



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento de Saúde do Gado Bovino com
Recurso á Internet das Coisas

Autor

CHIHEPE, Amarilda Amâncio

Supervisora

Eng^a. Ivone Cipriano

Maputo, Junho de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento de Saúde do Gado Bovino com
Recurso à Internet das Coisas

Autor

CHIHEPE, Amarilda Amâncio

Supervisora

Eng^a. Ivone Cipriano

Maputo, Junho de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que a estudante **Amarilda Amâncio Chihepe** entregou no dia ____ / ____ / 2025 às ____ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência: _____ intitulado: Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento de Saúde do Gado Bovino com Recurso à Internet das Coisas.

Maputo, ____ de _____ de 2025

O chefe de Secretaria



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro sob compromisso de honra que o presente trabalho é resultado da minha investigação e que foi concebido para ser submetido apenas para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Informática na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, ____ de _____ de 2025

A autora

(Amarilda Amâncio Chihepe)

Dedicatória

Aos meus pais, Valdimira Alexandre Nhacudime & Amâncio Valente Chihepe.

Aos meus irmãos, Vânia, Camila, Mirela e Amâncio Júnior.

Aos restantes familiares e amigos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde, coragem e sabedoria que me concedeu ao longo desta jornada. Sua presença foi constante em cada etapa, dando-me força para enfrentar desafios e alcançando sempre as minhas conquistas.

Minha eterna gratidão vai para os meus pais, Valdimira Alexandre Nhacudime e Amâncio Valente Chihepe, pela educação que me proporcionaram, mesmo diante de inúmeras dificuldades. Agradeço profundamente pelo amor, dedicação e pelos ensinamentos que me moldaram como pessoa. Aos meus irmãos, Vânia, Camila, Mirela e Júnior, sou grata por cada palavra de incentivo, por acreditarem em mim e pelo apoio constante durante meu percurso acadêmico.

Agradeço aos meus mazzas, amigos e colegas, Écio Mahoque, Agostinho Massango e, em especial, à Ludmila Mucavele, pela cumplicidade, amizade e por todos os momentos que compartilhamos. Um especial agradecimento vai também ao Adelson Saguete, pela amizade ao longo desses anos. À turma de Engenharia Informática do ano de 2020, agradeço por todos os anos de aprendizado e experiências que tivemos juntos.

Aos docentes do curso de Engenharia Informática, minha sincera gratidão por terem contribuído de forma ativa e positiva para minha formação. À Eng^a. Ivone Cipriano, agradeço pela supervisão dedicada e pela troca de ideias ao longo da elaboração deste trabalho. Um agradecimento especial ao Eng^o. Felizardo Munguambe pelos conselhos inspiradores e por sempre acreditar no meu potencial. A minha gratidão vai também ao dr.Vali Issufo, Eng^o.Délcio Chadreca, Eng^o.Rúben Manhiça, Eng^o. Cristiliano Maculuve e à Eng^a Leila Omar pelo conhecimento que me proporcionaram ao longo do meu percurso acadêmico.

À Mozal, o meu muito obrigada por ter me concedido a bolsa de estudos, que foi fundamental durante minha formação acadêmica.

À todos amigos e familiares que, de forma direta ou indireta, acreditaram no meu potencial, o meu muito obrigada.

Epígrafe

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

Resumo

A pecuária é uma actividade importante para a economia de Moçambique, contribuindo para a geração de emprego e renda para a maioria da população rural. O nosso país oferece um potencial para a produção de carne e leite, no entanto, são enfrentados alguns desafios no desenvolvimento da actividade, e um deles está relacionado às doenças que são uma das causas de perdas na produção. Nesse contexto, este trabalho tem como objectivo geral, desenvolver um sistema de monitoramento de saúde de gado bovino com recurso à Internet das Coisas. Para a concepção do trabalho, foi realizada uma pesquisa exploratória, aliada a uma pesquisa bibliográfica dos temas centrais ligados a temática. Foram feitas algumas entrevistas aos criadores de gado da empresa OGA rural e outros criadores autônomos. Foi desenvolvido um protótipo funcional usando a placa de desenvolvimento ESP32, e os sensores MLX90614 e MAX30102. Para o desenvolvimento de aplicativo *mobile*, foram usados os princípios de engenharia de *software*, tendo sido adoptada a metodologia *Kanban*. Primeiramente, foram conduzidos testes individuais para cada sensor, e todos conseguiram captar os dados corretamente. Durante o processo de integração, verificou-se um problema na comunicação entre os dois sensores e, ao separar os barramentos I2C, os testes revelaram que o MAX30102 ainda não conseguia capturar os dados quando conectado ao MLX90614, evidenciando uma questão técnica que exige uma análise mais aprofundada. A pesquisa atingiu seus objetivos ao demonstrar que tecnologias como a IoT podem ser uma aliada essencial na pecuária, trazendo benefícios tanto para os criadores quanto para a sustentabilidade do sector.

Palavras Chaves: Internet das Coisas. Pecuária. Pecuária de precisão. Gado Bovino. Saúde animal. Sensores.

Abstract

Livestock farming is an important activity for Mozambique's economy, contributing to the generation of employment and income for the majority of the rural population. Our country offers potential for meat and milk production, however, there are some challenges in developing this activity, one of which is related to diseases that are one of the causes of production losses. In this context, the overall objective of this work is to develop a cattle health monitoring system using the Internet of Things. To design the work, exploratory research was carried out, combined with a bibliographic review of the central themes related to the topic. Several interviews were conducted with cattle breeders from the rural company OGA and other independent breeders. A functional prototype was developed using the ESP32 development board and the MLX90614 and MAX30102 sensors. For the development of the mobile application, software engineering principles were used, and the Kanban methodology was adopted. First, individual tests were conducted for each sensor, and all were able to capture the data correctly. During the integration process, a communication problem was found between the two sensors, and when separating the I2C buses, tests revealed that the MAX30102 was still unable to capture data when connected to the MLX90614, highlighting a technical issue that requires further analysis. The research achieved its objectives by demonstrating that technologies such as IoT can be an essential ally in livestock farming, bringing benefits both to farmers and to the sustainability of the sector.

Keywords: Internet of Things. Livestock farming. Precision livestock farming. Cattle. Animal health. Sensors.

Índice

1. Capítulo I - Introdução.....	1
1.1 Contextualização.....	1
1.2 Definição do problema.....	2
1.3 Justificativa.....	3
1.4 Objectivos.....	3
1.4.1 Geral.....	3
1.4.2 Específicos.....	4
1.5 Caso de estudo	4
1.5.1 Apresentação do caso de estudo.....	4
1.6 Metodologia.....	4
1.6.1 Metodologia de pesquisa	4
1.6.2 Metodologia de desenvolvimento de <i>software</i>	5
1.7 Estrutura do relatório	7
2. Capítulo II – Revisão Da Literatura	9
2.1 Pecuária	9
2.1.1 Pecuária em Moçambique	9
2.1.2 Tipos de pecuária	10
2.1.3 Modalidades da Pecuária	11
2.1.4 Manga de tratamento.....	12
2.1.5 Saúde Bovina.....	12
2.1.6 Doenças que afectam o gado bovino.....	13
2.1.7 Processo actual de monitoramento da saúde do gado bovino	15
2.2 Avanços tecnológicos na pecuária	16
2.2.1 Pecuária de precisão	16
2.2.2 Tecnologias aplicadas á pecuária de precisão	17
2.3 Internet das Coisas.....	17
2.3.1 Arquitetura da IoT	18
2.3.2 Sensores e Actuadores.....	19
2.3.3 Microcontroladores	21
2.3.4 Rede de comunicação IoT	24
2.3.5 Aplicações da IoT	25
2.3.6 Aplicações da IoT na Pecuária	26
3. Capítulo III – Alternativas de implementação da solução.....	28

3.1	Primeira alternativa: Uso da técnica de monitoramento visual	28
3.2	Segunda alternativa: Uso de Drones	28
3.3	Terceira Alternativa: Uso de sensores em coleira	29
3.4	Quarta Alternativa: Uso de sensores em pontos estratégicos	30
3.5	Análise comparativa das alternativas de implementação da solução e a escolha da opção mais adequada	31
4.	Capítulo IV: Desenvolvimento do protótipo	34
4.1	Componentes do sistema	34
4.1.1	Sensores:	34
4.1.2	Placa de desenvolvimento ESP32-DevkitC V4	35
4.1.3	Aplicação <i>mobile</i>	36
4.2	Descrição da solução proposta	36
4.3	Fluxo de Funcionamento da solução proposta	37
4.4	Modelagem do sistema	37
4.4.1	Requisitos do sistema	38
4.4.2	Requisitos de usuário	38
4.4.3	Requisitos funcionais	38
4.4.4	Requisitos não funcionais	40
4.4.5	Diagrama de casos de uso	41
4.5	Restrições de desenvolvimento	42
5.	Capítulo V – Apresentação e Discussão dos Resultados	44
5.1	Resultados dos testes do sensor de temperatura MLX90614	44
5.2	Resultados dos testes do sensor de batimentos cardíacos MAX30102	44
5.3	Integração dos sensores	45
5.4	Resultados qualitativos	45
6.	Capítulo VI - Conclusões e Recomendações	47
6.1	Conclusões	47
6.2	Recomendações	48
6.3	Limitações	48
7.	Bibliografia	49
7.1	Referências bibliográficas	49
7.2	Outra bibliografia consultada	51
	Anexos	53

Lista de Símbolos

3G	Third Generation
ESP	Espressif
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GPS	Global Position System
IIAM	Instituto de Investigação Agrária de Moçambique
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	Institute of Eletrical and Eltronics Engineers
IoT	Internt of Thing
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LEDs	<i>Light Emitting Diode</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
M2M	Machine-to-Machine
ONU	Organização das Nações Unidas
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SpO2	<i>Oxygen saturation</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SRAM	<i>Static Read Only Memory</i>
UML	Linguagem de Modelagem Unificada
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>

Lista de Figuras

Figura 1: Quadro Kanban	6
Figura 2: Produção de carne bovina em toneladas (2014-2023).....	10
Figura 3: Importação total de carne bovina em toneladas (2013-2022)	10
Figura 4: Bovino em contenção	12
Figura 5: (A) Bovinos com tripanossomose crônica; (B) Animal com Tristeza Parasitária Bovina	15
Figura 6: Arquitetura da IoT de 3 camadas	18
Figura 7: Arquitetura da IoT de 5 camadas	19
Figura 8: (A) Arduíno Mega; (B) Arduíno Leonardo; (C) Arduíno Uno	22
Figura 9: Placa de desenvolvimento Raspberry Pi; (B) Placa de desenvolvimento Raspberry Pi Pico	22
Figura 10: (A) ESP32 Devkit; (B) Placas de desenvolvimento NodeMCU	23
Figura 11: Placa de desenvolvimento com o Microcontrolador STM32	23
Figura 12: Aplicações da IoT na Pecuária	27
Figura 13: Fluxo de funcionamento da primeira alternativa solução proposta.....	28
Figura 14: Fluxo de funcionamento da segunda alternativa solução proposta.....	29
Figura 15: Fluxo de funcionamento da terceira alternativa solução proposta.....	30
Figura 16: Fluxo de funcionamento da quarta alternativa solução proposta	30
Figura 17: Sensor MLX90614	34
Figura 18: Sensor MAX30102	35
Figura 19: Placa de desenvolvimento ESP32-DevkitC V4	35
Figura 20: Diagrama em camadas do sistema proposto	36
Figura 21: Fluxo de funcionamento do sistema proposto	37
Figura 22: Diagrama de Casos de Uso	42
Figura A2-1: Diagrama de sequência - coleta de dados.....	A2.1
Figura A2-2: Diagrama de sequência - visualizar dados coletados.....	A2.1
Figura A2-3: Diagrama de sequência - gerar alertas.....	A2.2
Figura A2-4: Diagrama de sequência - gerar relatórios.....	A2.2
Figura A3-1: Diagrama de classes.....	A3.1
Figura A4-1: Arquitetura do hardware do sistema.....	A4.1
Figura A5-1: Hardware do protótipo do sistema.....	A5.1
Figura A6-1: Tela de login.....	A6.1

Figura A6-2: Tela de cadastro de novos usuários.....	A6.1
Figura A6-3: Tela do menu principal.....	A6.2
Figura A6-4: Relatório dos dados capturados pelos sensores anteriormente.....	A6.2
Figura A6-5: Datepicker para filtrar os dados do relatório.....	A6.3
Figura A6-6: Apresentação do resultado do filtro dos dados.....	A6.3
Figura A6-7: Apresentação da notificação quando há um novo dado.....	A6.4
Figura A6-8: Valores dos dados capturados e o estado do animal.....	A6.4
Figura A7-1: Importação das bibliotecas e declaração de variáveis.....	A7.1
Figura A7-2: Função para conexão do ESP32 ao Wi-Fi.....	A7.2
Figura A7-3: Função para conectar ESP32 ao Firebase.....	A7.2
Figura A7-4: Função que capta os batimentos cardíacos através do sensor MAX30102.....	A7.3
Figura A7-5: Configuração e inicialização dos sensores.....	A7.4
Figura A7-6: Função principal do programa.....	A7.5

Lista de Tabelas

Tabela 1: Comparação entre alguns microcontroladores usados em aplicações IoT....	24
Tabela 2: Comparação das alternativas de implementação da solução proposta.....	31
Tabela 3: Requisitos funcionais do sistema.....	39
Tabela 4: Requisitos não funcionais do sistema.....	40
Tabela 5: Resultados do teste realizados no sensor MLX90614.....	44
Tabela 6: Resultados do teste realizados no sensor MAX30102	45
Tabela A1-1: Especificação do caso de uso cadastro de usuários.....	A1.1
Tabela A1-2: Especificação do caso de uso efectuar login.....	A1.1
Tabela A1-3: Especificação do caso de uso coleta de dados.....	A1.2
Tabela A1-4: Especificação do caso de uso visualizar dados coletados.....	A1.3
Tabela A1-5: Especificação do caso de uso gerar alertas.....	A1.3
Tabela A1-6: Especificação do caso de uso gerar relatório.....	A1.4

1. Capítulo I - Introdução

1.1 Contextualização

A pecuária é uma das atividades de maior importância socioeconômica para as famílias rurais africanas, desempenhando funções cruciais como geração de renda, fornecimento de alimento, fonte de trabalho e, acima de tudo, desempenha uma estratégia de redução da pobreza. Actualmente, ela é priorizada como uma atividade competitiva, sustentável, rentável e integrada com outros segmentos da cadeia produtiva, resultando em produtos finais que atendam às exigências do mercado. Segundo a ONU, a população mundial continua a crescer e é agora de aproximadamente 7,7 bilhões, num aumento presumido para 8,5 bilhões em 2030 e de 9,7 bilhões em 2050. Este rápido crescimento da população tem influenciado numa grande procura pelos produtos de origem animal e, a saúde do gado é um fator importante para o aumento da produção e manutenção da qualidade e quantidade desses produtos. Ao mesmo tempo, este rápido crescimento tem influenciado na modernização de algumas práticas pecuárias.

Desde a antiguidade, o homem buscou aprimorar sua técnica de trabalho, e neste sentido, o processo de industrialização trouxe consigo além da modernização, o avanço tecnológico e a valorização da ciência em detrimento do homem e de seus valores. Na pecuária não podia ser diferente, observa-se cada vez mais o uso intensivo dessas técnicas, como a utilização de *softwares* em detrimento de cadernetas como ferramentas de auxílio no momento de decisão, o uso de drones para o monitoramento de grandes áreas de pastagens, dentre outras aplicações. Esse processo, conhecido como pecuária de precisão, consiste no manejo da produção animal com uso dos princípios e tecnologias da engenharia de processos (Wathes, Kristensen, Aerts, & Berckmans, 2008).

O uso de tecnologias de pecuária de precisão pode auxiliar no desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis e de uma pecuária mais competitiva. Essas inovações se tornam cada vez mais importantes à medida que as fazendas ficam maiores e o monitoramento de um único animal não é mais possível sem ajuda tecnológica (Vaintrub & Odintsov, 2020), ampliando deste modo a capacidade de observação do rebanho e mitigando alguns problemas do monitoramento visual. A

Internet das Coisas tem proporcionado uma nova abordagem para o monitoramento e gestão eficaz do rebanho, melhorando a produtividade e contribuindo para o bem-estar animal.

Com isso, neste trabalho, pretende-se aplicar novos dispositivos e tecnologias para o melhor controle da saúde do rebanho, por meio do monitoramento de alguns indicadores de saúde dos animais. O sistema a ser desenvolvido neste trabalho pretende aplicar os conceitos da pecuária de precisão utilizando a tecnologia IoT.

1.2 Definição do problema

A pecuária bovina tem um papel essencial e relevante na economia Moçambicana, criando empregos e desempenhando um papel crucial no fornecimento de alimentos para uma população em constante crescimento e cada vez mais exigente quanto à qualidade e segurança alimentar. Segundo a FAO (2020) dos Estados Unidos, os sistemas de produção pecuária são considerados como a estratégia social, econômica e cultural mais apropriada para manter o bem-estar das comunidades, pois é a única atividade que pode ao mesmo tempo assegurar a subsistência, preservar os ecossistemas, promover a conservação da fauna silvestre e satisfazer os valores culturais e tradições.

A FAO (2009) prevê que a população mundial atingirá 8 bilhões de pessoas até 2025 e 9.6 bilhões de pessoas até 2050, que na prática significa que um aumento de 70% na produção de alimentos deve ser alcançado até 2050 em todo o mundo. O grande aumento da população mundial e a crescente demanda por produtos de alta qualidade trazem consigo a necessidade de modernização e intensificação de algumas práticas pecuárias. O Sector da pecuária contribui para a segurança alimentar e redução da pobreza, sendo que cerca de 70% dos 1.4 bilhões de pessoas extremamente pobres depende uma maneira ou de outra da pecuária (FAO, 2009)

Sendo a pecuária uma actividade essencial, e considerando que boa parte dos animais são destinados ao consumo humano, torna-se fundamental garantir que apresentem um ótimo estado de saúde, assegurando tanto a qualidade dos produtos quanto a sustentabilidade da atividade.

No entanto, grande parte da população que a pratica, usa os métodos tradicionais de monitoramento de saúde do gado bovino geralmente dependem da observação directa

dos animais ou de exames clínicos periódicos, o que pode ser demorado para identificar problemas de saúde em estágios iniciais, podendo em algumas das vezes resultar em diagnósticos tardios e no agravamento de condições de saúde, especialmente em grandes fazendas onde milhares de bovinos são criados juntos, o que pode fazer com que as doenças se espalhem rapidamente, prejudicando tanto os animais quanto os produtores.

Com isso, pode ser identificado o seguinte problema:

- Falta de detenção precoce de doenças devido a sobrecarga dos criadores para o monitoramento individual do gado usando técnicas de monitoramento visual, causando desse modo o agravamento de doenças.

O presente trabalho será orientado pela seguinte pergunta de pesquisa: **Que mecanismos/tecnologias podem ser implementados de forma a monitorar a saúde do Gado Bovino?**

1.3 Justificativa

A justificativa para o desenvolvimento do sistema em causa no presente trabalho, reside na importância crucial da pecuária como uma fonte de alimentos e recursos para a população Moçambicana. É fundamental assegurar que o gado bovino esteja em bom estado de saúde para garantir a sustentabilidade e produtividade do sector.

