



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**
Campus Leopoldina - Programa de Pós-Graduação
em Automação e Sistemas

Rafael Martins Preisser Marçal

Projeto e desenvolvimento de um sistema de monitoramento alimentar de bovinos

Leopoldina

2024

Rafael Martins Preisser Marçal

Projeto e desenvolvimento de um sistema de monitoramento alimentar de bovinos

Disertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Automação e Sistemas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus Leopoldina, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Automação e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Ribeiro Júnior

Coorientador Prof. Dr. Gustavo Campos Menezes

Leopoldina

2024

Biblioteca Universitária - Campus Leopoldina - CEFET-MG

Marçal, Rafael Martins Preisser.

M313p Projeto e desenvolvimento de um sistema de monitoramento alimentar de bovinos. / Rafael Martins Preisser Marçal - 2024.

58 f. : il.

Orientador: José Geraldo Ribeiro Júnior.

Coorientador: Gustavo Campos Menezes.

Bibliografia.

Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Campus Leopoldina. Programa de Pós-Graduação em Automação e Sistemas (PPFAeS), 2024.

1. Pecuária. 2. Comportamento alimentar. 3. Gestão animal. I. Ribeiro Júnior, José Geraldo. II. Menezes, Gustavo Campos. III. Título. CDU: 636

Elaboração da ficha catalográfica pela bibliotecária Luzia Adriana Damasceno, CRB 6o 2305 / CEFET-MG campus Leopoldina.



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 2 / 2024 - PPGAS (11.52.20)

Nº do Protocolo: 23062.017410/2024-46

Leopoldina-MG, 25 de março de 2024.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO ALIMENTAR DE BOVINOS

AUTOR: RAFAEL MARTINS PREISSER MARÇAL

ORIENTADOR: Professor Doutor JOSÉ GERALDO RIBEIRO JÚNIOR

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou em 25 de março de 2024 esta Dissertação:

Professor Doutor José Geraldo Ribeiro Júnior (ORIENTADOR)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais ? CEFET/MG

Professor Doutor Gustavo Campos Menezes (COORIENTADOR)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais ? CEFET/MG

Professor Doutor Murillo Ferreira dos Santos (MEMBRO INTERNO)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais ? CEFET/MG

Doutor Mathaus Ferreira da Silva (MEMBRO EXTERNO)

Robotictech

(Assinado digitalmente em 25/03/2024 14:15)
GUSTAVO CAMPOS MENEZES
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCCN (11.58)
Matrícula: 1550421

(Assinado digitalmente em 25/03/2024 14:36)
JOSE GERALDO RIBEIRO JUNIOR
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DECOMLP (11.61.11)
Matrícula: 1322715

(Assinado digitalmente em 25/03/2024 14:37)
MURILLO FERREIRA DOS SANTOS
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DEELP (11.61.04)
Matrícula: 2919636

(Assinado digitalmente em 26/03/2024 10:09)
MATHAUS FERREIRA DA SILVA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.456-##

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **2**, ano: **2024**, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de
emissão: **25/03/2024** e o código de verificação: **691ff3c817**

Dedicatória

Esta dissertação é dedicada à memória do meu pai, Robert Preisser Marçal. Embora não tenha estado fisicamente presente durante a jornada que me trouxe até aqui, sua influência e amor moldaram cada passo que dei. O perdi cedo na vida, mas nunca perdi o seu legado de coragem, perseverança e dedicação.

Agradecimentos

É com grande alegria e gratidão que expresso meus sinceros agradecimentos neste momento importante em minha jornada acadêmica. Esta dissertação representa não apenas um marco em minha vida, mas também o resultado de um esforço coletivo que moldou minha educação e perspectiva.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu filho, Victor Preisser, cujo sorriso e entusiasmo pela vida me guiaram através dos desafios e me motivaram a perseguir meus objetivos com dedicação e paixão.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, apoiando e incentivando meus sonhos.

Aos meus queridos amigos, suas palavras de encorajamento e compreensão tornaram esta jornada menos solitária e mais significativa.

Ao zootecnista e Mestre em Nutrição Animal pela UFMG, Fabrício Rocha, por compartilhar um problema real vivido nos confinamentos de bovinos.

Aos meus professores e orientadores, que não apenas transmitiram conhecimento, mas também me guiaram com sabedoria e paciência. Suas críticas construtivas e orientações moldaram meu pensamento crítico e minha abordagem à pesquisa.

A todos os colegas de turma e colegas de pesquisa, com quem troquei ideias e experiências valiosas. Nossas discussões e colaborações foram cruciais para o meu crescimento acadêmico.

Agradeço também ao Olaf Wilmsmeier pela consultoria em aplicações RFID UHF e por fornecer a antena LOCFIELD® para fins de testes; à Siemens, departamento de P&D em Nuremberg na Alemanha, pelo empréstimo do leitor RFID SIMATIC RF680R; à Erlebnisbauernhof Clemens Schmitt - Scheferhof, localizada na cidade de Erlangen na Alemanha, por fornecer o espaço para estudos com os animais.

Por fim, agradeço a esta instituição de ensino por me proporcionar a oportunidade de explorar meu campo de estudo e desenvolver minhas habilidades acadêmicas.

Este texto de dissertação é um reflexo do apoio e inspiração que recebi de cada um de vocês. Obrigado por fazerem parte desta jornada e por tornarem possível a realização deste trabalho.

“O importante é não parar de questionar. A curiosidade tem sua própria razão de existir. Não se pode imitar o verdadeiro criador. É preciso ter coragem de seguir o caminho que a sua própria curiosidade lhe traçou”

Albert Einstein

Resumo

Acompanhar o comportamento alimentar de bovinos de forma individualizada e em grandes fazendas é um desafio, especialmente em fazendas que usam cocho, onde não há uma separação do espaço utilizado por cada animal. Soluções existentes ou dependem dessa separação no cocho ou utilizam equipamentos conectados aos animais que dependem de bateria para funcionamento. Considerando a importância de aprimorar a compreensão do comportamento alimentar de bovinos ao monitorar o tempo que cada animal permanece no cocho, a coleta de dados visa otimizar a oferta de alimentação, possibilitando, inclusive, a identificação precoce de eventuais doenças. Dessa forma, essa dissertação apresenta uma solução de monitoramento alimentar bovino usando tecnologias de Internet das Coisas IoT - (*Internet of Things*) e *tags* RFID (*Radio-Frequency IDentification* - Identificação por Radiofrequência) UHF (*Ultra-High Frequency* - Ultra Frequência) e um cabo de antena específico para registrar o tempo de entrada e saída dos animais no cocho de alimentação. Os dados coletados são parcialmente tratados localmente e transmitidos para uma central para armazenamento, tratamento e visualização. A definição dos equipamentos e tecnologias a serem utilizadas é parte importante deste trabalho. Testes iniciais foram realizados em laboratório para avaliar o funcionamento de cada etapa, da coleta à visualização dos dados. Experimentos em ambientes reais mostram que esta é uma tecnologia promissora para o monitoramento alimentar, especialmente em cochos com até 8 metros de comprimento, com opção de combinar mais de uma antena.

Palavras-chaves: pecuária, comportamento alimentar, gestão animal.

Abstract

Monitoring the feeding behavior of cattle on an individual basis in large farms poses a significant challenge, particularly in farms that utilize feed troughs where there is no separation of space used by each animal. Existing solutions either depend on this separation at the feed trough or employ animal-attached devices that rely on battery power for operation. Given the importance of enhancing the understanding of cattle feeding behavior by monitoring the time each animal spends at the feed trough, data collection aims to optimize feed offering, enabling the early identification of potential diseases. Accordingly, this dissertation introduces the development of an *Internet of Things* (IoT) Platform that utilizes UHF (Ultra-High Frequency) RFID (Radio-Frequency Identification) tags and a specific antenna cable to record the entry and exit times of animals at the feeding trough. The collected data are partially processed locally and transmitted to a central unit for storage, further processing, and visualization. Choosing the appropriate equipment and technologies is a crucial part of this work, as there are few manufacturers worldwide of the technology used to cover the monitored area. Initial tests were conducted in a laboratory to evaluate the performance of each stage, from data collection to visualization. Experiments in real-world settings demonstrate that this is a promising technology for feed monitoring, especially in troughs up to 8 meters long.

Keywords:livestock, food behavior, animal management.

Lista de ilustrações

Figura 1.1 – Déficit alimentar em calorias previsto para 2050. Fonte (ONU, 2019) . .	2
Figura 1.2 – Déficit alimentar x Ocupação do solo (ONU, 2019).	3
Figura 1.3 – Confinamento de gado em São Gotardo, MG - Fonte (ROCHA, 2019). .	4
Figura 2.1 – Ferramentas utilizadas - Fonte (PESQUISA, 2023).	9
Figura 2.2 – Etiqueta auricular eletrônica animal - Fonte (HVTSQGJ, 2023). . . .	11
Figura 2.3 – SIMATIC RF680R - Fonte (SIEMENS, 2023).	13
Figura 2.4 – SIMATIC RF650R - Fonte (SIEMENS, 2023).	14
Figura 2.5 – SIMATIC RF650A + Cabo coaxial - Fonte (SIEMENS, 2023).	15
Figura 2.6 – LOCFIELD® antena - Fonte (CAVEA-ID, 2023).	16
Figura 2.7 – LOCFIELD® antena - Ângulo de feixe - (PESQUISA, 2023).	17
Figura 3.1 – Etapas desenvolvimento - Fonte (PESQUISA, 2023).	19
Figura 4.1 – Criação bovina na Alemanha - Fonte (PESQUISA, 2023).	22
Figura 4.2 – Arquitetura IoT - Fonte (PESQUISA, 2023).	24
Figura 4.3 – Uma antena - Fonte (PESQUISA, 2023).	25
Figura 4.4 – Duas antenas - Fonte (PESQUISA, 2023).	26
Figura 4.5 – Quatro antenas - Fonte (PESQUISA, 2023).	26
Figura 4.6 – Quatro antenas em N leitores - Fonte (PESQUISA, 2023).	26
Figura 5.1 – PoC com ESP32 - Fonte (PESQUISA, 2023).	27
Figura 5.2 – Multiplos transponder com antena cabo - Fonte (PESQUISA, 2023). .	28
Figura 5.3 – RSSI Delta - Fonte (PESQUISA, 2023).	29
Figura 5.4 – Monitoramento alimentar (PESQUISA, 2023).	30
Figura 5.5 – Leitura simultânea em massa - Fonte (PESQUISA, 2023).	30
Figura 5.6 – Monitoramento de 10 tags RFID UHF - Fonte (PESQUISA, 2023). . .	31
Figura 5.7 – Leitura por OPC UA do último registro de entrada (PESQUISA, 2023). 32	
Figura 5.8 – Leitura por OPC UA do último registro de saída (PESQUISA, 2023). .	32
Figura 5.9 – Fluxo de dados - Fonte (PESQUISA, 2023).	33
Figura 5.10–Workflow Node-RED (PESQUISA, 2023).	35
Figura 5.11–Fluxograma de esquema de banco de dados - Fonte (PESQUISA, 2023). 36	
Figura 5.12–Tabela Alimentação - MySQL (PESQUISA, 2023).	36
Figura 5.13–Tabela Animal - MySQL (PESQUISA, 2023).	37
Figura 5.14–Tabela Cocho - MySQL (PESQUISA, 2023).	37
Figura 5.15–Tabela Pesagem - MySQL (PESQUISA, 2023).	38
Figura 5.16–Multiplos transponder - antena convencional (SIEMENS, 2023). . . .	38
Figura 5.17–Transponder RFIF LF Datamars (PESQUISA, 2023).	39

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Informações do Dispositivo	11
Tabela 2.2 – Especificações - Fonte (CAVEA-ID, 2023).	17
Tabela 5.1 – Tabela leitura RSSI utilizando etiqueta RFID UHF.	29
Tabela 5.2 – Tabela de logbook.	33
Tabela 5.3 – Descrição das Tabelas do Banco de Dados	35

Lista de abreviaturas e siglas

<i>EX</i>	Exemplo
<i>IBGE</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i> - Internet das Coisas
<i>GEE</i>	Gases de Efeito Estufa
<i>LF</i>	<i>Low-frequency</i> - Baixa Frequência
<i>ONU</i>	Organização das Nações Unidas
<i>PCB</i>	<i>Printed Circuit Board</i> - Placa de Circuito Impresso
<i>PoC</i>	<i>Proof of Concept</i> - Prova de conceito
<i>RFID</i>	<i>Radio-Frequency IDentification</i> - Identificação por Radiofrequência
<i>RSSI</i>	<i>Received Signal Strength Indicator</i> - Indicador de Intensidade do Sinal Recebido
<i>UHF</i>	<i>Ultra-High Frequency</i> - Ultra Frequência
<i>WRI</i>	<i>Word Resouces Institute</i> - Instituto de Recursos Mundiais
<i>XML</i>	<i>Extensible Markup Language</i> - Linguagem de Marcação Extensível

Lista de símbolos

Ω	Ohm
Hz	hertz
m	metros
cm	centimentros
mm	milímetros
dB	decibeis
V	Volts
$^{\circ}C$	Graus Celsius
g	gramas

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Definição do Problema	1
1.2	Justificativa	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivos Específicos	4
1.4	Contribuições	5
1.5	Organização	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	Estado da Arte	7
2.2	Fundamentação Teórica	9
2.2.1	Tecnologia de Identificação por Radiofrequência	10
2.2.1.1	Vantagens de usar RFID UHF em comparação com RFID LF	12
2.2.1.2	Desvantagens de usar RFID UHF em comparação com RFID LF	13
2.2.2	Leitor RFID UHF SIMATIC RF680R	13
2.2.3	Antena SIMATIC RF650A + Cabo coaxial	15
2.2.4	Antena cabo - LOCFIELD® antena	15
2.2.4.1	Dimensionamento da antena LOCFIELD®	16
2.2.4.2	Campo Eletromagnético Circular	16
2.2.5	Node-RED	17
2.2.6	Azure	17
2.2.7	MySQL Workbench	18
3	PROTÓTIPO PROPOSTO	19
4	CENÁRIO IMPLEMENTADO	22
4.1	Hardware	23
4.2	Arquitetura IoT	23
4.3	Topologia de rede	25
5	EXPERIMENTOS E RESULTADOS	27
5.1	ESP32 usando a antena RC522	27
5.2	Leitura do transponder RFID UHF na antena LOCFIELD®	28
5.3	Comunicação OPC UA com o leitor RFID	31
5.4	Leitura do logbook via interface XML	32
5.5	Envio do logbook para a nuvem com Node-RED	33

5.6	Banco de dados Workbench MySQL hospedado no Microsoft Azure	35
5.7	Leitura da tag RFID UHF com a antena RF650A	37
5.8	Leitura da tag RFID LF fornecido pela DATAMARS	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
6.1	Conclusões	40
6.2	Trabalhos Futuros	41
	REFERÊNCIAS	42

1 Introdução

A engorda do gado de corte é uma etapa fundamental na pecuária, desempenhando um papel crucial na obtenção de animais com peso ideal para o abate. Essa prática é essencial para garantir a rentabilidade e a qualidade do produto final, refletindo diretamente na saúde e bem-estar do animal. Compreender os desafios e os fatores que influenciam a eficiência desse processo é vital para o desenvolvimento de estratégias que otimizem a produção e atendam às exigências do mercado.

