

LEANDRO LIMA DE REZENDE

**Proposta de Arquitetura de IoT para digitalizar e aprimorar o
manejo da bovinocultura de corte.**

São Paulo
2022

LEANDRO LIMA DE REZENDE

**Proposta de Arquitetura de IoT para digitalizar e aprimorar o
manejo da bovinocultura de corte.**

Versão Original

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em *Internet of Things*.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Cugnasca

São Paulo
2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Rezende, Leandro

Proposta de Arquitetura de IoT para digitalizar e aprimorar o manejo da bovinocultura de corte / L. Rezende -- São Paulo, 2022.

83 p.

Monografia (MBA em Internet of Things (IoT)) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Internet of Things 2.Pecuária de Precisão I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

Nome: L. REZENDE, Leandro

Título: Proposta de arquitetura IoT para digitalizar e aprimorar o manejo da bovinocultura de corte.

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em *Internet of Things*.

Aprovado em: **08/02/2022**

Banca Examinadora

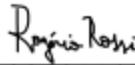
Prof(a). Dr(a). **Carlos Eduardo Cugnasca**



Instituição: PCS/EPUSP

Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a). **Rogério Rossi**



Instituição: USP-PECE

Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a). **Sérgio Roberto de Mello Canovas**



Instituição: PECE

Julgamento: Aprovado

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, amigos, professores, colegas de curso e trabalho que estiveram presentes e apoiando durante toda a jornada.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores e doutores do curso de MBA em *Internet of Things*, por compartilharem seus conhecimentos com todos os alunos do curso e contribuírem diretamente para a evolução do pensamento crítico e criativo relacionado de cada indivíduo sobre as tecnologias habilitadoras do IoT.

À minha esposa por me apoiar nessa jornada e ter paciência nos momentos que precisei dedicar meu foco e atenção ao MBA em *Internet of Things*.

Aos meus pais, irmã, sobrinha e cunhado que sempre me deram o suporte necessário em todos os desafios acadêmicos.

À Henkel, colegas de trabalho e aos meus gestores que contribuíram diretamente para que eu cursasse o MBA e por permitirem que os conhecimentos aqui adquiridos fossem aplicados para resolver problemas e desafios reais na indústria química.

À Universidade de São Paulo – USP, à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP e o PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia que constantemente atualizam sua infraestrutura e oferecem conhecimentos de alto nível à população brasileira, contribuindo diretamente para o desenvolvimento de profissionais altamente capacitados

RESUMO

REZENDE, L.L. **Proposta de Arquitetura de IoT Para Digitalizar e Aprimorar o Manejo da Bovinocultura de Corte**. 2022. 76. Monografia (MBA em *Internet of Things*). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2022.

A pecuária de corte em pastagens extensivas contribui para compor o PIB brasileiro e, perante a economia mundial, o Brasil é um grande produtor de carne, tanto para atender a um mercado externo exigente, quanto para consumo interno. Apesar da importância para a economia, o manejo do rebanho corte é responsável por parte do impacto ambiental no país e carece de soluções que possam coletar e transformar dados em informações de gestão, para a rápida tomada de decisão e aprimoramento das técnicas de manejo para aumentar a produtividade e conter a degradação ambiental causada por este setor. Este trabalho tem o objetivo de aplicar os conceitos do paradigma da Internet das Coisas para resolver a lacuna tecnológica e gerencial existente entre a pecuária de corte e demais setores da economia. Através de um estudo de literatura e de mercado, propõe-se uma arquitetura completa de IoT composta por cinco camadas que exploram a implementação de dispositivos de IoT, conectados de maneira a aproveitar o comportamento social do rebanho, para minimizar os custos de implementação e aumentar a eficiência da transmissão de dados para processamento na camada de computação na nuvem. Desta maneira, obtém-se uma solução capaz de monitorar o bem-estar e saúde de cada animal e gerar informações sobre o rebanho e as pastagens de maneira a aumentar a produtividade. Por fim, uma análise crítica da solução, os principais desafios de implementação e adoção em larga escala da solução são apresentados.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Rede Sensores sem Fio, Bovinocultura de corte.

ABSTRACT

REZENDE, L.L. **IoT Architecture proposal to digitize and optimize beef cattle management.** 2022. 76. Monografia (MBA em *Internet of Things*). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2022

Beef cattle on extensive pastures contributes to the Brazilian Gross Domestic Product (GDP,) given the world economy, Brazil is a major meat producer and is required to meet a increasing demand of the foreign market and for domestic consumption. Despite the importance for the economy, the management of the beef herd is responsible for part of the environmental impact in the country and lacks solutions that can collect and transform data into management information, for quick decision making and optimization of management techniques to increase productivity and contain the environmental degradation caused by this sector. This work aims to apply the concepts of the Internet of Things paradigm to solve the technological and management gap that exists between beef cattle and other sectors of the economy. Through a literature and market study, we propose a complete IoT architecture composed of five layers that explore the implementation of IoT devices, connected in a way that takes advantage of the social behavior of the herd, to reduce implementation costs and increase the efficiency of data transmission for processing it in the cloud computing layer. The result is a solution capable of monitoring the well-being and health of each animal in the herd and generating information about the herd and pastures to increase productivity. Finally, a critical analysis of the solution, the main challenges of implementation and large-scale adoption of the solution are presented.

Keywords: Internet of Things, Cloud Computing, Wireless Sensor Network, Beef Cattle.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Animal preso exposto a diversas condições de estresse.....	17
Figura 2 - Proposta monitoramento rebanho leiteiro por imagem integrada com IoT	20
Figura 3 - Ciclo <i>Hype</i> para Internet das Coisas.....	21
Figura 4 - Lean Canvas Model	24
Figura 5 - Arquitetura de três camadas	36
Figura 6 - Arquitetura de cinco camadas.....	37
Figura 7 - Arquitetura para data analytics e IoT da AWS	38
Figura 8 - Arquitetura básica plataforma IoT MS Azure	38
Figura 9 - Arquitetura básica TagIO	38
Figura 10 - Arquitetura plataforma Dojot	39
Figura 11 - Arquitetura básica plataforma FIWARE	39
Figura 12 - Arquitetura plataforma IoT para a Agroindústria Leiteira.....	41
Figura 13 - Hardware para recepção de sinal de internet Starlink.....	42
Figura 14 - Custo de pré-reserva Starlink	43
Figura 15 - 5G na agropecuária	44
Figura 16 - Mapa de cobertura NB-IoT da TIM região próxima a Muzambinho-MG..	44
Figura 17 - Lean Canvas - Primeira Parte.....	47
Figura 18 - Lean Canvas - Segunda Parte.....	48
Figura 19 - Lean Canvas - Completo	48
Figura 20 - Níveis de Abstração dos Requisitos.....	49
Figura 21 – Arquitetura da Solução IoT para monitoramento de gado de Corte	53
Figura 22 - Representação ESP32.....	54
Figura 23 - Raspberry Pi 4	55
Figura 24 - Deslocamento do rebanho conforme hierarquias	56
Figura 25 - Rebanho Sítio Santa Marta – Muzambinho-MG	57
Figura 26 - Imagem aérea de rebanho no Sítio Santa Marta	57
Figura 27 - Proposta de estrutura de rede otimizado conforme comportamento do rebanho	58
Figura 28 - Comparativo principais redes sem fio para IoT.....	61
Figura 29 - Global Edge Computing Architecture	63
Figura 30 - Camada de Aplicação	65
Figura 31 - Modelo de Segurança CID.....	67
Figura 32 - Implementação Simplificada	81