O sistema em causa contribui para uma pecuária mais eficiente e sustentável possibilitando para os pecuaristas uma melhor gestão do rebanho. Para a população, esse aprimoramento pode garantir um fornecimento mais estável e seguro de produtos de origem animal, fortalecendo desse modo a segurança alimentar da mesma e minimizando riscos de contaminações. A modernização do sector da pecuária contribui para o desenvolvimento económico e fortalecimento do mesmo, o que é fundamental para a segurança alimentar e geração de empregos para a população Moçambicana.

1.4 Objectivos

1.4.1 Geral

Desenvolver um sistema de monitoramento da saúde do gado bovino com recurso à Internet das Coisas.

1.4.2 Específicos

- Descrever as formas tradicionais de monitoramento de saúde do gado bovino em Moçambique;
- Identificar os componentes do sistema de monitoramento de saúde do gado bovino com recurso à Internet das Coisas;
- Projetar e implementar o protótipo do sistema de monitoramento da saúde do gado bovino baseado em IoT.

1.5 Caso de estudo

1.5.1 Apresentação do caso de estudo

A OGA Rural é uma empresa que se localiza na Província de Maputo, distrito de Magude. Com 8 anos de existência, ela possui fazendas no posto administrativo de Panjane, Mahel e de Mampulagueni, sendo que a fazenda do posto administrativo de Panjane ocupa cerca de 2700 hectares. A empresa actua no sector da pecuária, mais especificamente no ramo da pecuária de corte, tendo como principais espécies de criação o Gado Bovino, Caprino, Ouvino e Suíno.

1.6 Metodologia

1.6.1 Metodologia de pesquisa

Para o presente trabalho, a metodologia a ser adoptada para que se possa atingir o objectivo geral irá incluir diversas etapas.

Será feita uma pesquisa exploratória, que segundo Selltiz, et al. (1965) busca descobrir ideias e intuições, na tentativa de adquirir maior familiaridade com o fenómeno pesquisado. Nesse contexto, este trabalho busca explorar o uso de tecnologias emergentes para solucionar os desafios no manejo da pecuária.

No que diz respeito a abordagem, será empregue uma abordagem quantitativa assim como qualitativa, o que torna a abordagem deste trabalho mista. Segundo Fonseca (2002), a abordagem quantitativa procura quantificar os resultados usando uma abordagem numérica e, para o presente trabalho, pretende-se quantificar a eficácia do sistema em termos de precisão na detenção de problemas de saúde do gado bovino. Enquanto que para Goldenberg (1997), a abordagem qualitativa não se preocupa com

representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão do problema, com isso, no presente trabalho serão levados em conta as análises, experiências e percepções das pecuaristas em relação ao sistema em causa.

Para a coleta de dados, serão usadas as seguintes técnicas::

- Será realizada uma pesquisa bibliográfica dos temas centrais ligados a temática, que segundo Fonseca (2002), é feita a partir do levantamento de referências teóricas já elaborados, analisadas, e publicadas por meios escritos e electrónicos, como livros, artigos científicos, páginas web. Este trabalho irá recorrer a artigos eletrônicos e publicações científicas para a justificação teórica e prática de alguns conceitos.
- Segundo Cervo e Bervian (2002), a entrevista é uma das principais técnicas de coleta de dados e pode ser definida como conversa realizada face a face pelo pesquisador junto ao entrevistado. Para o presente trabalho, serão feitas algumas entrevistas não estruturadas aos criadores de gado e alguns especialistas da área de modo a adquirir um melhor entendimento de como é processo actual de detenção de doenças no gado bovino. As entrevistas serão aplicadas de forma presencial ou virtual.

Em seguida, será desenvolvido um protótipo funcional do sistema em causa, onde serão realizados testes e verificações para avaliar o funcionamento e o desempenho do sistema.

1.6.2 Metodologia de desenvolvimento de *software*

Para o alcance do objectivo geral do presente trabalho, foi adoptada uma metodologia de desenvolvimento de *software*¹ ágil, que funciona por meio de uma abordagem iterativa e incremental, o que permite entregar e construir o projecto em pequenas partes.

O senso comum no desenvolvimento de *software* é que os custos de mudanças aumentam de forma não linear conforme o projeto avança (Pressman & Maxim, 2021). Porém, as metodologias ágeis, devido ao seu baixo custo de mudança, destacam-se pela sua capacidade de se adaptar a mudanças frequentes nos requisitos do projecto

¹ Software é uma sequência de instruções escritas para serem interpretadas por um computador para executar uma tarefa específica.

durante o desenvolvimento. De acordo com Pressam & Maxim (2021), esse custo é ainda mais atenuado quando a entrega incremental é associada a outras práticas ágeis.

Foram usados os princípios da metodologia *Kanban*, que busca conduzir cada tarefa por um fluxo predefinido de trabalho. Trata-se de uma metodologia que se baseia na filosofia de melhoria contínua, em que os itens de trabalho são puxados de um *backlog* de produto para um fluxo constante de trabalho. A estrutura é aplicada por meio de quadros *Kanban*, uma forma de gestão visual de projectos, dividido em colunas que representam o estágio de desenvolvimento de cada elemento de funcionalidade do *software*. Cada coluna é preenchida com cartões visuais que representam tarefas individuais.

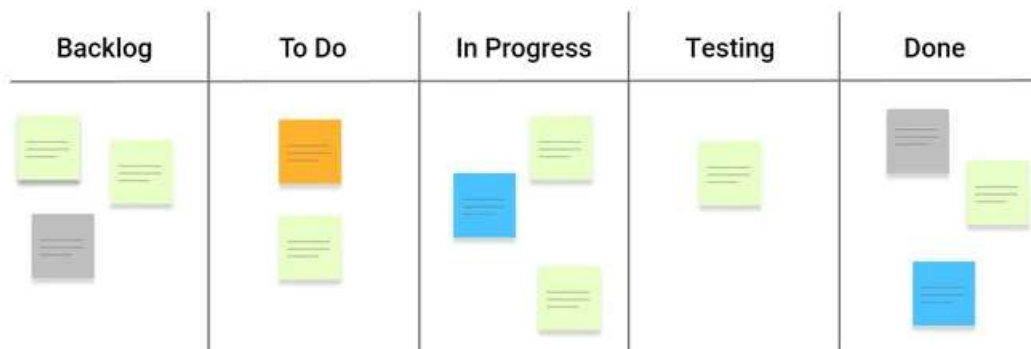


Figura 1: Quadro Kanban

1.7 Estrutura do relatório

Este relatório está estruturado em seis capítulos, contendo ainda a bibliografia utilizada e os anexos:

- **Capítulo I – Introdução:** Neste capítulo, apresenta a introdução do tema a ser discutido. Ele aborda o contexto da elaboração do relatório, definição do problema que se pretende resolver, a justificativa para realização da pesquisa, a definição dos objetivos a serem alcançado e a metodologia com a qual se pretende alcançar tais objectivos.
- **Capítulo II – Revisão da Literatura:** Neste capítulo, serão apresentados os principais conceitos relacionados aos temas abordados ao longo do trabalho. Inicialmente serão abordados conceitos sobre a pecuária e pecuária de precisão, bem como dos desafios da pecuária em Moçambique. Em seguida, serão explorados conceitos sobre a tecnologia e ferramentas empregues no desenvolvimento do sistema em causa.
- **Capítulo III – Alternativas de implementação da solução proposta:** Neste capítulo, serão apresentas as possíveis alternativas para a implementação da solução para o problema identificado, de seguida, será realizada uma análise comparativa entre as abordagens, de modo a auxiliar na escolha da solução mais adequada para diferentes contextos operacionais.
- **Capítulo IV – Desenvolvimento do protótipo:** Neste capítulo, será apresentada e detalhada solução proposta para o problema identificado, será descrito o fluxo de funcionamento e a iteração entre os componentes do sistema., serão apresentados os componentes a serem utilizados para a construção do protótipo funcional.
- **Capítulo V – Apresentação e Discussão dos Resultados:** Nesta seção serão apresentados os principais resultados obtidos nos testes de verificação do

funcionamento e da integração dos componentes do protótipo funcional. Também serão comentados alguns problemas enfrentados durante os testes e como foram realizadas as tentativas de solucioná-los.

- **Capítulo VI – Conclusões e Recomendações:** Neste capítulo, serão apresentados em forma de síntese, os principais pontos discutidos ao longo da pesquisa. Serão ainda apresentadas as limitações da pesquisa e algumas sugestões para pesquisas futuras.
- **Bibliografia** – Será apresentada a relação das fontes consultadas durante a elaboração do relatório.
- **Anexos** – Serão apresentados os materiais complementares que auxiliam na compreensão do trabalho, como diagramas, tabelas e trechos de código.

2. Capítulo II – Revisão Da Literatura

2.1 Pecuária

A pecuária corresponde a uma actividade económica voltada para a criação e comercialização de animais em áreas rurais, com finalidade de produzir alimentos para o consumo humano e outras matérias primas, sendo considerada uma das mais antigas atividades da humanidade. A produção animal é a principal fonte de proteína para os seres humanos, e tem grande valor económico e estratégico para a grande maioria dos países (IBGE, 2013).

A criação de animais é uma componente de diversificação dos meios de vida dos camponeses, constituindo uma fonte de rendimento, uma reserva económica e contribuindo para o equilíbrio dos sistemas de produção para o aumento da produção agrícola, através do uso da tracção animal e o estrume.

2.1.1 Pecuária em Moçambique

De acordo com o relatório da estratégia para o desenvolvimento do sector pecuário, Moçambique possui um vasto território com diferentes condições agroecológicas e recursos favoráveis para a actividade pecuária, constituindo uma oportunidade significativa para o desenvolvimento do sector.

A produção pecuária é uma actividade relevante, em virtude do papel que desempenha na estratégia de redução da pobreza e da sua crescente contribuição para o desenvolvimento socioeconómico do país. Trata-se de um dos subsectores do sector agrário no país que pela sua natureza, envolve um significativo número da população que a desenvolve e, deste grupo, cerca de 2/3 encontram-se em situação de pobreza absoluta.

O sector comercial da pecuária, pouco desenvolvido tecnologicamente, tem sofrido um severo declínio ao longo dos anos, tendo causado um impacto no abastecimento do mercado. Uma indústria pecuária nacional mais desenvolvida será um factor dinamizador da produção e contribuirá para a substituição de importações.

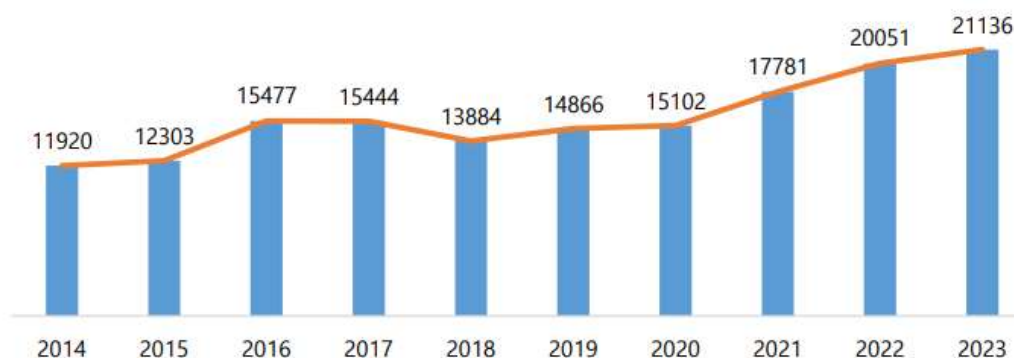


Figura 2: Produção de carne bovina em toneladas (2014-2023)

Fonte: MADER, Direcção Nacional de desenvolvimento Pecuário (2024). Boletim de Estatísticas Pecuárias. Maputo.



Figura 3: Importação total de carne bovina em toneladas (2013-2022)

Fonte: FAO.

A grande subida das importações entre os anos de 2018 e 2021 correspondeu à baixa produção no mesmo período, devido à ocorrência da febre aftosa que ditou a restrição do movimento de animais para o abate.

2.1.2 Tipos de pecuária

Existem diferentes tipos em que a produção pecuária pode ser dividida. Ela pode ser classificada conforme a finalidade do produto a ser comercializado:

- **Pecuária de corte:** também conhecida como bovinocultura de corte, é definida como a atividade de criação de gado que, através do manejo, destina-se à produção de carne e subprodutos (Filho, Morreira, Thomé, & Ferreira, 2009). Essa actividade pode ser desenvolvida para subsistência, embora a comercialização seja a mais explorada.

- **Pecuária leiteira:** diz respeito a actividade voltada a produção de diversos tipos de leite, o qual pode ser direcionado ao consumidor final ou ainda se tornar matéria-prima para a indústria de laticínios.

Não importando qual tipo de produção pecuária esta sendo levado a cabo, a saúde do animal é importante para o aumento da produtividade. Portanto, este trabalho se concentrará no bem estar animal, considerando práticas e directrizes gerais aplicáveis a diferentes tipos de produção pecuária, sem se focar em um tipo específico de criação de animais.

2.1.3 Modalidades da Pecuária

As modalidades da pecuária dizem respeito á maneira pela qual se dá a criação dos animais, como a utilização do espaço e as técnicas empregadas no manejo dos rebanhos. A pecuária de corte assim como leiteira podem ser desenvolvidos pelas as seguintes modalidades de pecuária:

- **Pecuária Intensiva:** Também chamada de pecuária moderna, esse tipo de atividade resulta na maior produtividade, sendo marcada pela utilização de métodos avançados e recursos tecnológicos, o que lhe confere alta produtividade. Dessa maneira, o rebanho possui acompanhamento de especialistas, é criado confinado com condições adaptadas, alimentação balanceada e enriquecida e com os cuidados veterinários necessários, preocupando-se assim com a qualidade do produto final. São alimentados com ração específica, diversas aplicações de hormônios e processos de inseminação artificial.
- **Pecuária Extensiva:** Nesse caso, a atividade da pecuária está pautada na utilização de métodos com poucos recursos tecnológicos assim como baixo investimento necessário para o estabelecimento da produção e de manutenção e, por isso, apresenta baixa produtividade. Assim, o gado é criado solto em grandes extensões de terra, se alimentam de pastagens e não possuem um acompanhamento veterinário.
- **Pastoreio nômade:** essa modalidade se assemelha à pecuária extensiva. No entanto, é um tipo de produção destinado à subsistência do produtor e de seus familiares, com a comercialização dos excedentes nos circuitos comerciais locais.

2.1.4 Manga de tratamento

A manga de tratamento, também chamada de manga de contenção, é um equipamento usado para restringir os movimentos dos bovinos, de forma a proteger o animal e facilitar a realização de manejos e intervenções que exigem o controle dos movimentos dos animais, como ocorre no caso das pesagens, aplicação de vacinas, medicamentos e realização de alguns exames. Para alguns desses manejos, pode haver ou não a necessidade de imobilizar partes ou todo o corpo do bovino.



Figura 4: Bovino em contenção

Fonte: (Olx, 2024)

2.1.5 Saúde Bovina

As doenças do gado bovino são um problema sério para a pecuária em Moçambique. Elas representam um grande constrangimento para os produtores, no que diz respeito a produção e comercialização de animais, além de acarretarem grandes perdas econômicas e representarem um risco à saúde pública. Diversas doenças podem ser transmitidas de animais para humanos através da ingestão de carne contaminada. Essa transmissão é conhecida como zoonose.

Segundo o relatório do IIAM sobre o Diagnóstico de Doenças do Gado, a vigilância epidemiológica é uma ferramenta importante para controlar doenças dos animais,

melhorar a saúde animal e providenciar um alerta precoce que permita aos serviços veterinários uma reacção rápida em caso de ocorrência de doenças.

Os animais apresentam os primeiros sinais que nos dão indicação da existência de doenças, esses sintomas variam amplamente, dependendo do tipo de patógeno envolvido e da gravidade da infecção. Porém, de um modo geral, podem ser observados alguns factores:

- ✓ Olhos lacrimejantes;
- ✓ Salivação;
- ✓ Aumento da temperatura corporal;
- ✓ Nariz e focinho com mucosidade;
- ✓ Aumento da velocidade de respiração;
- ✓ Fezes moles;
- ✓ Redução da quantidade de leite produzida;
- ✓ Aumento da frequência de batimentos do coração.

Alguns dos sintomas podem ser detectados por observação directa, enquanto outros são mais sutis, requerem a realização de procedimentos específicos para serem detectados.

A temperatura corporal do gado deve manter-se dentro de limites constantes para que todos os sistemas trabalhem convenientemente. A temperatura corporal dos bovinos, considerando valores normais, encontram-se entre 38 a 39,3°C (Robinson, 1999; Du Preez, 2000). A mudança da temperatura corporal para fora destes limites pode ser sintoma de doença e, um animal com temperatura alta padece de febre e pode ter uma infecção.

A frequência cardíaca de uma vaca leiteira quando esta em situação de conforto térmico encontra-se por volta de 60 a 80 pulsações por minuto (Arcaro Júnior & Nããs, 2001).

2.1.6 Doenças que afectam o gado bovino

Algumas das doenças que afectam os gados bovinos incluem:

- **Febre Aftosa**

A Febre aftosa é uma enfermidade altamente contagiosa que afeta principalmente bovinos, mas também pode infectar outros animais ungulados ou de casco fendido, como suínos, ovinos e caprinos, causando febre por 2 a 3 dias e o aparecimento de vesículas,

principalmente na boca e nos cascos dos animais. A febre aftosa é uma das doenças mais graves que afetam a pecuária em Moçambique devido ao seu alto nível de contagiosidade e ao impacto econômico significativo.

Há suspeita de casos de Febre Aftosa nas seguintes circunstâncias:

- ✓ Dificuldade de locomoção;
- ✓ Febre alta;
- ✓ Perda de apetite;
- ✓ Lesões vesiculares à erosivas na boca e nos cascos em ruminantes e suínos.

- **Tripanossomose**

Trata-se de uma doença aguda, subaguda e crónica causada por certas espécies de *Trypanosoma*, um parasita de sangue, transmitido pela picada da Mosca Tsé-tsé (*Glossina spp.*). A mortalidade varia dependendo do número de picadas por moscas infectadas e do grau da imunidade dos bovinos numa zona. Trata-se de uma doença endêmica em várias regiões de Moçambique, afetando significativamente a produção pecuária.

Os animais infectados podem separar-se da manada e aparecer rejeitados, podem mostrar um ou mais dos sintomas descritos a seguir:

- ✓ Emagrecimento e emaciação;
- ✓ Lacrimejamento excessivo;
- ✓ Palidez das mucosas;
- ✓ Pulsação visível da veia jugular;
- ✓ Respiração e batimento do coração acelerados;

- **Babesiose**

A Babesiose é uma doença parasitária que faz parte do complexo da Tristeza Parasitária Bovina (TPB), ela é causada por protozoários do género *Babesia bigemina* e *Babesia bovis*. Em bovinos, a doença é transmitida por carrapatos, principalmente do género *Rhipicephalus* (*Boophilus*).

É possível destacar os sintomas de acordo com as cepas da babesiose. O animal infectado pelo protozoário *Babesia bovis* costuma apresentar:

- ✓ Febres altas;
- ✓ Urina de cor escura;
- ✓ Descoordenação neurológica.