Esta pesquisa aborda os desafios enfrentados pelos criadores de gado de corte, focando especialmente na eficiência da engorda até alcançar o peso ideal para abate, usualmente próximo a 180 kg como prática de mercado, com ênfase na saúde e qualidade do animal. Importante ressaltar que a nutrição representa entre 50% e 60% dos custos totais (ABIEC, 2022) e que existe uma variabilidade significativa no ganho de peso entre os animais. Desta forma, destaca-se a necessidade de contribuir para práticas mais eficazes e mais sustentáveis na pecuária, otimizando a produção e garantindo o bem-estar animal (MELO et al., 2024).

1.1 Definição do Problema

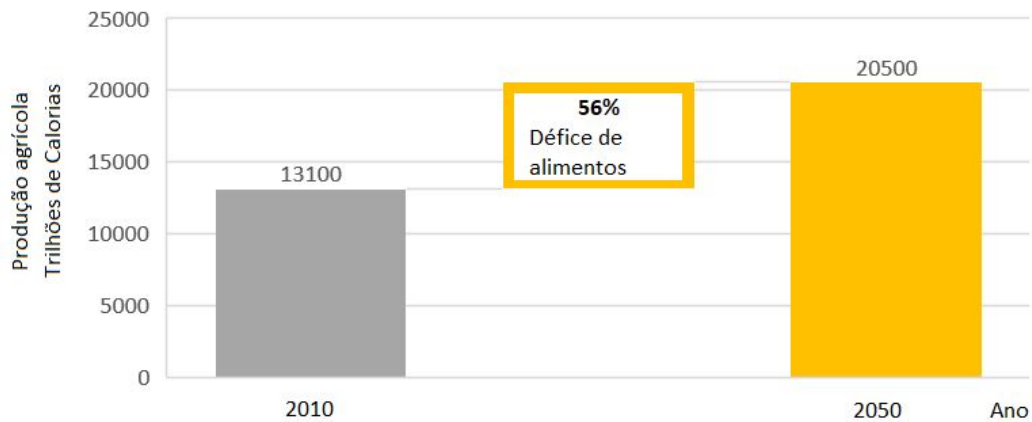
À medida que a população global cresce de 7 bilhões em 2010 para 9,8 bilhões previstos em 2050, a procura global de alimentos tende a aumentar em mais de 50% segundo a ONU, Organização das Nações Unidas, (ONU, 2019). Para ilustrar essa afirmativa, a Figura 1.1 quantifica o déficit alimentar que o mundo precisa solucionar até 2050, considerando o aumento exponencial da população na terra.

Ainda segundo a ONU, a demanda por alimentos mais intensivos em recursos, como a carne e os produtos lácteos, aumentará ainda mais rapidamente, em quase 70%. No entanto, ainda hoje, mais de 800 milhões de pessoas no mundo passam fome ou estão desnutridas. Aumentar a produção de alimentos de forma que respeite o bem-estar do ser humano e o bem-estar animal, além do meio ambiente, apresenta enormes desafios. (ONU, 2019)

Na vanguarda do progresso agrícola e pecuário, a tecnologia emerge como uma aliada indispensável, conduzindo uma revolução pautada pela precisão e pela sustentabilidade. Assim, nesse novo horizonte, a agricultura e pecuária se beneficiam significativamente com soluções tecnológicas inovadoras, reduzindo riscos ambientais e otimizando a utilização de recursos naturais. Dessa forma, a implementação de sistemas de monitora-

14cm

Figura 1.1 – Déficit alimentar em calorias previsto para 2050. Fonte (ONU, 2019)



mento avançados, sensores de alta precisão e análises preditivas permite uma gestão mais eficiente das práticas agrícolas, garantindo o uso adequado de insumos e minimizando impactos ambientais indesejados.

1.2 Justificativa

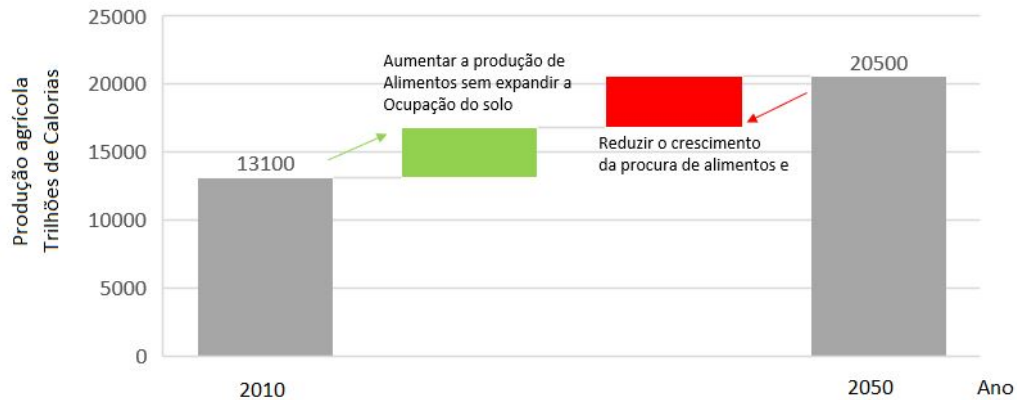
Considerando o rebanho bovino brasileiro, com 224 milhões de cabeças (IBGE, 2021), produzindo mais de 10 milhões de toneladas de carne por ano (ABIEC, 2022), o desafio do setor é aumentar a oferta de carne, tanto em quantidade quanto em qualidade, aprimorando a produção para atingir volumes mais altos em intervalos de tempo mais curtos. Isso deve ser alcançado mantendo padrões de qualidade elevados e levando em consideração os princípios ambientais (COELHO, 2020).

A Figura 1.2 apresenta o déficit alimentar previsto para 2025 e como será importante os avanços da pesquisa e da tecnologia, sendo necessário aumentar a produção de alimentos sem expandir as terras agrícolas ocupadas.

Segundo o estudo do Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sob um cenário inovador, o rebanho brasileiro poderá alcançar 250 milhões de cabeças em 2030 (IBGE, 2014). Por sua vez, o componente semi intensivo como a proteína bovina, com o uso de semiconfinamento, representará um aumento de 86% (7,8 milhões de bovinos machos abatidos) (IBGE, 2014).

Tanto para corte como para leite, existem dois tipos principais de confinamento. No confinamento fechado os animais são mantidos em instalações fechadas, como galpões ou estábulos. No confinamento aberto os animais têm acesso a áreas externas e são mantidos em pastagens ou áreas designadas. Até onde temos o conhecimento, a maioria

Figura 1.2 – Défice alimentar x Ocupação do solo (ONU, 2019).



das tecnologias utilizadas para monitoramento em áreas abertas ou dependem de colares individuais ou utilizam tecnologias conectadas ao animal que dependem de bateria para funcionamento.

O comportamento alimentar dos animais oferece importantes indicadores sobre sua saúde, tornando o monitoramento uma ferramenta essencial para a detecção precoce de doenças, controle do ciclo reprodutivo, entre outros fatores críticos (SILVA et al., 2024). Além disso, problemas como a infestação de carrapatos causam prejuízos significativos, estimados em 3,2 bilhões de dólares anuais para a economia do país, segundo Barros et al. (BARROS et al., 2024). A implementação de sistemas eficazes de monitoramento é, portanto, crucial não apenas para otimizar o ganho de peso e melhorar o desempenho geral do rebanho, mas também para enfrentar outros desafios, como o aumento dos casos de furto de animais. Em 2022, a Polícia Civil de Minas Gerais registrou um aumento de 24% nos furtos de gado, sublinhando a necessidade de ferramentas tecnológicas que possam auxiliar na proteção e vigilância, especialmente em fazendas de maior porte, onde o controle visual é mais difícil (RURAL, 2022).”

1.3 Objetivos

Considerando as tendências e as demandas apresentadas na Seção 1.2, além dos avanços das tecnologias com a quarta revolução industrial, este trabalho tem como objetivo principal aplicar um conjunto de tecnologias para possibilitar o monitoramento do comportamento alimentar de bovinos, visando melhorar a gestão dos animais. A solução proposta também pode ser aplicada a outros tipos de criações, mas para este estudo foi priorizado o gado de corte em confinamento aberto (Figura 1.3).

Figura 1.3 – Confinamento de gado em São Gotardo, MG - Fonte ([ROCHA, 2019](#)).



Diversas questões de pesquisa surgiram durante o desenvolvimento da pesquisa. Eles são: Como resultado final, alguns exemplos de perguntas que podem ser respondidas diariamente, considerando o uso do banco relacional com a opção do *join* reverso, são apresentadas a seguir:

- Qual animal não fez check-in no dia 2022-06-21?
- Qual animal fez check-in no dia 2022-06-21?
- Quantos animais têm na fazenda?
- Quantos animais alimentaram no dia 2022-06-21?
- Qual a média histórica de alimentação e peso de cada animal da fazenda?
- Quais animais apresentam a melhor performance em termos de conversão alimentar?
- Qual animal não alimentou no dia o que comumente alimenta quando está saudável?
- Quanto tempo os animais estão ruminando durante o tempo de alimentação?

1.3.1 Objetivos Específicos

Entre os objetivos específicos é possível citar:

- Definição da tecnologia para realizar o monitoramento no cocho: Destaca-se a seleção crucial da tecnologia para o monitoramento no cocho, priorizando *tags* (etiquetas) em animais que dispensam bateria;

- Definição da localização do animal: Visa superar desafios, especialmente a necessidade de alta precisão na localização do animal, aproximadamente 30 cm, para determinar se o animal está no cocho;
- Criação de um protótipo para testes práticos: etapa importante para levantar os requisitos mínimos do projeto;
- Realização de testes em um ambiente real: crucial para compreender as interferências e limitações de uma solução, identificando desafios que podem surgir de variáveis não previstas.

1.4 Contribuições

As principais contribuições desta dissertação são:

- Explorar as possibilidades de uso da tecnologia RFID (Tecnologia de Identificação por Radiofrequência - *Radio Frequency Identification*) UHF (Ultra Frequência - Ultra-High Frequency) utilizando uma antena cabo em laboratório e ambiente real;
- Desenvolver uma plataforma com capacidade de identificar quando o animal está com a cabeça dentro do cocho e quando o mesmo sai;
- Possibilitar que, com a customização da Plataforma, a mesma possa ser utilizada em modelos de confinamentos aberto e fechado;
- Apresentar de dados suficientes para a tomada de decisões pelos profissionais responsáveis pelo desenvolvimento e pela saúde do animal, como o tempo e a frequência do animal no cocho;
- Possibilitar o monitoramento diário da presença do animal na propriedade, uma vez que a ausência pode indicar um problema de saúde ou mesmo um furto.

1.5 Organização

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

- O Capítulo 2 - Trabalhos Relacionados e Referencial Teórico, apresentação de uma revisão dos trabalhos relacionados à arquitetura IoT proposta, destacando contribuições significativas e contextos relevantes;

- O Capítulo 3 - Este capítulo detalha a metodologia adotada na condução desta pesquisa, incluindo os procedimentos experimentais e a abordagem teórica;
- O Capítulo 4 - Solução Proposta, apresentação da arquitetura proposta, evidenciando os componentes e as interações;
- O Capítulo 5 - Experimentos e Resultados, contém diversos subcapítulos detalhando experimentos e resultados específicos relacionados à implementação da solução proposta, como a leitura de diferentes tags, comunicação com leitores, além do uso de ferramentas como o Node-RED;
- Por fim, o Capítulo 6 - Conclusões e Trabalhos Futuros, contém sumarização das descobertas e dos resultados obtidos durante esta pesquisa, sugestões para pesquisas futuras e desenvolvimentos na área explorada.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, propõe-se explorar os trabalhos relacionados e as referências teóricas que fundamentam este estudo e ampliam a compreensão sobre o tema desta pesquisa. A literatura revisada aqui fornece um pano de fundo essencial para esta pesquisa, que permite a construção sobre o conhecimento existente e a identificação de lacunas que, inclusive, este trabalho busca preencher.