Figura 33 - Dispositivos e voluntários.....	82
Figura 34 - Interface usuário - Georreferenciamento	82
Figura 35 - Interface usuário - Mapa de calor do rebanho dentro da propriedade	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de soluções avaliadas e país de origem.....	27
Tabela 2 – Análise das soluções IoT para monitoramento de rebanho.....	28
Tabela 3 – Limitações para a implementação na pecuária de corte extensiva no Brasil	30
Tabela 4 – Aspectos de <i>Cyber Security</i> para as camadas da arquitetura.....	64
Tabela 5 – Atendimento dos requisitos por camada da arquitetura.....	66
Tabela 6 – Segurança de TI tradicional vs segurança IoT.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne
BLE	Bluetooth Low Energy
CID	Confiabilidade, Integridade e Disponibilidade
CPQD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
DDoS	<i>Distributed Deny of Service</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GECA	<i>Global Edge Computing Architecture</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	Internet of Things
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
LoRaWAN	<i>Long Range Wide-Area Network</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide-Area Network</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MWSN	<i>Mobile Wireless Sensor Network</i>
NB-IoT	<i>Narrowband Internet of Things</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PTZ	<i>Pan, Tilt and Zoom</i>
R	Requisito
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	Requisito Funcional
RNF	Requisito Não Funcional
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Motivações	15
1.1.1 Desafios de gestão do manejo e saúde animal	15
1.1.2 Redução Impacto Ambiental	17
1.1.3 Oportunidade Comercial.....	18
1.2 Objetivo	18
1.3 Justificativas	19
1.4 Resumo do problema	22
1.5 Método de Pesquisa.....	22
1.6 Estrutura do Trabalho.....	24
2. REVISÃO DA LITERATURA E TRABALHOS SEMELHANTES	26
2.1 Tendências e desafios do setor pecuário de corte	26
2.1.1 O mercado pecuário	26
2.1.2 Produtividade no manejo de gado de corte e impactos ambientais	27
2.1.3 Pecuária de Precisão	28
2.1.4 Saúde bovina, temperamento e bem-estar animal.....	29
2.2 Análise Trabalhos Relacionados	29
2.3 Modelos de Arquitetura de Internet das Coisas.....	35
2.4 Conectividade para Transmissão de dados	42
2.5 Considerações do capítulo	45
3. ARQUITETURA DA SOLUÇÃO IOT PARA MONITORAMENTO BOVINOS DE CORTE.....	46
3.1 Objetivos macros do setor pecuário	49
3.2 Requisitos dos pecuaristas.....	49
3.3 Requisitos da Arquitetura IoT	51
3.3.1 Requisitos Funcionais	51
3.3.2 Requisitos não funcionais.....	51
3.4 Arquitetura IoT Completa	52
3.4.1 Camada Física: Bovinos ganham novos acessórios ..	53
3.4.2 Camada de Rede: Uso da natureza comportamental bovina para otimizar a infraestrutura de comunicação	56
3.4.2.1 Localização do Rebanho	59
3.4.2.2 Topologia e protocolos da rede de sensores.....	59
3.4.2.3 Transmissão de dados para a computação de borda.....	61
3.4.3 Camada Edge: Processamento de Dados em computação de borda.....	62
3.4.4 Camada de Aplicação: Integração com o Cloud	63

3.4.5 Camada segurança	65
3.5 Considerações do capítulo	67
4. DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO	69
4.1 Desafios Técnicos	69
4.2 Resistência da classe pecuarista	70
4.3 Considerações do Capítulo	72
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
5.1 Conclusões e Contribuições do Trabalho.....	73
5.2 Trabalhos Futuros	74
REFERÊNCIAS.....	75
ANEXO I.....	81

1. INTRODUÇÃO

Partindo do senso comum, o Brasil é um grande produtor e exportador de *commodities* e não se pode negligenciar o impacto da pecuária de corte em um país considerado fornecedor de alimentos para a crescente população mundial (ABIEC; CARNES, 2019). A tecnologia pode proporcionar ganhos expressivos em vários setores do mercado, inclusive para o setor pecuário. O uso de dispositivos de *Internet of Things* (IoT), alavancado pelas características de baixo custo, baixo consumo energético e alta escalabilidade, apresenta-se como uma estratégia de adoção de uma tecnologia de grande potencial para a implementação de soluções democratizadas, ou seja, soluções acessíveis a grupos de usuários de diferentes poderes de investimento e níveis de conhecimento.

Neste contexto, o trabalho aqui proposto explora o uso do paradigma de IoT para alavancar o crescimento sustentável do setor pecuário brasileiro e é motivado pelas oportunidades de mercado. necessidades de aumento da produtividade com redução de impacto ambiental em toda a cadeia de valor da produção de carne bovina, tanto para exportação quanto para consumo interno.

1.1 Motivações

Neste item são apresentados desafios e oportunidades que contribuiriam para motivar o desenvolvimento deste trabalho. O setor pecuário possui desafios específicos para processo de criação de bovinos, além disso é alvo de críticas devido ao impacto ambiental das atividades de manejo e da própria presença dos rebanhos em áreas desmatadas. Este trabalho é motivado pela necessidade de aprimorar a pecuária bovina de corte, de maneira a explorar a oportunidade comercial oferecida por esse setor do mercado.

1.1.1 Desafios de gestão do manejo e saúde animal

O futuro é incerto e volátil e a crise pandêmica do COVID-19 mostrou que os processos, mercados e a economia, podem passar por grandes transformações em um curto período. Neste mesmo contexto, conforme estudo realizado pela Emprapa Gado de Corte em 2020, especialistas acreditam que a gestão do manejo e estrutura da pecuária de corte deve passar por forte processo de automação de instalações e digitalização de registros de dados bovinos até 2040, contribuindo para a otimização

da gestão do rebanho e acompanhamento da saúde e bem-estar dos bovinos, tanto na criação quanto no transporte de carga viva para frigoríficos.

A futura tendência de adoção de tecnologias pode estar relacionada ao constante êxodo rural, necessidade de aumento da produtividade, necessidade de redução do impacto ambiental, barateamento da tecnologia e ao fato de que a média de idade dos pecuaristas deve reduzir nos próximos anos. O perfil do pecuarista tende a migrar para um aspecto composto por pessoas com maior familiaridade tecnológica (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2020) e o bem-estar animal passa a ser um elemento a ser observado.

