 com GPS e LoRa possibilita o rastreamento contínuo do gado, mesmo em regiões com pouca ou nenhuma conectividade com a internet. A tecnologia LoRa permite a transmissão de dados em longas distâncias com baixo consumo de energia, o que é essencial para o funcionamento de sensores em áreas rurais (*LIMA, 2024*).

A implementação de um sistema embarcado IoT permitira coletadas de dados com maior precisão, contribuindo para a modernização da pecuária, melhorando o rastreamento do rebanho, reduzindo perdas e otimizando a logística e o manejo dos animais. Dessa forma, este estudo busca demonstrar como a integração entre tecnologia e agropecuária pode gerar impactos positivos, tornando a pecuária mais produtiva, sustentável e eficiente.

3 OBJETIVOS

3.1 *Objetivo geral*

Desenvolver e validar um sistema embarcado IoT capaz de monitorar, em tempo real, a localização geográfica e a temperatura corporal de bovinos em áreas rurais, utilizando microcontrolador ESP32, módulo GPS, sensor infravermelho e comunicação LoRa, a fim de auxiliar o produtor no manejo eficiente do rebanho, na identificação precoce de anomalias e na redução de perdas na pecuária extensiva.

3.2 *Objetivos específicos*

1. Projetar e montar o protótipo do dispositivo embarcado, integrando ESP32, módulo LoRa, módulo GPS e sensor de temperatura infravermelho, garantindo estabilidade elétrica e funcionalidade dos componentes;
2. Desenvolver o *firmware* responsável pelo controle do microcontrolador, captura de dados, gestão energética (*deep sleep*) e transmissão via rede LoRa;
3. Realizar testes de bancada para avaliar: funcionamento individual dos módulos, precisão das medições de temperatura, precisão e estabilidade das coordenadas GPS, alcance e confiabilidade da comunicação LoRa;
4. Analisar o desempenho do sistema, identificando limitações, consumo energético, estabilidade da transmissão e qualidade dos dados coletados;
5. Validar a viabilidade técnica da solução proposta como alternativa de baixo custo para a pecuária de precisão, evidenciando seus benefícios e possíveis aplicações em campo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, são apresentados conceitos e estudos relacionados à pecuária de precisão e às tecnologias utilizadas no projeto, como Internet das Coisas (IoT), comunicação LoRa, ESP32, sensores de temperatura.

4.1 Agricultura de Precisão

A Agricultura de Precisão baseia-se na detecção e no manejo da variabilidade espacial e temporal das lavouras ou plantações. Isso é feito através da coleta de dados por meio de sensores instalados nas áreas de cultivo, o que proporciona maior assertividade nas tomadas de decisões. O resultado é o aumento da produtividade e da qualidade das culturas (RESENDE *et al.*, 2010). Segundo Monteiro, Santos e Gonçalves (2021), a agricultura de precisão pode se dividir em duas partes. A primeira trata-se da agricultura de precisão de culturas, onde a tecnologia é aplicada para obter dados espaciais e temporais, com o objetivo de aprimorar a qualidade e o desempenho das culturas. Já a segunda refere-se à pecuária de precisão, onde a tecnologia é usada para capturar dados de cada animal individualmente, levando o produtor a obter melhores resultados.

4.1.1 Agricultura de Precisão na Criação de Bovinos

Com o surgimento de novas tecnologias, como sensores, câmeras e ferramentas de comunicação, torna-se possível desenvolver métodos e sistemas capazes de coletar e analisar dados de cada animal com precisão. Isso auxilia os produtores nas tomadas de decisão, contribuindo tanto para o aumento da produtividade do rebanho quanto para a preservação ambiental, além de aprimorar o manejo da propriedade de forma sustentável (MONTEIRO; SANTOS; Gonçalves, 2021).

4.1.1.1 Monitoramento do Gado

A utilização de tecnologias como GPS no monitoramento contínuo dos animais tem se tornado cada vez mais comum, permitindo a coleta de dados sobre seu comportamento, trajetórias de pastejo, velocidade de deslocamento, tempo de repouso, entre outros. Essas informações possibilitam compreender os hábitos individuais de cada animal, trazendo diversos benefícios, incluindo a melhoria na gestão do manejo e na utilização do pasto. Coleiras com sensores integrados são capazes de monitorar os comportamentos de ruminção, alimentação e repouso dos animais. Isso permite uma análise precisa dos dados e a identificação de eventos de cio com assertividade superior à da observação visual realizada por um humano (MONTEIRO; SANTOS; Gonçalves, 2021).

4.1.2 Pecuária de Precisão e o Uso de Tecnologias

Ter uma coleta de dados eficiente e de confiabilidade pode elevar a gestão da pecuária melhorando a produtividade das fazendas, além disso, é crucial ter um processamento desses dados para que as tomadas de decisões sejam corretas e não haja má interpretação das informações, retardando a medidas relacionadas a produção, ao manejo, comportamentos e saúde de cada animal, comprometendo a produtividade e ocasionando perda dos animais. A pecuária de precisão refere-se à aplicação de tecnologias avançadas para monitorar e gerenciar rebanhos de maneira mais eficiente. Esse conceito busca reduzir perdas, otimizar a produção e melhorar a qualidade dos produtos pecuários (CAVALCANTI; MACHADO; PAIVA, 2017).

A introdução da Internet das Coisas (IoT) no setor agropecuário permitiu a automação do monitoramento do gado, utilizando sensores para coletar dados em tempo real sobre a saúde, bem estar e reprodução (SANTOS; CARVALHO, 2022). Com esses dados, os pecuaristas podem tomar decisões estratégicas para evitar perdas e melhorar o manejo do rebanho, expandindo horizontes em relação a novos métodos de produção e cuidados, permitindo a descoberta de novas soluções para o setor pecuarista .

4.1.3 Internet das Coisas (IoT) Aplicada à Pecuária

A Internet das Coisas (IoT) permite conectar dispositivos à internet para monitoramento remoto. Na pecuária, sensores instalados nos animais coletam dados sobre saúde, localização e comportamento, que são transmitidos para um sistema de análise (SEVEGNANI, 2023).

A Pecuária tem focado em otimizar e elevar a produção animal a outro patamar utilizando a tecnologia como aliada e aplicando a individualização de cada animal, em vez de considerá-lo apenas como parte do rebanho, ainda mais quando se trata de animais de grande porte como é o caso do gado. A utilização da Internet das Coisas tem ajudado nesse processo, coletando um volume cada vez maior de forma individual, dados relacionados a localização, saúde, comportamento animal, dados ambiental que interfere diretamente no bem estar do animal, um bom exemplo são as ondas de calor intensas, especialmente no Brasil, que impactam diretamente a pecuária e demais atividades agropecuárias, como evidenciado KROEF *et al.* (2025). Com a IoT realizando a coleta de dados em tempo real com precisão, é possível analisar informações e tomar medidas que melhoram a produtividade, reduzem perdas, otimizam a economia e minimizam a necessidade de intervenção humana.

4.2 Microcontrolador ESP32

A IoT está se tornando cada vez mais presente no agronegócio principalmente devido ao seu baixo custo, tornando-se uma solução acessível para pequenos e grandes produtores. Além disso, permite a integração de sensores e outras tecnologias como GPS, em um único dispositivo, transmitindo dados com precisão e baixo consumo de energia.

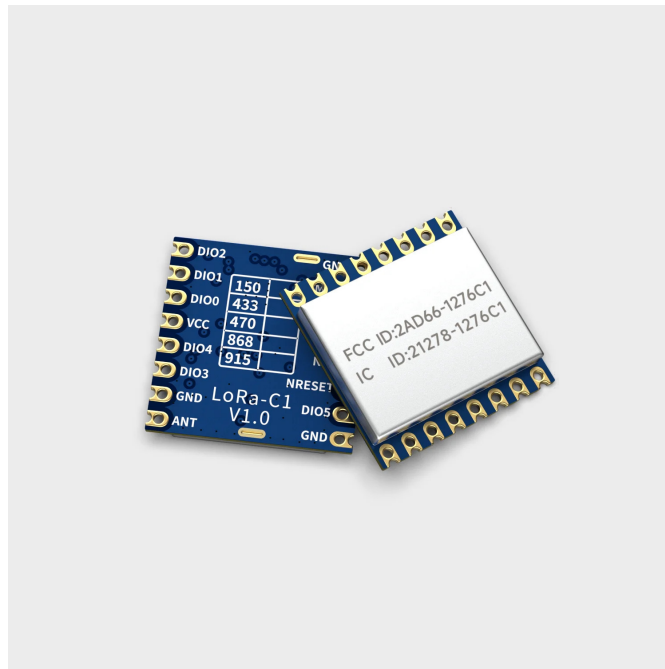


Figura 2 – Modulo LoRa

Fonte: <https://pt.aliexpress.com/i/32824079188.html>, 2025.

4.4 Sensor de Temperatura Infravermelho

Sensores infravermelhos (ver Figura 3), são dispositivos que detectam a radiação térmica emitida por objetos e organismos, permitindo a medição da temperatura sem contato físico. Esses sensores são amplamente utilizados em aplicações industriais, médicas e agropecuárias devido à sua precisão, rapidez e capacidade de operação em ambientes adversos (MOURA, 2024).

Na pecuária, a medição precisa da temperatura dos animais é fundamental para o monitoramento da saúde, identificação precoce de doenças e avaliação do estresse térmico. O uso de sensores infravermelhos elimina a necessidade de métodos invasivos, como termômetros retais, que podem causar estresse nos bovinos e demandam maior tempo e mão de obra (RITA; GASPAR; GARCIA, 2017).

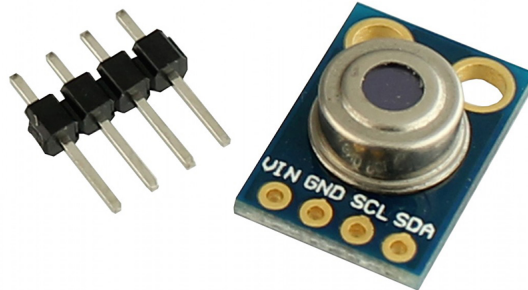


Figura 3 – Sensor Infravermelho

Fonte: <https://tecmicro.ao/produto/sensor-de-temperatura-infravermelho-mlx90614/r>, 2025.