2.1 Estado da Arte

A agricultura é o principal fornecedor global de alimentos e tem sido fundamental para a evolução das sociedades através da história (FRIHA, 2021). Para a transformação digital da pecuária, a implementação de novas e emergentes tecnologias usando grandes volumes de dados destaca o significativo potencial de avanços digitais como tecnologia de sensores, conectividade IoT, sensoriamento remoto, visão computacional e Inteligência Artificial (IA) na automação e na integração de várias abordagens na ciência animal e para a avaliação de bem-estar (TALAVERA, 2017). Enfatiza-se a crescente pesquisa na implementação dessas tecnologias para monitoramento de gado, incluindo tecnologia de sensores de contato mínimo, coleiras digitais e sensoriamento remoto (SHI, 2019). Discute-se os desafios de transição da pesquisa acadêmica para aplicações práticas na indústria, sugerindo um foco em soluções específicas e críticas para o desenvolvimento eficaz de novas tecnologias emergentes, abrangendo a IA e IoT, para a gestão do gado (S GONZALEZ VIEJO C, 2022).

O conceito de computação de borda (*edge computing*) mostrou-se importante para diminuir o tráfego de dados para a nuvem, especialmente considerando a baixa qualidade da Internet nas fazendas. A computação de borda surge como um paradigma fundamental, abordando questões chave como latência, eficiência energética, otimização de largura de banda e segurança de dados, ao processar dados mais próximos de sua fonte, melhorando assim os serviços de IoT e de nuvem (SHI J. CAO; XU, 2016).

Para o avanço desta pesquisa, diversos estudos são fundamentais para a compreensão e desenvolvimento deste trabalho. Um exemplo significativo é o estudo realizado por (ADRION, 2020). Este artigo aborda os desafios encontrados na instalação de antenas RFID UHF em ambientes de celeiros, destacando especificamente as complicações com antenas de cabo de formato livre e a influência do metal no entorno. A pesquisa conclui a necessidade de testes abrangentes em novas aplicações de ambientes RFID UHF. Apesar desses desafios, o estudo valida o uso de sistemas RFID UHF para monitorar com precisão

o comportamento alimentar, mostrando-se promissor para aplicações comerciais, embora as limitações devam ser cuidadosamente consideradas na análise dos dados. A deficiência do artigo referenciado é que o autor não avançou ou não descreveu de forma detalhada como o fluxo de dados é gerenciado após a leitura. Esse ponto é fundamental, pois compreender o tratamento dos dados após sua coleta é essencial para avaliar a eficácia do sistema em aplicações reais. Sem essas informações, não é possível determinar a capacidade do sistema em oferecer *insights* práticos e acionáveis a partir dos dados coletados, um aspecto crucial para a otimização do manejo e do bem-estar animal.

Outro estudo relevante é apresentado por Weary ([WEARY, 2009](#)). Este artigo examina a aplicação da etologia para avaliar a saúde animal, marcando a transição de avaliações baseadas em percepções subjetivas para análises fundamentadas em medidas objetivas. Esta mudança foi facilitada pelo desenvolvimento de novas tecnologias. Nesse sentido, o estudo enfatiza a importância de monitorar comportamentos automatizados, como alimentação e ingestão, que servem como indicadores valiosos de doenças no contexto da agricultura comercial. Além disso, o artigo identifica comportamentos específicos que podem indicar o risco de doenças ou lesões, sugerindo que a redução coordenada de certos comportamentos pode ser uma resposta adaptativa para a recuperação.

Brown-Brandl ([BROWN-BRANDL, 2012](#)) aborda como o comportamento alimentar do gado fornece informações cruciais para a gestão de rebanhos, identificação de animais doentes e análise de diferenças genéticas. O artigo aponta limitações de sistemas comerciais existentes que, ao registrarem o comportamento alimentar, acabam por restringir o acesso dos animais aos locais de alimentação, alterando assim seu comportamento natural. Em resposta, os pesquisadores desenvolveram um sistema inovador utilizando tecnologia de identificação por radiofrequência e multiplexadores, que permite o monitoramento individual do comportamento alimentar em sistemas de alimentação industrial. Esse sistema foi aplicado com sucesso tanto em bovinos de confinamento quanto em suínos de crescimento e acabamento. A validação do sistema mostrou uma alta concordância com sistemas independentes de monitoramento por vídeo, apresentando taxas de 98,3% para bovinos e 98,7% para suínos, o que ressalta sua robustez e confiabilidade para uso na indústria pecuária. Uma desvantagem significativa desta proposta reside na sua baixa escalabilidade, devido ao uso de antenas direcionadas no lugar da antena cabo. Para efetivamente monitorar o comportamento alimentar, os currais necessitam ser equipados com um sistema eletrônico de alimentação por animal, o que pode limitar a aplicabilidade e a expansão do sistema em ambientes de maior escala. Este trabalho destaca a tentativa de implementação da tecnologia RFID UHF desde o ano da pesquisa, sugerindo que a evolução dessa abordagem provavelmente enfrentou obstáculos devido à sua baixa escalabilidade.

O sistema IoT integra dados desde o campo até os bancos de dados na nuvem

utilizando um leitor de RFID UHF. Isso significa que, no campo, os leitores de RFID UHF capturam informações dos dispositivos ou etiquetas RFID, que são então transmitidas para um sistema central. Esse sistema processa e armazena os dados na nuvem, permitindo que sejam acessados e analisados remotamente, facilitando o monitoramento e a gestão em tempo real.

2.2 Fundamentação Teórica

Para facilitar a compreensão da aplicação de cada tecnologia e ferramenta mencionada nesta seção, a Figura 2.1 ilustra as ferramentas utilizadas na arquitetura do sistema proposto. A arquitetura é descrita em detalhes na Seção 4.2.

- Nuvem - Microsoft Azure
- Integrador - Node-RED
- Leitor RFID - SIMATIC RF680R
- Transponder - Tag RFID passiva
- Antena cabo - LOCFIELD® antena

12cm

Figura 2.1 – Ferramentas utilizadas - Fonte ([PESQUISA, 2023](#)).



2.2.1 Tecnologia de Identificação por Radiofrequência

A tecnologia de Identificação por Radiofrequência tem se destacado como uma ferramenta versátil em diversas aplicações, oferecendo a capacidade de rastrear e de identificar objetos em tempo real. No contexto do monitoramento de animais, o RFID desempenha um papel crucial, possibilitando a coleta eficiente de dados relevantes para o acompanhamento e para a gestão desses seres vivos.

Em um contexto agrícola onde a eficiência é a chave, a introdução do RFID UHF para o rastreamento animal bovino emerge como uma inovação marcante, desafiando as práticas tradicionais baseadas no RFID LF (*Low-frequency* - Baixa Frequência). Enquanto a maioria das fazendas confia nas tecnologias de Baixa Frequência, caracterizadas por alcance limitado, a transição para o RFID UHF promete uma revolução no monitoramento.

A transição de RFID LF para UHF não é apenas tecnológica, é uma resposta às demandas crescentes por um rastreamento mais abrangente, eficaz e dinâmico na pecuária bovina. Ao explorar as possibilidades do RFID UHF, as fazendas não apenas modernizam suas práticas, mas também abrem caminho para um novo capítulo de eficiência e gestão sustentável na produção animal. Este é o marco inicial de uma transformação que redefine o padrão de excelência na rastreabilidade bovina.

A tecnologia RFID LF, tem sido utilizada na pecuária para identificação individual e rastreamento de animais, possibilitando o levantamento de informações como histórico de vacinação, dados de reprodução e outras informações relevantes para a gestão do rebanho. Essa tecnologia é comumente empregada em *tags* RFID para animais, como bovinos e ovinos. As tags RFID LF operam na faixa de frequência de 125 kHz a 134.2 kHz.

Os tags RFID são dispositivos inovadores que revolucionaram a identificação e rastreamento de objetos. Funcionando como etiquetas inteligentes, esses pequenos dispositivos armazenam dados e respondem a sinais de radiofrequência emitidos por leitores RFID. Essa tecnologia versátil encontra aplicação em diversos setores, desde logística e gestão de estoques até o controle de acesso e de rastreamento de animais. Os tags RFID, ao proporcionarem uma identificação única e automática, desempenham um papel fundamental na eficiência operacional, segurança e rastreabilidade de ativos, consolidando-se como uma solução indispensável na era da conectividade.

A escolha da solução RFID foi fortemente influenciada pelo fator crucial da não necessidade de bateria nas *tags*. Optar por *tags* RFID passivas elimina a dependência de fontes de energia internas, simplificando a implementação, reduzindo os custos operacionais e proporcionando uma solução de identificação mais eficiente e livre de manutenção. Essa característica, que dispensa o uso de baterias, não apenas contribui para a prático-

dade do sistema, mas também promove uma abordagem mais sustentável, alinhada com os princípios de eficiência energética e de responsabilidade ambiental.

Além disso, a etiqueta auricular eletrônica animal é um tipo de etiqueta foi projetada exclusivamente para a criação de animais e gestão de abate (Figura 2.2). Cada tag é produzida usando chips europeus de alta qualidade com capacidade de leitura/gravação e apresenta segurança de dados exclusiva (HVTSQGJ, 2023). Dados técnicos deste transponder são apresentados na Tabela 2.1.

12cm

Figura 2.2 – Etiqueta auricular eletrônica animal - Fonte (HVTSQGJ, 2023).



Característica	Informação
Padrão R/W	ISO18000-6C
Frequência	860-960MHz
Chip	H3
Operação Temperatura	-30 °C a 85 °C
Cor	Amarelo
Peso	7,5g
Altura	14,5mm
Diâmetro	30mm
Material	TPU (poliuretano termoplástico)
Modo de Operação	Ler/Escriver
Ciclos de Programação	100.000
Distância de Leitura	2-300cm

Tabela 2.1 – Informações do Dispositivo

Durante esta pesquisa, foi realizado um levantamento de mercado com a empresa Datamars, grande fornecedora dos transponder nesse mercado. Foi identificado que a dinâmica do trabalho proposto pela Datamars é diferenciada, sendo um sistema que usa

o RFID para coleta de dados do animal e não para o monitoramento diário, com soluções para RFID LF.

A antena RFID em algumas aplicações pode estar junta com o leitor, mas em outras é comum utilizar um leitor para várias antenas. Neste trabalho foi utilizado um leitor que possibilita conectar até 4 antenas, que se conectam ao leitor normalmente através de um cabo coaxial. Nesse ponto está uma das contribuições desse trabalho, pois o cabo coaxial na maioria das aplicações tem uma função passiva e apenas é utilizado como um transmissor do sinal entre o leitor e a antena. Desse modo, foi utilizado também uma outra antena que é novidade no mercado na Alemanha, mas que ainda não está disponível no Brasil, a LOCFIELD® antena.

A antena LOCFIELD® foi desenvolvida para ter uma flexibilidade de fazer curvas para contornar objetos, o que não é requisito deste trabalho e até pode prejudicar o seu desenvolvimento, visto que o cabo para ser flexível demanda um diâmetro menor, o que limita a corrente e o comprimento máximo do cabo.

Embora o RFID UHF ofereça vantagens em termos de alcance e de capacidade de leitura em massa, suas desvantagens incluem maior susceptibilidade à interferência e menor desempenho em ambientes com obstáculos, quando comparado ao RFID LF. As seções a seguir apresentam uma comparação mais detalhada:

2.2.1.1 Vantagens de usar RFID UHF em comparação com RFID LF

- **Velocidade de Leitura:** O RFID UHF permite leituras mais rápidas em comparação com o LF. Isso é vantajoso em cenários onde é necessário processar grandes volumes de etiquetas em um curto período;

RFID LF: Opera em frequências entre 125 kHz e 134 kHz.

RFID UHF: Opera em frequências entre 300 MHz e 3 GHz.

- **Alcance de Leitura Maior:** A tecnologia UHF geralmente oferece um alcance de leitura maior em comparação com a LF. Isso torna o RFID UHF mais adequado para aplicações onde é necessário ler etiquetas a distâncias mais longas;
- **Capacidade de Leitura em Massa (Anti-Colisão):** O UHF é conhecido por sua capacidade de lidar com múltiplas *tags* simultaneamente, o que é chamado de anti-colisão. Isso significa que é possível ler várias etiquetas UHF ao mesmo tempo, facilitando a identificação de itens em grandes grupos;
- **Aplicações Típicas:** O RFID UHF é comumente utilizado em aplicações de logística e cadeia de suprimentos devido ao seu alcance estendido e à capacidade de processar rapidamente grandes volumes de mercadorias;

- **Custo das Tags:** As *tags* UHF tendem a apresentar um melhor custo-benefício devido à sua capacidade de leitura em longas distâncias além da capacidade de processar várias *tags* simultaneamente.

2.2.1.2 Desvantagens de usar RFID UHF em comparação com RFID LF

- **Menor Suscetibilidade a Interferências:** As frequências UHF geralmente são mais suscetíveis a interferências causadas por materiais como água e metal em comparação com as frequências LF.

2.2.2 Leitor RFID UHF SIMATIC RF680R

Com a requisição da antena que utiliza um leitor RFID UHF com potência mínima de 500 mW ([WILMSMEIER, 2023](#)), foi selecionado o leitor Siemens RF680R (Figura 2.3), que tem uma potência de 2000mW por porta e uma capacidade de leitura simultânea de até 500 *tags*, o que atende aos requisitos desta pesquisa.

Figura 2.3 – SIMATIC RF680R - Fonte ([SIEMENS, 2023](#)).



Para configuração do SIMATIC RF680R é utilizado uma página HTML que fica hospedada no próprio leitor. Dessa forma, na Figura 2.4 é possível observar os parâmetros da porta onde foi conectada a antena cabo utilizada nos experimentos que são apresentados no Capítulo 5.

Na aplicação em questão, o intervalo mínimo de amostragem pelo qual o leitor registra os dados representa um aspecto crítico. O leitor está configurado para suportar um intervalo mínimo de 10 ms, garantindo tempo suficiente para a execução de outros

Figura 2.4 – SIMATIC RF650R - Fonte (SIEMENS, 2023).