Enquanto isso, o gado vítima do protozoário *Babesia bigemina* tem como sintomas:

- ✓ Febres altas;
- ✓ Lesões;
- ✓ Hemoglobinúria e anemia.

Quando não controlada de maneira adequada, a Babesiose possui implicações futuras para a saúde do rebanho, já que também pode diminuir a fertilidade, em consequência dos abortos e o retardo no crescimento e desenvolvimento do animal.



A



B

Figura 5: (A) Bovinos com tripanossomose crônica; (B) Animal com Tristeza Parasitária Bovina

Fonte: (Echeverria, 2024; IIAM; USAID; ILRI; Universidade de Pretória, 2013)

2.1.7 Processo actual de monitoramento da saúde do gado bovino

A maioria dos métodos disponíveis na pecuária tradicional são demorados e trabalhosos (Jorquera-Chávez, Fuentes, Dunshea, Jongman, & Warner, 2019). Nesse contexto, as decisões são frequentemente baseadas apenas na experiência e observações do

produtor durante a inspeção nos animais para detectar problemas de saúde e bem-estar. No entanto, algumas instalações comerciais podem apresentar um rácio elevado de criadores de gado por animal, e mesmo os criadores bem experientes podem ignorar animais em estado crítico.

Quando são detectadas anomalias no bem-estar do animal, são tomadas algumas providências veterinárias para atenuar a situação. No entanto, existem limitações nesse processo: apenas os animais cujos sinais são visíveis recebem atenção imediata. Isso significa que alguns dos sinais podem passar despercebidos, sendo identificados apenas em estágios mais avançados.

2.2 Avanços tecnológicos na pecuária

As novas tecnologias que estão sendo implantadas no sector pecuário apontam para um avanço no modo de produção e o ingresso do sector na quarta revolução industrial com o objectivo de suprir a demanda de alimentos e, ao mesmo tempo, não se esquecendo dos impactos ambientais (Parronchi, 2017).

Dentre essas inovações tecnológicas, destaca-se a pecuária de precisão, que busca integrar ferramentas digitais à rotina de manejo dos animais, promovendo ganhos em eficiência e bem-estar animal.

2.2.1 Pecuária de precisão

A pecuária de precisão diz respeito ao uso de *software* e *hardware* para monitoramento de animais em tempo real, com a finalidade de receber respostas e actualizações rápidas sobre o estado e comportamento individual dos animais, para que determinada acção seja realizada correctamente, de modo a otimizar a gestão do rebanho e melhorar o bem-estar animal.

Nos últimos anos, essa abordagem tecnológica tem se expandido de forma significativa, devido á sua grande capacidade de aumentar a produção e, dessa forma, tende a ser totalmente implantada. A pecuária de precisão é a representação de um conjunto de tecnologias e informações capaz de potencializar o incremento nos índices de produtividade.

Os grandes produtores podem se tornar cada vez mais competitivos à medida que adoptam processos tecnológicos em seus procedimentos de produção e comercialização de suas mercadorias. Em contrapartida, a adopção de processos tecnológicos em seus

empreendimentos deve acontecer com bastante prudência, pois é importante levar em consideração a realidade e gastos dos produtores com implementação e manutenção (Machado & Nantes, 2011).

2.2.2 Tecnologias aplicadas á pecuária de precisão

As tecnologias de pecuária de precisão buscam uma maior precisão e eficiência nos processos de produção animal, permitem um melhor monitoramento dos animais, além de possibilitar a redução dos impactos ambientais. Dessa maneira, podem trazer uma série de benefícios para as fazendas, tanto na sustentabilidade ambiental, como econômica e social (Santa Ana & Sordi).

Diversas tecnologias digitais estão disponíveis para diferentes espécies de animais e formam a base para a pecuária de precisão (Groher, Heitkamper, & Umstatter, 2020):

- Aprendizagem de Máquina;
- Internet das Coisas;
- Big Data;
- Realidade Aumentada;
- Blockchain.

2.3 Internet das Coisas

A definição de Internet das Coisas não está definitivamente limitada e não está atualmente definida, o que significa que não existe uma definição geral aprovada pela maioria ou pela comunidade global de utilizadores e, a Internet das Coisas está a amadurecer e continua a ser o conceito mais novo e popular no mundo da tecnologia da informação (Bandyopadhyay & Sen, 2011).

(Mattern & Floerkemeier, 2010) definem a IoT como sendo uma nova visão para a internet, em que a internet passa a abarcar não só computadores, como também, objetos do dia-a-dia.

A IoT representa uma estrutura na qual todas as coisas têm uma representação e uma presença na Internet. Ela permite que uma rede de objetos e coisas do cotidiano sejam individualmente legíveis por máquina e rastreáveis na Internet (Reinhardt, 2004). Mais especificamente, a Internet das Coisas visa oferecer novas aplicações e serviços que façam a ponte entre os mundos físico e virtual, nos quais as comunicações M2M

representam a comunicação de base que permite as interações entre as coisas e as aplicações na nuvem.

2.3.1 Arquitetura da IoT

Um dos principais problemas da IoT é que ela é tão vasta e tem um conceito tão amplo que não existe uma arquitetura proposta e uniforme e a implementação do seu conceito depende fundamentalmente da sua arquitetura. De acordo com Miao, et. al (2010), na fase inicial da pesquisa, foi introduzida a arquitetura de três camadas.

- A primeira é a **camada de percepção**, que é a camada física. Ela possui sensores para detectar e coletar informações sobre o meio ambiente. Ele detecta alguns parâmetros físicos ou identifica outros objetos inteligentes no ambiente.
- A segunda é a **camada de rede**, que é responsável por conectar-se a outras coisas inteligentes, dispositivos de rede e servidores. Também é caracterizado pela transmissão e processamento de dados de sensores.
- A terceira é a **camada de aplicação**, que é responsável por fornecer serviços específicos de aplicação para o usuário. Ele define diversas aplicações nas quais a Internet das coisas pode ser implantada.

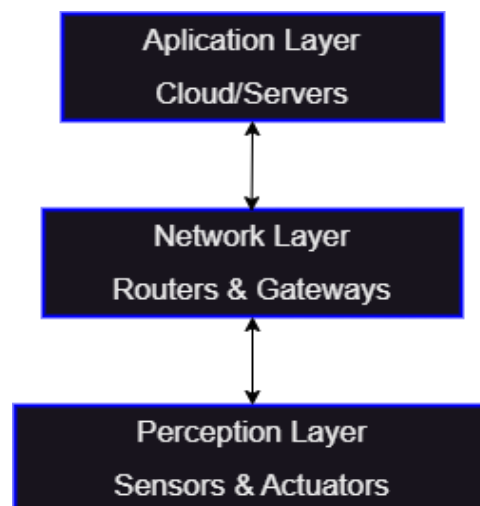


Figura 6: Arquitetura da IoT de 3 camadas

Fonte: Adaptado de (Kumar, Bhowmik, Sharma, & Bhardwaj, 2022)

Mais tarde, a arquitetura de cinco camadas foi projetada para definir o conceito completo de seu funcionamento e desenvolvimento de dispositivos IoT (Zhang & Zhu, 2011).

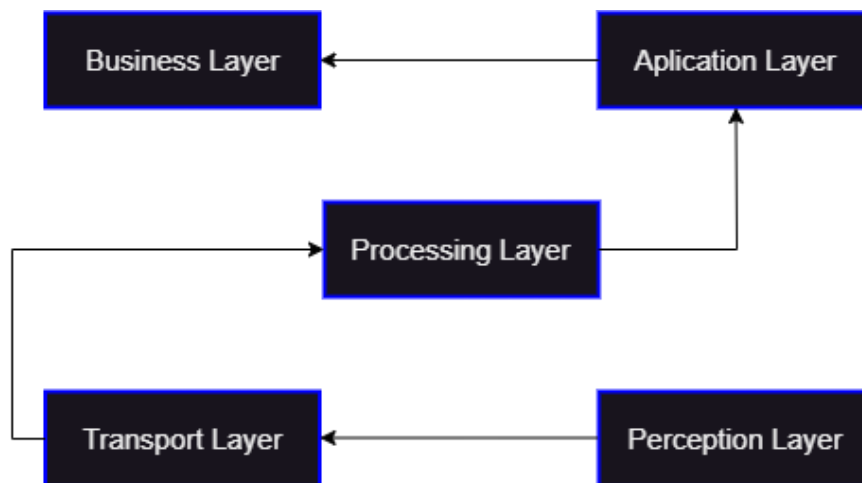


Figura 7: Arquitetura da IoT de 5 camadas

Fonte: Adaptado de (P., Vimala, & J., 2024)

As camadas de percepção e aplicação funcionam da mesma forma que na arquitetura anterior. A camada de transporte transfere dados de sensores da camada de percepção para a camada de processamento através de redes como wireless, LAN, 3G, LTE, RFID e Bluetooth. A camada de processamento, por sua vez, trata esses dados e encaminha os resultados para a camada de aplicação e por fim, a camada de negócios visualiza informações e estatísticas da camada de aplicação e utiliza esse conhecimento para planejar metas e estratégias futuras.

2.3.2 Sensores e Actuadores

Os sensores e atuadores são os "sentidos" e "músculos" dos sistemas IoT, respectivamente. Eles permitem que os dispositivos interajam com o ambiente físico, capturando dados e realizando ações. Os sensores coletam informações e detectam mudanças no ambiente e transformam essas mudanças em sinais elétricos que podem ser processados pelos microcontroladores. Os atuadores podem manipular o ambiente ou reagir de acordo com os dados lidos.

Os sensores desempenham um papel importante na automação de qualquer aplicação, medindo e processando os dados coletados para detectar mudanças nas coisas físicas. Sempre que há uma mudança em qualquer condição física para a qual um sensor é feito, ele produz uma resposta mensurável (Sehrawat & Singh Gill, 2019). Existem diferentes tipos de sensores IoT para diferentes aplicações IoT:

- **Sensor de movimento**

Um sensor de movimento é um dispositivo usado para detectar todos os movimentos cinéticos e físicos do ambiente. Um aplicativo de monitoramento de residências na ausência do proprietário pode fazer uso de sensores de movimento e sempre que for detectado movimento as fotos ou vídeos podem ser carregados no servidor (Ansari, Sedky, Sharma, & Tyagi, 2015).

- **Sensor de temperatura**

Os sensores de temperatura são úteis na detecção de mudanças físicas no corpo, medindo a energia térmica ou calor de um determinado ambiente. Os autores (Zafar, Miraj, Baloch, Murtaza, & Arshad, 2018), utilizaram sensores de temperatura para o monitoramento das condições ambientais. Os sensores de temperatura também podem ser infravermelhos que detectam a temperatura através da interceção de uma parte da energia infravermelha emitida pelo objecto e da detenção da sua intensidade.

- **Sensor de pressão**

Os sensores de pressão ajudam a detectar a pressão e a convertê-la num sinal elétrico. Este tipo de sensores é amplamente utilizado em pequenos dispositivos médicos para o monitoramento da saúde (Zhang, Li, Zhang, Xing, & Yang, 2012).

- **Sensor de batimentos cardíacos**

Um sensor de batimentos cardíacos é um dispositivo que utiliza elétrodos ou sensores ópticos para medir a atividade cardíaca, geralmente pela detecção de sinais elétricos do coração ou variações na perfusão sanguínea. Esses sensores são frequentemente utilizados em dispositivos vestíveis para monitoramento contínuo e em tempo real da frequência cardíaca e outras métricas relacionadas à saúde cardiovascular (He, 2015).

- **Sensores de humidade**

Um sensor de humidade mede a temperatura do ar, bem como a humidade e sinaliza a humidade do ambiente. Eles podem usar tecnologias como resistência ou capacitância para medir mudanças na humidade. São utilizados em aplicações agrícolas, sistemas automatizados de irrigação e monitoramento ambiental.

2.3.3 Microcontroladores

Os microcontroladores são pequenos circuitos integrados compactos que funcionam como pequenos computadores autônomos hospedados em um microchip. Na IoT, eles são essenciais para o processamento e controle dos dados coletados pelos sensores e para o gerenciamento das ações dos atuadores, funcionando deste modo como um *gateway*². Eles são o cérebro dos dispositivos IoT, executando instruções programadas para coletar dados, processá-los e comunicar-se com outros dispositivos conectados à internet ou com a nuvem. Os microcontroladores tornam-se ideais para utilização em aplicações IoT devido ao seu tamanho reduzido, baixo custo e baixo consumo de energia (Sultania, 2019).

Os microcontroladores estão embutidos em várias placas de desenvolvimento IoT que são projetadas para facilitar a criação e a prototipagem de dispositivos IoT. Abaixo, estão apresentados alguns microcontroladores e placas de desenvolvimento IoT comuns em aplicações IoT:

- **Arduíno**

O Arduíno é uma plataforma de microcontroladores de código aberto que é fácil de utilizar e versátil. Ele é adequado para aplicações de computação leves, como leituras de sensores e atuadores menores. Não possui suporte integrado para padrões de comunicação e esta disponível em vários modelos de acordo com os requisitos.

As placas Arduíno comumente utilizam microcontroladores da família Atmega devido à sua versatilidade e eficiência. Entre os mais populares está o ATmega328p que é compatível com a placa Arduíno Uno. A placa Arduíno Mega utiliza o ATmega2560, que oferece mais memória e pinos I/O, placa Arduíno Leonardo, por sua vez, é baseada no ATmega32U4, que inclui suporte USB nativo, permitindo que a placa se comunique diretamente com um computador como um dispositivo de entrada.

² Uma espécie de portal ou portão que permite a passagem entre dois ambientes distintos.



Figura 8: (A) Arduino Mega; (B) Arduino Leonardo; (C) Arduino Uno

Fonte: (Hermínia, 2020)

- **Raspberry Pi**

O Raspberry Pi é um pequeno computador de bolso usado para fazer pequenas operações de computação e rede (Heath, 2019). O Raspberry Pi pode ser utilizado como microcontrolador em aplicações IoT, apesar de ser essencialmente um computador de placa única. Em comparação com as placas convencionais, as placas Raspberry Pi têm maior capacidade de processamento e memória, o que as torna adequadas para aplicações mais sofisticadas da Internet das Coisas (Dusun IoT). O RP2040 é um dos microcontroladores utilizados nas placas da linha Raspberry pi.

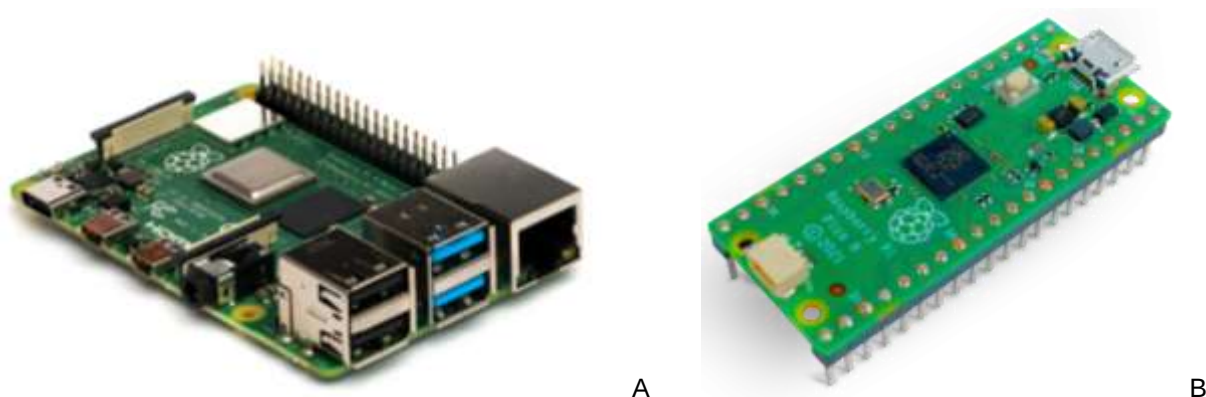


Figura 9: Placa de desenvolvimento Raspberry Pi; (B) Placa de desenvolvimento Raspberry Pi Pico

Fonte: (Campos, 2020; Robocore, 2024)

- **Espressif**

Os microcontroladores Espressif são conhecidos pela sua eficiência energética, capacidade de conectividade e pelo seu tamanho reduzido. São mais adequados para aplicações de computação leves que exigem Wi-Fi. Entre os mais populares, estão o

ESP8266 e o ESP32 que são a base para as placas de desenvolvimento NodeMCU e ESP32 Devkit, respectivamente.

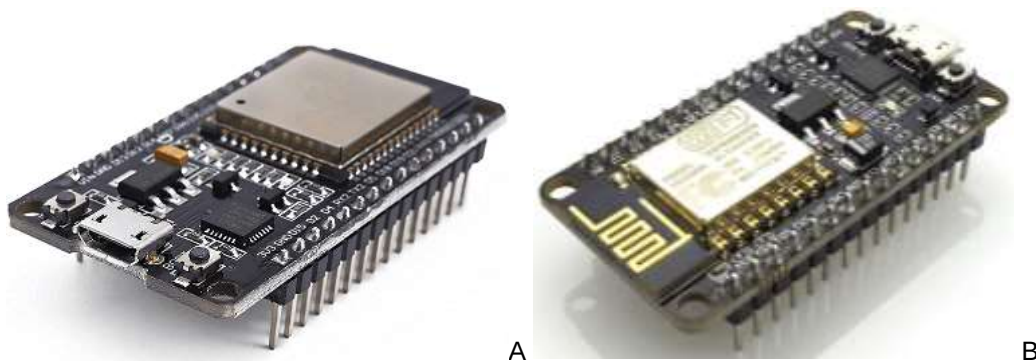


Figura 10: (A) ESP32 Devkit; (B) Placas de desenvolvimento NodeMCU

Fonte: (ElectronicsHub)

- **STM32**

STM32 é uma família de microcontroladores desenvolvida pela *STMicroelectronics*. Oferece uma gama de potência de processamento, memória e periféricos, tornando-o adequado para uma vasta gama de aplicações IoT (Sigmaos). A STMicroelectronics também fornece placas de desenvolvimento para os STM32, como a STM32 Núcleo e a STM32 *Discovery*.