4.5 Firmware

O termo *firmware* refere-se ao conjunto de instruções de software que são gravadas permanentemente na memória de dispositivos eletrônicos, geralmente em memória não volátil como ROM (*Read-Only Memory*), EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) ou *flash*. Ele atua como uma ponte entre o hardware e o software, sendo responsável por controlar e gerenciar as funcionalidades básicas de um equipamento (STALLINGS, 2017). Diferente dos softwares tradicionais que são armazenados em mídias removíveis ou sistemas operacionais instalados, o *firmware* é executado diretamente pelo hardware, sendo essencial para a inicialização e operação do dispositivo. Em sistemas embarcados, como microcontroladores e sensores utilizados em aplicações de Internet das Coisas (IoT), o *firmware* é o elemento responsável por interpretar as instruções programadas e realizar a comunicação com os periféricos.

Segundo Oliveira e Andrade (2010), não basta que o hardware esteja corretamente montado, é essencial que ele seja acompanhado por um software adequado que o controle. Em sistemas embarcados, essa função é desempenhada pelo *firmware*, que representa o conjunto de regras responsáveis por reger o funcionamento do sistema. O *firmware* de um sistema embarcado pode ser criado em diversas linguagem de programação semelhante aos sistemas de computadores pessoais.

4.5.1 Linguagem de Programação

Existem diversas de linguagem de programação que possuem características diferentes e sendo utilizada para resolução de determinados tipos de aplicações, podendo ser dividida em linguagem de baixo nível e linguagem de alto nível. A linguagem de baixo nível faz parte da camada mais baixa de um software dispensando a necessidade de convertê-la para que o processador possa compreender as instruções, trazendo flexibilidade na manipulação dos registradores do processador, a linguagem mais baixa desse nível é conhecida como linguagem de máquina, que é a verdadeira linguagem dos processadores sendo composta de *bits*, o exemplo mais conhecido de linguagem de baixo nível é a linguagem *Assembly*.

Já na linguagem de alto nível as estruturas de controle são abstraídas, sendo necessário a conversão da linguagem utilizada para linguagem de máquina através de compilador podendo gerar um código maior após sua conversão, outra característica da linguagem de alto nível é a distinção da programação estruturada onde a execução ocorre de forma sequencial, diferente da programação orientada a objetos que organiza a programação em objetos (componente que segue a estrutura e padrão de uma classe) tendo como principais características a abstração, polimorfismo, herança e o encapsulamento (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010).

4.5.1.1 Linguagem C++

A linguagem de programação C++ foi desenvolvida com base na linguagem C mas que contém as características de orientação a objetos, verificação de tipagem, herança básica, argumento de funcionamento padrão, entre outros. Embora a orientação a objetos seja seu principal ponto forte, a linguagem C++ também é multiparadigma, trazendo flexibilidade na hora de programar, além disso, C++ é conhecida por ser uma linguagem de nível médio, estando entre as linguagens de baixo e alto nível, podendo ser usada na criação de sistemas embarcados, comunicação de máquina, jogo, sistemas operacionais. (Código Fonte TV, 2022).

A linguagem de Programação C é uma linguagem de propósito geral, mas foi especialmente desenvolvida para a criação de sistemas operacionais e seus utilitários, trazendo flexibilidade para criar sistemas e programas que manipulam recursos dos computadores, sendo muito associada à criação do sistema operacional Unix. Sendo assim a linguagem também traz essas características já que sua criação foi baseada na linguagem C, e C está presente como um subconjunto da linguagem C++ (AGUILAR, 2008).

4.5.2 Arduino IDE

A criação de um programa ocorre por etapas, iniciando-se na mente do programador com objetivo de resolver um problema, após essa idealização o programa passa a ser escrito em um editor de texto que irá guardá-lo em um arquivo conhecido com **código-fonte** esse arquivo, finalizando sua escrita e estando pronto para a execução o **código-fonte** precisa ser transformado

em linguagem de máquina, caso a etapa de tradução do código para a linguagem de máquina seja bem sucedida, acontece o enlace das bibliotecas utilizadas pelo código, esse enlace ocorre através de um montador, ao final desse processo é gerado o arquivo executável do programa. Existem programas conhecidos como IDE (*Integrated Development Environment*), que se trata de um ambiente integrado de desenvolvimento, que possuem o editor, compilador e montador e outras ferramentas em conjunto, para facilitar e auxiliar o desenvolvedor na criação de um programa (AGUILAR, 2008).

O Arduino IDE é um ambiente de desenvolvimento integrado que facilita o desenvolvimento e transferência de um software de forma que não necessite de conexão com a internet para serem utilizados em hardware Arduino, a transferência e comunicação com o hardware é feita através do cabo, que conecta a placa Arduino ao computador. Além de todas as características necessárias nas etapas de criação de um software, o Arduino IDE também possui características como barra de ferramentas com botões de funções comuns, contém console para exibição de saída de texto do software, e também conta com área de mensagens que mostra os *feedback* de salvamento, exportação e erros que podem ocorrer (ALJUNDI, 2025).

4.6 Engenharia de Software

A engenharia de software foi criada para solucionar problemas de complexidade, qualidade e a falta no cumprimento de prazo na entrega, que elevavam o custo no desenvolvimento de um software. Para otimizar a qualidade e a produtividade de um software, conta-se com ferramentas, métodos e processo presentes na engenharia de software que dão apoio aos desenvolvedores no processo de desenvolvimento de um software (HIRAMA, 2011).

Segundo Moraes e Zanin (2020) a escolha e a utilização das ferramentas escolhidas no processo de desenvolvimento de um software depende da finalidade ao qual ela será utilizada, no caso de um software que utiliza a estrutura de orientação a objeto é comum o uso da Linguagem de Modelagem Unificada (UML) para a representação visual dos dados e informações que um software possui, possibilitando a criação de elementos, diagramas e relacionamentos sejam criados permitindo detalhar informações do software.

Para entregar o software dentro do prazo e com qualidade de forma que garanta a satisfação das partes interessadas, são utilizados os processos de especificação, projeto, desenvolvimento e teste. Esses processos estão presentes nos métodos ágeis sendo aplicados de forma intercalável juntamente com os princípios dos métodos ágeis, para que a equipe de desenvolvimento consiga entregar um produto de forma ágil e com qualidade, além de garantir a satisfação dos clientes (VETORAZZO, 2018).

4.6.1 Astah

O Astah é um conjunto de ferramentas de modelagem que permite a criação e visualização de UML, diagramas, fluxogramas, mapas mentais entre outros. As ferramentas Astah traz na sua essência a simplicidade, qualidade e uma junção de recursos que facilitam a utilização para os usuários, além de conter uma vasta biblioteca de componentes suprimindo a maioria das necessidades dos usuários na diagramação. Outro ponto é a variedades de planos que o Astah oferece para cada uma de suas ferramentas atendendo diversas necessidade e oferecendo flexibilidades aos usuários (ASTAH, 2025).

4.6.2 Metodologia Scrum

O Scrum é um *Framework* utilizado na gestão da maioria dos projetos de desenvolvimento de software trazendo diversos benefícios ao ser implementado e utilizado em um projeto, permitindo a redução de risco e gerando maior valor nas entregas de um projeto, além de facilitar a forma de lidar com imprevisto durante os processos, transformando-os em vantagens que elevam a competitividade e alavancam a produtividade das equipes, sendo assim, aumentando a qualidade dos produtos entregues (SABBAGH, 2013).

Segundo Sabbagh (2013) o Scrum é iterativo e incremental onde o produto é criado em ciclos e a cada ciclo é gerado um incremento estável e funcional do produto que será agregado a parte do produto que já está pronta. Esses ciclos são referenciado no Scrum como **Sprints**, os Sprints devem conter tamanhos fixos e devem acontecer de forma sequencial e sem intervalo entre elas, cada Sprint é composto por reunião de planejamento, desenvolvimento do produto, reunião diárias, reunião de revisão, reunião de retrospectivas entre outras. Ao final de cada Sprint o time de desenvolvimento gera um incremento do produto final, esses incrementos tratam-se de funcionalidades prontas.

O Scrum utiliza um quadro visual que auxilia a equipe na organização do *backlog*, o qual consiste em uma lista priorizada de funcionalidades ou requisitos definidos com base em sua relevância para a geração de valor ao cliente. Além disso, esse quadro possibilita a visualização das tarefas pertencentes à Sprint em andamento, oferecendo uma visão clara das atividades em execução. Essa prática coloca em evidência o princípio da transparência do Scrum, que pressupõe que todos os membros da equipe estejam cientes do que está acontecendo e dos objetivos que se busca alcançar (VETORAZZO, 2018).

5 METODOLOGIA

5.1 Metodologia de Pesquisa

Este trabalho propões uma abordagem metodológica qualitativa, com o objetivo de compreender de que forma a Internet das Coisas (IoT) pode contribuir para o cuidado, o bem-estar e a saúde dos rebanhos, por meio do monitoramento da localização e da temperatura do gado no pasto. A pesquisa teve caráter exploratório e descritivo, com base em um estudo bibliográfico. Foram analisados artigos científicos e fontes especializadas *online*, a fim de identificar tecnologias relevantes como ESP32, rede LoRa, GPS e termômetro infravermelho e suas aplicações práticas na pecuária. A análise buscou sintetizar como essas soluções foram utilizadas no contexto do agronegócio, destacando seus impactos na gestão das fazendas e na eficiência da criação de gado.

5.1.1 Estimativa de Custos do Protótipo

Para estimar a viabilidade econômica da solução proposta, foi realizado o levantamento dos custos de todos os materiais utilizados na construção da coleira inteligente. A estimativa refere-se ao valor médio de mercado dos componentes empregados na fase de desenvolvimento do protótipo.