Para evidenciar como o bem-estar animal é um fator importante a ser monitorado continuamente, a Figura 1 apresenta o registro de um incidente ocorrido no Sítio Santa Marta, Muzambinho-MG, no qual, devido a uma falha na estrutura do cocho (local onde o alimento de bovinos é depositado para consumo), um animal ficou preso por horas, sem que o dono da propriedade notasse. Possivelmente o animal se envolveu em uma briga com outros bovinos por disputa de espaço no cocho e foi arremessado em cima da estrutura, sem que conseguisse se mover. Quando foi encontrado, o animal possuía feridas e apresentava sinais claros de exaustão. Neste caso o animal foi encontrado antes que viesse a óbito, mas demorou dias para que pudesse recuperar o vigor físico.

Figura 1 - Animal preso exposto a diversas condições de estresse



Fonte: obtida pelo autor.

1.1.2 Redução Impacto Ambiental

De todo o volume de carne bovina produzido no Brasil, estima-se que 85% origina-se de rebanhos criados em pastagens, sendo a maioria através de pecuária extensiva (LATAWIEC et al., 2017). Além dos desafios de manejo, a pecuária extensiva causa impacto ambiental maior do que técnicas melhoradas, destacando ainda uma maior emissão de gás carbono causada por esta técnica (DICK; ABREU DA SILVA; DEWES, 2015). Por fim, há preocupação quanto ao desflorestamento causado pela pecuária, principalmente na região norte do país. Especialistas acreditam que para que o pecuarista se mantenha competitivo no mercado terá que adotar técnicas de manejo sustentáveis, aumentando a produtividade por hectare, assim como reduzindo taxas de emissões de gás carbono por tonelada de carne produzida, para atingir tal objetivo, o uso de tecnologias emergentes, a custos acessíveis e foco no bem-estar animal durante todo o ciclo da cria são fatores chaves para provocar uma mudança sustentável tanto para o negócio quanto para o meio ambiente (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2020).

1.1.3 Oportunidade Comercial

Em um ecossistema capitalista, apenas propor resolver um problema ambiental ou de bem-estar animal dentro do setor pecuário, somado às resistências culturais ao uso de tecnologia, pode ser insuficiente para garantir a adoção por parte dos criadores de gado, portanto, o equilíbrio econômico-ambiental deve ser priorizado, explorando a oportunidade comercial do setor pecuário, a fim de utilizá-la como a força motriz para incentivar o uso da tecnologia de IoT como meio de otimizar a cadeia bovina.

De acordo com o relatório da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne, a ABIEC, em 2019, o PIB da cadeia de valor da Pecuária de Corte representou 8,5% do PIB brasileiro, um valor aproximado de R\$ 620 bilhões. Desse total, cerca de R\$ 127 bilhões foram gerados diretamente na criação e abate de bovinos. Ainda de acordo com ABIEC (2019), o Brasil possuía em 2019, um rebanho de 213,68 milhões de cabeças bovinas, apenas para que se tenha uma comparação didática, a projeção da população brasileira em maio de 2021, disponível no site do IBGE, é de 213,15 milhões de habitantes (IBGE, 2021), assumindo que o tamanho do rebanho bovino brasileiro não se alterou nos últimos desde 2019, ter-se-ia uma relação de aproximadamente uma cabeça de gado para cada habitante brasileiro. Baseado nesses números, o mercado do setor pecuário demonstra-se como atrativo para novos empreendedores, portanto, soluções tecnológicas de produtos e serviços podem contribuir diretamente no aumento da produtividade e para aumentar a participação da pecuária no PIB brasileiro de maneira tecnológica.

O mercado pecuário de corte é responsável por uma parcela significativa do PIB brasileiro, logo este não pode ser negligenciado, entretanto, pressões internas e externas para redução do impacto ambiental, somado a demanda por aumento da produtividade, em função da demanda alimentícia global, requerem mudanças nas técnicas de apoio ao manejo do rebanho bovino de corte.

1.2 Objetivo

O presente trabalho propõe uma arquitetura de IoT para monitoramento de bovinos, composta por tecnologias de baixo custo, para ser uma ferramenta viável de implementação no médio-longo prazo e facilitar a solução de problemas enfrentados pelos pecuaristas de corte de diferentes classes monetárias. A arquitetura proposta servirá como estrutura para implementar soluções de IoT para atender aos requisitos do pecuarista descritos neste trabalho.

1.3 Justificativas

Soluções de IoT, por serem de custo mais baixo que tecnologias tradicionais de automação, tornam-se atraente para implementação em qualquer ambiente, em todos os aspectos: Hardware, Redes de Comunicação, Computação em Nuvem e soluções de análise de dados *opensource*.

Devido a necessidade de aumento de produtividade para a redução do impacto ambiental, justifica-se o uso de soluções de baixo custo e boa confiabilidade, como ferramentas facilitadoras, para obter a coleta de grandes volumes de dados variados, tanto dos animais, quanto do ambiente em que estão inseridos, que após serem processados, tais dados podem proporcionar informações cruciais sobre o rebanho.

Os benefícios vão além da fazenda, uma vez que dados podem ser descaracterizados e monetizados, disponibilizados para empresas de setor fármaco-veterinário, assim como pesquisadores, para desenvolver novos modelos ou técnicas para controle de doenças, parasitas e otimizar as próprias técnicas de manejo.

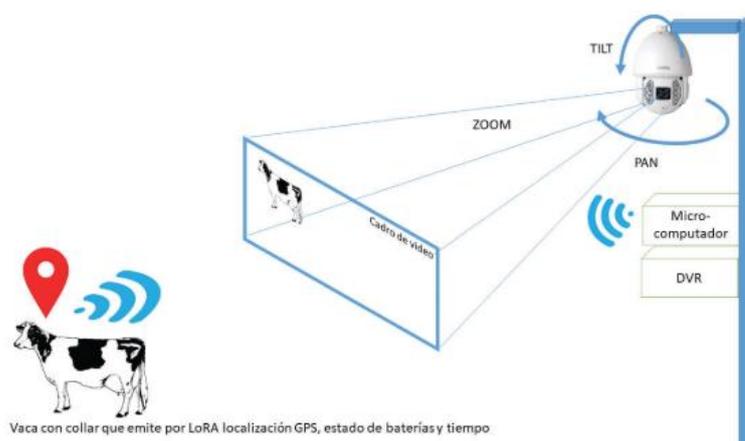
Devido a disseminação do paradigma de IoT, é possível encontrar projetos acadêmicos e comerciais em desenvolvimento, portanto, priori a apresentação de uma arquitetura própria, este trabalho consolida uma pesquisa a procura de trabalhos relacionados no âmbito acadêmico a partir de 2018 e soluções de mercado já disponíveis que possam atender as motivações citadas, acompanhada de uma análise que compõe a justificativa para o trabalho.