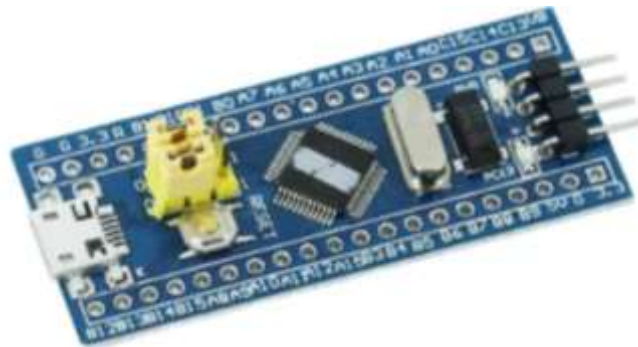


Figura 11: Placa de desenvolvimento com o Microcontrolador STM32

Fonte: (Maker Hero)

A tabela abaixo apresenta algumas características comparativas entre alguns microcontroladores usados em aplicações IoT:

Tabela 1: Comparação entre alguns microcontroladores usados em aplicações IoT

Cacterísticas	ATmega328p	RP2040	ESP32	ESP8266	STM32
Memória	2 KB SRAM, 32 KB Flash	264 KB RAM, 16 MB Flash	Até 520 KB SRAM, 4 - 16 MB Flash	80 KB RAM, 4 MB Flash	Até 192 KB SRAM, 128 KB Flash
Consumo de Energia	Baixo	Alto	Moderado a baixo	Muito baixo	Baixo a moderado
Capacidade de Processamento	8-bit, Até 20 MHz	32 bits, 133 MHz, Dual-Core	32-bits, 160-240 MHz, Dual-core	32-bit, 80 MHz	32-bit, até 72 MHz
Opções de conectividade	UART, I2C, SPI, Porta USB	Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, I2C, SPI, UART	Wi-Fi, Bluetooth, UART, I2C, SPI	Wi-Fi, UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI, CAN, USB
GPIOs	23 digitais, 6 analógicos	30 pinos	36 pinos	17pinos	Até 144 pinos (varia por modelo)
Arquitetura	RISC AVR da Atmel de 8-bits	ARM Cortex-M0+	Xtensa LX6 32-bit	Harvard	ARM Cortex-M3 32-bit
Custo	Muito baixo	Moderado a alto	Baixo	Muito baixo	Moderado
Compatibilidade e Interoperabilidade	Alta compatibilidade com placas Arduino	Compatível com placas Raspberry Pi Pico	Alta compatibilidade com módulos ESP32 e placas Arduino	Alta compatibilidade com módulos ESP8266 e placas Arduino	Alta compatibilidade com placas STM32 Nucleo e Discovery

Fonte: Adaptado de (MakerHero)

2.3.4 Rede de comunicação IoT

A comunicação constitui o coração da IoT. Uma rede de comunicação IoT é uma infraestrutura que permite que dispositivos inteligentes se conectem e se comuniquem

entre si e com a internet. A interação entre os dispositivos é crucial na IoT, pois possibilita a coleta e a troca de dados, facilitando a ação imediata e a tomada de decisões baseadas nas informações compartilhadas.

Algumas das tecnologias usadas para a comunicação IoT são:

- **Wi-Fi:** Fornece alta largura de banda e é ideal para áreas com infraestrutura de rede, mas consome mais energia.
- **Bluetooth:** Adequado para comunicação em curto alcance e baixo consumo de energia, usado para dispositivos próximos.
- **Celular:** Ideal em casos em que os dispositivos IoT operam longe das redes Wi-Fi. Junto com o uso de um *SIM Card*, é possível conectar o dispositivo directamente a rede de Internet, facilitando a operação, principalmente quando não há Wi-Fi ou esta é de baixa disponibilidade.
- **LoRa:** Tecnologia de longo alcance e baixo consumo de energia, ideal para áreas rurais e comunicação de longa distância.
- **Zigbee:** Baseado na especificação do protocolo IEEE 802.15.4 para a camada de enlace. O zigbee é focado em baixo consumo de energia, é frequentemente utilizado em redes de sensores com baixa taxa de transmissão de dados.

2.3.5 Aplicações da IoT

O entendimento sobre o fenômeno da Internet das Coisas pelas pessoas e organizações esta cada vez mais elevado, o que se reflete na expansão de suas possíveis aplicações no mercado. À medida que a compreensão aumenta, tecnologias e processos começam a se concentrar em torno da IoT de maneira cada vez mais intensa. Isso leva ao surgimento de novas aplicações em diversas áreas, como logística, indústria, domicílios e até mesmo em cidades inteiras, promovendo avanços significativos na eficiência, automação e interconectividade desses sectores.

Alguns exemplos de aplicações práticas da IoT:

- Ruas e estradas conectadas à IoT que monitoram o tráfego de veículos, medem os níveis de poluição e que se comunicam.
- Fábricas inteligentes com tecnologia de sensores em rede para analisar processos de fabricação e monitorar a falha de equipamentos, além de sistemas

de automação e gerenciamento de fábrica que medem e geram relatórios analíticos sobre confiabilidade, qualidade e produção.

- Na saúde, a IoT pode ser usada para o monitoramento dos pacientes, assim os médicos podem acessar as informações em tempo real e tomar decisões com base em dados actualizados.
- Na perspectiva de predição, os dispositivos de IoT fornecem informações e ferramentas para tomada de decisões sobre condições ambientais, estimativa de produção e crescimento da colheita (Dinesh & Ramesh, 2018; Talavera, et al., 2017).
- A IoT pode ser usada para sistemas de seguranças residências através de sensores de movimentos, câmeras de segurança e sistemas de alarmes conectados.

2.3.6 Aplicações da IoT na Pecuária

A IoT é uma grande tendência o agronegócio, que pode ser aplicada de diversas maneiras na agricultura assim como na pecuária. A IoT aplicada na pecuária trás consigo várias vantagens, dentre elas:

- Monitoramento contínuo e em tempo real dos animais, fornecendo dados precisos sobre o comportamento, localização e saúde dos animais. Permite também fazer o acompanhamento do peso e alimentação do rebanho.
- Detecção precoce de sinais de doenças ou desconfortos nos animais, permitindo intervenções rápidas e melhorias na gestão da saúde do rebanho;
- Identificação precisa do cio e otimização de estratégias reprodutivas, contribuindo para uma eficiência reprodutiva aprimorada.
- Gestão de pastagens sustentáveis, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos.

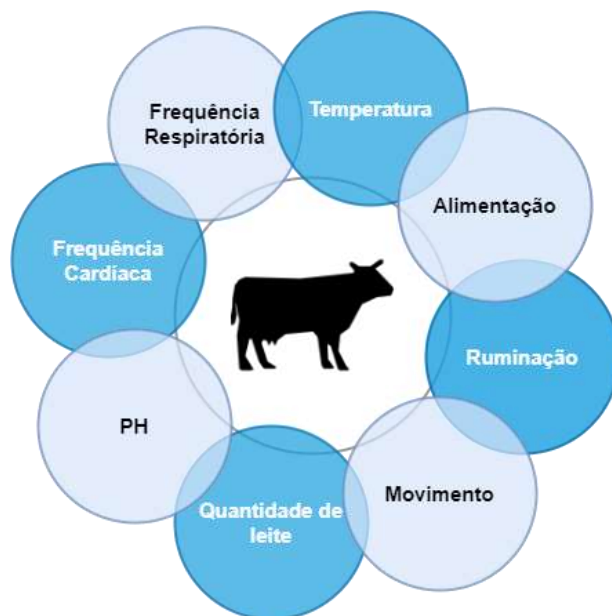


Figura 12: Aplicações da IoT na Pecuária

Fonte: Autoria própria

3. Capítulo III – Alternativas de implementação da solução

De acordo com as pesquisas feitas durante a revisão da literatura, verificou-se a necessidade de se implementar um mecanismo que facilite o monitoramento da saúde do gado bovino para evitar o agravamento de doenças no gado bovino. Com isso, este capítulo apresenta as alternativas para a implementação da solução para o problema identificado nos capítulos anteriores.

3.1 Primeira alternativa: Uso da técnica de monitoramento visual

A primeira alternativa consiste em usar as técnicas tradicionais de monitoramento visual, ela baseia-se na observação visual do gado bovino e palpação em diferentes partes do corpo para a coleta manual dos dados sobre a saúde e o comportamento do mesmo. Equipamento simples como termômetros e balanças podem ser usados.

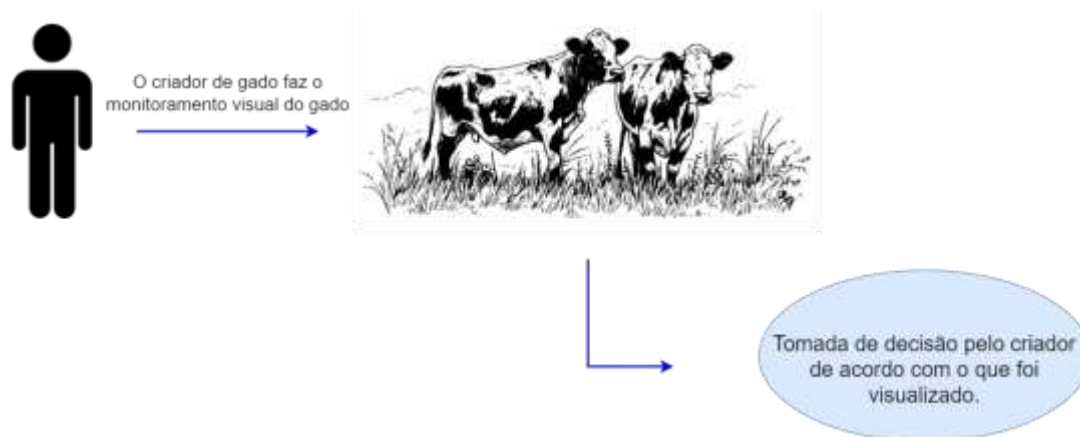


Figura 13: Fluxo de funcionamento da primeira alternativa solução proposta

Fonte: Autoria própria

3.2 Segunda alternativa: Uso de Drones

Os drones são uma alternativa para o monitoramento eficaz e eficiente da saúde do gado bovino, as câmaras térmicas presentes nos drones podem identificar animais com temperatura corporal elevada, potencialmente indicando doenças ou ferimentos. Através de filmagens aéreas, é possível observar o comportamento do rebanho, permitindo desse modo intervenção veterinária oportuna.

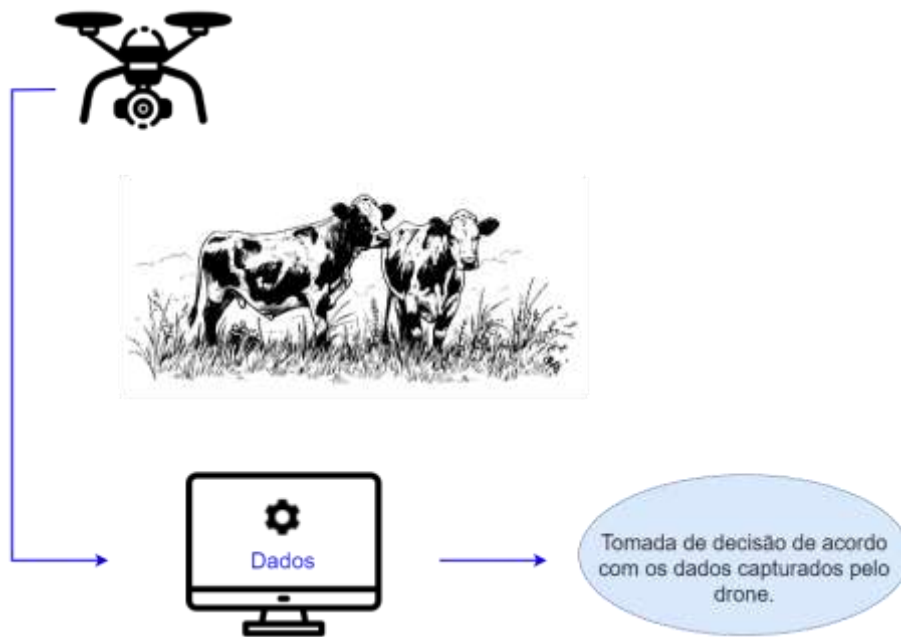


Figura 14: Fluxo de funcionamento da segunda alternativa solução proposta

Fonte: Autoria própria

3.3 Terceira Alternativa: Uso de sensores em coleira

A primeira alternativa envolve a instalação de sensores diretamente nos animais, geralmente por meio de coleiras. Cada sensor poderá monitorar dados específicos, como a temperatura corporal, batimentos cardíacos, atividade e localização do gado bovino. Essa abordagem permite o monitoramento individualizado, proporcionando uma visão mais detalhada e contínua da saúde de cada bovino.

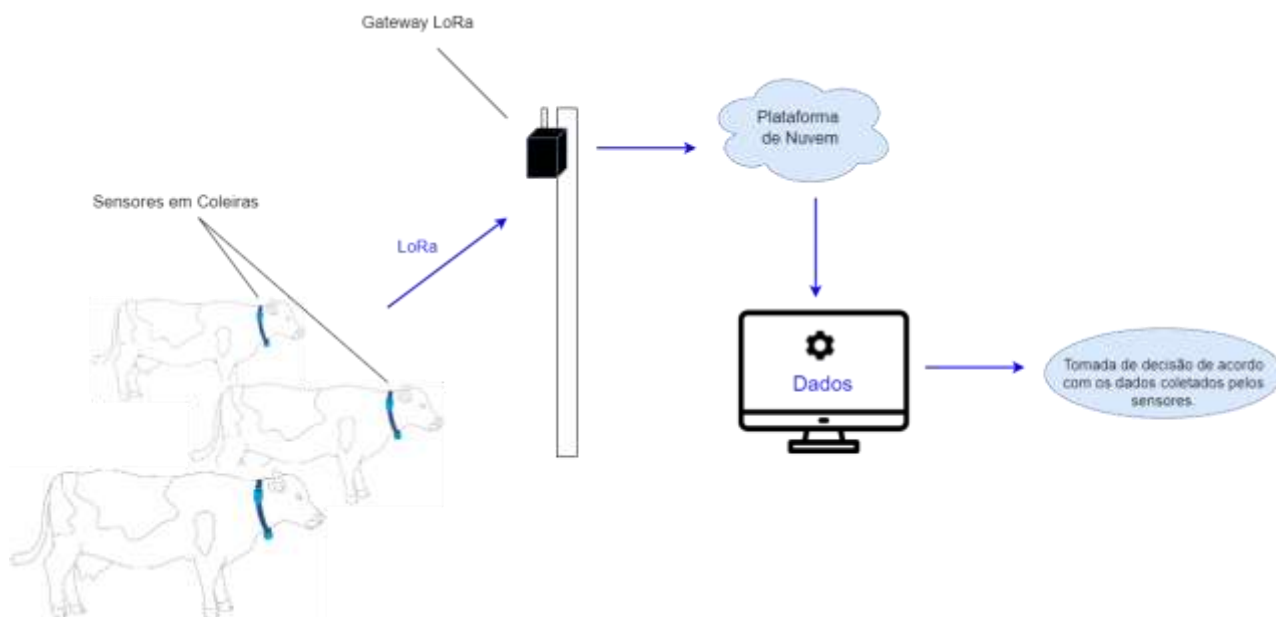


Figura 15: Fluxo de funcionamento da terceira alternativa solução proposta

Fonte: Autoria própria

3.4 Quarta Alternativa: Uso de sensores em pontos estratégicos

A quarta alternativa consistem em instalar os sensores em pontos estratégicos por onde os animais passam frequentemente, como nas áreas de alimentação, bebedouros e nas mangas de contenção.

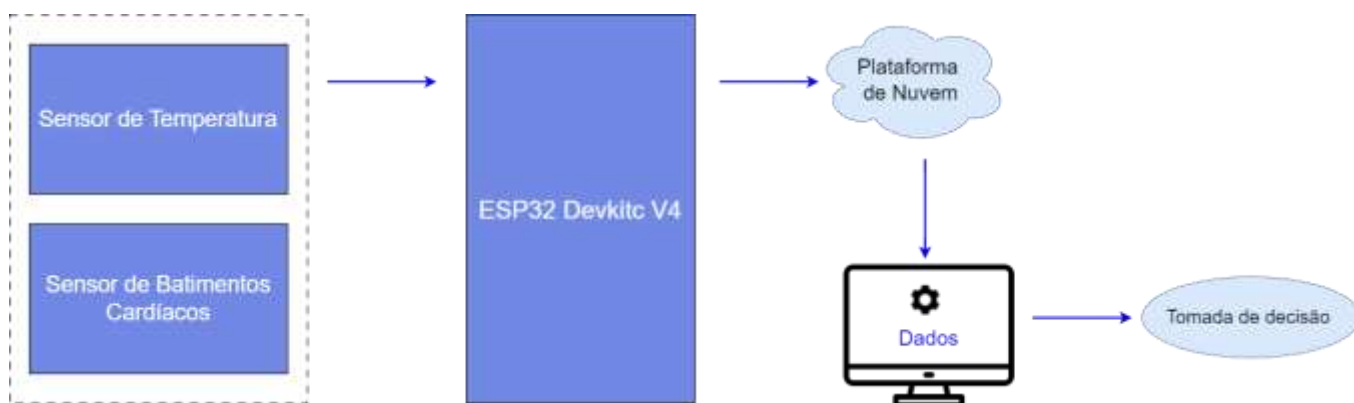


Figura 16: Fluxo de funcionamento da quarta alternativa solução proposta

Fonte: Autoria própria

3.5 Análise comparativa das alternativas de implementação da solução e a escolha da opção mais adequada

De forma a escolher a melhor alternativa, é necessário fazer uma análise comparativa entre as quatro alternativas de implementação da solução proposta. Cada uma dessas abordagens oferece benefícios distintos e apresenta desafios que impactam a eficácia e a viabilidade do monitoramento do rebanho. A tabela a seguir, visa analisar comparativamente as formas de implementação apresentadas, destacando as vantagens e limitações de cada abordagem para auxiliar na escolha da solução mais adequada para diferentes contextos operacionais.

Tabela 2: Comparação das alternativas de implementação da solução proposta

Alternativa	Pontos Fracos	Pontos Fortes
Primeira Alternativa	• Dependente da experiência e habilidades do observador. • Difícil monitorar grandes rebanhos de maneira eficiente. • A identificação de problemas pode ser tardia, afetando o bem-estar dos animais.	• Método direto de observação e identificação de problemas de saúde. • Não requer tecnologia avançada ou equipamentos caros. • Técnica tradicional e amplamente utilizada por produtores.
Segunda Alternativa	• O custo de implementação pode ser caro. • As condições meteorológicas podem afetar a eficácia dos drones. • Requer pessoal treinado para operar os drones e interpretar os dados.	• Permite monitorar grandes áreas rapidamente. • Fornece imagens e vídeos que podem ajudar a identificar problemas visuais de saúde.
Terceira Alternativa	• Requer um investimento inicial mais alto, pois cada animal precisa ser equipado com sensores.	• Permite a coleta de dados específicos para cada animal, proporcionando uma visão detalhada e contínua sobre a

	• Os sensores nas coleiras precisam de baterias, que necessitam de recarga ou substituição regular. • Implementação mais complexa. • Pode causar desconforto aos animais se as coleiras forem pesadas ou intrusivas.	saúde e o comportamento de cada bovino. • Oferece uma cobertura mais ampla para todos os animais, independentemente de sua localização.
Quarta Alternativa	• Não permite o monitoramento contínuo e individualizado de cada animal. • Cobertura limitada, pois os dados são coletados apenas quando os animais passam pelos pontos onde os sensores estão instalados.	• Possui um custo inicial menor, pois requer menos sensores, uma vez que são colocados apenas em pontos específicos. • A manutenção dos sensores é mais fácil, pois eles estão concentrados em locais específicos. • Facilidade de implementação relativamente simples. • Os sensores fixos podem ser alimentados por energia solar ou outras fontes permanentes, garantido desse modo, a eficiência energética do sistema.