Os componentes utilizados incluem o microcontrolador ESP32, módulo de comunicação LoRa, sensor de temperatura infravermelho. Com base nos valores médios de mercado, o custo total aproximado da montagem do protótipo é de R\$ 350,00 por unidade. O valor apresentado representa o custo real do protótipo usado nos testes desta pesquisa, podendo sofrer variações conforme fornecedores e escala de produção.

5.2 Metodologia de Desenvolvimento do Software

Este projeto tem como finalidade o desenvolvimento de um sistema embarcado para monitorar, em tempo real, a localização e a temperatura do gado no pasto. A coleta desses dados visa otimizar a gestão da criação, reduzindo custos e perdas de animais, além de fornecer informações precisas que auxiliem na tomada de decisões sobre o manejo do rebanho. Com base nos estudos realizados anteriormente, os componentes selecionados para o sistema foram: ESP32, módulo LoRa, módulo GPS e módulo de termômetro infravermelho.

Para integrar os módulos necessários ao funcionamento do sistema, foi adotada uma configuração de hardware que reúne o microcontrolador ESP32, o módulo GPS e o módulo transmissor LoRa em uma mesma plataforma, permitindo reduzir o número de conexões externas e simplificar a montagem do protótipo. Nessa estrutura, apenas o sensor de temperatura infravermelho precisou ser adicionado separadamente. Com base nisso o circuito eletrônico do protótipo foi elaborado considerando a conexão adequada desses módulos, garantindo alimentação com-

patível, comunicação entre o microcontrolador e os sensores e estabilidade do conjunto para o monitoramento contínuo. A implementação seguiu os padrões recomendados pelos fabricantes de cada componente.

Para o funcionamento do sistema, foi desenvolvido um *firmware* contendo as instruções responsáveis por controlar a comunicação entre o microcontrolador ESP32 e os módulos GPS, LoRa e o termômetro infravermelho. O desenvolvimento do *firmware* foi realizado na plataforma Arduino IDE, onde todo o código foi escrito, compilado e transferido para o ESP32. A linguagem de programação utilizada foi o C++, por ser considerada de nível médio, permitindo o controle eficiente dos recursos computacionais. Além disso, o C++ é amplamente adotado em sistemas embarcados, como é o caso deste projeto.

Com base no estudo realizado sobre engenharia de software, foi utilizada a ferramenta Astah para a criação de diagramas UML, com o objetivo de detalhar e organizar as informações durante o processo de desenvolvimento do projeto. Além disso, foi adotada a metodologia Scrum para otimizar a gestão do projeto, aumentando a qualidade, reduzindo riscos e agregando maior valor às entregas finais. O uso do Scrum também proporcionou uma visão mais clara dos objetivos alcançados ao término do desenvolvimento. Com o objetivo de detalhar mais os requisitos necessário para a criação e desenvolvimento do projeto, recorreremos ao documento de requisitos que está presente no APÊNDICE I.

Conforme a metodologia Scrum usamos os artefatos de *Product Backlog*, tratando-se de uma lista de atividades relentes a serem cumpridas em determinado prazo. Também adotamos o *Sprint Backlog* que determina as realização de tarefas em cada ciclo de desenvolvimento e a entrega de incrementos que gerem valor para o produto final. Estes artefatos estão contidos no APÊNDICE I.

5.2.1 Procedimento de Teste em Bancada

Para validar o funcionamento do protótipo desenvolvido, foi realizada uma etapa de testes em bancada, utilizando a placa microcontroladora ESP32 integrada aos módulos de comunicação LoRa, ao módulo GPS e ao sensor infravermelho. Durante os testes, o dispositivo foi configurado para coletar dados de latitude, longitude, curso e velocidade por meio do módulo GPS. Além disso, foram definidas as configurações necessárias para a coleta da temperatura corporal dos animais, utilizando o sensor infravermelho, dispensando contato físico.

Também foram configuradas rotinas para registrar a duração de funcionamento e o nível de bateria, dados obtidos diretamente pelo microcontrolador ESP32. Paralelamente, o ESP32 recebeu as configurações responsáveis pelo controle dos módulos mencionados anteriormente, bem como dos parâmetros de operação do módulo de transmissão LoRa para a transmissão dos dados coletados.

Os testes em bancada tiveram como objetivo verificar a estabilidade do firmware, a pre-

cisão da leitura dos sensores, a consistência dos dados transmitidos e a autonomia energética do dispositivo. As informações foram coletadas a partir dos logs gerados na Arduino IDE e também por meio de um servidor que utiliza o receptor LoRa para verificar a transmissão dos dados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento do protótipo do sistema embarcado IoT para monitoramento da temperatura e localização do gado permitiu avaliar a viabilidade técnica da solução proposta e compreender os desafios envolvidos na integração dos módulos utilizados. Os resultados obtidos nos testes em bancada serviram como base para análise de desempenho, limitações e potencial de aplicação do sistema no contexto da pecuária de precisão.

Durante os testes em bancada, os *logs* registrados na Arduino IDE (ver Figura 4), evidenciaram o correto funcionamento de cada etapa do *firmware*, incluindo a leitura do sensor infravermelho, a coleta das coordenadas GPS, o cálculo da velocidade e do curso, além da verificação do nível de bateria. Os registros demonstraram que os dados eram adquiridos de forma estável e contínua, permitindo monitorar o comportamento do dispositivo ao longo de todo o período de operação. Esses logs funcionaram como evidência técnica da consistência do protótipo, mostrando que o fluxo de captura e preparação dos dados ocorreu conforme projetado.

```

21:43:02.243 -> Monitoramento de Temperatura e localização
21:43:02.243 ->
21:43:02.243 -> --- INICIALIZANDO TERMOMETRO INFRAVERMELHO ---
21:43:02.243 -> Termometro inicializado
21:43:02.243 -> Temperatura inicial: 24.6°C
21:43:02.243 ->
21:43:02.243 -> --- INICIALIZANDO LORA ---
21:43:02.278 -> LoRa inicializado com sucesso em: 915.00MHz
21:43:02.278 ->
21:43:02.278 -> Sats HDOP Latitude Longitude Fix Date Time Date Alt Course Speed Card Chars Se
21:43:02.278 -> (deg) (deg) Age Age (m) --- from GPS ---- RX
21:43:02.278 -> -----
21:43:17.274 -> 6 2.3 -10.882867 -61.968369 64 12/02/2025 01:45:00 65 152.60 153.47 3.24 SSE 8681 31
21:43:17.306 -> --- TERMOMETRO INFRAVERMELHO ---
21:43:17.306 -> Temperatura Ambiente: 26.4°C
21:43:17.306 -> Temperatura Objeto: 26.5°C
21:43:17.306 -> ↳ Mudança: 24.6°C → 26.5°C
21:43:17.306 -> --- STATUS DA BATERIA ---
21:43:17.306 -> Bateria Conectada: Sim
21:43:17.306 -> Status de Carga: Carregando
21:43:17.306 -> Tensão da Bateria: 3.75V
21:43:17.306 -> Nível Estimado: 50%
21:43:17.306 -> -----
21:43:17.348 -> Enviando pacote: ID=COL001;LAT= -10.882867;LON= -61.968369;COURSE= 153.47;SPEED= 3.24;BAT_CONN=I
21:43:17.348 ->
21:43:22.268 -> Pacote enviado via LoRa

```

Figura 4 – Logs recebidos na Arduino IDE

Elaborado pelo autor 2025.

6.1 Integração dos Componentes e Funcionamento Inicial

A integração entre o microcontrolador ESP32, o módulo de comunicação LoRa, o módulo GPS e o sensor infravermelho demonstrou ser tecnicamente viável. Durante os testes de bancada, foi possível validar a comunicação entre os dispositivos e assegurar que cada módulo desempenhasse sua função conforme o esperado.

A leitura dos dados de temperatura e localização ocorreu em ciclos definidos de 5 mi-

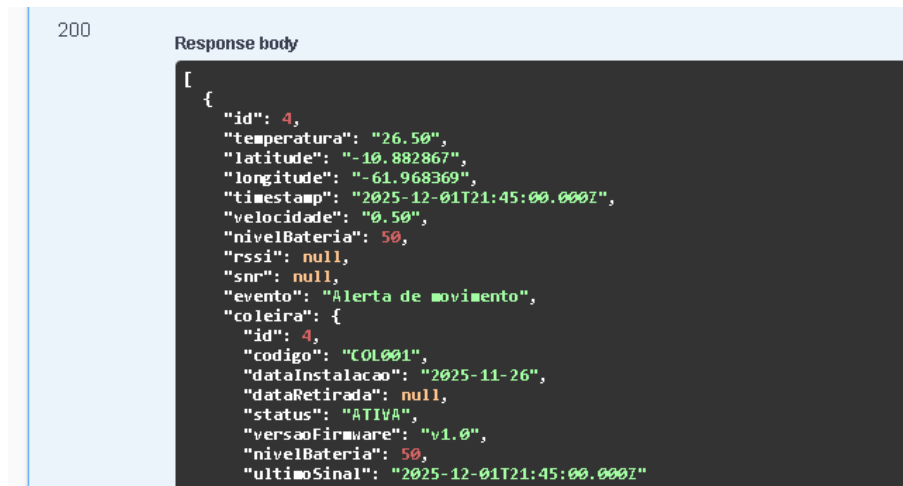
nutos. Nesses intervalos, é aplicado o Deep Sleep (sono profundo), responsável por desligar o ESP32 e seus periféricos por um determinado tempo para reduzir o consumo de energia. Apenas o Relógio de Tempo Real (RTC) e o GPS se mantêm ativos: o primeiro para monitorar o tempo do evento, e o segundo para não perder a comunicação e a localização do animal. O *firmware* conseguiu realizar o processamento e envio dessas informações de maneira eficiente. Esse desempenho confirma que a arquitetura do sistema é adequada para aplicações de monitoramento remoto em áreas rurais, onde a conectividade tradicional é limitada.