The screenshot displays the SIMATIC RF650R web interface. The browser address bar shows the URL `192.168.0.254/#page=2`. The interface includes a Siemens logo and a navigation menu on the left with options like 'Start page', 'Settings', 'Read points', 'Tag fields', 'Filters', 'Digital outputs', 'Communication', 'Adjust antenna', 'Activation power', 'Diagnostics', 'Edit transponder', 'User management', 'Certificates', 'System', and 'Help'. The main content area is titled 'Basic settings' and shows the configuration for 'Read point 2'. It includes fields for 'Name of the read point' (set to 'Readpoint_2') and 'Location'. Below this, there is a section for 'Assigned antennas' with a list of four antennas (Antenna 1 to Antenna 4) and their respective 'Read point' assignments. To the right of this list, there are configuration parameters for 'Antenna 02', including 'Description' (Antenna 2), 'Radiated power (ERP)' (33 dBm, 2000 mW), 'Gain' (7 dBi, User defined), 'Cable attenuation' (1 dB, 6GT2815-0BH30 (3 m, 1 dB)), 'Effective radiated power (ERP)' (33.00 dBm, 2000 mW), 'RSSI threshold' (0), 'Input attenuation' (0 dB), 'Sensitivity of the antenna test' (3.7 dBm), and 'Polarization' (Vendor-specific, Circular, Linear (vertical), Linear (horizontal)). A button 'Apply parameter to all antennas' is also visible.

processos essenciais. No entanto, para os experimentos conduzidos, optou-se pela configuração padrão de 50 ms. Essa elevada taxa de amostragem atribui ao dispositivo um papel crucial no processamento de dados em tempo real, uma vez que a transmissão contínua de todos os dados coletados para a nuvem se torna inviável. Assim, o dispositivo é também utilizado como um computador de borda, responsável pela geração e armazenamento do registro de entradas e saídas dos animais no cocho. Esta abordagem permite a consulta do histórico de registros de forma eficiente, podendo ser realizada até uma vez por dia.

2.2.3 Antena SIMATIC RF650A + Cabo coaxial

A antena SIMATIC RF650A da Siemens (Figura 2.5) é projetada para operar com uma área de leitura direcionada, oferecendo uma funcionalidade otimizada para aplicações específicas. Sua capacidade de leitura direcionada significa que a antena focaliza sua energia de radiofrequência em uma área específica, proporcionando maior precisão na identificação e no rastreamento de *tags* RFID dentro desse campo direcional.

Essa característica é particularmente vantajosa em ambientes onde a localização exata dos itens é crucial. Assim, ao concentrar sua área de leitura, a antena maximiza a eficiência operacional, minimizando possíveis interferências e melhorando a confiabilidade na detecção de etiquetas RFID. Essa capacidade direcional é valiosa em cenários industriais e logísticos, nos quais é essencial otimizar a leitura de *tags* em áreas específicas do processo.

Figura 2.5 – SIMATIC RF650A + Cabo coaxial - Fonte ([SIEMENS, 2023](#)).



A interação eficaz entre a antena SIMATIC RF650A e o leitor é assegurada por meio de um cabo coaxial convencional e devidamente blindado. Este cabo desempenha um papel crucial na leitura de dados, garantindo uma comunicação precisa e confiável entre a antena e o leitor RFID. A blindagem proporciona proteção adicional contra interferências externas, assegurando um desempenho consistente mesmo em ambientes desafiadores.

2.2.4 Antena cabo - LOCFIELD® antena

A antena LOCFIELD® UHF ([CAVEA-ID, 2023](#)), é um tipo específico de antena de cabo coaxial disponível em frequências de até 6 GHz. Pode ser fabricada em diversos

diâmetros e comprimentos. O campo eletromagnético segue o cabo, independentemente da complexidade do seu caminho.

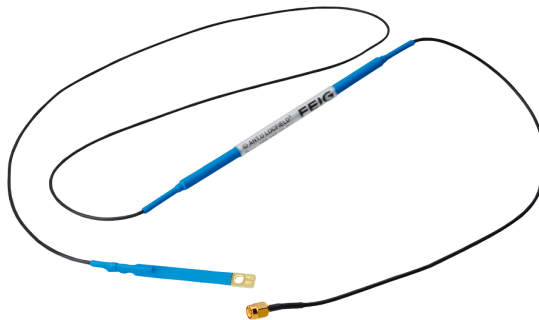
2.2.4.1 Dimensionamento da antena LOCFIELD®

Para planejar uma instalação é importante selecionar o tipo certo de antena em relação às dimensões e ao desempenho específicos. Todas as variantes são caracterizadas por três parâmetros: comprimento ativo, comprimento total e diâmetro do cabo.

O comprimento ativo é medido desde o final da unidade de amortecimento até o início da PCB. Esse é o segmento interessante do cabo onde as correntes de alta frequência fluem ao longo do lado externo da blindagem do cabo. Essas correntes geram um campo EM ao redor do cabo. As correntes mostram pouca ou nenhuma tendência para deixar o cabo ou irradiar para o ar livre. Portanto, a antena LOCFIELD® (Figura 2.6) pode ser descrita com mais precisão como um fio condutor de corrente HF do que como uma antena clássica. Ao aproximar-se de superfícies metálicas, a antena pode ser vista como um fio sobre a terra, não causando reflexões, em contraste com uma antena radiante típica.

É importante que a antena não seja aplicada diretamente em superfícies metálicas, o que leva a perdas de sinais.

Figura 2.6 – LOCFIELD® antena - Fonte ([CAVEA-ID, 2023](#)).



Na Tabela 2.2.4.1, são apresentados alguns parâmetros da antena utilizados:

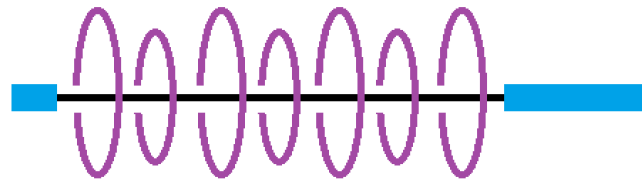
2.2.4.2 Campo Eletromagnético Circular

Na Figura 2.7 é apresentado o comportamento do campo eletromagnético circular ao longo da antena, porém, no Capítulo 5.6 serão apresentados testes que apresentam perdas, de forma que esse campo magnético pode se tornar cônico.

Característica	Valor
Frequência de Operação	866 MHz (EU), 920 MHz (US)
Temperatura de Operação	-20°C to 65°C
Polarização	Linear
Ângulo de radiação	360°
Impedância	50 Ω
Faixa de leitura	1 cm - 150 cm*
Potência	+33 dBm (2 W)
Ganho	-7 dBi

Tabela 2.2 – Especificações - Fonte (CAVEA-ID, 2023).

Figura 2.7 – LOCFIELD® antena - Ângulo de feixe - (PESQUISA, 2023).



2.2.5 Node-RED

O Node-RED é uma ferramenta de desenvolvimento baseada em fluxo que permite conectar dispositivos, APIs e serviços para automatizar tarefas e criar sistemas IoT de forma visual e simplificada. Ele desempenha um papel crucial na automação, integração e análise de dados. Sua interface visual intuitiva e flexibilidade permitem uma implementação eficaz de soluções complexas, facilitando a conexão entre dispositivos e sistemas heterogêneos. Ao simplificar o desenvolvimento de fluxos de trabalho, o Node-RED proporciona uma abordagem eficiente para a manipulação de dados, otimizando a coleta e o processamento de informações essenciais para os objetivos desta pesquisa. Sua importância transcende a mera ferramenta, sendo um catalisador para a inovação e avanço nas aplicações tecnológicas exploradas.

2.2.6 Azure

O Microsoft Azure destaca-se como uma plataforma robusta para computação em nuvem e para os serviços integrados. Sua arquitetura flexível e escalável oferece recursos poderosos para análise de dados, futura utilização do *machine learning* e implementação eficaz de soluções tecnológicas avançadas. Ao utilizar os serviços do Azure, tornam-se acessíveis as ferramentas de última geração que facilitam a coleta, o processamento e a interpretação de dados, proporcionando uma base sólida para os objetivos desta pesquisa. A

utilização do Azure não apenas impulsiona a eficiência, mas também proporciona inovação para o campo de estudo em destaque.

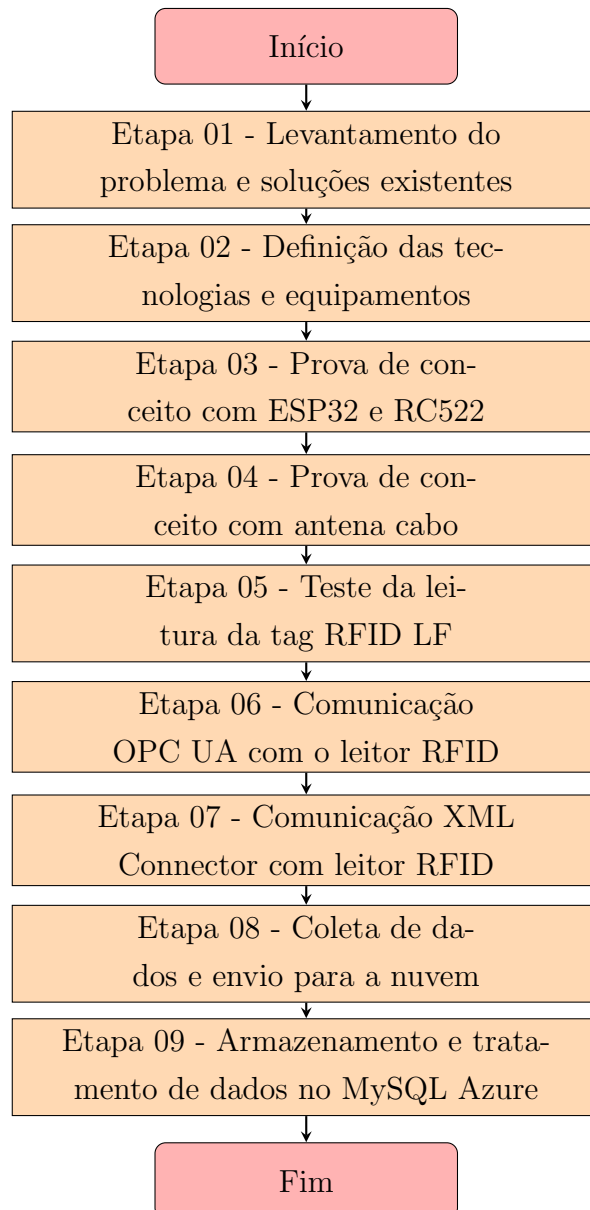
2.2.7 MySQL Workbench

O MySQL Workbench é uma ferramenta fundamental para a gestão e análise eficiente de bancos de dados. Sua interface intuitiva e recursos avançados proporcionam uma plataforma robusta para a manipulação e organização de dados, essenciais para os objetivos desta pesquisa. Ao utilizar o MySQL Workbench, é possível desenvolver capacidades significativas na modelagem de dados e na execução de consultas complexas, contribuindo diretamente para a qualidade e integridade dos resultados obtidos. A importância desse software transcende a simples administração de dados, influenciando positivamente a precisão e a confiabilidade das conclusões alcançadas nesta pesquisa.

3 Protótipo Proposto

A condução desta pesquisa para a definição e construção do protótipo proposto baseou-se em uma abordagem metodológica cuidadosamente estruturada, levando em consideração os objetivos delineados nesta dissertação. A seguir, são detalhadas as etapas metodológicas adotadas, destacando os principais passos que guiaram a execução deste estudo:

Figura 3.1 – Etapas desenvolvimento - Fonte ([PESQUISA, 2023](#)).



- **Etapa 01 - Levantamento do problema e das soluções existentes na literatura e no mercado:**

Nesta fase, o objetivo foi identificar o problema a ser resolvido e analisar as soluções já existentes na literatura e no mercado. Isso envolve a revisão bibliográfica e a pesquisa de tecnologias similares. Destaca-se a importância da realização de um levantamento junto a profissionais da área de zootecnia. Essa interação proporcionou *insights* valiosos, contribuindo significativamente para a compreensão aprofundada dos problemas reais enfrentados na gestão das criações. A colaboração com especialistas permitiu uma contextualização mais precisa do cenário, fundamentando ainda mais a identificação e definição dos desafios a serem abordados pelo protótipo proposto.

- **Etapa 02 - Definição das tecnologias e dos equipamentos necessários para a montagem do protótipo:**

Após o levantamento na etapa anterior, escolheu-se as tecnologias e os equipamentos mais adequados para desenvolver o protótipo. Isso incluiu a definição do hardware e software necessários.

- **Etapa 03 - Prova de conceito com o ESP32 e a antena RC522:**

Nesta etapa, conduziu-se uma prova de conceito empregando o microcontrolador ESP32 e a antena RC522. Dessa forma englobou uma série de testes iniciais destinados a verificar a viabilidade técnica da utilização desses componentes na solução proposta. A realização desses experimentos permitiu uma avaliação minuciosa do desempenho do ESP32 em conjunto com a antena RC522, além de ter sido uma etapa importante para iniciar o projeto no banco de dados na nuvem.

- **Etapa 04 - Prova de conceito com a antena cabo:**

Esta etapa concentrou-se em testar a capacidade do sistema de ler *tags* RFID UHF especificamente usando a antena cabo. Avaliou-se a eficácia da leitura e a integração com o leitor SIMATIC RF680R.

- **Etapa 05 - Teste da leitura da tag RFID LF fornecida pela DATAMARS:**

Similar à etapa anterior, mas agora acrescentando o teste a leitura de *tags* RFID LF fornecidas pela DATAMARS. Verificou-se a incompatibilidade na leitura dessas *tags* com o cabo e leitor utilizado.