Para a busca de estudos acadêmicos, utilizou-se ferramentas de buscas dedicadas para artigos acadêmicos e acesso a base de revistas conceituadas. Para a busca de soluções existentes no mercado, utilizou-se mecanismo de busca tradicional com as palavras chaves deste trabalho nos idiomas inglês e português.

Percebe-se uma tendência de uso de IoT para monitoramento de gado em todos os continentes do globo. Na Ásia pode-se referenciar os trabalhos de Suseendran e Balaganesh (2021), localizados na Malásia, propõem uma solução composta por dispositivos e redes de IoT para o monitoramento do estado de saúde dos bovinos. Joshita et al. (2021) localizados na Índia, país com grande população de bovinos e bubalinos, propõe uma solução IoT para monitoramento da localização e identificação individualizada do rebanho. Na América Latina, é possível encontrar soluções como a proposta pelos peruanos Choquehuanca-Zevallos e Mayhua-Lopez (2021) para o monitoramento de estresse em bovinos leiteiros.

No Brasil, Leme et al. (2020) sugerem uma infraestrutura de IoT combinada com o uso de *Blockchain* para monitoramento e rastreabilidade do rebanho por toda a cadeia pecuária. Delboni Lomba et al. (2017), também no Brasil, discutem a implementação de algoritmos de predição e dispositivos IoT para aferir o comportamento do rebanho. Em agosto de 2021, a Emprapa anunciou um projeto de monitoramento de gado no sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta, em parceria com a empresa de telecomunicações Huawei e com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD)(EMPRAPA, 2021). Munoz et al. (2020) apresentam uma solução implantada no Chile para monitoramento de vacas leiteiras em uma área reduzida de pastos através da integração de colares de IoT com câmeras PTZ que se ajustam conforme sinal de GPS emitidos pelos dispositivos vestíveis. A representação desta solução é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Proposta monitoramento rebanho leiteiro por imagem integrada com IoT



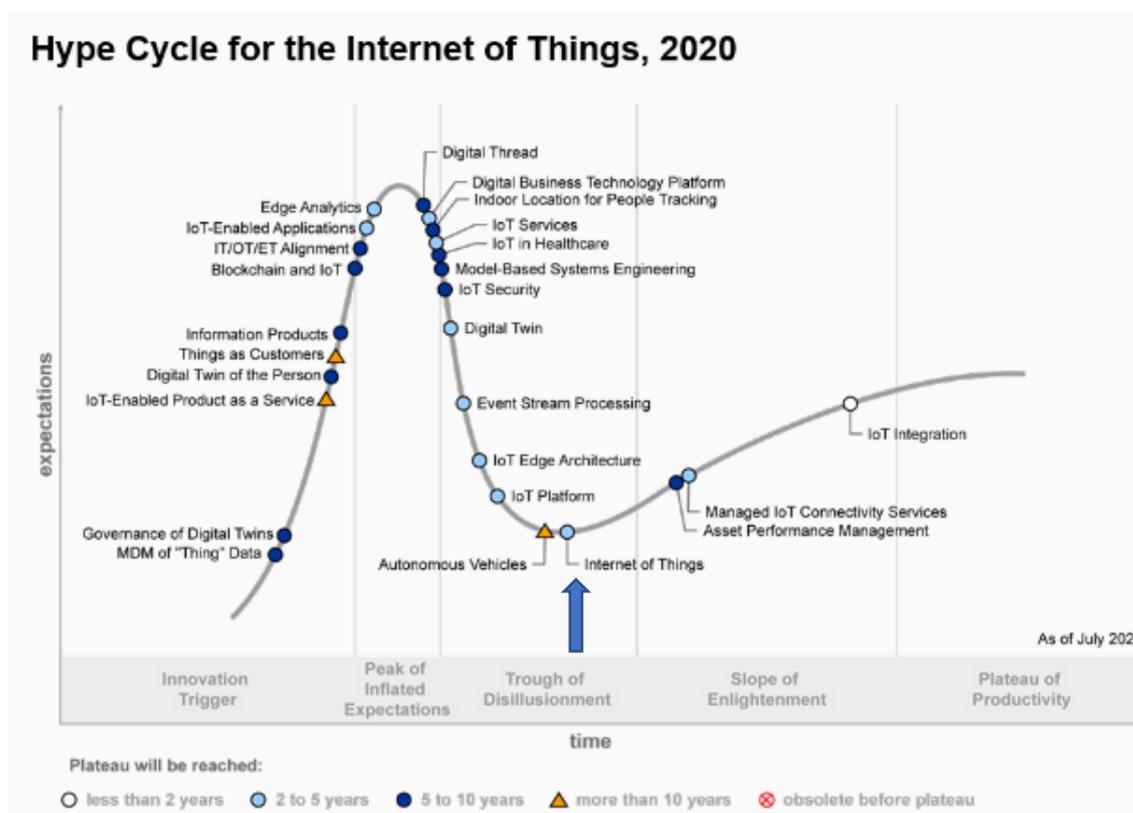
Fonte: extraído de (MUNOZ et al., 2020).

Na Europa é possível encontrar projetos robustos, como o proposto no trabalho de Alonso et al. (2019), na Espanha. Eles apresentam uma arquitetura mais completa que além do monitoramento de rebanho confinado e gado leiteiro, exploram uma arquitetura que possa ser aplicada de maneira mais abrangente na cadeia de valor, por exemplo, incluindo a digitalização de plantações e da logística agropecuária. Ainda na Espanha, Maroto Molina et al. (2019) apresentam resultados de uma arquitetura IoT aplicada para o monitoramento de todo um rebanho. Na África pode encontrar trabalhos como o de Dieng et al. (2020), de Senegal, que sugerem a adoção de uma solução de dispositivos de IoT para a prevenção de roubos de bovinos.

A variedade de soluções em diferentes regiões do globo confirma o potencial para a expansão do uso de soluções IoT no setor pecuário. O levantamento de trabalhos

similares é congruente com a curva do ciclo de Hype para a IoT apresentada em 2020, onde soluções mostra que soluções de IoT estariam próximas de atingir um nível de maturidade e adoção razoável nos próximos dois a cinco anos (VELOSA et al., 2020).

Figura 3 - Ciclo *Hype* para Internet das Coisas



Fonte: extraído de (VELOSA et al., 2020).