Além disso, durante os testes foi possível observar o comportamento energético do dispositivo ao longo dos ciclos configurados. A cada leitura e transmissão, o *firmware* retornava ao modo Deep Sleep, reduzindo significativamente o consumo e permitindo que a energia fosse utilizada de forma mais eficiente. Embora não tenha sido possível realizar uma medição detalhada da corrente consumida, o monitoramento da variação de tensão ao longo das horas de funcionamento indicou uma descarga gradual compatível com o ciclo de operação adotado. Esses resultados sugerem que o uso do modo de baixo consumo contribui diretamente para prolongar a autonomia da bateria, mesmo considerando que o componente utilizado já apresentava desgaste natural devido ao uso contínuo em etapas anteriores de prototipagem.

6.2 Avaliação da Comunicação LoRa

A transmissão dos dados via tecnologia LoRa apresentou bons resultados em termos de estabilidade e baixo consumo energético. Nos testes realizados, mesmo em distâncias superiores a um quilômetro, foi possível manter a comunicação com pouca perda de pacotes, evidenciando a robustez dessa tecnologia em ambientes com vegetação ou pequenas interferências físicas. Esses resultados estão alinhados com estudos prévios, como os de (LIMA, 2024) e (REZENDE, 2023), que destacam o potencial do LoRa como solução de longo alcance para cenários rurais. A eficiência energética também foi um ponto positivo, permitindo prever que o sistema pode operar por longos períodos com baterias de baixa capacidade.

A transmissão dos dados também foi validada por meio de um servidor que possui a antena receptora, utilizando a interface disponibilizada no Swagger (ver Figura 5), ferramenta amplamente utilizada para documentação e teste de APIs REST. Os testes confirmaram que os pacotes enviados via LoRa eram recebidos corretamente pelo servidor, exibindo informações como latitude, longitude, velocidade, curso, temperatura corporal e nível de bateria. Os registros apresentados no Swagger comprovaram a integridade dos dados transmitidos e a eficácia da comunicação entre o dispositivo em campo, fortalecendo a confiabilidade da solução proposta.



```
200
Response body
[
  {
    "id": 4,
    "temperatura": "26.50",
    "latitude": "-10.882867",
    "longitude": "-61.968369",
    "timestamp": "2025-12-01T21:45:00.000Z",
    "velocidade": "0.50",
    "nivelBateria": 50,
    "rssi": null,
    "snr": null,
    "evento": "Alerta de movimento",
    "coleira": {
      "id": 4,
      "codigo": "COL001",
      "dataInstalacao": "2025-11-26",
      "dataRetirada": null,
      "status": "ATIVA",
      "versaoFirmware": "v1.0",
      "nivelBateria": 50,
      "ultimoSinal": "2025-12-01T21:45:00.000Z"
    }
  }
]
```

Figura 5 – Resposta do Servidor com receptor LoRa

Elaborado pelo autor 2025.

Durante os testes em bancada, também foi possível observar uma variação natural na intensidade do sinal LoRa, perceptível nos registros de comunicação recebidos pelo servidor. Essa oscilação ocorreu principalmente devido ao posicionamento físico dos módulos, à presença de estruturas metálicas no ambiente e a pequenas interferências eletromagnéticas locais. Ainda assim, a tecnologia demonstrou boa resistência a essas variações, mantendo a recepção estável dos pacotes e confirmando a robustez do LoRa mesmo em condições não ideais. Essa observação reforça a adequação da tecnologia para cenários rurais, onde a intensidade do sinal pode oscilar conforme relevo, vegetação ou distância entre os dispositivos.

6.3 Leitura de Temperatura com Sensor Infravermelho

Os resultados referentes ao sensor de temperatura infravermelho mostraram que o dispositivo é capaz de fornecer leituras consistentes e rápidas, sem contato físico com o animal. Esse comportamento reforça a aplicabilidade da tecnologia em sistemas de bem-estar animal, reduzindo estresse e permitindo o monitoramento contínuo da saúde do gado.

Entretanto, observou-se que a temperatura registrada corresponde à temperatura superficial, o que pode sofrer variações em função de fatores externos, como clima e incidência solar. Tais limitações não comprometem o uso do sensor, mas apontam a necessidade de calibração e validação adicional durante a fase de testes em campo.

6.4 Precisão do GPS e Localização dos Animais

O módulo GPS apresentou leituras precisas em ambiente aberto, registrando coordenadas com erro aceitável para aplicações de rastreamento. Embora interferências atmosféricas e

barreiras físicas possam causar variações na precisão, os resultados obtidos foram suficientes para garantir a identificação da posição geral dos animais em pastagens extensas.

Essa funcionalidade é particularmente importante na pecuária extensiva, onde a localização manual do rebanho demanda tempo e mão de obra. O sistema se mostra promissor para auxiliar pecuaristas na busca rápida de animais e no monitoramento de movimentações anormais.

Durante os testes, foi possível observar pequenas variações naturais nas leituras de latitude e longitude, fenômeno esperado em módulos GPS de baixo consumo energético. Essas oscilações ocorreram principalmente devido ao número de satélites visíveis em cada momento e às interferências atmosféricas presentes no ambiente de teste. Apesar dessas variações, as coordenadas registradas mantiveram-se dentro de uma margem aceitável para aplicações de rastreamento animal, garantindo a identificação confiável da posição geral dos animais.

6.5 Discussão sobre o Desempenho Geral do Protótipo

A combinação das tecnologias estudadas permitiu demonstrar que o sistema atende aos requisitos propostos no projeto. Os resultados iniciais sugerem que:

- É possível executar leituras de temperatura e localização em tempo real;
- A comunicação LoRa garante transmissão mesmo em longas distâncias;
- O sistema apresenta baixo consumo energético com a utilização do Deep Sleep;
- A modularidade do hardware favorece manutenções e expansões futuras.

O desempenho obtido reforça os conceitos da pecuária de precisão, permitindo um acompanhamento individual do animal, identificação precoce de anomalias e otimização das atividades de manejo.

Além do desempenho observado, os testes em bancada também permitiram identificar aspectos importantes relacionados ao processo de instalação da coleira no animal. Embora a instalação em campo real ainda não tenha sido realizada, os resultados indicam que o procedimento deve ser executado por um técnico capacitado, a fim de garantir a correta fixação do dispositivo e o cumprimento das boas práticas de manejo e bem-estar animal. Essa constatação não representa uma limitação do sistema, mas um requisito operacional necessário para assegurar a precisão das medições, a integridade do equipamento e a segurança do animal.

6.6 Limitações Observadas

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações também foram identificadas:

- A precisão do GPS pode variar com cobertura de satélites e condições climáticas;
- A medição de temperatura superficial requer ajustes para compensar fatores ambientais;
- A transmissão LoRa sofre interferências em terrenos acidentados ou com vegetação muito densa;
- Testes em campo real ainda são necessários para validar o comportamento do sistema em animais em movimento;

Tais limitações serão abordadas nas próximas etapas de desenvolvimento, que incluem aprimorar o *firmware*, testar diferentes modos de economia de energia e otimizar a integração dos módulos.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento do sistema embarcado IoT para monitoramento da temperatura e localização do gado permitiu confirmar a viabilidade técnica da proposta, demonstrando que tecnologias acessíveis e de baixo consumo energético podem ser integradas para solucionar problemas reais enfrentados na pecuária extensiva. A integração entre ESP32, GPS, módulo LoRa e sensor infravermelho mostrou-se eficiente nos testes de bancada, garantindo coleta adequada de dados, transmissão estável e operação autônoma, atendendo aos requisitos estabelecidos no projeto.

Os resultados obtidos permitiram observar que a comunicação via LoRa apresentou bom desempenho mesmo em distâncias consideráveis, reforçando sua aplicabilidade em ambientes rurais, onde outras formas de conectividade dificilmente funcionariam de forma confiável. Além disso, o sensor infravermelho demonstrou ser uma alternativa eficiente para medição de temperatura corporal sem contato, reduzindo estresse nos animais e possibilitando a captura contínua dos dados sem necessidade de intervenção humana. O uso do GPS também se mostrou satisfatório, fornecendo coordenadas com precisão adequada para atividades de rastreamento em pastagens extensas.

Embora o protótipo tenha apresentado desempenho satisfatório, algumas limitações foram identificadas. O sensor infravermelho mede temperatura superficial, o que pode exigir calibrações adicionais durante o uso em campo, considerando fatores ambientais como radiação solar e vento. A comunicação LoRa, apesar de robusta, pode sofrer interferências em áreas com relevo acidentado ou vegetação muito densa. Da mesma forma, a autonomia energética do sistema ainda depende de otimizações adicionais, especialmente para longos períodos de operação contínua em campo, onde recargas frequentes não são viáveis.

No geral, os resultados revelam que o protótipo é funcional e cumpre seu propósito inicial, demonstrando que sistemas embarcados podem contribuir significativamente para a pecuária de precisão. A coleta de dados em tempo real, a detecção de possíveis anomalias térmicas e o rastreamento contínuo dos animais são elementos essenciais para a tomada de decisão no manejo, impactando positivamente a produtividade, o bem-estar animal e a segurança da propriedade.