- **Etapa 06 - Realização da comunicação OPC UA com o leitor RFID:**

Integração do sistema RFID com o protocolo OPC UA, permitindo a comunicação eficiente entre o leitor RFID e outros dispositivos ou sistemas na rede. Essa etapa demonstrou uma limitação da tecnologia com a leitura simultânea de múltiplas *tags*, o que foi solucionado com a alternativa a seguir.

- **Etapa 07 - Configuração para a comunicação XML Connector com o leitor RFID:**

Configuração do sistema para permitir a comunicação utilizando o XML Connector com o leitor RFID. Isso envolve a configuração de parâmetros e protocolos de comunicação.

- **Etapa 08 - Desenvolvimento de um sistema de coleta dos dados locais e envio para a nuvem utilizando Node-Red:**

Desenvolvimento de um sistema que coleta os dados localmente e os envia para a nuvem. Utilizou-se a plataforma Node-Red no desenvolvimento de fluxos de dados.

- **Etapa 09 - Desenvolvimento de um sistema para armazenamento das leituras no banco MySQL Azure e posterior tratamento:**

Criação de um sistema para armazenar as leituras no banco de dados MySQL hospedado na plataforma Azure. Além disso, é implementado o tratamento dos dados armazenados para garantir integridade e utilidade.

As etapas deste projeto foram cuidadosamente planejadas para garantir uma abordagem sistemática e eficiente no desenvolvimento do protótipo. Iniciando com o levantamento do problema e a análise das soluções existentes, foi possível definir com precisão as tecnologias e os equipamentos necessários.

Em seguida, as provas de conceito com o ESP32 e as antenas RC522 e cabo validaram a viabilidade técnica e permitiram ajustes essenciais. A integração com o protocolo OPC UA, embora tenha revelado uma limitação na leitura simultânea de múltiplas tags, levou à exploração de alternativas mais eficazes, conforme descrito nas etapas subsequentes.

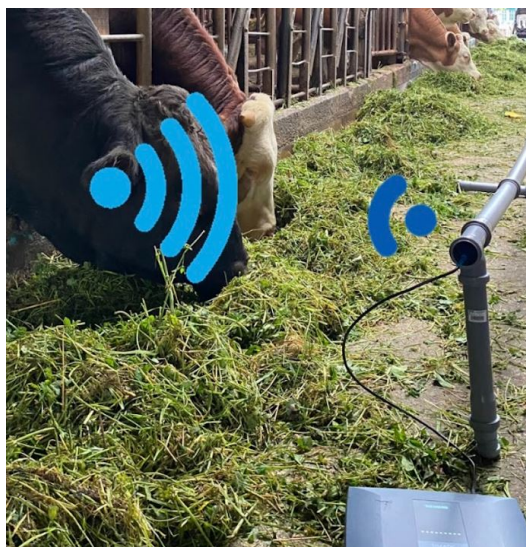
A configuração do XML Connector e o desenvolvimento de um sistema robusto para coleta de dados e armazenamento na nuvem, utilizando Node-Red e MySQL Azure, consolidaram a solução, permitindo o tratamento adequado dos dados para futuras análises. Cada etapa, embora sequencial, contribuiu diretamente para a evolução contínua do projeto, com algumas atividades ocorrendo de forma paralela para otimizar o tempo e os recursos disponíveis.

4 Cenário Implementado

Este capítulo visa detalhar o desenvolvimento e a funcionalidade da plataforma criada para o acompanhamento do comportamento alimentar de bovinos. Especificamente, a tecnologia é projetada para reconhecer e registrar os momentos em que um animal posiciona sua cabeça dentro do cocho, marcando o *check in*, assim como identificar quando o mesmo retira a cabeça, efetuando o *check out*. Este processo é ilustrado na Figura 4.1, evidenciando o momento que a plataforma capta e registra essas ações para depois utilizar esses dados para gerar informações úteis para gestão da criação.

Durante o desenvolvimento deste projeto, uma análise foi conduzida para avaliar uma gama de tecnologias potenciais, incluindo, mas não se limitando a, LoRaWAN, devido à baixa precisão do GPS; Bluetooth e GPS, que foram descartado por seu alto consumo de bateria e custos associados; e RFID, ilustrado na Figura 4.1 . Esta análise rigorosa foi fundamental para identificar as tecnologias que melhor atendem aos requisitos do projeto, focando especialmente na necessidade de evitar o uso de baterias em dispositivos fixados aos animais. Tal escolha se deve ao objetivo de minimizar a manutenção, os custos operacionais e o impacto sobre os animais. Este segmento enfatizará a importância de selecionar uma solução que não apenas atenda às necessidades de monitoramento do comportamento alimentar, mas que também seja prática e sustentável a longo prazo, garantindo assim a viabilidade e a eficácia do sistema proposto.

Figura 4.1 – Criação bovina na Alemanha - Fonte ([PESQUISA, 2023](#)).



4.1 Hardware

Um ponto muito importante para viabilizar esse trabalho foi a escolha do tipo de RFID UHF. Foi utilizado hardware de mercado, sendo um leitor da Siemens modelo SIMATIC RF680R e uma LOCFIELD® antena com 2 metros de comprimento ativo e 5mm de diâmetro. Foi avaliado utilizar o leitor M6E Nano from JadaK porém a potência do módulo leitor não é suficiente para a leitura da antena cabo utilizada (WILMSMEIER, 2023). O leitor RFID RC522 também foi avaliado mas não funciona com antena cabo e também não tem potência para as distâncias de leitura requerida nessa solução. Para conectar a antena cabo no leitor RFID, foi utilizado um conector SMA. Ademais, foi utilizada uma antena Siemens RF650A e um cabo coaxial para ligar essa antena no leitor, podendo comparar o resultado das 2 antenas.

O RFID UHF é uma tecnologia de identificação por radiofrequência versátil, conhecida por seu alcance estendido e sua capacidade de rastrear objetos em massa. Como dito, RFID UHF é frequentemente usado para rastrear várias etiquetas simultaneamente, o que o torna ideal para cenários onde é necessário identificar e rastrear grandes volumes de itens rapidamente, como os cochos de alimentos na pecuária, quando os animais chegam em bando para comer simultaneamente.

Para fins de testes e de comparação, foram utilizadas 2 antenas ao mesmo tempo conectadas nesse leitor, para fins de comprovar que a antena convencional que é conectada ao leitor por um cabo coaxial convencional não tem o mesmo funcionamento que o cabo antena.

Para entender o funcionamento do leitor RFID e os resultados desses testes apresentados no Capítulo 5, é importante entender o que é o sinal RSSI. O RSSI (*Received Signal Strength Indication*), ou Indicação de Intensidade de Sinal Recebido, é um parâmetro crucial em sistemas de radiofrequência. Medindo a potência do sinal em uma comunicação sem fio, o RSSI fornece uma avaliação da intensidade do sinal entre transmissor e receptor. Geralmente expresso em decibéis (dB), o RSSI é essencial para determinar a qualidade da conexão, influenciando diretamente o desempenho de dispositivos sem fio. Quanto maior o valor RSSI, melhor a força do sinal. Essa métrica é vital em redes Wi-Fi, Bluetooth e outras aplicações, contribuindo para uma comunicação eficaz e estável.

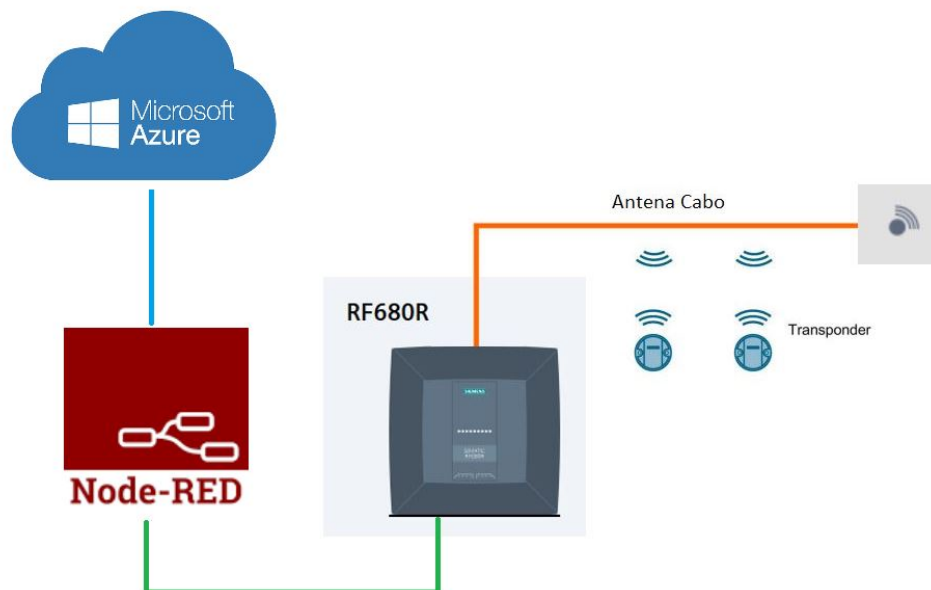
4.2 Arquitetura IoT

Na arquitetura IoT proposta (Figura 4.2), o fluxo de dados inicia-se com a leitura de *tags*. Notavelmente, destaca-se que essas *tags* não requerem bateria, sendo capazes de receber energia diretamente do sinal magnético emitido pelo cabo da antena. Essa

antena envia os dados capturados para um leitor avançado, como o Siemens RF680R, responsável fazer uma leitura cíclica em milisegundos e por registrar a data e hora da primeira e última leitura, ou seja quando a *tag* entrou e saiu da zona RFID. Esses registros temporários são armazenados em seu livro de registros dentro do leitor, fazendo o papel do computador de borda. Posteriormente, os dados são exportados em formato .CSV para uma pasta específica no Node-Red. O Node-Red, por sua vez, assume o papel de processar esses registros, realizando transformações e aplicando lógica customizada para adaptar o formato da informação na sintaxe correta para escrever no banco de dados. Finalmente, os dados processados são encaminhados e armazenados no MySQL hospedado no Microsoft Azure, proporcionando uma solução integrada e eficiente para a gestão de informações provenientes do ambiente IoT.

Na implementação dessa solução, é essencial que o leitor RFID esteja equipado com um relógio interno para registrar com precisão os horários das leituras. Para garantir a confiabilidade temporal das informações coletadas, é necessário que esse relógio seja continuamente sincronizado com uma referência confiável.

Figura 4.2 – Arquitetura IoT - Fonte ([PESQUISA, 2023](#)).



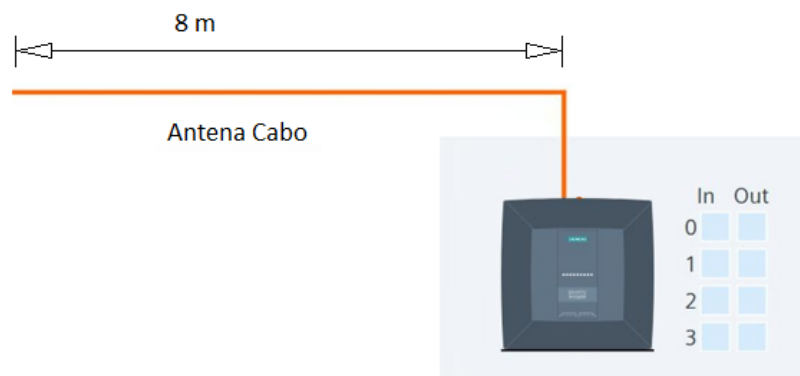
Com o leitor, primeiro foi feito um teste com o servidor OPC UA disponível nesse leitor. Como cliente OPC UA, foi utilizado um Cliente OPC UA no Node-RED, capaz de ler a última vez que a *tag* RFID UHF que entrou na zona de sinal e enviar para um banco MySQL no Azure, descrito na seção 5.3. Devido a uma limitação do OPC UA, para enviar várias *tags* simultâneas, foi alternativamente usada a solução de conector XML para leitura do livro de registros armazenados dentro do leitor, descrito na Seção 5.4.

4.3 Topologia de rede

A introdução à topologia estrela no contexto dessa solução proposta destaca seu papel crucial na expansão da capacidade de monitoramento em fazendas de criação confinada. Com a habilidade do leitor RFID de conectar até quatro antenas, cada uma com alcance de até 8 metros ([WILMSMEIER, 2023](#)), podemos estender a cobertura de monitoramento para até 32 metros lineares de cocho por dispositivo. Esse arranjo permite uma implementação eficaz em ambientes onde os pontos de alimentação são fixos, facilitando a identificação e o acompanhamento do comportamento alimentar dos bovinos. Além disso, essa topologia oferece a flexibilidade de expansão da área de cobertura proporcionalmente ao número de portas disponíveis no leitor, otimizando o investimento em infraestrutura de monitoramento conforme demonstrado nas figuras subsequentes. Esta abordagem não apenas maximiza a eficiência do monitoramento mas também minimiza os desafios associados à limitação de alcance das antenas, garantindo uma solução escalável e adaptável às necessidades específicas de cada fazenda.

Abaixo são apresentados exemplos da configuração dos cochos, adotando a estratégia de posicionar o leitor RFID centralmente. Esta disposição é ilustrada nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5, demonstrando variadas formas de aplicar a topologia estrela para otimizar a cobertura de monitoramento.

Figura 4.3 – Uma antena - Fonte ([PESQUISA, 2023](#)).



Com base nas características do sistema e nos desafios enfrentados durante as etapas de desenvolvimento, a topologia em estrela foi escolhida como a mais adequada. Essa escolha se deve à sua capacidade de centralizar o controle, facilitar a gestão de dados, e melhorar a eficiência na comunicação entre o leitor RFID e os dispositivos conectados, garantindo a escalabilidade e a robustez necessárias para o sucesso do projeto.

Figura 4.4 – Duas antenas - Fonte (PESQUISA, 2023).