O trabalho de Alonso et al. (2019), mesmo que aplicado à pecuária de gado de leite, apresenta uma arquitetura de IoT com alto nível de maturidade. Até a data de desenvolvimento deste capítulo, não havia indicação de estar disponível no mercado, mas a solução trata de problemas específicos da cadeia de valor de uma fazenda, integrando rebanho, plantações e a infraestrutura da fazenda. A solução de computação de borda integrada com a nuvem e dispositivos IoT, possui uma estrutura modular, segura e promete uma alta confiabilidade de dados graças à aplicação de *Blockchain* e contratos inteligentes na validação dos dados coletados. A arquitetura proposta por Alonso et al. (2019) motiva uma análise mais aprofundada, e considera-se uma possível referência para contribuir no atingimento do objetivo deste trabalho. Outro ponto forte desta arquitetura é que a estrutura para computação de borda, propõe o uso de hardware mais barato e pré-processamento de um grande volume de dados, enviando para as plataformas hospedadas em nuvem apenas o necessário

para a inteligência e gestão do negócio, desta maneira há redução de custos e das perdas de pacotes de dados devido as falhas de comunicação (ALONSO et al., 2019). Analisando as necessidades descritas na introdução do problema deste trabalho, os dispositivos de IoT utilizados no rebanho em Alonso et al. (2019) não atendem aos requisitos de monitoramento do rebanho e transmissão de dados em regiões de pouca ou nenhuma infraestrutura de comunicação pré-instalada.

Cada solução e arquitetura analisada possui suas características e aplicações únicas, entretanto não são avaliadas para o cenário da produção bovina de corte através do uso extensivo de pastagens. Uma análise crítica de cada solução contribui para elaborar uma arquitetura completa a ser aplicada no setor pecuário de corte brasileiro. Eventualmente, a arquitetura proposta por este trabalho poderia ser adaptada e testada em aplicações nos demais setores pecuários.

1.4 Resumo do problema

A bovinocultura de corte brasileira necessita de um forte aumento em sua produtividade para que possa melhorar sua posição no mercado assim como reduzir o rastro ambiental. No momento, o setor pecuário brasileiro carece de soluções que possam auxiliar no monitoramento do bem-estar do animal em tempo real. O pecuarista dispõe da técnica de inferência do estado de saúde, temperamento e comportamento do animal ao longo da criação, através de observações visuais, diagnósticos de profissionais veterinários e aferições constantes do peso bruto do animal. Entretanto, não são todas as propriedades que estão equipadas com balanças e pessoas suficientes para aferir o peso e conferir dezenas ou até mesmo milhares de cabeças de gado diariamente e, mesmo que o mercado oferecesse uma quantidade profissional suficiente, é inviável que veterinários façam diagnósticos precisos de centenas de cabeças de gado em poucas horas. A discrepância tecnológica entre o setor pecuário e a indústria brasileira é alta, logo, o setor necessita de uma solução viável economicamente para aumentar a competitividade da pecuária de corte.

1.5 Método de Pesquisa

Este trabalho segue a seguinte estrutura para a resolução de problemas adaptada a partir das etapas propostas por KNIPPEN e GREEN (1997):

- Definição do Objetivo
- Identificação do problema

- Identificação das alternativas
- Avaliação das alternativas
- Elaboração da melhor solução
- Avaliação das restrições

Estas etapas podem ser consideradas como mínimas necessárias para empreendedores, engenheiros, executivos e pesquisadores para obterem sucesso em sua jornada de resolução de problemas. Os autores apresentam sete etapas no total, desenvolvidas para serem implantadas por gerentes no meio corporativo para resolução de problemas. Apesar de as etapas poderem ser replicadas para qualquer resolução de problemas, o presente trabalho não utiliza a sétima etapa que é a criação da implementação. No contexto do artigo proposto por KNIPPEN e GREEN (1997) refere-se a uma implementação definitiva e em pleno funcionamento, entretanto a concretização da solução funcional e definitiva de uma arquitetura de IoT para monitoramento de bovinos de corte não é escopo deste trabalho, mas sim uma arquitetura que seja mutável e de fácil manutenção para atender a eventuais mudanças de requisitos.

Para fundamentação teórica do problema, faz-se o uso de revisão da literatura para levantar aspectos pertinentes à pecuária bovina de corte, possíveis alternativas implementação são avaliadas a partir da compilação de propostas de soluções existentes no âmbito acadêmico e soluções já disponíveis no mercado. Para suportar a proposição da arquitetura, faz-se uso do *framework Lean Canvas*(MAURYA, 2012) da Figura 4, que é adaptado do Business Canvas Model para auxiliar novos empreendedores na resolução de problemas reais do mercado. O uso deste modelo permitir avaliar melhor o problema e o público-alvo da solução a ser implementada.

Figura 4 - Lean Canvas Model

PROBLEM Top 3 problems 1	SOLUTION Top 3 features 4	UNIQUE VALUE PROPOSITION Single, clear, compelling message that states why you are different and worth buying 3	UNFAIR ADVANTAGE Can't be easily copied or bought 9	CUSTOMER SEGMENTS Target customers 2
	KEY METRICS Key activities you measure 8		CHANNELS Path to customers 5	
COST STRUCTURE Customer Acquisition Costs Distributing Costs Hosting People, etc. 7			REVENUE STREAMS Revenue Model Lifetime Value Revenue Gross Margin 6	

Fonte: Extraído de MAURYA (2012)

1.6 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 INTRODUÇÃO apresenta as motivações, o objetivo, as justificativas, método de pesquisa e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 REVISÃO DA LITERATURA E TRABALHOS SEMELHANTES apresenta estudos e relatórios de técnicas de manejo, desafios e oportunidades do setor pecuário brasileiro, deste modo fundamenta-se o problema e a motivação deste trabalho. Em seguida apresenta a análise crítica de trabalhos relacionados que utilizam as tecnologias habilitadoras de Internet das Coisas que, devido as suas características únicas, podem contribuir para a modernização e digitalização das técnicas de manejo de gado de corte. Finalmente, agrupa arquiteturas genéricas de IoT e apresenta tecnologias de transmissão de dados sem fio dos dispositivos de IoT para a internet, considerados por este trabalho como os pilares mais importantes para a arquitetura proposta.

O Capítulo 3 ARQUITETURA IOT PARA MONITORAMENTO DE BOVINOS DE CORTE aplica-se o *framework lean-canvas* para contribuir de forma estruturada para

definir os requisitos funcionais e não funcionais da solução, considerando o manejo de gado em pastagens extensivas. A partir dos requisitos e do *framework* uma arquitetura completa da solução é apresentada, junto com o detalhamento de cada camada propondo tecnologias e técnicas adequadas para resolver o problema de monitor de gado de corte.

O Capítulo 4 DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO apresenta uma análise crítica da arquitetura proposta no Capítulo 3 e descreve os principais desafios da implementação.

O Capítulo 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS descreve a conclusão do trabalho e propõe trabalhos práticos futuros para a validação dos conceitos apresentados.