7.1 Trabalhos Futuros

Tendo em vista o potencial da solução proposta, diversas oportunidades de aprimoramento foram identificadas:

1. **Testes em campo real com animais:** Avaliar o comportamento do sistema em ambiente rural, com animais em movimento, permitirá ajustar o firmware, o intervalo de coleta, a ergonomia da coleira e as estratégias de economia de energia;

2. **Desenvolvimento de uma plataforma web ou aplicativo móvel:** Uma interface gráfica que exiba mapas, históricos de temperatura e alertas em tempo real aumentaria significativamente o valor prático do sistema para produtores rurais;
3. **Implementação de algoritmos de alerta inteligente:** O uso de inteligência artificial ou regras baseadas em limiares pode permitir a identificação automática de padrões anormais, como febre, imobilidade prolongada, fuga ou deslocamentos incomuns;
4. **Otimização energética do sistema:** O uso de painéis solares compactos, baterias de maior capacidade ou estratégias avançadas de deep sleep pode estender significativamente a autonomia do dispositivo;
5. **Integração com protocolos de rastreabilidade animal:** O sistema pode ser expandido para atender normas sanitárias e programas de certificação, agregando valor à cadeia produtiva;
6. **Melhoria da proteção física e conforto da coleira:** Ajustes de design podem aumentar a durabilidade do dispositivo, sua resistência a intempéries e o conforto do animal durante longos períodos de uso;
7. **Suporte a múltiplos sensores adicionais:** A inclusão de acelerômetro, bússola, sensor de batimentos cardíacos ou medidores ambientais pode ampliar o escopo da solução, tornando-a mais completa e permitindo análises comportamentais detalhadas.

Essas melhorias apontam caminhos para consolidar o sistema como uma solução robusta, escalável e alinhada às demandas da pecuária moderna. Portanto, o presente trabalho contribui tanto para o campo acadêmico quanto para o setor produtivo, demonstrando que a integração entre IoT e pecuária de precisão é uma estratégia promissora para enfrentar desafios contemporâneos, reduzir perdas, aumentar a produtividade e promover uma gestão mais inteligente e sustentável dos rebanhos.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, L. J. **Programação em C++**. 2. ed. Porto Alegre: AMGH, 2008. E-book. ISBN 9788580550269. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580550269/>>. Acesso em: 03 jun. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- ALJUNDI, L. **Using the Arduino Software (IDE) | Arduino Documentation**. 2025. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/the-arduino-software-ide/>>. Acesso em: 03 jun. 2025. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/the-arduino-software-ide/>>. Citado na página 24.
- ASTAH. **Premier Diagramming, Modeling Software & Tools**. 2025. Disponível em: <<https://astah.net/>>. Acesso em: 08 jun. 2025. Disponível em: <<https://astah.net/>>. Citado na página 25.
- CAVALCANTI, L. F. L.; MACHADO, F. S.; PAIVA, C. A. V. Pecuária de precisão: uso de tecnologias para apoio à tomada de decisão. **Zootec**, Santos, 2017. Acesso em: 26 fev. 2025. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/317284061_Pecuaria_de_Precisao_Uso_de_tecnologias_para_apoio_a_tomada_de_decisao>. Citado na página 19.
- CNA; INSTITUTO CNA. **Estudo sobre a criminalidade no campo**. Brasília, DF, 2018. Citado na página 16.
- Código Fonte TV. **C++ (A Linguagem Imortal de Verdade) // Dicionário do Programador**. 2022. YouTube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=AQdABlihlGs>>. Acesso em: 12 maio 2025. Citado na página 23.
- HIRAMA, K. **Engenharia de Software**. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2011. E-book. ISBN 9788595155404. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595155404/>>. Acesso em: 09 jun. 2025. Citado na página 24.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE*. **Produção da Pecuária Municipal 2023 – Informativo. v. 51**. Rio de Janeiro, RJ, 2024. Citado na página 16.
- KROEF, A. *et al.* **Biometeorologia aplicada à bovinocultura de leite no Rio Grande do Sul: condições meteorológicas, índice de temperatura e umidade (conforto térmico) e estimativa de efeitos na produção de leite no outono 2025**. 2025. <<https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202506/27103234-comunicado-agrometeorologico-especial-biometeorologico-outono-2025-final.pdf>>. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária. Acesso em: 24 jul. 2025. Citado na página 19.
- LILYGO. **T-Beam SoftRF**. 2025. Acesso em: 11 jun. 2025. Disponível em: <<https://lilygo.cc/products/t-beam-softrf?variant=43170158543029>>.
- LIMA, J. M. **Avaliação da tecnologia LoRa em cenários de IoT na suplementação de bovinos de corte**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024. Acesso em: 26 fev. 2025. Disponível em: <<https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/11108>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 20 e 30.
- Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/33**. Brasília, DF, 2023. Citado na página 16.

- MONTEIRO, A.; SANTOS, S.; Gonçalves, P. Precision agriculture for crop and livestock farming—brief review. *Animals*, v. 11, n. 8, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ani11082345>>. Citado na página 18.
- MORAIS, I. S.; ZANIN, A. **Engenharia de software**. Porto Alegre: SAGAH, 2020. E-book. ISBN 9788595022539. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595022539/>>. Acesso em: 09 jun. 2025. Citado na página 24.
- MOURA, D. e. a. Henrique de. **Sistema de verificação para áreas confinadas**. 2024. Acesso em: 27 fev. 2025. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/27679/1/mteautoma%C3%A7aoindustrial_2024_2_davihenriquedemoura_sistemaverificacaoparaareasconfinadas.pdf>. Citado na página 21.
- NUNES, E. e. a. **Sistemas Embarcados: Comunicação via ESP32 com LoRa**. 2022. Acesso em: 27 fev. 2025. Disponível em: <https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-22-Brasil/papers/BTSym2022_032.pdf>. Citado na página 20.
- OLIVEIRA, A. S. d.; ANDRADE, F. S. d. **Sistemas embarcados: hardware e firmware na prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Érica, 2010. E-book. ISBN 9788536520346. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536520346>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- RAMOS, Z. B. **Pecuária Bovina no Brasil: entenda sua importância**. 2024. Acesso em: 27 fev. 2025. Disponível em: <<https://nutrimosaic.com.br/pecuaria-bovina/>>.
- RESENDE, V. *et al.* Agricultura de precisão no brasil: Avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. **XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil**. Brasil, 2010. Disponível em: </mnt/data/Agriculturaprecisao.pdf>. Acesso em: [coloque a data de acesso]. Citado na página 18.
- REZENDE, L. L. **Proposta de arquitetura de IoT para digitalizar e aprimorar o manejo da bovinocultura de corte**. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023. Acesso em: 26 fev. 2025. Disponível em: <https://pecepoli.com.br/m_files/00074230_000444_monografia01.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 30.
- RITA, A.; GASPAR, P. D.; GARCIA, N. M. **Sistema de monitorização de biosinais de gado baseado em tecnologias da informação e comunicação & eletrónica (TICE)**. 2017. <<https://ubibliorum.ubi.pt/entities/publication/5188df4c-bc74-4351-a057-72706817db55>>. Acesso em: 18 mar. 2025. Disponível em: <<https://ubibliorum.ubi.pt/entities/publication/5188df4c-bc74-4351-a057-72706817db55>>. Citado na página 21.
- SABBAGH, R. **Scrum: gestão ágil para projetos de sucesso**. São Paulo: Casa do Código, 2013. E-book. Disponível em: <<https://www.casadocodigo.com.br/products/livro-scrum>>. Acesso em: 02 jun. 2025. Citado na página 25.
- SANTOS, A. S.; CARVALHO, P. Soluções de precisão inteligente para um setor pecuário mais sustentável. **INESC TEC Science & Society**, 2022. Acesso em: 26 fev. 2025. Disponível em: <<https://science-society.inesctec.pt/pt/index.php/inesctecesociedade/article/download/91/178?inline=1>>. Citado na página 19.

SANTOS, S. A. *et al.* **Desafios e soluções tecnológicas para a produção sustentável de gado de corte no Pantanal**. Corumbá, MS, 2008. (Documentos (Embrapa Pantanal) ; 99). Citado na página 16.

SEVEGNANI, K. B. Zootecnia de precisão: desafios para a produção animal. **Revista Tecnologia e Inovação na Agropecuária**, 2023. Acesso em: 26 fev. 2025. Disponível em: <<https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/221010479.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 19.

STALLINGS, W. **Arquitetura e organização de computadores**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2017. Disponível online. Disponível em: <[https://evirtual.upra.ao/examples/biblioteca/content/files/arq_william%20stallings%20-%20arquitetura%20e%20organizacao%20de%20computadores-pearson%20education%20do%20brasil%20\(2017\).pdf](https://evirtual.upra.ao/examples/biblioteca/content/files/arq_william%20stallings%20-%20arquitetura%20e%20organizacao%20de%20computadores-pearson%20education%20do%20brasil%20(2017).pdf)>. Citado na página 22.

VETORAZZO, A. S. **Engenharia de software**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. E-book. ISBN 9788595026780. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595026780/>>. Acesso em: 10 jun. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

APÊNDICE A – PROJETO DE SOFTWARE

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO
Campus Ji-Paraná

Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas

PROJETO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE GADO
SIM-GADO

Cliente: Gestão AgroTech

Equipe: Edson Fernando Souza Bezerra

Ji-Paraná, 2025

EDSON FERNANDO SOUZA BEZERRA

**PROJETO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE GADO
SIM-GADO**

Projeto de Software do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Prof. Dr. Wanderson Roger Azevedo Dias.

Ji-Paraná, 2025

SUMÁRIO

1. DOCUMENTO DE ESPECIFICAÇÃO DE SOFTWARE	4
1.1. Dados da Empresa Cliente	4
1.2. Produto	4
1.3. Aspectos Técnicos do Produto	5
1.3.1. Linguagens e Ferramentas	5
1.3.2. Arquitetura de Rede	5
1.4. Missão do produto	6
1.5. Requisitos de qualidade	6
1.6. Objetivos Gerenciais do Projeto	7
1.7. Equipe de Desenvolvimento	8
1.8. Metodologia de Desenvolvimento	9
1.8.1. Sobre a Metodologia	9
1.8.2. Eventos do Scrum	10
1.9. Entrevistas	14
2. DOCUMENTO DE REQUISITOS	15
2.1. Capturar Dados	16
2.2. Transmitir de Dados	16
2.3. Identificar Dispositivo	17
2.4. Gerenciar Energia	17
3. CASO DE USO	18
3.1. Diagrama de Caso de Uso	18
3.2. Caso de Uso Expandido	18
3.2.1. Caso de Uso – Capturar Dados	18
3.2.2. Caso de Uso – Transmitir Dados	19
3.2.3. Cado de Uso – Identificar Dispositivo	19
3.2.4. Caso de Uso – Gerenciar Energia	20

1. DOCUMENTO DE ESPECIFICAÇÃO DE SOFTWARE

1.1. Dados da Empresa Cliente

Nome Fantasia: Gestão AgroTech

Descrição da Empresa/Comércio: A Gestão AgroTech constitui-se como uma startup idealizada e fundada pelo autor deste projeto, com o propósito de desenvolver soluções tecnológicas inovadoras voltadas ao setor agropecuário. Sua atuação concentra-se na criação de sistemas de monitoramento, rastreabilidade e apoio à tomada de decisão, integrando dispositivos IoT, coleta automatizada de dados e ferramentas de análise para promover práticas alinhadas aos princípios da pecuária de precisão.