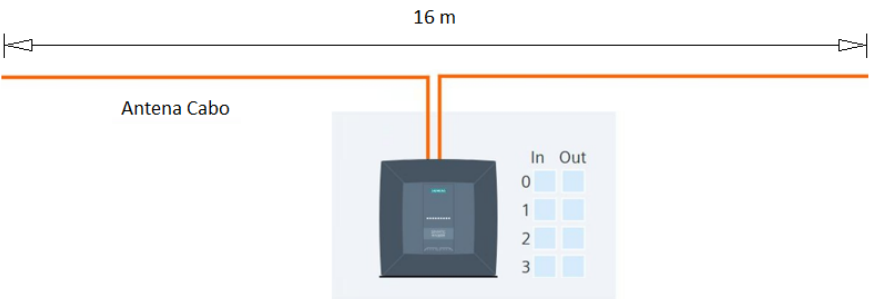


Figura 4.5 – Quatro antenas - Fonte (PESQUISA, 2023).

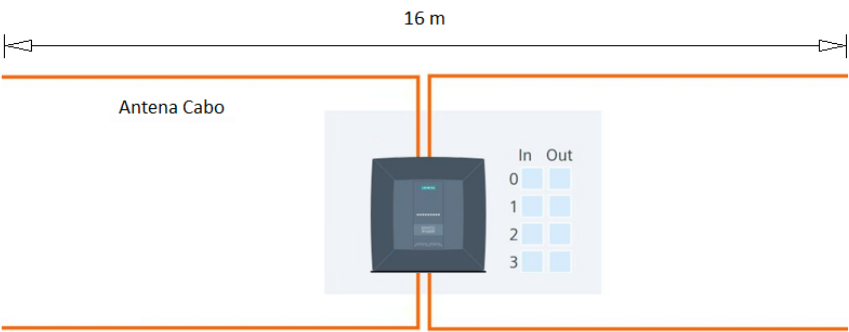
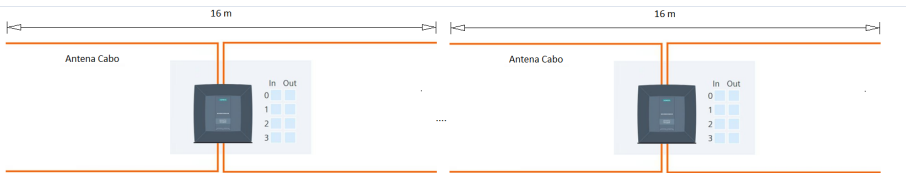


Figura 4.6 – Quatro antenas em N leitores - Fonte (PESQUISA, 2023).



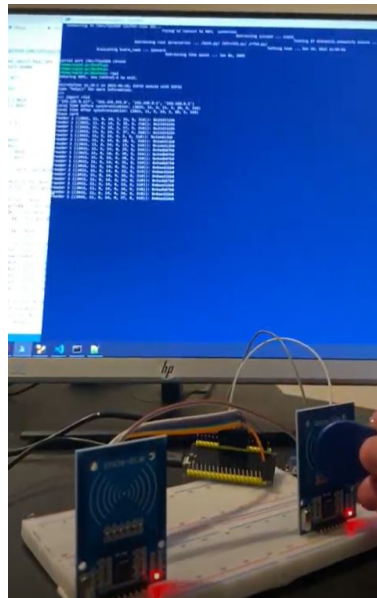
5 Experimentos e Resultados

Nesse capítulo são explorados os teste que foram relevantes para o avanço desta pesquisa e são analisados os dados obtidos. Esse segmento desempenha um papel crucial na validação e na interpretação dos resultados, sendo a base para a compreensão do escopo deste estudo.

5.1 ESP32 usando a antena RC522

Na fase de prototipação, foi realizado o experimento utilizando o ESP32 (Figura 5.1). Esse teste foi muito importante para o desenvolvimento da prova de conceito, desde a leitura da Tag RFID até o armazenamento dos dados na nuvem. Porém, esse teste mostrou que a antena RC522 não tem potência para leitura a uma distância maior do que 3 centímetros da antena, o que não atende. Também não foi encontrada uma solução para antena cabo usando o ESP32. Portanto, para esta pesquisa, esse hardware não atendeu os requisitos físicos para se aplicar no ambiente real, fora do laboratório.

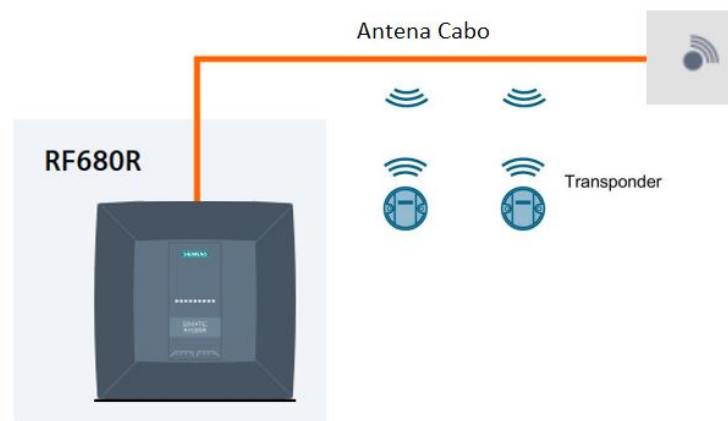
Figura 5.1 – PoC com ESP32 - Fonte ([PESQUISA, 2023](#)).



5.2 Leitura do transponder RFID UHF na antena LOCFIELD®

O teste de leitura do transponder RFID UHF na antena LOCFIELD® valida a solução proposta nesta pesquisa, de se utilizar uma antena cabo ao longo do cocho de alimentação, sendo uma solução que não foi encontrada durante esta pesquisa no mercado brasileiro. Conforme mencionando no Capítulo 2, foram encontrados na Europa algumas pesquisas semelhantes, para monitorar o comportamento alimentar do animal, porém, utilizando outros equipamentos. Nessa dissertação, a arquitetura de leitura do transponder é ao longo do cabo, de forma perpendicular, como mostra a Figura 5.2

Figura 5.2 – Multiplos transponder com antena cabo - Fonte (PESQUISA, 2023).



Utilizando um cabo de 3 metros de comprimento, como o apresentado na Figura 5.4, foram realizados alguns testes de aproximação do transponder UHF ao longo do cabo e registrados na Tabela 5.2. Os testes com a antena cabo e os transponder foram realizados considerando o resultado do RSSI. O RSSI é geralmente expresso em decibéis (dB) e fornece informações sobre o quão forte ou fraco é o sinal de rádio recebido em um determinado momento. Quanto maior o valor do RSSI, mais forte é o sinal, e quanto menor o valor, mais fraco é o sinal. O RSSI é uma métrica importante em sistemas de comunicação sem fio porque pode ser usado para determinar a qualidade da conexão. Um sinal forte geralmente indica uma boa qualidade de conexão, enquanto um sinal fraco pode resultar em problemas de comunicação, como perda de pacotes de dados ou queda de chamadas.

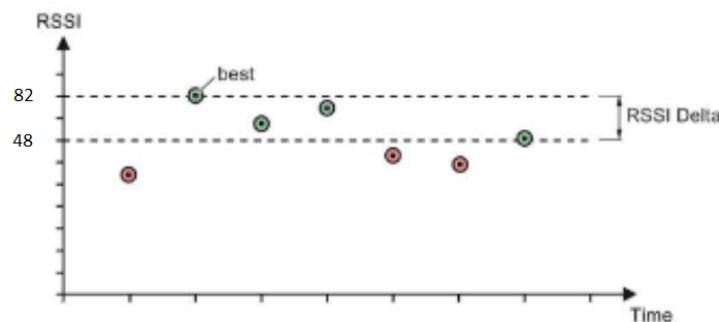
Com base na Tabela 5.2, foi possível concluir que o cabo permite uma leitura consistente e confiável para uma distância perpendicular de até 65 centímetros do cabo.

Cabo (m)	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,7	0,75	0,8
0	66	58	0	0	0	0	0	0	0	0
0,4	52	60	59	56	67	62	61	59	58	54
0,8	77	76	66	64	63	59	58	52	0	0
1,2	65	64	62	60	56	56	54	0	0	0
1,2	74	71	64	62	55	50	55	55	55	0
1,6	68	65	62	62	51	50	49	0	0	0
2	75	68	65	58	51	50	48	0	0	0
2,4	66	62	60	66	65	60	59	58	57	0
2,8	77	76	73	70	66	64	57	56	60	58
3	82	76	72	69	67	66	62	61	60	0

Tabela 5.1 – Tabela leitura RSSI utilizando etiqueta RFID UHF.

O leitor RF680R faz a leitura das *tags* que estão dentro da faixa RSSI delta, que varia entre 48 e 82 dB (Figura 5.3) e está diretamente relacionado à distância que o transponder está do cabo. Em casos que o sinal RSSI é menor que 48 dB, o leitor ignora a presença da *tag* dentro do campo magnético.

Figura 5.3 – RSSI Delta - Fonte (PESQUISA, 2023).



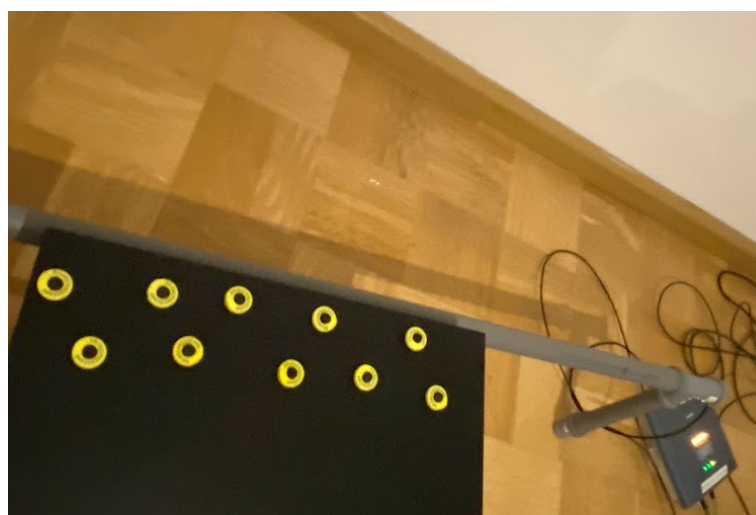
A foto apresentada na Figura 5.4 foi reproduzida durante esta pesquisa em um centro de criação e exposição de bovinos, em Erlangen na Alemanha, onde observa-se que para esse modelo de sistema de alimentação, podemos posicionar a antena a 30 cm do local onde o animal normalmente posiciona a cabeça durante a alimentação e dessa maneira é possível fazer o registro do tempo em que o animal está se alimentando. Além disso, é importante o uso do cano PVC como material isolante, visto que a parte ativa e não blindada do cabo que fica após o repetidor não pode ter contato com o chão o que causaria perda de sinal. A parte entre o repetidor e o leitor, como mostrado na Figura 5.4, é blindada e não tem perda pelo contato com o piso.

Figura 5.4 – Monitoramento alimentar (PESQUISA, 2023).



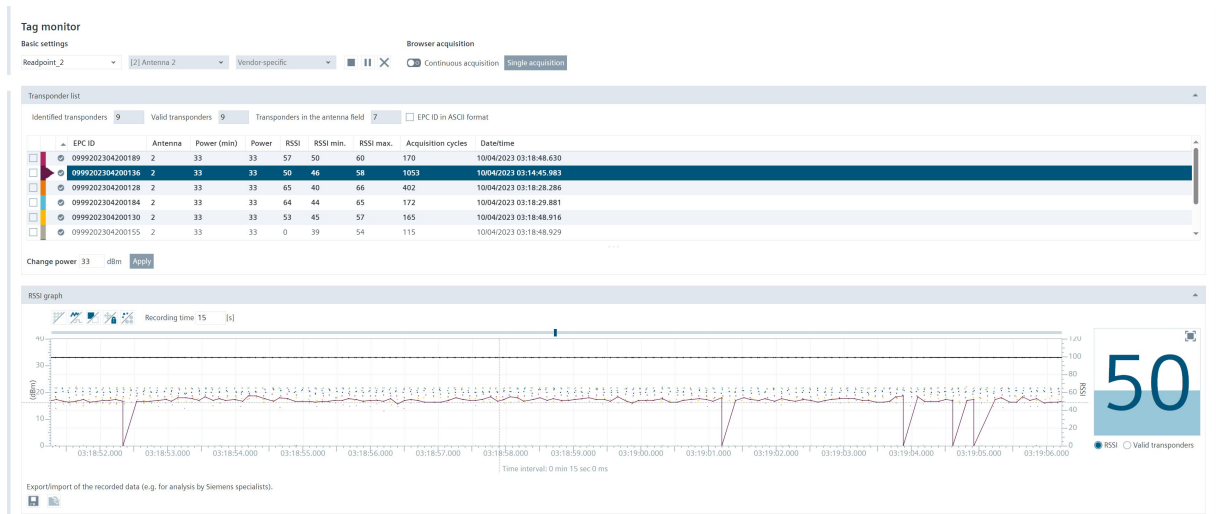
Foram realizados em laboratório (Figura 5.5) testes de leituras em massa de até 10 tags simultâneas, onde foram feitas algumas simulações da tag entrando e saindo da zona de sinal RFID emitido pela antena, simulando o movimento do animal.

Figura 5.5 – Leitura simultânea em massa - Fonte (PESQUISA, 2023).



Observa-se a partir da Figura 5.6 a leitura simultânea das 10 tags RFID UHF, realizada em laboratório conforme mostrado na Figura 5.5. É possível ainda observar que durante o tempo em que a tag está dentro da zona RFID, alguns picos de perdas de sinais podem acontecer, sendo necessário em seguida tratar essa falsa saída na base de dados.

Figura 5.6 – Monitoramento de 10 tags RFID UHF - Fonte (PESQUISA, 2023).