REFERÊNCIAS relaciona todos os trabalhos e fontes textuais utilizados para compor o desenvolvimento deste trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA E TRABALHOS SEMELHANTES

A primeira parte deste capítulo apresenta um panorama de tendências de mercado para o setor pecuário brasileiro, expõe a importância do aumento da produtividade para redução do impacto ambiental, introduz o conceito de pecuária de precisão e por fim expõe como a saúde e o bem-estar animal podem afetar a produtividade da fazenda. A segunda parte apresenta e categoriza trabalhos existentes, tanto acadêmicos quanto soluções de mercado, que propõem o uso de tecnologias ou soluções de IoT para o monitoramento de rebanho. Por fim, modelos de arquitetura de IoT são apresentados acompanhados de informações métodos de transmissão de dados para a internet.

2.1 Tendências e desafios do setor pecuário de corte

O setor pecuário possui grande potencial econômico e a democratização do IoT pode revolucionar o manejo, contribuindo para que este seja mais sustentável e eficiente. Para compreender melhor essa afirmação, é importante compreender os aspectos do setor explorados nos próximos tópicos.

2.1.1 O mercado pecuário

O estudo da Embrapa Gado de Corte, "*O Futuro da Cadeia Produtiva da Carne Bovina Brasileira: Uma visão para 2040*", consolida a opinião de múltiplos especialistas do setor pecuário e proporciona uma expectativa de fatos e mudanças, que podem ocorrer no decorrer da evolução da cadeia de valor do setor pecuário nos próximos 20 anos. É possível notar uma expectativa de que a tecnologia como um todo possa contribuir para a pecuária de precisão e conseqüentemente aumentar a produtividade da pecuária brasileira, principalmente no que diz respeito ao aproveitamento de terras, aumentando a quantidade de arrobas de carne produzidas por hectare de pastagens ocupadas por bovinos.

Um dos pontos constantemente citado no estudo, é a preocupação com o bem-estar animal, incentivada pela busca de aumento da produtividade, redução de estresse animal, além de uma pressão recebida por órgãos governamentais externos, cada vez mais exigentes nos critérios para autorizar a importação de carne e, por fim, existe também uma pressão por parte de grupos ativistas (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2020).

As análises apresentadas no estudo da Embrapa, apesar de otimistas, devem ser interpretadas com ressalvas, uma vez que previsões para o ano 2040 podem ser desconfiguradas face a criação de novas políticas governamentais e ao surgimento de tecnologias que podem contribuir tanto para acelerar a transformação, atrasá-la ou direcionar o setor pecuário para horizontes completamente diferentes do previsto para um cenário futuro de 20 anos.

Há outros fatores que incentivam a melhoria da produtividade do mercado pecuário, tais como a introdução de fontes de proteínas processadas de origem vegetal e até mesmo carnes sintéticas produzidas com técnicas de laboratórios de biotecnologia, que impõem concorrência para a carne bovina em nichos de mercado específicos (AHMED et al., 2020). Adicionalmente, deve-se destacar o avanço da economia chinesa, mesmo em ritmo menos acelerado quando comparado ao período de 2005 a 2015, oferece maior poder de compra para uma população que tem preferência por consumo de dietas baseadas em carnes. Dado o tamanho expressivo desta população, espera-se que a demanda de carne bovina aumente em 250 000 toneladas até 2025 apenas no mercado chinês (AHMED et al., 2020).

2.1.2 Produtividade no manejo de gado de corte e impactos ambientais

Perdas de produtividade no setor pecuário geram um impacto que afeta ademais os objetivos monetários para a economia brasileira, conforme citado em (BUNGENSTAB, 2016), a falta de produtividade e superlotação de pastagens por mau uso ou desinformação, acabam por acelerar o nível de degradação tanto de pastagens melhoradas quanto de pastagens nativas, como as presentes na região do Pantanal brasileiro. Em muitos casos, o nível de degradação é alto e faz com que a recuperação das pastagens seja inviável, causando prejuízos para o próprio pecuarista e para o meio ambiente.

A falta de gestão adequada do manejo e falhas na fiscalização fazem com que alguns fazendeiros expandam suas pastagens em áreas florestais ou áreas de preservação permanente. Este comportamento somado ao aumento da exposição de opiniões ativistas quanto a aspectos de impactos ambientais, pode impactar negativamente a percepção que os consumidores brasileiros e estrangeiros tem sobre o impacto ambiental da pecuária de corte (BUNGENSTAB, 2016). Em contrapartida, é possível observar um movimento voluntário de pecuaristas que buscam certificação de sustentabilidade ambiental e produção orgânica, cujos objetivos são facilitar a entrada

em mercados externos mais exigentes e de maior poder de compra, do mesmo modo, produzir carnes de maior valor agregado (BUNGENSTAB, 2016). Nota-se neste contexto, a necessidade de métodos que possam contribuir tanto para auxiliar na gestão do manejo quanto para auxiliar as autoridades a fiscalizar o uso de terras produtivas. Nível de degradação de pastagens, consumo de insumos e água, contagem e pesagem constante do rebanho são informações cruciais para o manejo de qualidade do rebanho e soluções a custos acessíveis, que possam agregar valor e facilitar o trabalho dos colaboradores de sítio e fazendas são importantes para garantir uma gestão aperfeiçoada (AMARAL et al., 2016).

2.1.3 Pecuária de Precisão

O termo Agricultura de Precisão foi proposto na década de 1990, e descreve técnicas de plantio e gestão de lavouras onde a tecnologia é utilizada, por exemplo, para otimizar o uso de insumos agrícolas, utilizando apenas o volume necessário por unidade de plantas, no aumento da qualidade, agilidade na seleção de grãos e frutos e redução do impacto ambiental (BERNARDI et al., 2017). No que diz respeito a Pecuária de Precisão, tem se a inclusão de animais nesse ecossistema, deste modo, habilita a gestão dos rebanhos seguindo os princípios de implementação tecnológica da engenharia de processos. Essas tecnologias formam um complexa rede integrada onde sensores inteligentes são capazes de monitorar o parâmetros de produção, saúde e comportamento dos animais (WATHES et al., 2008).

É possível encontrar ainda algumas variações de nomenclatura para a Pecuária de Precisão, tais como Zootecnia de Precisão (MARTELLO, 2017) e Bovino Cultura de Precisão (PAULINO et al., 2006). Apesar de divergirem em nome, todas essas definições e trabalhos cujos autores fazem uso destes termos, deixam claro que a pecuária de precisão não é a simples adoção de tecnologia, seja ela trivial ou avançada. De acordo com esses autores, de nada adianta a tecnologia e alto volume de dados, se estes não resultam em informação que será utilizada na melhoria da gestão e manejo dos rebanhos, portanto a adoção do IoT deve seguir esta mesma filosofia.

A busca pelo aumento da produtividade implica em aumento da lotação de cabeças de gado por hectare e, como consequência, torna-se difícil o monitoramento e gestão de cada animal na propriedade. Esta dificuldade aumenta de maneira diretamente proporcional com o tamanho do rebanho (AMARAL et al., 2016).