1.2. Produto

O SIM-GADO é um sistema embarcado avançado para monitoramento pecuário, projetado exclusivamente para realizar o rastreamento da localização e o monitoramento da temperatura corporal do gado de forma autônoma e contínua. Desenvolvido com base em tecnologias de Internet das Coisas (IoT), o sistema integra sensores infravermelhos de temperatura, módulo GPS e comunicação LoRa, proporcionando uma coleta precisa e confiável dos dados diretamente no campo. Cada animal utiliza uma coleira inteligente equipada com microcontrolador (ESP32), capaz de coletar periodicamente dados de temperatura corporal e localização geográfica. As informações são transmitidas por meio de rede LoRa, garantindo conectividade mesmo em ambientes remotos, onde não há acesso à internet convencional.

Projetado para resistir às condições adversas do meio rural, o dispositivo possui estrutura robusta, baixo consumo de energia e autonomia estendida, possibilitando seu uso prolongado em campo sem necessidade de recargas frequentes. Além disso, a coleira pode armazenar temporariamente os dados coletados em caso de falhas na comunicação, assegurando que nenhuma informação importante seja perdida.

O SIM-GADO é uma solução autônoma, acessível e escalável, ideal para produtores que buscam integrar tecnologia ao manejo do rebanho, promovendo

maior controle sanitário, bem-estar animal e suporte à rastreabilidade, mesmo sem a necessidade de uma plataforma digital de acompanhamento.

1.3. Aspectos Técnicos do Produto

1.3.1. Linguagens e Ferramentas

O funcionamento do SIM-GADO é baseado na integração eficiente entre hardware embarcado e sensores inteligentes, utilizando tecnologias modernas para garantir precisão, robustez e autonomia energética. A estrutura da coleira é baseada no ESP32, um microcontrolador de baixo consumo energético, equipado com suporte a GPS e LoRa, permitindo a coleta e transmissão eficiente dos dados diretamente do animal em campo. Alimentado por uma bateria recarregável de longa duração, o dispositivo é capaz de operar por várias semanas sem necessidade de recarga, mesmo em ambientes remotos e de difícil acesso.

O sistema embarcado inclui um sensor infravermelho de temperatura sem contato, que realiza a medição térmica do animal de forma contínua, não invasiva e precisa. Os dados obtidos (temperatura e localização) são transmitidos periodicamente via rede LoRa, tecnologia ideal para ambientes com infraestrutura limitada de comunicação, como áreas rurais.

Além da transmissão, a coleira é capaz de armazenar temporariamente os dados internamente em casos de indisponibilidade da comunicação. Quando a conectividade via LoRa é restabelecida, os dados armazenados são automaticamente retransmitidos, assegurando a integridade e continuidade das informações coletadas. Todos os componentes do sistema foram selecionados com foco em baixo consumo de energia, e o firmware do ESP32 é otimizado com técnicas de deep sleep, ativando os sensores apenas nos intervalos de leitura e envio, o que prolonga significativamente a vida útil da bateria.

1.3.2. Arquitetura de Rede

O SIM-GADO contará com uma arquitetura descentralizada e distribuída, garantindo um fluxo contínuo e confiável de informações entre os dispositivos IoT, o servidor e a interface web.

O fluxo de funcionamento do sistema inicia-se com a coleta de dados pelo ESP32, que registra a posição do animal por meio do GPS e realiza a medição da temperatura corporal utilizando o sensor infravermelho. As informações são então transmitidas via LoRa, uma tecnologia de comunicação de longo alcance e baixo consumo energético, essencial para o funcionamento do sistema em regiões remotas onde não há acesso a redes móveis ou Wi-Fi.

1.4. Missão do produto

A pecuária enfrenta desafios como roubos, perdas de animais, dificuldades no monitoramento da saúde do rebanho e falta de conectividade em áreas remotas. O SIM-GADO foi desenvolvido para resolver esses problemas, utilizando IoT, LoRa e sensores infravermelhos para fornecer um monitoramento eficiente, acessível e inteligente.

O sistema permite o rastreamento em tempo real dos animais, reduzindo furtos e facilitando a localização do gado. Além disso, o sensor infravermelho detecta variações de temperatura corporal, ajudando na identificação precoce de doenças, o que reduz custos com tratamentos e evita a propagação de enfermidades.

Diferente de outras soluções de alto custo, o SIM-GADO foi projetado para ser acessível e de fácil implementação, tornando a pecuária mais moderna, conectada e sustentável. A inovação trazida pelo sistema melhora a segurança, produtividade e eficiência na gestão do rebanho, preparando os pecuaristas para os desafios da pecuária 4.0.

1.5. Requisitos de qualidade

O produto a ser desenvolvido deverá atender os seguintes requisitos de qualidade de software:

- A coleira deve fornecer, de forma confiável, as funcionalidades de rastreamento por GPS e monitoramento de temperatura.

- O sistema embarcado deve operar de forma autônoma e contínua, com baixo consumo de energia e mínimo processamento.
- O firmware deve ser modular e expansível, facilitando futuras atualizações.
- O dispositivo deve ser capaz de armazenar temporariamente os dados em caso de falha na comunicação LoRa.
- O sensor infravermelho deve oferecer medições precisas ($\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) mesmo com movimentações do animal.
- O sistema deve garantir a integridade dos dados transmitidos, com verificação e retransmissão automática quando necessário.
- A manutenção do firmware será feita via conexão física (USB/serial), com possibilidade futura de OTA (Over-The-Air).
- A coleta de dados deve ocorrer em intervalos configuráveis

1.6. Objetivos Gerenciais do Projeto

Entregas: As entregas serão de forma incrementais em sprints de curta duração (2 a 4 semanas), permitindo flexibilidade e adaptação conforme os requisitos do projeto evoluem, além de possibilitar que o cliente acompanhe a evolução do projeto.

Prazo: Duração total do desenvolvimento: 3 meses .

Custos: Os custos previstos do projeto serão descritos nas Tabela 01 e 02 a seguir.

Tabela 01 – Custo por Mês

Item	Descrição	Quant	Valor Unt.	Valor Total
01	Desenvolvedores	02	R\$ 3.500,00	R\$ 7.000,00
02	Equipamentos Eletrônicos	01	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
03	Insumos Tecnológicos e Materiais de Protótipo	01	R\$ 800,00	R\$ 800,00
Total por Mês				R\$ 9.000,00

Tabela 2 - Custo Total do Projeto

Item	Descrição	Tempo Previsto	Valor Unt.	Valor Total
01	Custo Fixo Mensal	03 meses	R\$ 9.000,00	R\$ 27.000,00
Total				R\$ 27.000,00

Manutenção: Após sua conclusão e implementação, o sistema terá o custo de R\$ 950,00 para realizar as manutenções.

Contrato: Este projeto servirá como um contrato de prestação de serviço entre a equipe de desenvolvimento e o cliente, podendo ser atualizado a qualquer momento por ambas as partes, desde que a outra parte seja notificada com, no mínimo, 24 horas de antecedência.

Comunicação: Para facilitar a comunicação, a equipe utilizará Google Meet, WhatsApp ou alguma plataforma de comunicação viável ao cliente.

1.7. Equipe de Desenvolvimento

O projeto utilizará a metodologia **Scrum**, sendo assim, a equipe ficou organizada da seguinte forma:

Nome	Função	Atribuições
Edson Fernando Souza Bezerra	Scrum Master	Liderar a equipe durante o andamento do projeto.
Prof. Wanderson Roger Azevedo Dias	Product Owner	Representante do cliente que ajuda no entendimento do negócio
Edson Fernando Souza Bezerra	Time Scrum	Desenvolver o projeto de software.

1.8. Metodologia de Desenvolvimento

Para a criação do Sistema de Monitoramento de Gado (SIM-GADO), será adotada a metodologia ágil Scrum, visando garantir eficiência e qualidade na

entrega do projeto. O Scrum estrutura o trabalho em Sprints, que são ciclos curtos de desenvolvimento com duração de 2 a 4 semanas, permitindo revisões constantes. Essa abordagem possibilita ajustes contínuos e melhora a alocação de recursos humanos e materiais, garantindo uma entrega mais eficaz e alinhada às necessidades do cliente.

1.8.1. Sobre a Metodologia

Desenvolvida por **Jeff Sutherland e Ken Schwaber**, a metodologia **Scrum** tem se consolidado como um dos frameworks ágeis mais utilizados no gerenciamento de projetos, não apenas no setor de software, mas também em áreas como vendas e marketing. Seu objetivo principal é permitir que equipes colaborem de forma eficiente na busca por soluções para problemas complexos.

O Scrum baseia-se na **inteligência coletiva da equipe**, onde cada membro possui habilidades essenciais para a realização das tarefas. Seu funcionamento depende do comprometimento do time, do suporte da gerência e da compreensão clara dos princípios e práticas do framework.