Comparando o custo e a complexidade na implementação da solução, a primeira alternativa, baseada na observação direta, apesar de ser a mais acessível, é limitada pela subjetividade do observador e pela dificuldade em monitorar grandes rebanhos de forma eficiente e, além disso, a automação e a precisão dos dados são necessárias pois, trazem uma maior eficiência a longo prazo. A segunda alternativa, que utiliza drones, permite uma cobertura ampla e rápida, mas devido o seu alto custo de implementação e

a necessidade de operadores especializados tornam sua aplicação mais restrita. A terceira alternativa, que envolve coleiras com sensores individuais, oferece monitoramento contínuo e detalhado, mas exige um investimento inicial alto e manutenção frequente. A escolha da quarta alternativa justifica-se pelo seu equilíbrio entre custo, eficiência e simplicidade operacional, apesar de também possuir alguns pontos fracos, mostra-se financeiramente viável em relação as demais alternativas.

4. Capítulo IV: Desenvolvimento do protótipo

A solução escolhida para a problema deste trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema que combina *hardware* e *software*. Para o desenvolvimento do *software* serão usados princípios de engenharia de *software* que abrangem um conjunto de métodos e ferramentas que possibilitam desenvolvimento de *softwares* de alta qualidade.

4.1 Componentes do sistema

Entende-se por sistema, um conjunto de elementos interligados e interdependentes, cada um com uma função específica, que trabalham em sintonia para atingir um determinado objectivo comum. O sistema em causa pode ser visto como uma interligação dos seguintes componentes:

4.1.1 Sensores:

Para o sistema a ser desenvolvido, serão aplicados os seguintes sensores:

- **Sensor de temperatura MLX90614**

O sensor de temperatura MLX90614 é um componente que detecta a temperatura corporal ou de objectos por infravermelho, ou seja, sem que seja necessário o contacto directo com o sensor. Este tipo de sensor, além de detectar a temperatura do objecto, também detecta a temperatura do ambiente em que o objecto se encontra. A faixa de temperatura para o ambiente varia de -40°C a 125°C e para os objectos, varia de -70°C a 380°C, ambas com uma precisão de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

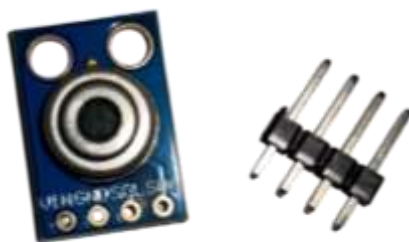


Figura 17: Sensor MLX90614

Fonte: Autoria própria

- **Sensor de frequência cardíaca MAX30102**

MAX30102 é oxímetro de pulso integrado e módulo monitor de frequência cardíaca. Ele inclui LEDs interno, fotodetectores, elementos óticos e eletrônicos de baixo ruído com rejeição da luz do ambiente. Ele é comumente usado para medir a frequência cardíaca e a saturação de oxigênio no sangue (SpO2).



Figura 18: Sensor MAX30102

Fonte: Autoria própria

4.1.2 Placa de desenvolvimento ESP32-DevkitC V4

Será utilizada a placa de desenvolvimento ESP32-DevkitC V4 baseada no chip ESP32 com o módulo WROOM- 32UE.



Figura 19: Placa de desenvolvimento ESP32-DevkitC V4

Fonte: Autoria própria

4.1.3 Aplicação *mobile*

Uma aplicação *mobile*³ será implementada para visualização dos dados coletados pelos sensores para que deste modo, os criadores de gado tomem decisões de acordo com os dados visualizados.

A interação entre os componentes do sistema está representada no diagrama a seguir e organizada de acordo com a arquitetura de cinco camadas da IoT.

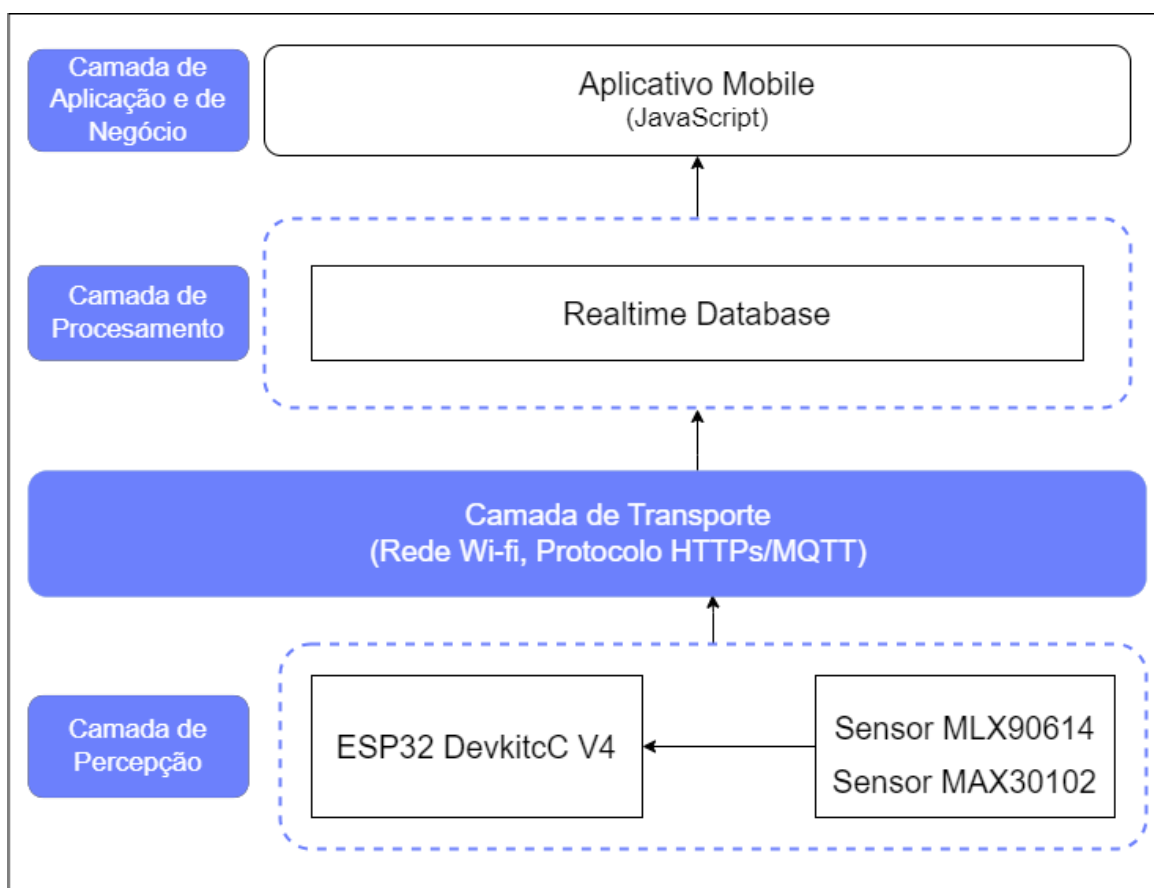


Figura 20: Diagrama em camadas do sistema

Fonte: Autoria própria

4.2 Descrição da solução proposta

Serão instalados sensores de temperatura e de batimentos cardíacos nas mangas de tratamento, que serão responsáveis pela coleta de dados fisiológicos do gado. Os

³ Uma aplicação mobile é aquela que é desenvolvida para ser usado em dispositivos móveis.

sensores estarão conectados ao microcontrolador ESP32 que atuará como unidade central de aquisição e transmissão dos dados coletados para a camada de processamento utilizando uma conectividade Wi-Fi. Os dados enviados pelo ESP32 são armazenados e processados no *realtime database* do *firebase*, que permite a atualização instantânea das informações. O banco de dados será responsável por armazenar e disponibilizar os dados para a camada superior, que é composta por dispositivos terminais como telemóveis que farão o acesso dos dados armazenados no banco de dados através de um aplicativo, permitindo que os pecuaristas visualizem em tempo real as informações sobre a saúde do gado. A interface do aplicativo apresentará alertas baseadas nos dados coletados.

4.3 Fluxo de Funcionamento da solução proposta

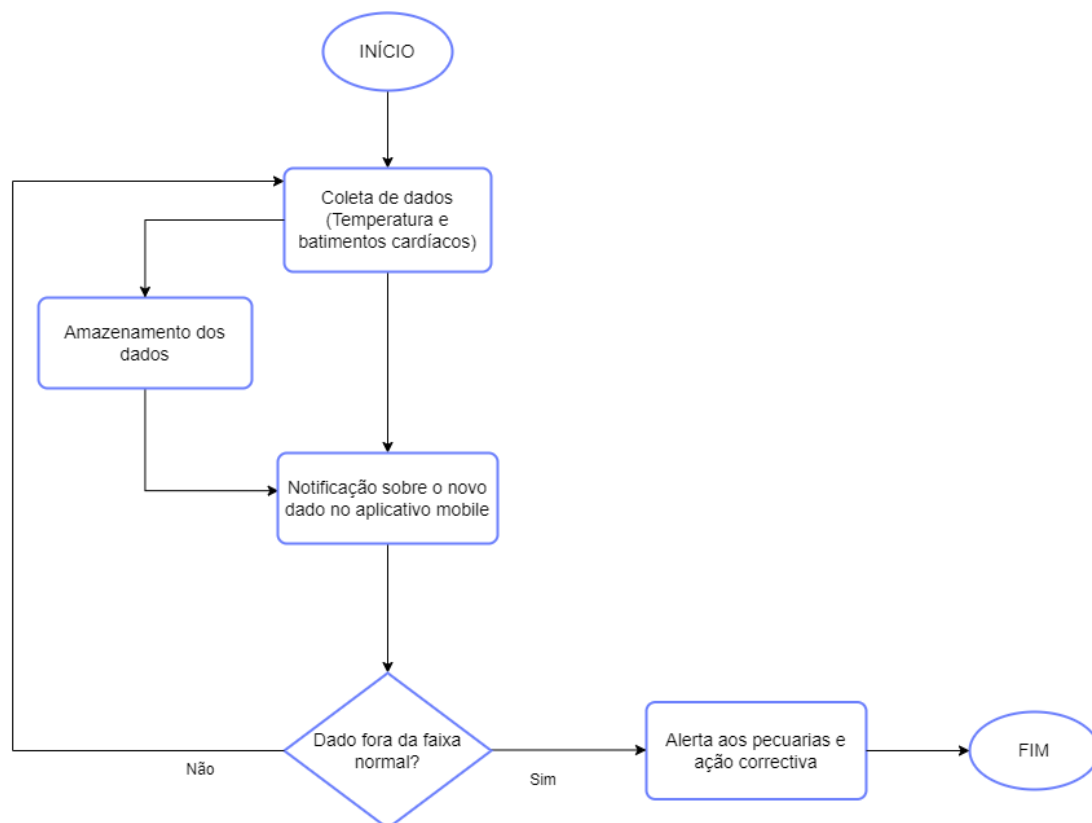


Figura 21: Fluxo de funcionamento do sistema

Fonte: Autoria própria

4.4 Modelagem do sistema

A modelagem de sistema é o processo de criação de modelos abstratos de um determinado sistema. Os modelos são usados para melhor projecção e entendimento do

sistema. A modelagem de sistema a geralmente representa o sistema com algum tipo de notação gráfica, que, actualmente, quase sempre é baseada com notações de UML (Sommerville, 2011). A modelagem gráfica do sistema será feita usando a UML.

Modelos diferentes apresentam o sistema a partir de perspectivas diferentes:

- Modelos de contexto;
- Modelos de interação (diagramas de casos de uso e diagramas de sequências);
- Modelos estruturais (diagramas de classe);
- Modelos comportamentais.

4.4.1 Requisitos do sistema

São descrições do que o sistema deve fazer, os serviços que oferece e as restrições do seu funcionamento. Esses requisitos refletem as necessidades do cliente para um sistema que serve a uma determinada finalidade. Os requisitos do sistema são frequentemente classificados em:

- Requisitos de usuário;
- Requisitos do sistema.

Os requisitos do sistema são frequentemente classificados como requisitos funcionais e requisitos não funcionais.

4.4.2 Requisitos de usuário

Os requisitos de usuário são declarações, **em uma** linguagem natural com diagramas, de quais serviços o sistema deverá fornecer a seus usuários e as restrições com as quais este deve operar (Sommerville, 2011). Os requisitos de usuário são mais gerais, **diferentemente dos requisitos do sistema** que oferecem informações mais específicas sobre os serviços e funções do sistema que devem ser implementados.

4.4.3 Requisitos funcionais

Os requisitos funcionais de um sistema são declarações de serviços que o sistema deve oferecer, de como o sistema deve reagir a entradas específicas e de como o sistema deve se comportar em determinadas situações (Sommerville, 2011).

Os requisitos funcionais de um sistema dependem do tipo de software a ser desenvolvido, de quem são os seus possíveis usuários e da abordagem geral adoptada

pela organização ao escrever os requisitos. Quando expressos como requisitos de usuários, os requisitos funcionais são normalmente descritos de forma abstrata, para serem compreendidos pelos usuários do sistema.

Para estabelecer a prioridade dos requisitos funcionais, foram adotadas as denominações essencial, importante e desejável.

Onde:

- **Essencial:** é o requisito sem o qual o sistema não entra em funcionamento. Requisitos essenciais são requisitos imprescindíveis, que têm que ser implementados na primeira disponibilização de um *software*.
- **Importante:** é o requisito sem o qual o sistema entra em funcionamento, mas de forma não satisfatória. Requisitos importantes devem ser implementados, mas, se não forem, o sistema poderá ser implantado e usado mesmo assim.
- **Desejável:** é o requisito que não compromete as funcionalidades básicas do sistema, isto é, o sistema pode funcionar de forma satisfatória sem ele. Requisitos desejáveis são requisitos que podem ser deixados para versões posteriores do sistema, caso não haja tempo hábil para implementá-los na versão que está sendo especificada.

A tabela, abaixo apresenta os requisitos funcionais do sistema.

Tabela 3: Requisitos funcionais do sistema

Requisito funiconal	Descrição	Prioridade
RF01. Fazer Login	O sistema deve permitir que os usuários efectuem o login para que tenham acesso ao sistema.	Importante
RF02. Cadastro de usuários	O sistema deve permitir o cadastro de novos usuários para que tenham acesso ao sistema.	Importante
RF03. Coleta de dados pelos sensores	O sistema deve permitir que sejam coletados pelos sensores dados sobre a	Essencial

	temperatura corporal e batimentos cardíacos do gado bovino.	
RF04. Visualizar dados coletados	O sistema deve permitir que sejam visualizados em detalhes os dados coletados pelos sensores e o seu estado de saúde.	Essencial
RF05. Gerar alertas	O sistema deve ser capaz de gerar alertas quando os dados coletados estiverem fora da faixa normal.	Essencial
RF06. Gerar relatório	O sistema deve oferecer a capacidade de gerar relatórios sobre a saúde do rebanho, facilitando a tomada de decisão estratégica.	Essencial

4.4.4 Requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais estão directamente relacionados com os serviços específicos oferecidos pelo sistema a seus usuários, elas representam restrições que são impostas na implementação do sistema. Ao contrário dos requisitos funcionais, os requisitos não funcionais, muitas vezes aplicam-se ao sistema como um todo.

Os requisitos não funcionais estão relacionados às propriedades emergentes do sistema, como a confiabilidade, tempo de resposta, disponibilidade, usabilidade, desempenho, escalabilidade, capacidade de manutenção, e outros.

Tabela 4: Requisitos não funcionais do sistema

Requisito não funcional	Descrição
RNF01. Fácil de usar	O sistema deve ter uma interface intuitiva e de fácil navegação, de forma a não adicionar complexidade aos utilizadores,

RNF02. Tempo de reposta	O Tempo de resposta do sistema não deve exceder aos 60 segundos.
RNF04. Disponibilidade	Deve se garantir que o sistema esteja operacional quando necessário.
RNF05. Segurança	O sistema deve restringir o acesso para os usuários não cadastrados, oferecendo mecanismos de segurança e autenticação.
RNF06. Distribuição	O sistema será executada em plataformas Android e iOS.
RNF07. Desempenho	O sistema deve ser capaz de processar grandes volumes de dados e garantindo respostas rápidas.

4.4.5 Diagrama de casos de uso

A modelagem de caso de uso é amplamente usada para apoiar a elicitação de requisitos. Um caso de uso pode ser tomado como um cenário simples que descreve o que o usuário espera de um sistema. Cada caso de uso representa uma tarefa discreta que envolve a interação externa entre os usuários do sistema com o próprio sistema. Em sua forma mais simples, um caso de uso é mostrado como uma elipse, com os actores envolvidos representados por figuras-palitos, de acordo com a figura abaixo:

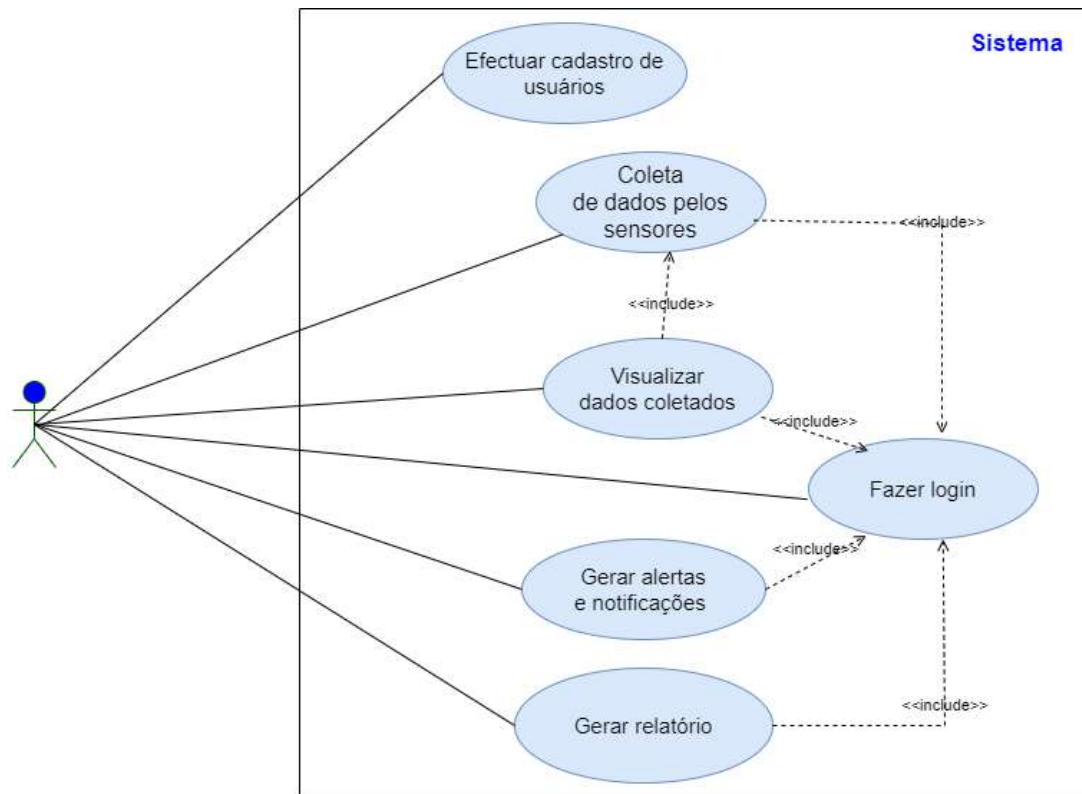


Figura 22: Diagrama de Casos de Uso

Fonte: Autoria própria

4.5 Restrições de desenvolvimento

Abaixo serão apresentadas as ferramentas que serão usadas para o desenvolvimento do protótipo:

- **Ambiente de desenvolvimento:**
 - Visual Studio Code - é um editor de código desenvolvido pela Microsoft e comumente usado para construir e depurar aplicativos web. Pode ser executado no Windows, macOS e Linux.
 - Arduino IDE – é uma plataforma de desenvolvimento integrada que permite a programação de microcontroladores Arduino de maneira simples e eficiente utilizando uma linguagem baseada em C/C++.
- **Framework e linguagens de programação:**
 - JavaScript (React native);
- **Plataforma de Nuvem:**

- *Firebase* – é uma plataforma de desenvolvimento de aplicativos móveis e web, desenvolvida pela Google, que oferece uma variedade de ferramentas e serviços para ajudar desenvolvedor a criar aplicativos rapidamente.