Ainda de acordo com Amaral et al. (2016), a Embrapa Pecuária de Corte tem desenvolvido soluções de hardware, software e dispositivos móveis para contribuir com a pecuária de precisão. Todavia, têm enfrentado desafios tecnológicos, financeiros, usabilidade e aceitação por parte dos pecuaristas. Estes aspectos têm gerado uma barreira para a viabilidade completa de projetos e soluções em larga escala.

2.1.4 Saúde bovina, temperamento e bem-estar animal.

Apesar de muitas vezes negligenciado, o estresse, por qualquer que seja o motivo afeta não apenas seres humanos, mas também os animais, tanto domésticos quanto animais criados na cadeia agroindustrial. De onívoros a bovinos, quando expostos a condições de estresse, os organismos tendem a reagir por extinto e provocam reações internas com o intuito de se proteger (ELOY, 2007). Ainda de acordo com Eloy (2007), o estresse é um elemento comum na vida de todo animal, que origina-se a partir de diversos fatores, como condições climáticas, deficiência nutricional, superlotação, transporte, excesso de atividades físicas e até mesmo mudança na dieta ou de manejador. Se os animais são expostos de maneira constante a estas condições perturbadoras, tendem a sofrer com os efeitos colaterais, afetando a reprodução, engorda, sistema imunológico, aumento de lesões, entre outras. Logo, o bem-estar animal tem impacto direto na produtividade da pecuária.

A implementação de um ecossistema de IoT, para viabilizar a pecuária de precisão em bovinos de corte pode contribuir monitorar os impactos do estresse sobre o rebanho, encontrar possíveis fontes de estresse e proporcionar informações completas que contribuirão para a tomada de ação de maneira mais ágil.

2.2 Análise Trabalhos Relacionados

O baixo nível tecnológico devido ao alto custo de soluções de automação tradicionais somado ao gargalo produtivo do setor pecuário, tem levado ao desenvolvimento de soluções de monitoramento diferentes locais do globo. Através de uma pesquisa básica qualitativa, as diversas soluções relevantes para este trabalho foram analisadas e estão listadas nas tabelas 1 e 2. A Tabela 1 lista as soluções analisadas neste estudo. Na Tabela 2 encontra-se o detalhamento do problema resolvido, tecnologia adotada e nível de maturidade da solução. O intuito da análise é apresentar como estas comparam-se entre si e expor quais problemas resolvem e possíveis

desvantagens considerando o escopo de aplicação na pecuária bovina de corte em território brasileiro. Não cabe a este trabalho julgar qual destas é a melhor arquitetura IoT para monitoramento global de gado de corte, uma vez que aspectos de geolocalização, socioeconômicos e culturais de cada região, geram requisitos específicos, conseqüentemente não podem ser aplicadas de maneira genérica, por exemplo, uma solução proposta pode resolver melhor um problema na Europa que não seja um requisito necessário no continente Africano.

A categorização das soluções é realizada considerando os seguintes tópicos:

- Subdivisão da pecuária bovina: L- leite e C - corte;
- Tipo de manejo: E- extensivo (pastagens), S- semiconfinamento (Pastagem reduzida + técnicas de confinamento) e C - confinamento;
- Proposta do problema a ser resolvido;
- Tipo de solução: conforme tecnologias habilitadoras do IoT;
- Recursos (funcionalidades);
- País de origem;
- Maturidade: AM- Aplicada ao Mercado, PA – Protótipo avançado e testado em Campo, PB – Protótipo em teste de bancada e PT – Proposta Teórica;

Tabela 1 - Lista de soluções avaliadas e país de origem

Nº	Referência	Tipo de Solução	País de Origem
1	(JOSHITHA et al., 2021)	Dispositivos IoT vestíveis conectados à nuvem via Gateway LoRaWAN	Índia
2	(CHOQUEHUANCA-ZEVALLOS; MAYHUALOPEZ, 2021)	Dispositivos IoT de Campo integrados via rede LoRa com gateway e software instalado em servidor local	Peru
3	(SUSEENDRAN; BALAGANESH, 2021)	Dispositivo IoT Vestível com capacidade processamento de lógica Fuzzy para indicação do estado de saúde do animal.	Malásia
4	(JANICEK et al., 2020)	Dispositivos IoT BLE vestíveis integrados com hubs e gateways para envio de dados para a nuvem.	República Checa
5	(LEME et al., 2020)	Dispositivos IoT com RFID, integrados à nuvem	Brasil
6	(ALONSO et al., 2019)	Arquitetura completa para agropecuária inteligente.	Espanha
7	(DIENG et al., 2020)	Dispositivos IoT com protocolos de comunicação ajustados às características das propriedades	Senegal
8	(MUNOZ et al., 2020)	Dispositivos IoT Vestíveis integrados com câmeras PTZ	Chile
9	(UNOLD et al., 2020)	Dispositivos BLE integrados com cloud via hub.	Polônia
10	(MAROTO-MOLINA et al., 2019)	Dispositivo de IoT combinados com beacons BLE	Espanha
11	(DELBONI LOMBA et al., 2017)	Dispositivo Embarcado vestível integrado com software.	Brasil
12	(TANEJA et al., 2017)	Dispositivos IoT integrados com fog e a nuvem	Irlanda
13	(VANNIEUWENBORG; VERBRUGGE; COLLE, 2017)	Solução IoT com custo otimizado	Bélgica
14	(JETBOV, 2021)	Aplicativo integrado com sistemas e equipamentos já consolidados no mercado de corte	Brasil
15	(BOSCH, 2021)	Plataforma de Pecuária de Precisão	Brasil
16	(QUANTIFIEDAG, 2021)	Solução IoT para monitoramento da saúde e identificação dos animais	Estados Unidos
17	(MOOCALL, 2021)	Solução IoT integrada para monitoramento de atividades reprodutivas do rebanho.	Irlanda
18	(NFC GROUP, 2021)	Solução IoT integrada para monitoramento da saúde animal e antecipação de diagnóstico de doenças a partir da temperatura interna do animal.	Reino Unido
19	(ALLFLEX, 2021)	Dispositivos IoT para monitoramento da saúde, bem-estar e produtividade do	Estados Unidos
20	(MOOVEMENT, 2021)	Dispositivos IoT para rastrear a geolocalização do animal.	Austrália

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 2 - Análise das soluções IoT para monitoramento de rebanho

(Continua)