5.3 Comunicação OPC UA com o leitor RFID

Uma grande expectativa no início desta pesquisa seria o uso do OPC UA para comunicação com o leitor RFID para depois enviar os dados para a nuvem. Ao usar a comunicação OPC UA para acessar os dados dentro do leitor RFID, duas variáveis são muito úteis para serem monitoradas: *LastLogEntry* e *Presence*.

A estrutura da *LastLogEntry* é composta pelas seguintes informações: *Date_Time*; *Type*; *Entry*; *Command_Type*; *Readpoint*; *EPCID_UID*; *PC*; *RSSI*; *Power*, e *Presence*, que é definida por um valor *booleano* de Verdadeiro ou Falso.

Durante os testes, foi desenvolvido todo o fluxo de dados até o Azure, sendo que as variáveis *Date_Time* e *Entry* são a evidência de sucesso desta pesquisa, uma vez que ao armazenar essas informações no banco de dados, várias informações podem ser extraídas desses dados na camada de software na sequência.

Na Figura 5.7, pode-se notar no campo *Entry* que o animal foi observado, o que significa que ele entrou na área de cobertura do RFID e foi então registrado no campo *Date_Time* o momento desse evento. A partir desse momento, o leitor irá, de forma cíclica, identificar a presença do animal na área RFID, porém esse valor só irá alterar quando o animal sair da área RFID, identificando no campo como perdido e alterando o valor do *Date_Time*, conforme Figura 5.8.

Após realizar testes com uma única entrada, procedeu-se ao teste de múltiplas entradas simultâneas, a fim de simular a chegada de vários animais à área de alimentação ao mesmo tempo. Observou-se que, ao confiar unicamente na variável "última en-

Figura 5.7 – Leitura por OPC UA do último registro de entrada (PESQUISA, 2023).

Data Access View		
#	Display Name	Value
1	LogColumns	Date_Time; Type; Entry; Command_Type; Readpoint; EPCID_UID; PC; RSSI; Power
2	LastLogEntry	2023-05-15T20:47:11.569+00:00; EVENTS; Observed; Readpoint_2; 3005FB63AC1F3681EC880468; PC=3000; RSSI=62; Pwr=33
3	Presence	1

Figura 5.8 – Leitura por OPC UA do último registro de saída (PESQUISA, 2023).

Data Access View		
#	Display Name	Value
1	LogColumns	Date_Time; Type; Entry; Command_Type; Readpoint; EPCID_UID; PC; RSSI; Power
2	LastLogEntry	2023-05-15T20:48:29.369+00:00; EVENTS; Lost; Readpoint_2; 3005FB63AC1F3681EC880468; PC=3000; RSSI=56; Pwr=33
3	Presence	0

trada”durante o ciclo de varredura do leitor RFID, não seria possível satisfazer os requisitos de acolher vários animais simultaneamente. Isso se deve ao fato de o leitor reportar apenas o último animal detectado no ciclo. Portanto, dado os requisitos mínimos deste projeto, que demandam capacidade de processar múltiplos animais em paralelo, a utilização da comunicação OPC UA teve de ser reconsiderada. O Cliente OPC UA é limitado a capturar apenas a última entrada registrada, conforme ilustrado na Figura 5.8. A solução adotada para superar esse desafio é detalhada na Seção 5.4.

5.4 Leitura do logbook via interface XML

Ao consultar o leitor RFID sobre o histórico armazenado, detectou-se que era possível obter os dados por meio de uma interface usando XML. O leitor responde com uma tabela .csv, contendo todos os registros armazenados na memória do leitor. Para evitar leituras repetidas, é possível fazer um *reset* para limpar a memória do leitor. A Tabela 5.2 apresenta uma fração de dados obtidos via consulta ao logbook.

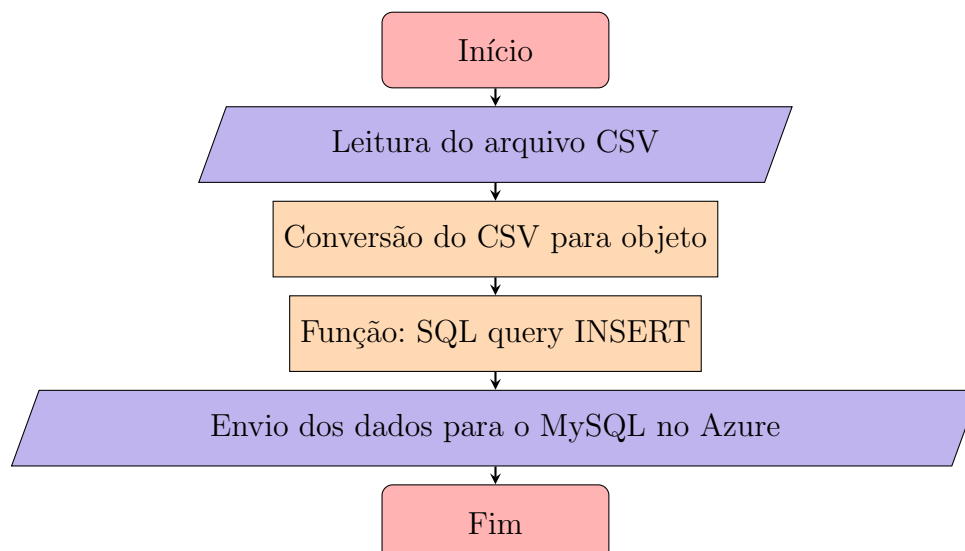
Date_Time	Entry	EPCID_UID	RSSI
2023-08-20T21:01:58.273+00:00	Observed	3005FB63AC1F3681EC880468	RSSI=59
2023-08-20T21:02:51.454+00:00	Lost	3005FB63AC1F3681EC880468	RSSI=63
2023-08-20T21:03:54.651+00:00	Observed	E2006B06000000000000000000	RSSI=57
2023-08-20T21:04:36.041+00:00	Observed	3005FB63AC1F3681EC880468	RSSI=66
2023-08-20T21:05:09.554+00:00	Lost	3005FB63AC1F3681EC880468	RSSI=67
2023-08-20T21:05:38.800+00:00	Lost	E2006B06000000000000000000	RSSI=47
2023-08-20T21:05:39.337+00:00	Observed	E2006B06000000000000000000	RSSI=56
2023-08-20T21:05:39.740+00:00	Lost	E2006B06000000000000000000	RSSI=51

Tabela 5.2 – Tabela de logbook.

5.5 Envio do logbook para a nuvem com Node-RED

Com o objetivo de garantir a consistência e atualização contínua do logbook, foi desenvolvida uma função específica no Node-RED (Figura 5.10) para gerenciar o processo de envio da tabela para o banco de dados na nuvem. No contexto dessa implementação, o Node-RED desempenha um papel fundamental ao ler o arquivo .csv recebido do leitor. Ao se conectar de maneira eficiente ao banco MySQL hospedado no Azure, a função criada realiza a inserção sistemática de todas as linhas do logbook, contribuindo para a manutenção precisa e em tempo real dos registros. Essa abordagem não apenas automatiza o fluxo de dados, mas também fortalece a integridade e a acessibilidade das informações armazenadas.

A seguir está representado o fluxo de dados do computador de borda até a nuvem:

Figura 5.9 – Fluxo de dados - Fonte ([PESQUISA, 2023](#)).

A seguinte função foi utilizada:

```
var data = msg.payload;
var mysqladb = "";
for (const temp of data) {
  var out = {};
  var spt = temp["Date_Time"].split("T")

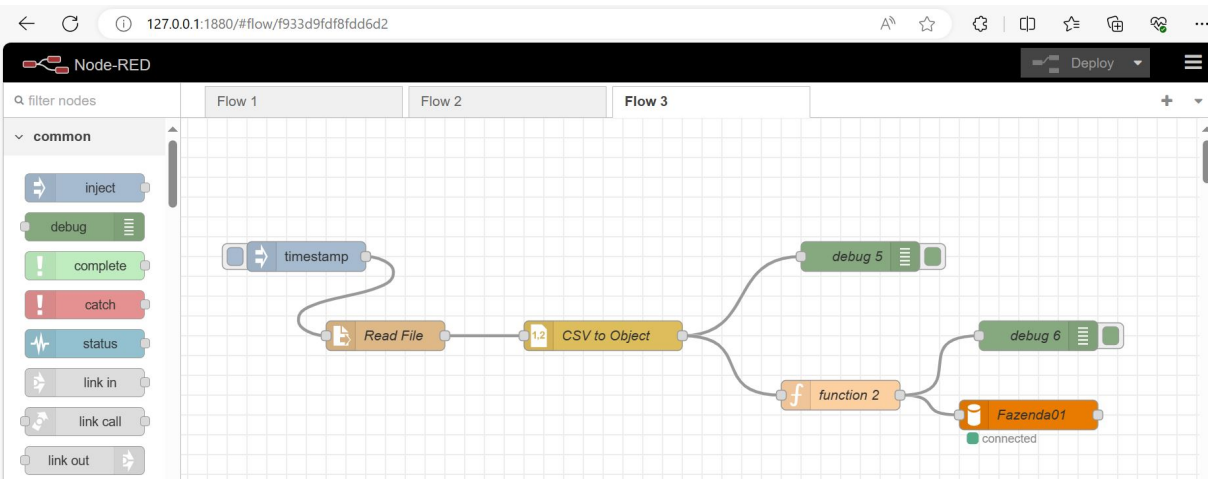
  out["Date_Time"] = spt[0] + " " + spt[1].split("+")[0];
  out["Type"] = temp["Type"];
  out["Entry"] = temp["Entry"];
  out["Command_Type"] = temp["Command_Type"];
  out["Readpoint"] = temp["Readpoint"];
  out["EPCID_UID"] = temp["EPCID_UID"];
  out["PC"] = temp["PC"].split("=")[1];
  out["RSSI"] = temp["RSSI"].split("=")[1];
  out["Power"] = temp["Power"].split("=")[1];

  mysqladb = mysqladb +
  "INSERT INTO schema_fazenda01.logbook (
  Date_Time,
  Type, Entry,
  Command_Type,
  Readpoint,
  EPCID_UID,
  PC,
  RSSI,
  Power)
  VALUES(
  ' " + out["Date_Time"] + "',
  ' " + out["Type"] + "',
  ' " + out["Entry"] + "',
  ' " + out["Command_Type"] + "',
  ' " + out["Readpoint"] + "',
  ' " + out["EPCID_UID"] + "',
  " + out["PC"] + ",
  " + out["RSSI"] + ",
  " + out["Power"] + ");";
}
```

```
return { topic: mysqlldb }
```

O fluxo apresentado na Figura 5.10 foi criado no Node RED para enviar as informações para o banco de dados na nuvem:

Figura 5.10 – Workflow Node-RED (PESQUISA, 2023).



A tabela `antenamonitor` foi então hospedada no Microsoft Azure para o armazenamento dos dados.

5.6 Banco de dados Workbench MySQL hospedado no Microsoft Azure

O banco de dados utilizado foi o Workbench MySQL que está hospedado no Azure. A seguir se encontram as informações de login no banco, acessando o *host* no Azure.

A Tabela 5.3 apresenta as tabelas criadas no banco de dados `db-fazenda`:

Tabela 5.3 – Descrição das Tabelas do Banco de Dados

Tabela	Descrição
tabela_alimentacao	Registro de check-in e check-out
tabela_cocho	Cadastro de cochos da fazenda
tabela_pesagem	Registro de pesagem mensal
tabela_animal	Registro de Identidade do Animal
tabela_alimentos	Informações básicas sobre o alimento

O relacionamento entre essas tabelas permite uma gestão integrada da fazenda, onde é possível monitorar a alimentação e o crescimento dos animais, associando cada atividade a um animal específico e aos recursos (como cochos) utilizados. Esses vínculos são essenciais para análises detalhadas sobre a eficiência da alimentação, o desenvolvimento dos animais e para a tomada de decisões informadas na gestão da fazenda.

Para extrair informações importantes para a tomada de decisões na fazenda, foi então pensada a seguinte modelagem de relacionamento das tabelas Figura 5.11:

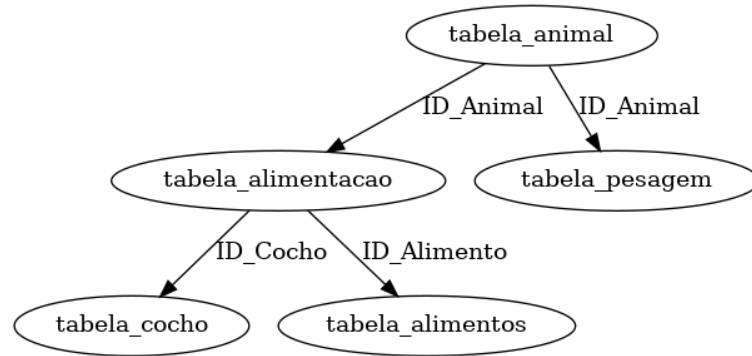


Figura 5.11 – Fluxograma de esquema de banco de dados - Fonte (PESQUISA, 2023).

A tabela *tabela_alimentacao* registra os momentos de alimentação dos animais na fazenda, associando cada evento de alimentação a um cocho específico, um animal, um tipo de alimento e os horários de início (CheckIn) e término (CheckOut) do acesso ao alimento.

Figura 5.12 – Tabela Alimentação - MySQL (PESQUISA, 2023).