5. Capítulo V – Apresentação e Discussão dos Resultados

5.1 Resultados dos testes do sensor de temperatura MLX90614

Inicialmente, foram conduzidos testes individuais com o sensor de temperatura MLX90614 e, para fins de validação inicial, os testes foram aplicados na própria autora do trabalho. Ao se aproximar do sensor, foi possível observar as variações nas leituras de temperatura correspondentes. As medições apresentaram um desvio padrão de 0.3 °C, indicando que as medições estão próximas entre si.

Na tabela que se segue, é apresentada uma amostra dos resultados do teste realizado para verificar o funcionamento do sensor.

Tabela 5: Resultados do teste realizados no sensor MLX90614

	Temperatura do objecto	Temperatura do ambiente
Teste 1	30.09 °C	33.11 °C
Teste 2	30.11 °C	33.69 °C
Teste 3	30.13 °C	33.91 °C
Teste 4	30.17 °C	33.27 °C
Teste 5	30.23 °C	33.33 °C
Teste 6	30.79 °C	33.91 °C
Teste 7	30.81 °C	33.75 °C
Teste 8	30.95 °C	33.99 °C
Teste 9	30.39 °C	33.89 °C
Teste 10	30.37 °C	33.11 °C

5.2 Resultados dos testes do sensor de batimentos cardíacos MAX30102

De igual modo, foram realizados testes individuais no sensor de batimentos cardíacos MAX30102 na própria autora do trabalho, nos quais foi possível capturar os batimentos cardíacos e o nível de saturação de oxigênio no sangue (SpO₂).

Na tabela que se segue, é apresentada uma amostra resultados do teste realizado para verificar a acurácia do sensor.

Tabela 6: Resultados do teste realizados no sensor MAX30102

Batimentos cardíacos		SpO2
Teste 1	70.26 bpm	76 %
Teste 2	81.88 bpm	76 %
Teste 3	88.17 bpm	97 %
Teste 4	88.84 bpm	93 %
Teste 5	86.29 bpm	108 %
Teste 6	85.29 bpm	86 %
Teste 7	90.20 bpm	97 %
Teste 8	87.30 bpm	83 %
Teste 9	85.76 bpm	85 %
Teste 10	92.26 bpm	98 %

5.3 Integração dos sensores

Durante os testes com a integração dos sensores feita, foram identificadas dificuldades na comunicação entre o sensor de batimentos cardíacos MAX30102 e o sensor de temperatura MLX90614 quando ambos estavam conectados ao mesmo barramento I2C. Esse conflito resultava na leitura incorreta dos dados pelos sensores. Como tentativa de solução, cada sensor foi alocado a um barramento I2C separado, utilizando pinos de comunicação distintos para garantir que operassem de forma independente e sem interferências. No entanto, apesar dessa abordagem, os testes revelaram que o MAX30102 ainda não conseguia capturar os dados quando conectado ao MLX90614 apenas quando testado individualmente, enquanto o MLX90614 manteve seu funcionamento normal. Esse resultado evidencia uma questão técnica que exige uma análise mais aprofundada, abrindo caminho para novas investigações sobre possíveis interferências, limitações do protocolo I2C ou a necessidade de ajustes adicionais.

5.4 Resultados qualitativos

Os resultados obtidos durante a coleta de dados com as pecuaristas indicam desafios na adoção da tecnologia, principalmente devido a custos iniciais de implementação e manutenção, conforme destacado por Machado & Nantes (2011). Além disso, diferentemente de estudos realizados em países desenvolvidos, onde há infraestruturas

de conectividade mais robustas, o contexto moçambicano apresenta alguns desafios adicionais. A limitação da infraestrutura de internet em algumas áreas rurais pode impactar diretamente a comunicação e transmissão dos dados, constituindo desse modo, um desafio para implementação do sistema em larga escala.

Estudos anteriores indicam que o monitoramento da saúde do gado por meio de sensores IoT tem ganhado destaque como uma solução eficaz para a detecção precoce dos primeiros sinais de doenças em bovinos e, segundo Conceição, et al. (2023), a temperatura corporal é um importante indicador de saúde animal, uma vez que por meio dela podem ser detectados estresses, inflamações locais, e patologias no geral. Uma variação significativa da temperatura do gado pode impactar negativamente no seu comportamento (Tippannavar, et.al., 2023).

Este trabalho de pesquisa trás consigo as seguintes implicações:

- **Implicações teóricas:** Este estudo reforça a aplicabilidade de tecnologias IoT no sector pecuário e, ao explorar o uso de sensores para o monitoramento da saúde animal, este trabalho contribui para o avanço da literatura sobre pecuária de precisão, principalmente em Moçambique, evidenciando o potencial das tecnologias emergentes na otimização da gestão pecuária.
- **Implicações práticas:** O sistema pode reduzir os custos com intervenções veterinárias tardias, aumentando a produtividade ao garantir um controle preventivo mais eficiente.

6. Capítulo VI - Conclusões e Recomendações

6.1 Conclusões

A tecnologia desempenha um papel fundamental na transformação de diversos sectores, impulsionando a inovação e melhorando a eficiência de alguns processos. Este trabalho de pesquisa explorou a aplicação da tecnologia no sector da pecuária, destacando como a inovação pode contribuir para a modernização do sector e sustentabilidade de produção, visto que a população mundial está em constante crescimento e a procura pelos produtos de origem animal é cada vez maior, levando à necessidade de monitoramento contínuo de sua saúde para garantir o seu bem-estar, pois afecta diretamente a saúde dos consumidores assim como a economia do sector

O presente trabalho teve como objectivo principal, aplicar os conceitos de pecuária de precisão, propondo um sistema de monitoramento de saúde do gado bovino com recurso à Internet das Coisas. Pôde-se verificar que se trata de uma solução promissora para o monitoramento da saúde e bem-estar do gado, permitindo a detecção precoce de possíveis problemas de saúde, assim como contribuir para o aumento da eficiência na produção.

Ao longo da pesquisa foi possível analisar a actividade da pecuária em Moçambique, com ênfase na análise das formas tradicionais de monitoramento da saúde do gado bovino. Verificou-se que trata-se de uma actividade que desempenha um papel fundamental na economia do país, no entanto, o mecanismo actual de monitoramento da saúde em algum momento pode apresentar algumas limitações, uma vez que se baseia simplesmente na observação e inspeção manual dos animais.

Além disso, foram identificados e descritos os principais componentes do sistema, bem como a infraestrutura necessária para a transmissão e processamento dessas informações, tendo sido exploradas as tecnologias de conectividade adequadas para garantir a viabilidade do sistema em diferentes contextos. Por fim, foi desenvolvido um protótipo funcional do sistema que visa proporcionar uma abordagem mais eficiente no acompanhamento do bem-estar animal.

Dessa forma, a pesquisa atingiu seus objetivos ao demonstrar que tecnologias como a IoT pode ser uma aliada essencial na pecuária, trazendo benefícios tanto para os criadores quanto para a sustentabilidade do sector. As limitações e dificuldades

enfretadas ao longo dos testes, indicam pontos de melhorias a serem levadas em conta nas versões futuras.

6.2 Recomendações

A autora recomenda que o sistema seja implementado e testado em ambiente real para que se possa verificar a sua eficiência. Recomenda-se ainda o uso de resistores *pull-up* para melhor acurácia nas medições dos sensores.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a transição da abordagem do uso de sensores em um ponto fixo para o uso de sensores vestíveis para cada animal assim como a integração de métodos de identificação, como RFID para associar corretamente os dados coletados ao animal correcto. Embora essa abordagem tenha um custo inicial maior, ela possibilita o monitoramento contínuo dos parâmetros fisiológicos do animal independentemente da sua localização.

6.3 Limitações

As limitações observadas no sistema incluem a interferência na transmissão de dados em áreas com baixa conectividade à internet, pois o sistema faz o uso da rede Wi-Fi para o envio dos dados no aplicativo.

7. Bibliografia

7.1 Referências bibliográficas

1. Obtido em 19 de Julho de 2024, de Dusun IoT: <https://www.dusuniot.com/blog/best-microcontroller-for-iot-to-elevate-your-iot-development/>
2. Obtido em 24 de Julho de 2024, de Maker Hero: <https://www.makerhero.com/blog/conheca-o-microcontrolador-stm32/>
3. Obtido em 25 de Julho de 2024, de ElectronicsHub: <https://www.electronicshub.org/esp32-vs-esp8266/#:~:text=The%20ESP32%20is%20better%20than,liable%20and%20hi%2Dtech%20security.>
4. Ansari, Sedky, Sharma, & Tyagi. (2015). An Internet of things approach for motion detection using Raspberry Pi. IEEE.
5. Arcaro Júnior, I., & Nããs, I. A. (2001). *Influência de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor*. (Vol. 5). Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.
6. Bandyopadhyay, D., & Sen, J. (2011). Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization. 58. Wireless Personal Communications.
7. Campos, F. (Março de 2020). *Smartkits*. Obtido de <https://blog.smartkits.com.br/boas-praticas-com-placas-de-desenvolvimento/>
8. Cervo, A. L., & Bervian, P. A. (2002). Metodologia científica (5ª ed.). São Paulo: Prentice Hall.
9. Conceição, A., Coeli, A., Braga, P., Oliveira, P., & Shultz, E. (2023). *Tecnologias aplicadas ao monitoramento de parâmetros fisiológicos na produção de ruminantes*. Viçosa, Brasil: Revista Agrária Acadêmica.
10. Dinesh, E., & Ramesh, L. (2018). Analysis of Cloud Services in Agriculture Through Internet of Things and Big Data. Indian Journal of Science and Technology.
11. Du Preez, J. H. (2000). *Parameters for the determination and evaluation of heat stress in dairy cattle in South Africa* (Vol. 67). Journal of Veterinary Research.
12. Echeverria, J. T. (2024). Obtido de Labmol Vet: <https://labmolvet.com.br/2024/02/tristeza-parasitaria-bovina-o-que-e-essa-doenca-tao-comum-que-acomete-o-gado/>
13. FAO. (2009).
14. FAO. (2020).

15. Filho, B., Morreira, S., Thomé, K., & Ferreira, P. (2009). *Análise econômica da terminação de gado de corte em confinamento dentro da dinâmica de uma propriedade agrícola*. Brasília.
16. Fonseca, J. J. S. (2002). Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC.
17. Goldenberg, M. (1997). A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais (3ª ed.). Rio de Janeiro: Record
18. Groher, T., Heitkamper, K., & Umstatter, C. (2020). *Digital technology adoption in livestock production with a special focus on ruminant farming* (Vol. 14).
19. He. (2015). Development of a Wearable Device for Real-Time Monitoring of Heart Rate Variability.
20. Hermínia, C. (Março de 2020). Obtido de Smartkits: <https://blog.smartkits.com.br/tipos-de-arduino/>
21. IBGE. (2013).
22. IIAM; USAID; ILRI; Universidade de Pretória. (2013). Manual do Campo-Diagnóstico de Doenças do Gado. Maputo, Moçambique.
23. Jorquera-Chávez, Fuentes, Dunshea, Jongman, & Warner. (2019). Visão computacional e sensoriamento remoto para avaliar as resposta fisiológicas do gado ao estresse pré-abate e seu impacto na qualidade da carne bovina: Uma evisão, Carne. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.007>
24. Kumar, A., Bhowmik, T., Sharma, R., & Bhardwaj, A. (2022). Preserving Security and Privacy in IoT Using Machine Learning and Trust Management. 373. Springer, Singapore. Obtido de https://doi.org/10.1007/978-981-16-8721-1_34
25. Machado, & Nantes. (2011). *Adoção da tecnologia da informação em organizações rurais: o caso da pecuária de corte*. Obtido de <https://www.scielo.br/j/gp/a/cwVwLsPgq8FBq5kvgXZPpLQ/abstract/?lang=pt>
26. Mattern, F., & Floerkemeier, C. (2010). From de Internet of Computers to the Internet of Things.
27. Miao, Ting, Fei, Ling, & Hui. (2010). Research on the Architecture of Internet of Things. Obtido de <https://doi.org/10.1109/ICACTE.2010.5579493>
28. Olx. (Julho de 2024). Obtido de <https://www.olx.pt/animais/q-mangas/>
29. P., A., Vimala, H., & J., S. (2024). Comprehensive review on congestion detection, alleviation, and control for IoT networks. 21. Journal of Network and Computer Applications. Obtido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804523001686>
30. Parronchi. (2017). Os pioneiros do desenvolvimento e a Nova Agricultura 4.0: desenvolvimento econômico a partir do campo. Research Gates.
31. Pressman, R., & Maxim, B. (2021). *Engenharia de software: uma abordagem profissional* (9a ed.). Porto Alegre, Portugal: AMGH Editora Ltdas.
32. Reinhardt, A. (2004). A Machine-to-Machine Internet of Things.
33. Robinson, E. (1999). *Termorregulação* (2a ed.). Rio de Janeiro: Tratado de fisiologia veterinária.

34. Robocore. (2024). *Robocore*. Obtido em 17 de Agosto de 2024, de <https://www.robocore.net/placa-raspberry-pi/raspberry-pi-pico-h>
35. Santa Ana, R., & Sordi, V. (s.d.). Tecnologias de Pecuária de Precisão no contexto da pecuária 4.0. Mato Grosso do Sul, Brasil. Obtido em 10 de Abril de 2024, de <http://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/26472/23913/319684>
36. Sehrawat, D., & Singh Gill, N. (Abril de 2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. Obtido em 2024 de julho de 20
37. Sigmaos. (s.d.). Obtido em 2024 de Julho de 2024, de <https://sigmaos.com/tips/startups/internet-of-things-iot-terms-explained-microcontroller>
38. Sommerville, I. (2011). Engenharia de software. São Paulo: Pearson.
39. Sultania, R. (19 de Abril de 2019). Obtido em 19 de Julho de 2024, de Tutorialspoint: <https://www.tutorialspoint.com/which-microcontroller-is-suitable-for-the-internet-of-things-iot>
40. Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., . . . Garreta, L. E. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*.
41. Vaintrub, M., & Odintsov. (2020). *Precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming. Animal*.
42. Wathes, Kristensen, Aerts, & Berckmans. (2008). Precision livestock farming an engineer's daydream of nightmare, and animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall. *Compute and Electronics in Agriculture*.
43. Zafar, Miraj, Baloch, Murtaza, & Arshad. (2018). An IoT Based Real-Time Environmental Monitoring System Using Arduino and Cloud Service. *18. Engineering, Technology & Applied Science Research*.
44. Zhang, & Zhu. (12 de Junho de 2011). Internet of Things: Key Technology, Architecture and Challenging Problems. Shanghai. Obtido de <https://doi.org/10.1109/CSAE.2011.5952899>
45. Zhang, Li, Zhang, Xing, & Yang. (2012). SemanMedical: A kind of semantic medical monitoring system model based on the IoT sensors. *IEEE*.

7.2 Outra bibliografia consultada

1. Amalraj, J., Banumathi, & John, J. (Agosto de 2019). IOT Sensors And Applications: A Survey. *8. INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*.

2. Bruno, D., Bruno, L. D., Osório, F., & Teixeira, M. (2022). SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ANIMAIS (SENSOR PET): uma abordagem envolvendo técnicas IoT. São Paulo, Brasil.
3. Chemitec. (s.d.). Chemitec. Obtido em 23 de Junho de 2024, de <https://chemitec.com.br/patologias/babesiose-bovina/>
4. Coltro, Y. C., Gavioli, A., & Filho, P. (Novembro de 2021). IOT APLICADA À PECUÁRIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. Brasil.
5. Guitarrara, P. (2023 de Dezembro de 06). Pecuária. Obtido de Brasil Escola: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/pecuaria.htm>
6. Ilyas, H., & Muneer, A. (2020). Smart Farming: An Enhanced Pursuit of Sustainable Remote Livestock Tracking and Geofencing Using IoT and GPRS (Vol. 20).
7. Instituto de Estudos Socias e Económicos. (2020). Visão do sector agrário moçambicano para o período de 2011-2020. Maputo.
8. Jake, A., Darab, Fraserc, Robertsd, & Sharife. (2020). Smart polty management: Smart sensors, big data, and the Internet of Things (Vol. 170).
9. Marconi, M., & Lakatos, E. (2003). Fundamentos de Metodologia Científica (5ª ed.). São Paulo, Brasil: Atlas S.A.
10. Ministério da Agricultura. (2009). Estratégia para o desenvolvimento de subsector pecuário. Maputo.
11. Mouha, R. (2021). Internet of Things (IoT). 9. Journal of Data. Obtido de <https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.92006>
12. Nascimento, D., Silva, L., Macena, M., Andrade, H., & Andrade, L. (2024). Impactos causado pelo uso de tecnologia na pecuária leiteira: uma revisão sistemática de literatura. Pernambuco: Diversitas Journal.
13. Shama, S., Thakur, K., Pandit, A., Mahjan, S., & Rana, V. (2023). Internet das Coisas na Pecuária: Implementação e Desafios. Research Square.
14. Sousa, P. (10 de Outubro de 2022). Conceito de Pecuária. Obtido em 6 de Dezembro de 2023, de <https://conceito.de/pecuaria>
15. Villa-Henriksen, A., Gareth, Edwards, Pesonen, L., Green, & Sorensen. (2020). Internet of thing in arable farming: implementation, applications, challenges and potencial (Vol. 191). Biosystems Engineering.
16. Zefiro. (25 de Maio de 2024). Obtido de <https://zefiro.com.br/as-7-redes-iot-mais-populares>

Anexos

Anexo 1: Especificação dos caso de uso

O sistema conta com seis (6) casos de uso:

Tabela A1-1: Especificação do caso de uso cadastro de usuários

Nome	Cadastro de usuários
Descrição	Permite o cadastro de novos usuários para que tenham acesso ao sistema.
Actor	Pecuarista
Prioridade	Importante
Pré-condição	Não possuir credências para efectuar o login no sistema.
Pós-condição	Ter acesso ao sistema e suas respectivas funcionalidades.
Fluxo principal dos eventos	
Actor	Actividades
Sistema	1. Apresentar a tela inicial da aplicação.
Utilizador	2. Clicar no link/botão para criar uma nova conta.
Sistema	3. Apresenta o formulário com os campos a serem preenchidos.
Utilizador	4. Preenche os campos e clica em “Criar conta”.
Sistema	5. Salva os dados e direciona o usuário a tela de login.

Tabela A1-2: : Especificação do caso de uso efectuar login

Nome	Efectuar Login
Descrição	Permite o acesso ao sistema para os usuários que já tenha se cadastrados.
Actor	Pecuarista
Prioridade	Importante
Pré-condição	Estar cadastrado no sistema.
Pós-condição	Ter acesso ao sistema e suas respectivas funcionalidades.
Fluxo principal dos eventos	
Actor	Actividades
Utilizador	1. Inicializa o aplicativo.