A equipe Scrum é composta por profissionais multifuncionais e autogerenciáveis, que trabalham sem hierarquias fixas ou subgrupos. Eles compartilham a responsabilidade pelo backlog do produto e pelo objetivo geral do projeto. Os principais papéis dentro do Scrum são:

- **Scrum Master (SM):** Facilita o processo Scrum e remove obstáculos que possam impactar a equipe.
- **Product Owner (PO):** Responsável por gerenciar o backlog do produto e assegurar que as necessidades do cliente sejam atendidas.
- **Developers (Devs):** Encargados pela implementação e entrega de incrementos de valor a cada Sprint.

A metodologia Scrum fundamenta-se no **empirismo** e no **pensamento enxuto**. O empirismo preconiza que o conhecimento é adquirido por meio da experiência e da observação, enquanto o pensamento enxuto enfatiza a eliminação de desperdícios, garantindo um processo de desenvolvimento mais eficiente.

1.8.2. Eventos do Scrum

Conforme descrito no **Scrum Guide (2020)**, a metodologia conta com quatro eventos principais dentro de cada **Sprint**, que garantem transparência, inspeção e adaptação ao longo do processo:

1. **Sprint Planning:** Planejamento inicial onde a equipe define quais itens do backlog serão desenvolvidos.
2. **Daily Scrum:** Reunião diária de 15 minutos para avaliar o progresso e ajustar o Sprint Backlog conforme necessário.
3. **Sprint Review:** Apresentação do incremento concluído para stakeholders, permitindo feedbacks e ajustes para futuras iterações.
4. **Sprint Retrospective:** Reflexão sobre o ciclo de trabalho para identificar melhorias e otimizar o desempenho da equipe.

O **Sprint Backlog** é uma lista dinâmica das tarefas planejadas para o Sprint. Esse backlog é constantemente atualizado e refinado para garantir que a equipe esteja alinhada com os objetivos do projeto.

A falha na implementação correta dos eventos do Scrum pode comprometer a inspeção e adaptação do projeto, reduzindo sua eficácia e aumentando os riscos de fracasso.

1.8.2.1. Ciclo de Vida da Metodologia no Projeto do Sistema

No início do projeto, a equipe realizou uma reunião de planejamento para definir o backlog e iniciar o desenvolvimento das funcionalidades prioritárias. Após a entrega dos primeiros incrementos, foram feitas avaliações e adaptações para melhorias contínuas no projeto.

Cada Sprint seguiu um ciclo de planejamento, desenvolvimento, revisão e retrospectiva, permitindo a evolução gradual do sistema e garantindo que o produto final atendesse plenamente às expectativas dos stakeholders.

1.8.2.2. Product Backlog

Neste tópico serão documentados todos os itens do Product Backlog criados ao longo do desenvolvimento do projeto.

Item	Descrição	Estimativa de Esforço	Nível de Prioridade
1	Criar Documento de Especificação de Software	40h	100
2	Criar Documento de Requisitos de Software	60h	90
3	Criar Diagrama de Caso de Uso	32h	70
4	Criar Caso de Uso Expandido	35h	70
5	Desenvolver firmware	72h	100
6	Configurar Módulo GPS	72h	100
7	Configurar Sensor de Termômetro Infravermelho	80h	100
8	Configurar Módulo LoRa	86h	100
9	Implementar Buffer de Armazenamento Local	42h	70
10	Teste de Estresse em Campo	40h	80
11	Documentar Processo de Atualização OTA	20h	60
12	Prototipar Caixa com Proteção IP65	50h	90
13	Gerar Identificador Único da Coleira	20h	80
14	Otimização com Deep Sleep	30h	90
15	Simulação de Condições Climáticas	35h	60

1.8.2.3. Sprint Backlog

Neste tópico serão documentados todos os itens dos Sprint Backlog criados ao longo do desenvolvimento do projeto.

Item: Sprint 1.

Descrição: Definir os requisitos técnicos, desenhar a estrutura física e preparar a base documental e de projeto.

Período: 03/02/2025 à 02/03/2024

Item do Product Backlog	Responsável	Período
01 - Criar Documento de Especificação de Software	Edson Fernando	Dias 03 a 8
02 - Criar Documento de Requisitos de Software	Edson Fernando	Dias 9 a 12
03 - Criar Diagrama de Caso de Uso	Edson Fernando	Dias 19 a 21
04 - Criar Caso de Uso Expandido	Edson Fernando	Dias 22 a 24
13 - Prototipar Caixa com Proteção IP65	Edson Fernando	Dias 25 a 03

Item: Sprint 2.

Descrição: Implementar e integrar os módulos principais (GPS, LoRa, temperatura), iniciar o firmware funcional da coleira.

Período: 03/03/2024 à 31/03/2024

Item do Product Backlog	Responsável	Período
05 - Desenvolvimento do Firmware	Edson Fernando	Dias 03 a 10
06 - Integração do Módulo GPS	Edson Fernando	Dias 11 a 15
07 - Integração do Sensor Infravermelho	Edson Fernando	Dias 16 a 21
08 - Integração do Módulo LoRa	Edson Fernando	Dias 22 a 27
13 - Geração de ID Único	Edson Fernando	Dias 28 a 31

Item: Sprint 3.

Descrição: Reduzir o consumo, testar estabilidade, validar a operação em campo e preparar o sistema para possíveis atualizações futuras.

Período: 01/4/2024 à 26/04/2024

Item do Product Backlog	Responsável	Período
09 - Implementação de Buffer Local	Edson Fernando	Dias 01 a 04
14 - Otimização com Deep Sleep	Edson Fernando	Dias 05 a 10
11 - Documentação de Suporte a OTA	Edson Fernando	Dias 11 a 13
10 - Testes de Estresse em Campo	Edson Fernando	Dias 14 a 19
15 - Simulação de Condições Climáticas	Edson Fernando	Dias 20 a 26

1.8.2.4. Informações sobre as Sprints

Documente aqui o tempo, data de início e fim da sprint, datas de reuniões, observações, problemas enfrentados e demais informações que julgarem necessário em cada uma das Sprints.

Sprint	Reunião	Resumo da Reunião	Frequência
1	Reunião de Planejamento	Definir as tarefas que serão desenvolvidas na Sprint.	Início de cada Sprint
	Reunião de revisão das tarefas	Atualizar o status das tarefas e alinhar possíveis impedimentos.	Todos os dias da Sprint
	Apresentação dos incrementos	Apresentar os incrementos desenvolvidos e coletar feedback.	Final de cada Sprint
	Reunião de Planejamento	Definir as tarefas que serão desenvolvidas na Sprint.	Início de cada Sprint

2	Reunião de revisão das tarefas	Atualizar o status das tarefas e alinhar possíveis impedimentos.	Todos os dias da Sprint
	Presentação dos incrementos	Apresentar os incrementos desenvolvidos e coletar feedback.	Final de cada Sprint
3	Reunião de Planejamento	Definir as tarefas que serão desenvolvidas na Sprint.	Início de cada Sprint
	Reunião de revisão das tarefas	Atualizar o status das tarefas e alinhar possíveis impedimentos.	Todos os dias da Sprint
	Presentação dos incrementos	Apresentar os incrementos desenvolvidos e coletar feedback.	Final de cada Sprint

1.9. Entrevistas

Neste tópico serão documentadas todas as entrevistas, workshops ou observações realizadas ao longo do projeto.

Número Entrevista: 01

Cliente Entrevistado: Arquiteto de Software da Gestão AgroTech

Data: 12/05/2025

Perguntas:

1. Quais funcionalidades você espera da colheita inteligente?
2. Quais características técnicas são esperadas do sistema embarcado?
3. Há requisitos específicos de comunicação, atualização ou armazenamento?

Síntese das Respostas: Durante a entrevista com o arquiteto de software da startup Gestão AgroTech, foram discutidas as expectativas em relação ao sistema embarcado da colheita inteligente SIM-GADO. O entrevistado destacou que o sistema precisa ser eficiente, confiável e de fácil

manutenção em campo, uma vez que será utilizado em ambientes rurais com infraestrutura limitada. As funcionalidades essenciais apontadas foram:

- Rastreamento geográfico dos animais via GPS
- Monitoramento da temperatura corporal com sensor infravermelho
- Transmissão dos dados via rede LoRa
- Armazenamento local temporário (buffer), em caso de falha de comunicação
- Geração de identificador único por dispositivo para rastreabilidade
- Suporte futuro a atualização remota (OTA)

O cliente reforçou que o sistema não deve depender de conexão contínua com internet convencional, sendo crucial que as transmissões ocorram por tecnologias de longo alcance e baixo consumo, como LoRa. Também foi enfatizada a importância de o firmware ser modular, leve e com consumo energético otimizado, considerando que o dispositivo operará com bateria recarregável por longos períodos.

Por fim, o cliente ressaltou a necessidade de a estrutura física da coleira ser robusta, com proteção contra poeira, chuva e variações de temperatura (proteção mínima IP65), garantindo que o hardware não comprometa o desempenho dos sensores.