	ID	ID_Cocho	ID_Animal	ID_Alimento	Check	Command_Type	Readpoint	EPCID_UID	PC	RSSI	Power
▶	1	1	1	1	2023-05-29 10:17:26	Observed	Readpoint_2	3005FB63AC1F3681EC880468	3000	66	33
	2	1	1	1	2023-05-29 10:30:26	Lost	Readpoint_2	3005FB63AC1F3681EC880468	3000	66	33
	3	1	1	1	2023-05-29 10:31:26	Observed	Readpoint_2	3005FB63AC1F3681EC880468	3000	66	33
	4	1	1	1	2023-05-29 10:33:26	Lost	Readpoint_2	3005FB63AC1F3681EC880468	3000	66	33
	5	1	1	1	2023-05-29 10:34:26	Observed	Readpoint_2	3005FB63AC1F3681EC880468	3000	66	33
	6	1	1	1	2023-05-29 10:38:26	Lost	Readpoint_2	3005FB63AC1F3681EC880468	3000	66	33
	7	1	1	1	2023-05-30 00:40:46	Observed	Readpoint_2	3005FB63AC1F3681EC880468	3000	72	33

A tabela *tabela_animal* registra informações detalhadas sobre cada animal na fazenda, incluindo data de nascimento, nomes dos pais, raça e cor.

A tabela *tabela_cocho* cataloga os cochos na fazenda, detalhando sua localização e tipo de alimento (água ou alimentação).

A tabela *tabela_pesagem* armazena registros de pesagem dos animais, incluindo o ID do animal, a data da pesagem e o peso registrado.

Figura 5.13 – Tabela Animal - MySQL (PESQUISA, 2023).

	ID	DataNascimento	NomePai	NomeMae	Raça	Cor
▶	1	2020-04-01	BoiX	VacaA	Nelore	Branco
	2	2020-05-04	BoiY	VacaB	Nelore	Branco
	3	2020-06-08	BoiZ	VacaC	Nelore	Branco
	4	2020-04-12	BoiX	VacaD	Nelore	Branco
	5	2020-05-16	BoiY	VacaE	Nelore	Branco
	6	2020-06-20	BoiZ	VacaF	Nelore	Branco
	7	2020-04-24	BoiX	VacaG	Nelore	Branco
	8	2020-05-28	BoiY	VacaH	Nelore	Branco
	9	2020-06-02	BoiZ	VacaI	Nelore	Branco
	10	2020-06-07	BoiX	VacaJ	Nelore	Branco
•	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Figura 5.14 – Tabela Cocho - MySQL (PESQUISA, 2023).

	ID	Localizacao	Tipo
▶	1	Pasto01A	Agua
	2	Pasto01B	Alimentacao
	3	Pasto02A	Agua
	4	Pasto02B	Alimentacao
	5	Pasto02C	Alimentacao
	6	Pasto03A	Agua
	7	Pasto03B	Alimentacao
	8	Pasto03C	Alimentacao
▲	NULL	NULL	NULL

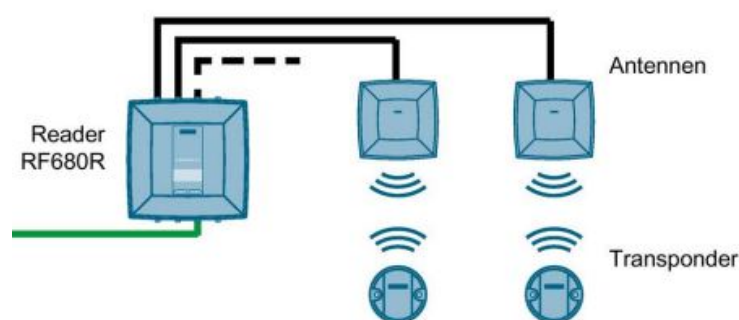
5.7 Leitura da tag RFID UHF com a antena RF650A

Nesse experimento, a posição de leitura dos transponder é pontual a 180 graus da antena, como mostra a Figura 5.16. Esse tipo de antena poderia ser utilizada em caso de monitorar por exemplo o portão de entrada, o que seria útil para identificar a presença do animal mas não atenderia os requisitos para monitorar o comportamento alimentar.

Um teste foi conduzido para avaliar a detecção de sinais de radiofrequência através da aproximação de uma tag RFID UHF ao cabo coaxial blindado que liga a antena RF650A ao leitor RF680R. Observou-se que, mesmo com o contato direto entre a tag RFID UHF e o cabo, nenhum sinal de radiofrequência foi detectado. Este resultado evidencia a eficácia da blindagem do cabo, que é essencial para minimizar a perda de sinal e maximizar o alcance efetivo da antena quando necessário. Conclui-se que, nesta configuração, o cabo atua puramente como um meio passivo de transmissão, sem desempenhar o papel de antena. Para o contexto deste estudo, focado no monitoramento alimentar de bovinos, tal

Figura 5.15 – Tabela Pesagem - MySQL ([PESQUISA, 2023](#)).

	ID	ID_Animal	DataPesagem	Peso
▶	1	1	2022-06-01	11.5000
	2	2	2022-06-01	10.3000
	3	3	2022-06-01	12.0000
	4	4	2022-06-01	11.7000
	5	5	2022-06-01	12.1000
	6	6	2022-06-01	11.0000
	7	7	2022-06-01	12.8000
	8	8	2022-06-01	13.5000
	9	9	2022-06-01	12.9000
	10	10	2022-06-01	15.0000

Figura 5.16 – Multiplos transponder - antena convencional ([SIEMENS, 2023](#)).

solução mostra-se tecnicamente e financeiramente inviável, dado que exigiria a instalação de uma antena em cada ponto de alimentação.

5.8 Leitura da tag RFID LF fornecido pela DATAMARS

Durante esta fase de testes, foi feito um contato com a empresa Datamars, uma das líderes globais desse mercado de fornecimentos de soluções de indentificação animal. A empresa se disponibilizou a enviar uma amostra dos transponder (Figura 5.17) utilizados por eles nesse mercado de pecuária, para que fossem realizados testes com a antena cabo. Porém, após a realização dos testes e o resultado negativo, foi identificado que o padrão global de bovinos da empresa é o RFID LF, de baixa frequência. Após um novo contato foi informado que o padrão RFID UHF apenas é utilizado por eles no mercado de suínos.

Figura 5.17 – Transponder RFIF LF Datamars (PESQUISA, 2023).



6 Considerações Finais

Neste capítulo são consolidadas as descobertas desta dissertação e, dessa forma, são delineadas perspectivas para pesquisas futuras. Ao sintetizar os resultados alcançados, apresenta-se uma visão abrangente deste estudo e propõe-se direções promissoras para avanços subsequentes na área desta pesquisa.

6.1 Conclusões

Nesta investigação, constata-se que há algumas soluções disponíveis no mercado para a pergunta geradora desta pesquisa, observa-se que a solução mais comum para os bovinos é o RFID LF, que não tem a finalidade de monitoramento alimentar e diário, mas são sistemas de coletas de dados esporádicas com bastão manual. O RFID UHF apresenta a vantagem de possibilitar múltiplas leituras simultâneas, o que representa uma significativa vantagem para os produtores, uma vez que viabiliza a realização de leituras em larga escala durante as visitas diárias dos animais aos cochos. Para validar essa eficácia, foram conduzidos testes com as tags da DATAMARS, amplamente empregadas nesse segmento. No entanto, observou-se que essas tags não operam adequadamente com a antena de cabo, evidenciando uma limitação importante.

Foram realizados testes iniciais que indicam que a utilização de antena cabo pode ser uma arquitetura promissora para o monitoramento do comportamento alimentar bovino, assim como também indicado nos artigos de referência desta pesquisa. Embora a antena LOCFIELD® pareça atender de forma satisfatória a essa necessidade, é importante mencionar que, segundo informações do fornecedor na Alemanha, a antena testada possui uma limitação de até 8 metros de comprimento. Essa restrição pode impactar a viabilidade da solução em grandes fazendas no Brasil que demandam um alcance de cocho de 50 metros. No entanto, ao utilizar a arquitetura estrela, é possível cobrir, com um leitor de 4 portas, uma área de até 32m. Para uma avaliação mais precisa, é necessário realizar testes em diferentes ambientes e diferentes diâmetros da antena cabo, considerando interferências e explorando a durabilidade da solução em condições reais.

O cabo coaxial padrão foi avaliado em conjunto com a antena Siemens RF650A, mas não gerou nenhum campo ao seu redor. Devido à sua natureza blindada, torna-se viável apenas para uma arquitetura estrela de leitura pontual e direcionada, como a entrada de uma porteira.

O protocolo OPC UA foi testado com sucesso para uma *tag* RFID UHF, porém

notou-se que o OPC UA não vai atender para leitura de *tags* simultâneas. Após os testes que detectaram que o OPC UA não atende aos requisitos, foi utilizado um recurso de Conector XML, que permite ler todo o *logbook* armazenado no leitor, assim não houve perda de sinais simultâneos devido a lentidão do ciclo de leitura do Node-RED em comparação com o ciclo do computador de bordo.

A gestão eficaz de dados tornou-se um componente crucial na administração de fazendas modernas, permitindo uma tomada de decisão informada e em tempo real. Nesse contexto, a implementação de sistemas de banco de dados robustos conectados com o mundo real através de recursos de IoT, emerge como fundamental para o monitoramento contínuo e a análise de informações críticas relacionadas à atividade animal. Assim, esta pesquisa destaca a importância de armazenar sistematicamente dados referentes à localização, alimentação e saúde dos animais, facilitando o acesso a informações vitais para o manejo diário e estratégico da fazenda.

6.2 Trabalhos Futuros

A seguir é possível citar algumas sugestões de trabalhos futuros:

- Testar essa solução em diferentes ambientes para levantamento de ruídos, principalmente do sistema de exaustão;
- Desenvolver uma antena cabo RFID UHF;
- Testar a antena LOCFIELD® UHF ([CAVEA-ID, 2023](#)) com diâmetros maiores;
- Desenvolver o leitor RFID UHF com potência maior do que 500 mW e capacidade de leitura de um cabo linear;
- Aplicar a plataforma em outras criações como a suína;
- Aplicar a plataforma em bebedouros, principalmente para gado de produção de leite;
- Aplicar *machine learning* para fazer uma análise preditiva.

Referências

- ABIEC. *BEEF REPORT*. 2022. Acessado em: 27 agosto 2023. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/exportacoes/#>.
- ADRION, F. Setup, test and validation of a uhf rfid system for monitoring feeding behaviour of dairy cows. *sensors*, v. 1, n. 1, p. 1–19, dez. 2020.
- BARROS, J. C. et al. Impacto econômico do carrapato-do-boi na pecuária em transformação no Brasil. *Revista Contemporânea*, v. 4, n. 1, p. 3266–3287, Jan. 2024. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/3104>.
- BROWN-BRANDL, T. M. Development of a livestock feeding behavior monitoring system. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 54, n. 5, p. 1913–1920, 2012.
- CAVEA-ID. *Cavea Identification GmbH, Olching, Alemanha*. 2023. Acessado em: 12 novembro 2023. Disponível em: <https://cavea-id.com/>.
- COELHO, M. de B. *CENÁRIOS PARA PECUÁRIA DE CORTE AMAZÔNICA*. 2020. Acessado em: 27 agosto 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63291355/o-uso-de-nanotecnologia-e-metagenomica-traz-perspectivas-para-a-alimentacao-bovina>.
- FRIHA, O. Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, v. 8, n. 4, p. 718–752, abr. 2021.
- HVTSQGJ. *HVTSQGJ*. 2023. Acessado em: 12 novembro 2023. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005002433211540.html>.
- IBGE. *CENÁRIOS PARA PECUÁRIA DE CORTE AMAZÔNICA*. 2014. Acessado em: 27 agosto 2023. Disponível em: <http://csr.ufmg.br/pecuaria/pdf/sumario.pdf>.
- IBGE. *CREATING A SUSTAINABLE FOOD FUTURE*. 2021. Acessado em: 27 agosto 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>.
- MELO, G. M. P. d. et al. Technological innovation in the ambience of facilities for farm animals: Applications. *Seven Editora*, Feb. 2024. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/3692>.
- ONU, A. do relatório da. *CREATING A SUSTAINABLE FOOD FUTURE*. 2019. Acessado em: 27 agosto 2023. Disponível em: https://research.wri.org/sites/default/files/2019-07/WRR_Food_Full_Report_0.pdf.
- PESQUISA, D. *Da pesquisa*. 1. ed. Erlangen, AG, 2023.
- ROCHA, M. F. *Valor Agronegócio*. 1. ed. São Gortardo, MG, 2019.

- RURAL, C. *Furto de gado cresce 24* Acessado em: 20 novembro 2023. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/programas/rural-noticias/mg-combate-crimes-furto-boi-gordo/>>.
- S GONZALEZ VIEJO C, T. E. D. F. F. The livestock farming digital transformation: implementation of new and emerging technologies using artificial intelligence. *Cambridge University Press*, v. 23, n. 1, p. 59–71, jun. 2022.
- SHI J. CAO, Q. Z. Y. L. W.; XU, L. Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 3, n. 5, p. 637–646, out. 2016.
- SHI, X. State-of-the-art internet of things in protected agriculture. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, v. 8, n. 19, p. 1833, abr. 2019.
- SIEMENS. *Siemens*. 2023. Acessado em: 27 agosto 2023. Disponível em: <<https://mall.industry.siemens.com/goos/WelcomePage.aspx?regionUrl=/de&language=de>>.
- SILVA, K. A. da et al. Mapeamento das tecnologias utilizadas para pecuária 4.0 com foco em gado leiteiro. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 22, n. 1, p. 1846–1866, Jan. 2024. Disponível em: <<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/2823>>.
- TALAVERA, J. M. Review of iot applications in agro-industrial and environmental fields. *Science Direct*, v. 142, n. 19, p. 283–297, nov. 2017.
- WEARY, D. M. Using behavior to predict and identify ill health in animals. *Journal of Animal Science*, v. 86, n. 1, p. 770–777, 2009.
- WILMSMEIER, O. *wilmsmeier-solutions, Olching, Alemanha*. 2023. Acessado em: 12 novembro 2023. Disponível em: <<https://wilmsmeier-solutions.com/en/>>.