Sistema	2. Apresentar a tela de login e os campos a serem preenchidos pelas credências do usuário.
Utilizador	3. Preenche os campos e clica em “Login”.
Sistema	4. Dá ao utilizador o acesso as funcionalidades do sistema.

Tabela A1-3: Especificação do caso de uso coleta de dados

Nome	Coleta de dados
Descrição	Permite que sejam coletados pelos sensores dados sobre a temperatura corporal e batimentos cardíacos do gado bovino.
Actores	Sensores, ESP32 e o pecuarista
Prioridade	Essencial
Pré-condição	O microcontrolador e os sensores devem estar conectados e operacionais. O pecuarista deve estar cadastrado e ter efectuado o login.
Pós-condição	Os dados são coletados e armazenados para uma posterior visualização e análise.
Fluxo principal dos eventos	
Actor	Actividades
Utilizador	1. Inicializa a aplicação, faz a navegação e clica no botão “saúde”.
Sensor	2. Realiza a leitura e retorna os dados capturados ao ESP32.
ESP32	3. Realiza uma validação dos dados e prepara-os para que sejam enviados para a nuvem.

Tabela A1-4: Especificação do caso de uso visualizar dados coletados

Nome	Visualizar dados coletados.
Descrição	Permite visualizar os dados coletados pelos sensores, bem como uma mensagem sobre o estado de saúde do animal.
Actor	Pecuarista
Prioridade	Essencial

Pré-condição	Ter efectuado o login e estar no menu principal e ter clicado no botão “saúde”.
Pós-condição	Ter acesso aos dados coletados pelos sensores.
Fluxo principal dos eventos	
Actor	Actividades
Sistema	1. Mostra os dados coletados referentes a temperatura e batimentos cardíacos coletados pelos sensores.

Tabela A1-5: Especificação do caso de uso gerar alertas

Nome	Gerar alertas e notificações.
Descrição	Tira uma mensagem de alerta quando os dados coletados estiverem fora da faixa normal.
Actor	Pecuarista
Prioridade	Essencial
Pré-condição	Ter aberto a aplicação, estar no menu principal e ter efectuado a coleta dos dados
Pós-condição	Ter informações acerca do animal com os dados fora da faixa normal.
Fluxo principal dos eventos	
Actor	Actividades
Utilizador	Inicializa a aplicação
Sistema	1. Apresenta a tela inicial.
Utilizador	2. Clica no botão “saúde”.
Sistema	3. Mostra os valores captados pelos sensores e uma mensagem de alerta se os dados coletados estiverem fora da faixa normal.

Tabela A1-6: Especificação do caso de uso gerar relatório

Nome	Gerar relatório
Descrição	Gerar relatórios sobre a saúde do rebanho de acordo com os últimos dados coletados, facilitando a tomada de decisão estratégica.
Actor	Pecuarista

Prioridade	Essencial
Pré-condição	Ter aberto a aplicação e estar no menu principal.
Pós-condição	O usuário terá um relatório do histórico dos dados coletados.
Fluxo principal dos eventos	
Actor	Actividades
Utilizador	1. Abrir aplicação.
Sistema	2. Apresenta o menu principal.
Utilizador	3. Clica em 'Relatórios e Análises'.
Sistema	4. Apresenta a tela para que o usuário possa gerar o seu relatório.
Utilizador	5. Seleciona o intervalo no qual deseja que o relatório seja gerado.
Sistema	6. Apresenta os gráficos com os dados de acordo o intervalo selecionado.
Fluxo alternativo	
Sistema	4. Se nenhum intervalo for selecionado, o sistema apresenta os dados das últimas semanas ou do último mês, dependendo da quantidade dos dados.

Anexo 2: Diagramas de Sequência

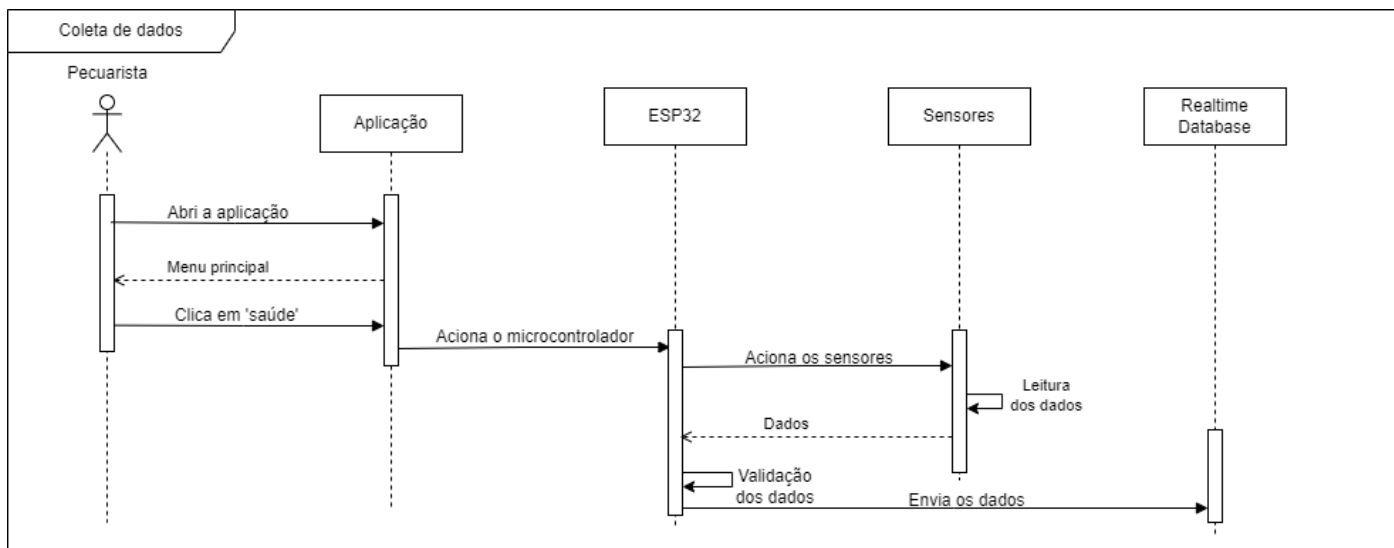


Figura A2-1: Diagrama de sequência - coleta de dados

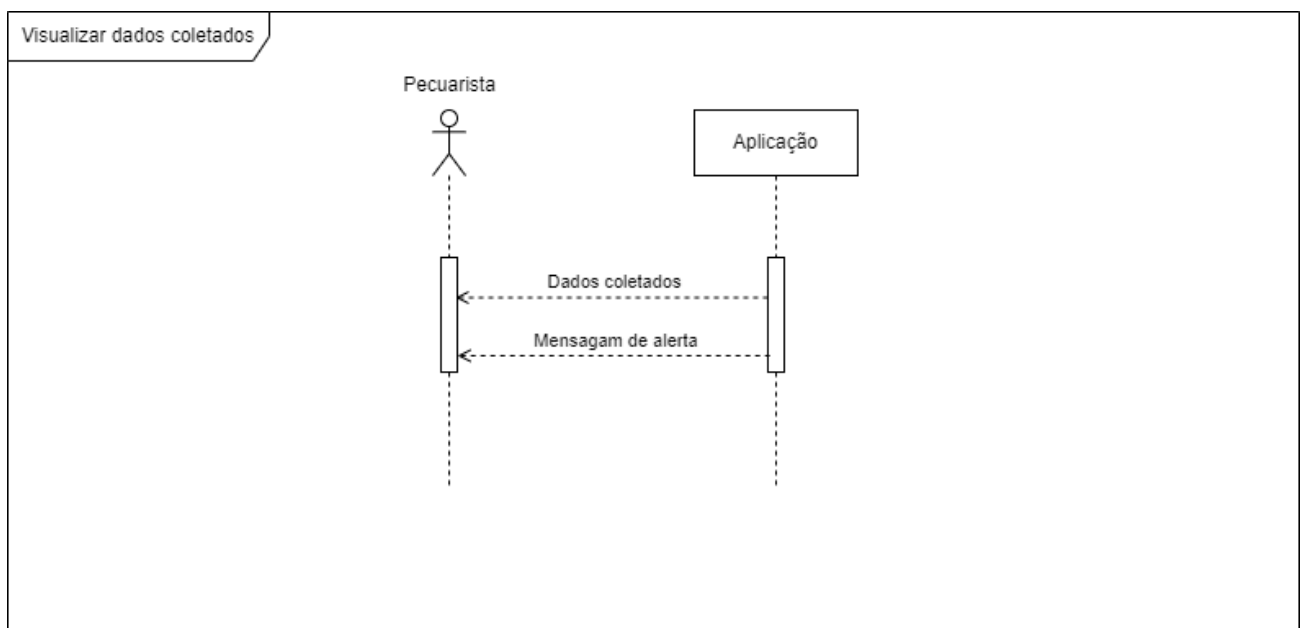


Figura A2-2: Diagrama de sequência - visualizar dados coletados

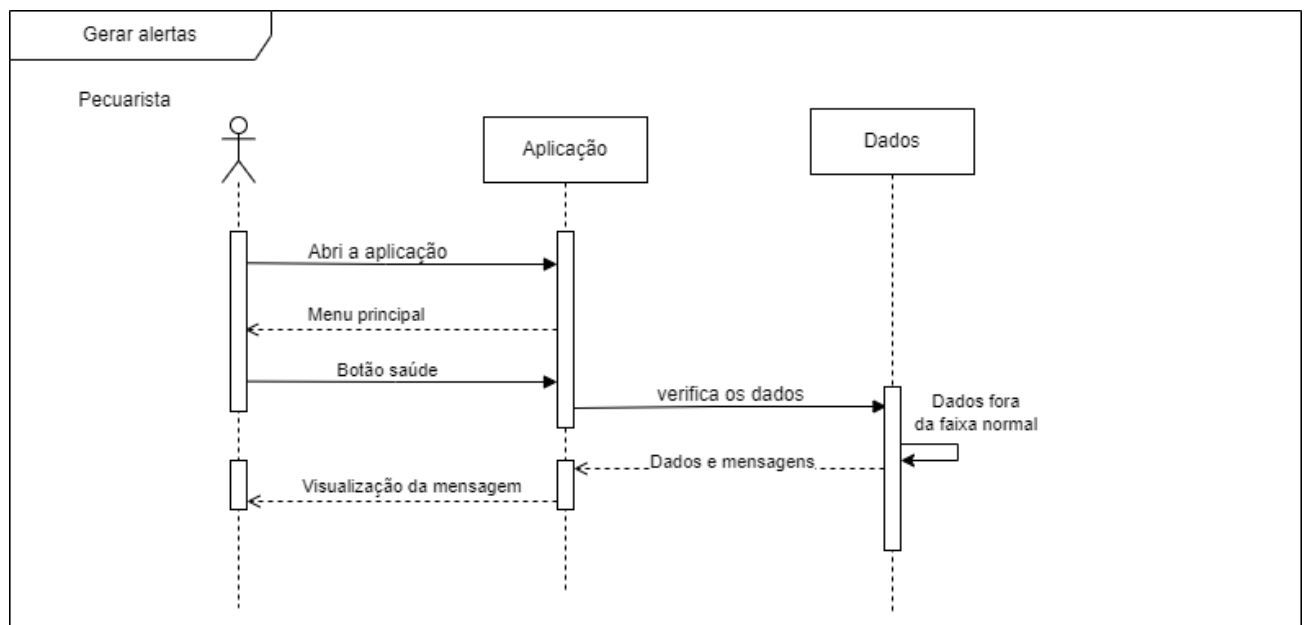


Figura A2-3: Diagrama de sequência - gerar alertas

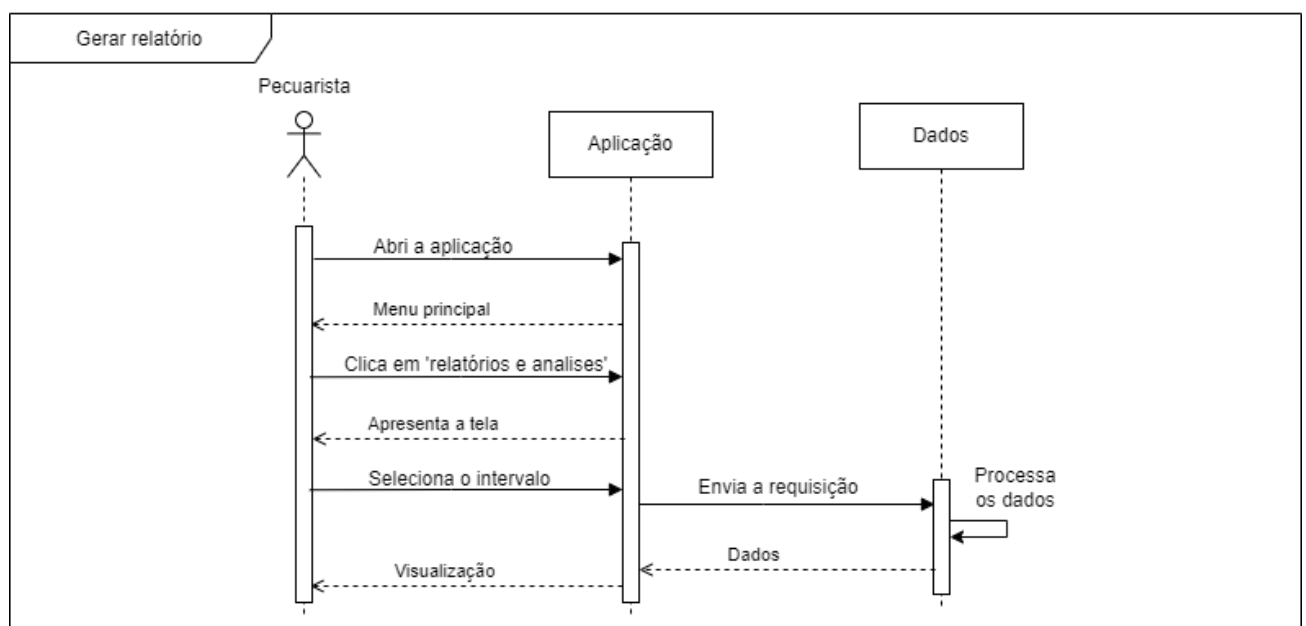


Figura A2-4: Diagrama de sequência - gerar relatórios

Anexo 3: Diagrama de classes

Os diagramas de classe são usados no desenvolvimento de um modelo de sistema orientando a objectos para mostrar as classes de um sistema e as associações entre elas. Em poucas palavras, uma classe de objecto pode ser pensada como uma definição geral de um tipo de objecto e uma associação como um *link* entre as classes que indica algum relacionamento entre elas. Consequentemente, cada classe pode precisar de algum conhecimento sobre sua classe associada.