2. DOCUMENTO DE REQUISITOS

Após a fase de levantamento de requisitos, foram identificados e coletados os seguintes requisitos para o software:

2.1. Capturar Dados

Requisito Funcional		
Nome:	Captura de Dados da Coleira	Código RF01
Descrição:	O sistema embarcado deve capturar periodicamente a localização GPS e a temperatura corporal do animal.	
Estimativa de Esforço:	24h	Prioridade: 100 pontos
Requisitos Não funcionais		
ID NF	Descrição	Categoria
1.1	A captura de temperatura deve possuir uma margem de erro de $\pm 0,3$ °C.	Especificação
1.2	A frequência de captura deve ser configurável (ex: a cada 5, 10 ou 15 minutos).	Flexibilidade
1.3	O sensor infravermelho deve ser calibrado no momento da instalação.	Qualidade
1.4.	A leitura deve ser realizada sem contato físico com o animal.	Usabilidade
1.5	O sistema deve validar os dados antes de transmiti-los.	Confiabilidade
1.6	Os dados capturados devem ser armazenados temporariamente no buffer local.	confiabilidade
1.7	A memória utilizada deve suportar ao menos 24h de armazenamento offline.	Desempenho
1.8	Os dados armazenados devem ser transmitidos assim que houver conexão com gateway LoRa.	Desempenho
1.9	A coleta dos dados não deve ultrapassar 4 segundos por ciclo	Desempenho

2.2. Transmitir de Dados

Requisito Funcional		
Nome:	Transmitir de Dados via LoRa	Código: RF02
Descrição:	O sistema deve transmitir os dados coletados utilizando a tecnologia LoRa.	
Estimativa de Esforço:	20h	Prioridade: 100 pontos
Requisitos Não funcionais		
ID NF	Descrição	Categoria
1.1	O alcance mínimo da transmissão deve ser de 2 km em campo aberto.	Desempenho
1.2	A taxa de envio deve ser otimizada para economizar energia.	Desempenho

1.3.	O protocolo de envio deve ser compatível com redes LoRaWAN.	Especificação
1.4	Em caso de falha no envio, o sistema deve armazenar os dados localmente para tentativa posterior.	Confiabilidade

2.3. Identificar Dispositivo

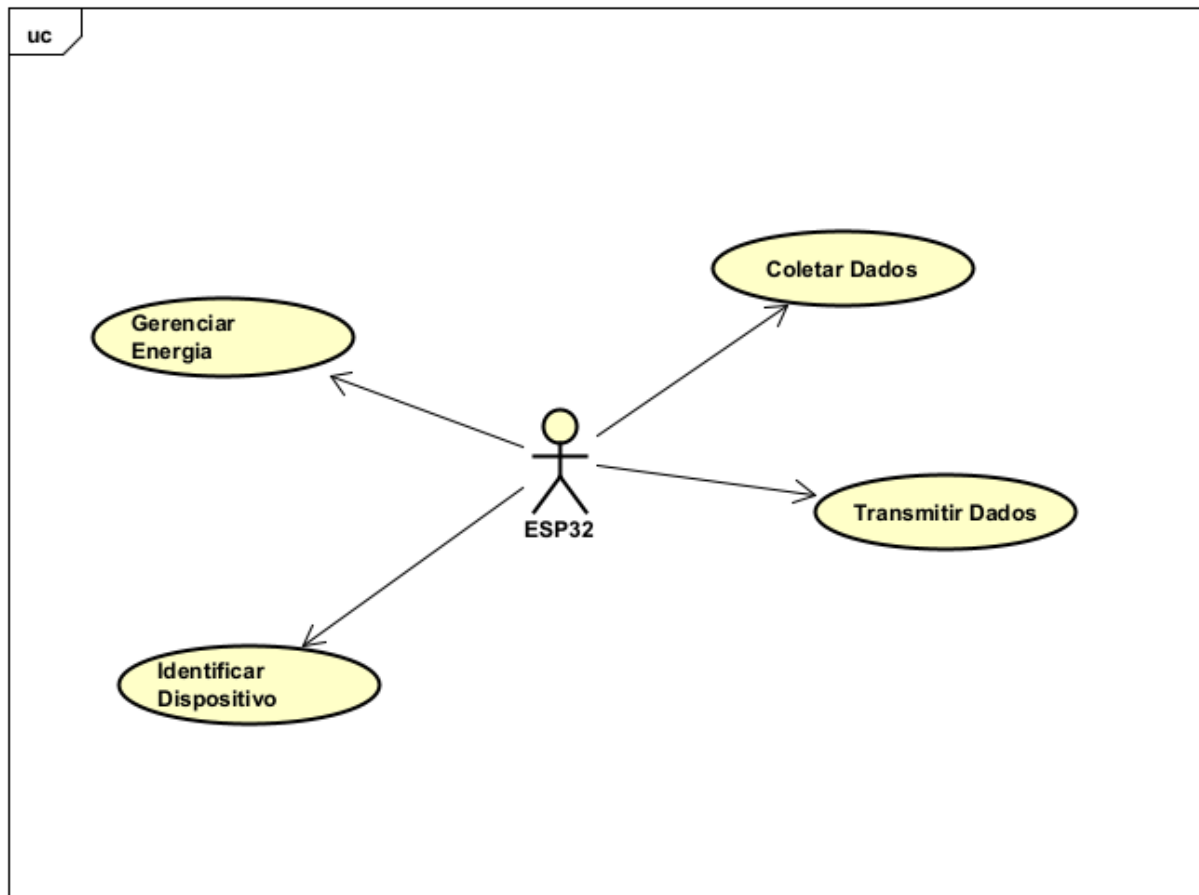
Requisito Funcional		
Nome:	Identificar Dispositivo	Código: RF03
Descrição :	Cada coleira deve conter um identificador único persistente associado ao animal.	
Estimativa de Esforço:	10h	Prioridade: 80 pontos
Requisitos Não funcionais		
ID NF	Descrição	Categoria
1.1	O identificador deve ser armazenado de forma permanente no dispositivo.	Segurança
1.2	O ID deve ser alfanumérico e possuir no mínimo 5 caracteres	Especificação
1.3.	O ID deve ser transmitido junto aos dados de GPS e temperatura.	Confiabilidade

2.4. Gerenciar Energia

Requisito Funcional		
Nome:	Gerenciar Energia	Código: RF04
Descrição :	O sistema deve implementar estratégias de economia de energia para prolongar a autonomia da bateria.	
Estimativa de Esforço:	18h	Prioridade: 95 pontos
Requisitos Não funcionais		
ID NF	Descrição	Categoria
1.1	O dispositivo deve entrar em modo Deep Sleep entre as capturas.	Desempenho
1.2	O sistema deve operar com bateria por no mínimo 30 dias.	Manutenibilidade
1.4	O status da bateria deve ser monitorado internamente.	Manutenibilidade
1.5	A recarga deve ser possível via porta USB externa.	Manutenibilidade

3. CASO DE USO

3.1. Diagrama de Caso de Uso



3.2. Caso de Uso Expandido

3.2.1. Caso de Uso – Capturar Dados

Caso de Uso: Capturar Dados (CSU01)

Descrição: O sistema embarcado da coleira deve capturar periodicamente a localização GPS e a temperatura corporal do animal.

Ator Primário:ESP32

Pré-condições: A coleira deve estar ligada e com energia suficiente para operar.

Pós-condição: Os dados são armazenados temporariamente no buffer local e/ou transmitidos via LoRa.

Fluxo Principal

1. O sistema ativa os sensores no intervalo configurado.
2. O módulo GPS é acionado para obter a localização atual.
3. O sensor infravermelho mede a temperatura corporal do animal.
4. O sistema valida os dados coletados.
5. Os dados são formatados com o ID da coleira, localização e temperatura.
6. O sistema armazena os dados no buffer local da memória.
7. Se houver conexão com um gateway LoRa, os dados são transmitidos.
8. Encerra o caso de uso.

Fluxo Alternativo 1:

1. Caso o sensor falhe na leitura, o sistema registra um valor de erro e tenta nova leitura após 10 segundos.
2. Se a falha persistir por três tentativas, o sistema salva um log de erro no buffer.
3. Encerra o fluxo alternativo.

3.2.2. Caso de Uso – Transmitir Dados

Caso de Uso: Transmitir Dados (CSU02)

Descrição: O sistema embarcado envia os dados armazenados via protocolo LoRa.

Ator Primário: ESP32

Pré-condições: Deve haver dados armazenados no buffer local e sinal de comunicação LoRa disponível.

Fluxo Principal

1. O sistema verifica a presença de dados no buffer.
2. O sistema tenta estabelecer comunicação via LoRa.
3. O sistema envia os dados coletados em pacotes compactados.
4. O recebe a confirmação da recepção dos dados.
5. O sistema limpa os dados transmitidos do buffer.
6. Encerra o caso de uso.

Fluxo Alternativo 1:

7. Se a rede LoRa estiver fora de alcance, o sistema mantém os dados armazenados.
8. O sistema agenda nova tentativa automática após um período configurado.
9. Encerra o caso de uso.

3.2.3. Caso de Uso – Identificar Dispositivo

Caso de Uso: Identificar Dispositivo (CSU02)

Descrição: Ao ser ligado, o sistema embarcado da coleira deve identificar seu próprio ID único e associar esse ID aos dados coletados, garantindo rastreabilidade.

Ator Primário: ESP32.

Atores Secundários: Módulo LoRa

Pré-condições: A coleira deve estar ligada e com firmware corretamente gravado.

Fluxo Principal

1. Ao inicializar, o sistema acessa a memória interna.
2. O identificador único do dispositivo na memória flash
3. O ID é armazenado em memória volátil para uso durante o funcionamento
4. O ID é adicionado a todos os dados coletados e transmitidos, permitindo identificação no destino.
5. Encerra o caso de uso.

3.2.4. Caso de Uso – Gerenciar Energia

Caso de Uso: Gerenciar Energia (CSU02)

Descrição: O sistema embarcado deve gerenciar o consumo de energia da coleira, alternando entre modos de operação ativa e economia, conforme o ciclo de captura de dados e o nível de bateria.

Ator Primário: ESP32.

Pré-condições: A coleira deve estar ligada e com bateria instalada.

Fluxo Principal

1. O sistema verifica o nível da bateria em intervalos programados.
2. Se o sistema estiver em inatividade, entra automaticamente no modo deep sleep ou light sleep.
3. Antes de cada captura de dados, o sistema acorda os sensores e módulos necessários.
4. Após a captura e transmissão, o sistema retorna ao modo de economia de energia.
5. Se o nível da bateria estiver acima do limite mínimo, continua operando normalmente.
6. Encerra o caso de uso.

Fluxo Alternativo 1:

1. O sistema detecta que o nível da bateria caiu abaixo de um limiar crítico.
2. O sistema entra em modo de operação mínima: apenas monitora o nível da bateria e registra o estado, suspendendo a captura/transmissão.
3. Um log de "baixa energia" é armazenado localmente.
4. Se houver conexão via LoRa, uma última transmissão de alerta é tentada.
5. O sistema aguarda carregamento ou substituição da bateria.
6. Encerra o caso de uso.