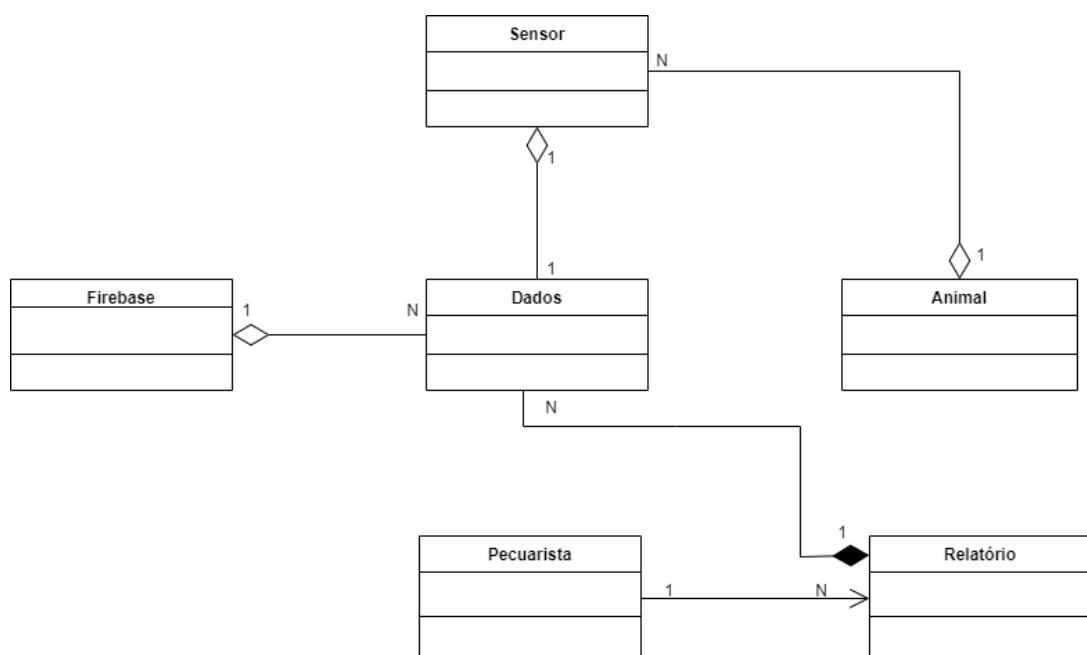


Figura A3-1: Diagrama de classes

Fonte: Autoria própria

Anexo 4: Arquitectura do hardware do sistema

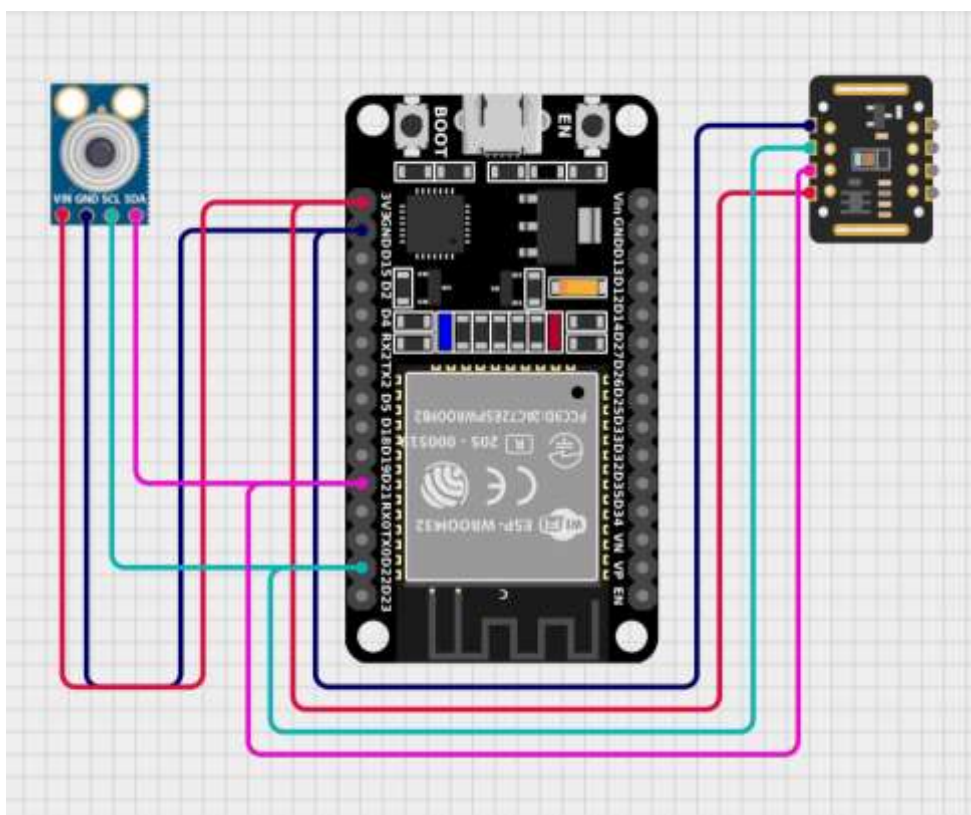


Figura A4-1: Arquitectura do hardware do sistema

Fonte: Autoria própria

Anexo 5: Hardware do protótipo sistema

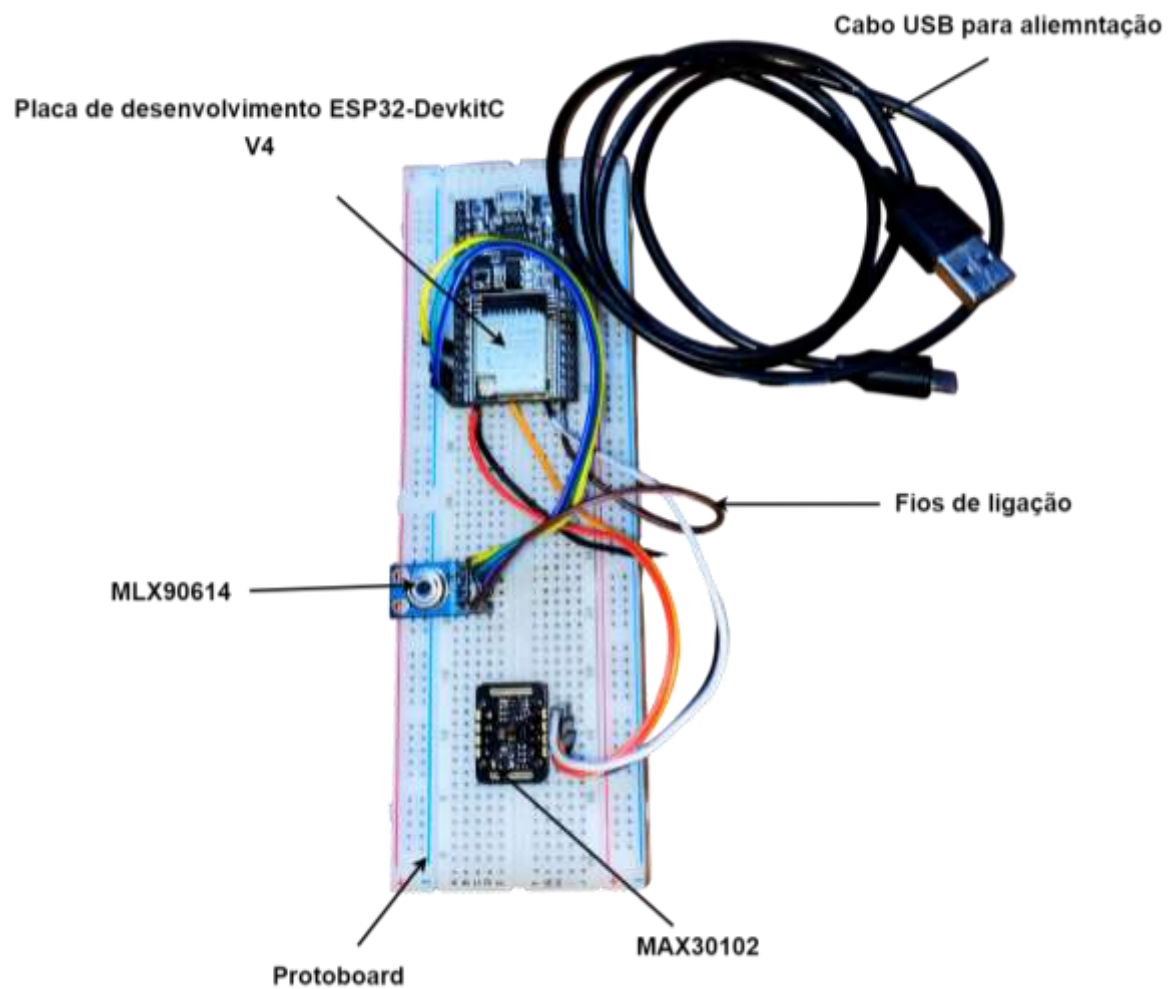


Figura A5-1: Hardware do protótipo do sistema

Fonte: Autoria própria

Anexo 6: Telas do aplicativo *mobile*



Figura A6-1: Tela de login



Figura A6-2: Tela de cadastro de novos usuários



Figura A6-3: Tela do menu principal



Figura A6-4: Relatório dos dados capturados pelos sensores anteriormente



Figura A6-5: Datepicker para filtrar os dados do relatório

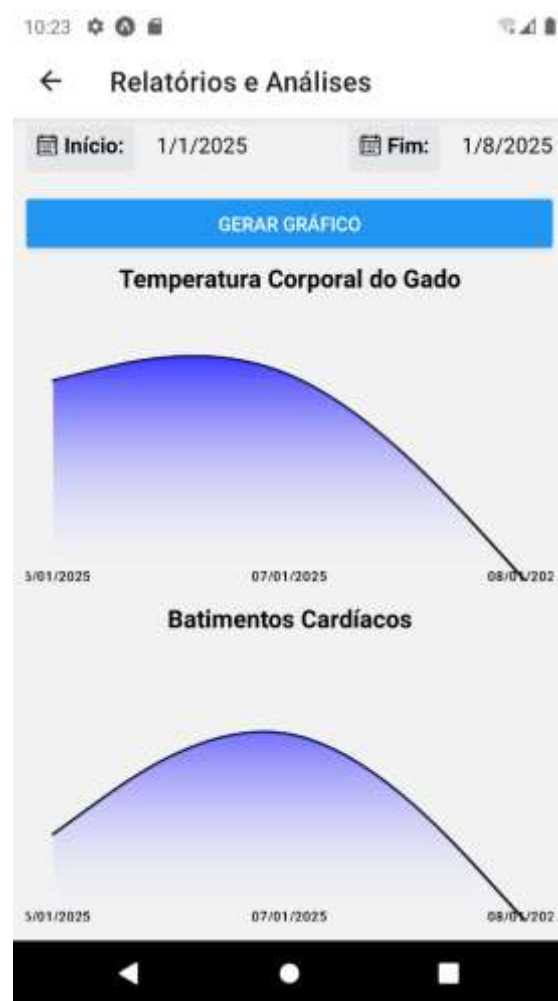


Figura A6-6: Apresentação do resultado do filtro dos dados

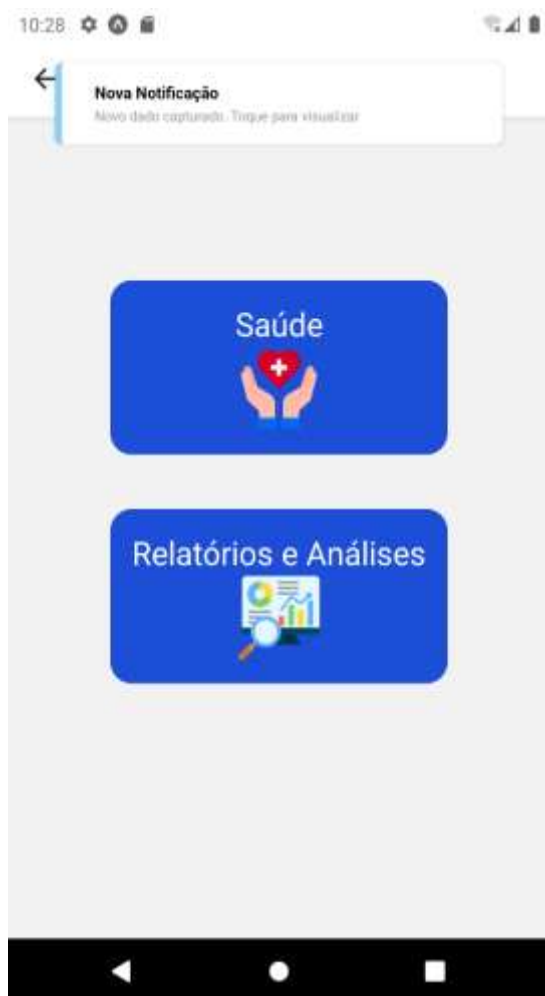


Figura A6-7: Apresentação da notificação quando há um novo dado

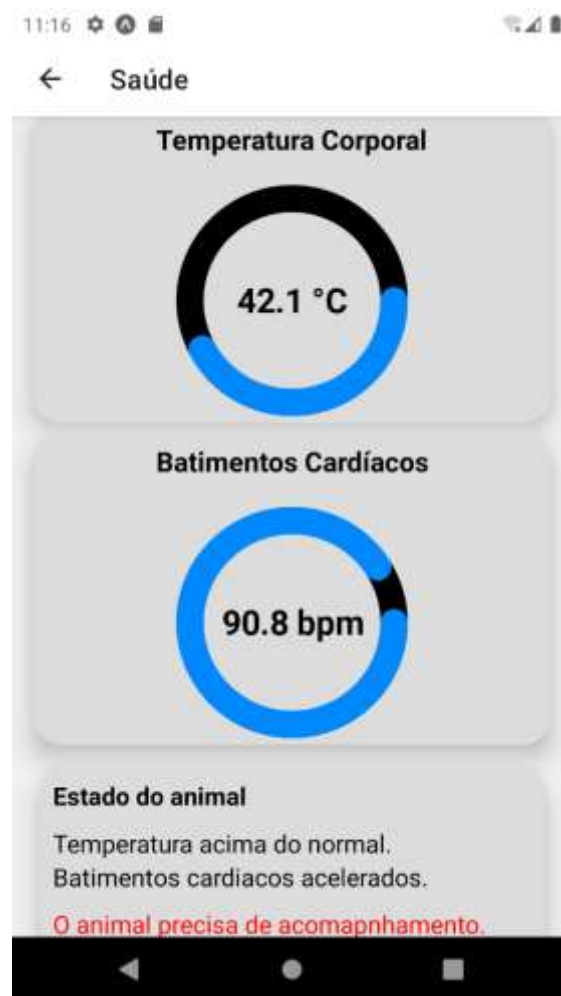


Figura A6-8: Valores dos dados capturados e o estado do animal

Fonte: Autoria própria

Anexo 7: Código do programa Arduino

```
#include <Firebase_ESP_Client.h>
#include <WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include "MAX30102_PulseOximeter.h"
#include "time.h"

//wifi credentials
#define WIFI_SSID "Amarilda Chihepe"
#define WIFI_PASSWORD "Cebolinha"

//Firebase credentials
#define API_KEY "AIzaSyAcdSL78jA2s5U40KBx1ae7mPig0CmWYSI"
#define FIREBASE_AUTH "fZgCjRfnItloch2iiSFTkgH3PZmeY1Ef4V6C3YJ0"
#define DATABASE_URL "https://cattle-monitoring-system-e6b32-default-rtddb.firebaseio.com/"
#define REPORTING_PERIOD_MS 1000
#define SDA_MLX 16
#define SCL_MLX 17

// NTP server to get the date and hour
const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
const long gmtoffset_sec = 7200;
const int daylightOffset_sec = 3600;

TwoWire I2C_MLX = TwoWire(1);
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
FirebaseData data;
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;

unsigned long sendDataPrevMills = 0;
bool signUpStatus = false;
bool conneted = false;
float ambient_temp = 0.0;
float cattle_temp = 0.0;
float cattle_heart_rate = 0.0;
uint32_t tsLastReport = 0;
PulseOximeter pox;
float beatsPerMinute = 0;
```

Figura A7-1: Importação das bibliotecas e declaração de variáveis

```

void connectingToWifi(){

  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  Serial.print("Connecting to wifi ");
  while(WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    Serial.print('.');
    delay(1000);
  }
  Serial.print("\nConnected with IP Address: ");
  Serial.print(WiFi.localIP());
  Serial.print(" and Mac Address: ");
  Serial.println(WiFi.macAddress());

  configTime(gmtOffset_sec, daylightOffset_sec, ntpServer);
}

```

Figura A7-2: Função para conexão do ESP32 ao Wi-Fi

```

//method do config the firebase connection
void connectingToFirebase(){
  config.api_key = API_KEY;
  config.database_url = DATABASE_URL;

  if(Firebase.signUp (&config, &auth, "", "")){
    Serial.println("SignUp to Firebase made successfull");
    signUpStatus = true;
  }else{
    Serial.printf("%s\n", config.signer.signupError.message.c_str());
  }

  Firebase.begin(&config, &auth);

  if (Firebase.ready()){
    conneted = true;
    Serial.println("Connected to Firebase:\n");
  }
  else {
    Serial.println("An error ocoured trying to connect\n");
  }
}

```

Figura A7-3: Função para conectar ESP32 ao Firebase

```

float Measuring_Heart_Rate(){
    pox.update();
    if (millis() - tsLastReport > REPORTING_PERIOD_MS) {
        beatsPerMinute = pox.getHeartRate();

        Serial.print("Heart rate: ");
        Serial.print(pox.getHeartRate());
        Serial.print("bpm / SpO2: ");
        Serial.print(pox.getSpO2());
        Serial.print("%");
        Serial.println();
        tsLastReport = millis();
    }

    return beatsPerMinute;
}

```

Figura A7-4: Função que capta os batimentos cardíacos através do sensor MAX30102

```

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Serial.print("Initializing MLX90614 and MAX30102 sensors..");
    delay(3000);

    Wire.begin();
    I2C_MLX.begin(SDA_MLX, SCL_MLX, 100000);

    //initilize de max90614 sensor
    mlx.begin();
    if (!mlx.begin()) {
        Serial.println("Error connecting to MLX sensor. Check wiring.");
        while (1);
    }

    // Initialize max30102 sensor
    if (!pox.begin()) {
        Serial.println("Error connecting to MAX30102 sensor. Check wiring.");
        for(;;);
    } else {
        Serial.println("MAX30102 connected");
    }

    pox.setIRLedCurrent(MAX30102_LED_CURR_7_6MA); // The default current for the
    IR LED is 50mA and is changed below
    pox.setOnBeatDetectedCallback(onBeatDetected); // Register a callback for
    the beat detection
}

```

```

conectingToWifi();
conectingToFirebase();
}

```

Figura A7-5: Configuração e inicialização dos sensores

```

void loop() {
  if(conneted && signUpStatus){
    ambient_temp = mlx.readAmbientTempC();
    cattle_temp = mlx.readObjectTempC();
    cattle_heart_rate = Measuring_Heart_Rate();

    char date[15];
    char hour[5];

    struct tm timeinfo;
    if (!getLocalTime(&timeinfo)) {
      Serial.println("Failed to obtain time");
      return;
    }
    strftime(date, 15, "%d/%m/%Y", &timeinfo);
    strftime(hour, 10, "%H:%M", &timeinfo);

    //Sending data to Firebase - criar um novo nó cada envio
    String timestamp = String(millis());
    FirebaseJson json;
    json.set("cattle_temp", cattle_temp);
    json.set("ambient_temp", ambient_temp);
    json.set("cattle_heart_rate", cattle_heart_rate);
    json.set("data", date);
    json.set("hora", hour);
    json.set("timestamp", timestamp);

    if(Firebase.RTDB.setJSON(&data, "dados/" + data+ " - "+hora, &json)){
      Serial.print("Dados enviados com sucesso");
    }else{
      Serial.print("Erro ao enviar os dados: ");
      Serial.println(data.errorReason());
    }
  }
  Serial.println("\n");
  delay(60000);
}

```

Figura A7-6: Função principal do programa

Anexo 8: Guião da entrevista dirigida ao Sr. Narciso Chongo, funcionário da OGA Rural

1. Quais são os principais problemas de saúde que os criadores de gado enfrentam?
2. Quais dados são que os criadores de gado consideram importante para fazer o monitoramento da saúde do gado?
3. Como é que a empresa monitora a saúde do gado atualmente?
4. O mecanismo usado actualmente para monitorar a saúde do gado é eficaz? se Não, quais são as limitações e desafios?
5. Quais são os impactos financeiros e operacionais da perda de um gado para a empresa?
6. Acha que um aplicativo móvel seria útil para monitorar a saúde do seu gado em tempo real?
7. Quais recursos que gostaria de ver em um aplicativo móvel para monitorar a saúde do gado da empresa?
8. Acerca da implementação do sistema, acha ideal se ter um ponto fixo por onde os animais passam e fazer se as medições ou instalar se sensores em cada animal.
9. Acha que o sistema pode ser instalado na manga de tratamento?

Anexo 9: Resultado da entrevista

1. Quais são os principais problemas de saúde que os criadores de gado enfrentam?

R: Os principais problemas de saúde animal que enfrentamos na empresa são: Feridas, abcessos, diarreias.

2. Quais dados são que os criadores de gado consideram importante para fazer o monitoramento da saúde do gado?

R: São vários os dados usados nesse processo, mas a variação da temperatura do animal, é um dado muito importante para fazer o monitoramento da saúde do animal

3. Como é que a empresa monitora a saúde do gado atualmente?

R: Bom, o animal em si mostra alguns sinais que são anormais como é o caso de Isolamento, perda de apetite, emagrecimento, nariz seco, lacrimejamento continuo e sangramentos. Depois de se detectar esses sinais, são tomadas algumas providencias médicas para atenuar a situação, porém há casos em que alguns dos sinais podem estar no seu estágio avançado.

4. O mecanismo usado actualmente para monitorar a saude do gado é eficaz?

R: Tratando se um mecanismo manual que consiste na observação e inspeção dos animais, temos que estar bem atentos aos sinais de doenças dos animais que, em algum momento esses sinais podem passar despercebidos, então posso dizer que o mecanismo usando não é 100% eficaz.

5. Quais são os impactos financeiros e operacionais da perda de um gado para a empresa?

R: O impacto financeiro que a empresa enfrenta quando perde se um animal é muito grande, porque é com base nesses animais que conseguimos repor a produção em dia.

6. Acha que um aplicativo móvel seria útil para monitorar a saúde do seu gado em tempo real?

R: Sim, acho que trata se de uma solução promissora e que seria útil monitorar a saúde do gado bovino em tempo real e diariamente e, isso evitaria situações de encontrar o animal já caído, sem conseguir andar e em um estado crítico.

7. Quais recursos que gostaria de ver em um aplicativo móvel para monitorar a saúde do gado da empresa?

R: Eu gostaria de ver recursos que nos ajudariam na melhoria do controle diário das enfermidades dos animais porque do momento não conseguimos controlar bem, principalmente no que diz respeito a temperatura corporal de cada animal.

8. Acerca da implementação do sistema, acha ideal se ter um ponto fixo por onde os animais passam e fazer se as medições ou instalar se sensores em cada animal.

R: Pode se instalar os sensores em um ponto fixo, abordagem de sensores em cada animal pode vir acarretar muitos custos na sua implementação.

9. Acha que o sistema pode ser instalado na manga de tratamento?

R: Sim, na manga de tratamento o animal é contido, aperta se a parte do pescoço e do corpo de modo a conter os seus movimentos. Na nossa manga de tratamento existe uma balança já acoplada, então poderia se integrar esse processo de captura de dados pelos sensores com a pesagem.