Nº	Setor	Manejo	Problema Resolvido	Recursos	Nível de Maturidade
1	L/C	E	Monitoramento Localização e bem-estar animal	Dispositivo com GPS, Sensores de Temperatura e umidade. Dashboard em nuvem	PB
2	L	C	Monitoramento bem-estar animal	Dispositivo com Sensores meteorológicos (temperatura, velocidade do vento, incidência solar e umidade) com algoritmo de predição de estresse térmico com aplicativo web.	PA
3	L/C	E	Monitoramento do Animal Saúde	Dispositivo com Sensores biométricos, sonoros e de temperatura, com algoritmo <i>fuzzy</i> , arquitetura de rede com <i>gateway</i> e protocolo (RIIGRP)	PB
4	L	S	Identificação e rastreamento do animal na propriedade	GPS e Triangulação para localização dos colares.	PA
5	L/C	E/S/C	Identificação única e rastreabilidade confiável da origem até o fim do ciclo de vida do animal	RFID e uso de <i>blockchain</i> para criar rastreabilidade maneira segura e confiável	PT
6	L	S	Monitoramento e gestão do ecossistema da pecuária leiteira	Camadas de dispositivos e processamento de borda integrada com a nuvem.	PA
7	L/C	E/S	Prevenção de roubos e extravios	<i>Gateway offline</i> e com conexão à internet. Monitoramento da intensidade do sinal de transmissão e corte do colar para identificar extravio.	PB
8	L	S/C	Monitoramento do rebanho em tempo real	Sinal de GPS enviado via LoRa para sistema de câmeras que responde direcionando e focando as filmagens onde os animais estão de fato.	PA
9	L	C	Monitoramento do bem-estar e saúde animal	Sensores para coleta de dados vitais e movimentação dos animais. Conectividade com Cloud e algoritmo para prever comportamentos com o menor volume de dados possível.	PA
10	C	E/S	Rastreamento da localização de todo o rebanho.	Alguns dispositivos equipados com GPS e leitores de <i>tags bluetooth</i> conectados ao cloud através de Sigfox. Foco em custos.	PA

					(conclusão)
Nº	Setor	Manejo	Problema Resolvido	Recursos	Nível de Maturidade
11	C	S	Monitoramento do comportamento do rebanho.	Dispositivo equipado com GPS, sensores de movimento, armazenamento local e rede ZigBee.	PA
12	L	C/S	Monitoramento do comportamento e predição de doenças.	Uso de pedômetros, computação em névoa e algoritmos de análise de dados para antecipar a detecção de doenças no rebanho.	PA
13	L	E/S	Monitoramento para predição de doenças, período fértil e parto de vacas leiteiras.	Proposta de solução de baixo custo, composta por hardware e algoritmos de análise de dados em nuvem.	PT
14	C	E/S/C	Plataforma de gestão integrada.	Aplicativo com foco em gestão da fazenda, integrado com diversos sistemas já consolidados como RFID e sistemas de pesagem.	AM
15	C	S/C	Foco na pecuária de precisão.	A solução conta com pesagem frequente dos animais, e as balanças são integradas com o cloud para processamento das pesagens.	AM
16	C	S/C	Monitoramento e rastreabilidade do rebanho	Dispositivo IoT compacto, gateway e integração com cloud.	AM
17	C/L	S/C	Controle de fertilidade e ciclo reprodutivo	Dispositivos IoT com design moderno e anatômico para o animal. Integrado com cloud e aplicativo de smartphone.	AM
18	C	S	Detecção antecipada de doenças no rebanho	Dispositivo IoT em formato de pílula inserida no estômago do animal capaz de comunicar com um gateway que envia os dados para a aplicação	AM
19	C/L	S/C	Monitoramento do da saúde, condições reprodutivas e comportamento do rebanho	Solução composta por dispositivos IoT embarcados em colares e brincos integrados com uma infraestrutura de rede para coleta e transmissão de dados para a aplicação de software	AM
20	C	E	Geolocalização de maneira individual.	Dispositivos embarcados em brincos, recarregáveis com energia solar, conectados a uma rede privada LoRa.	AM

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 3 apresenta de maneira resumida os desafios de cada solução, caso sejam implementadas na pecuária bovina extensiva de corte em território brasileiro. Esta tabela foi elaborada com relevância ao problema levantado e às características da pecuária brasileira.

Tabela 3 – Limitações para a implementação na pecuária de corte extensiva no Brasil

(continua)

Num.	Desafios
1	A rede LoRa não é capaz de transmitir grandes volumes de dados em um único pacote, não é exposto como contornar essa limitação. Como a solução não foi implementada em campo, não é possível determinar o quão eficiente é em termos de consumo energético em uma alta taxa de transmissão de dados. Não há monitoramento de comportamento animal.
2	Ideal para rebanhos confinados ou semiconfinados. Ausência de monitoramento individual dos bovinos.
3	Não aplicado em campo para validação do protótipo e vida útil da bateria com o processamento da lógica <i>fuzzy</i> . Não monitora a localização do animal.
4	Dispositivos IoT BLE possuem um alcance e requer a instalação de vários hubs na propriedade. Ausência de monitoramento do bem-estar e saúde animal.
5	Não há protótipo implementado. Ausência de monitoramento da localização, bem-estar e saúde animal.
6	Apesar de robusta e completa, a solução não foi validada para o cenário de pecuária de corte extensiva, que possui pouca ou nenhuma infraestrutura.
7	Não há monitoramento dos bem-estar e saúde animal.
8	Uso de câmeras em pastagens abertas pode ser extremamente custoso devido a infraestrutura necessária.
9	Devido a limitação de alcance da rede BLE, não poderia ser integrado em pecuária extensiva. A localização não é monitorada.
10	Ausência de monitoramento do bem-estar animal.
11	Limitação de alcance da rede IoT, o que impossibilita o uso em grandes áreas.
12	Ausência de monitoramento de localização.
13	Não monitora localização dos animais e considera apenas animais confinados.
14	Até o momento da elaboração deste trabalho, a solução é voltada para a gestão e controle do peso dos animais, através da automação da captura de leitura das balanças e <i>tags</i> RFID, apesar não utilizarem soluções de IoT explicitamente, ela faz o uso de equipamentos habilitadores do IoT e está há algum tempo atuando no mercado brasileiro, por este motivo, a Jetbov não poderia ser ignorada.
15	Solução aplicada apenas para o semiconfinamento e confinamento, apesar de prover informações quanto a produtividade e principalmente sobre a engorda, esta precisava ser validada para um cenário pecuária extensiva.
16	Apesar de design moderno e compacto do dispositivo IoT, não há informações de que possa ser usado em áreas de pastagem extensiva.
17	Foco exclusivo para detecção de período fértil e monitoramento das atividades reprodutivas.

(conclusão)

- 18 O site do fornecedor não apresenta muitos detalhes técnicos da solução, mas ela carece de monitoramento da localização e comportamento animal, além disso a infraestrutura de comunicação está preparada para comunicação entre pequenas/médias distâncias.
- 19 A empresa desta solução está consolidada no mercado de brincos e identificadores para rebanhos há anos, entretanto a solução apresentada, conforme informações fornecidas no site do fornecedor, não monitora a geolocalização do animal e não oferece uma conectividade para a pecuária extensiva.
- 20 Não monitora as condições de saúde e bem-estar animal.

Fonte: elaborado pelo autor.

2.3 Modelos de Arquitetura de Internet das Coisas

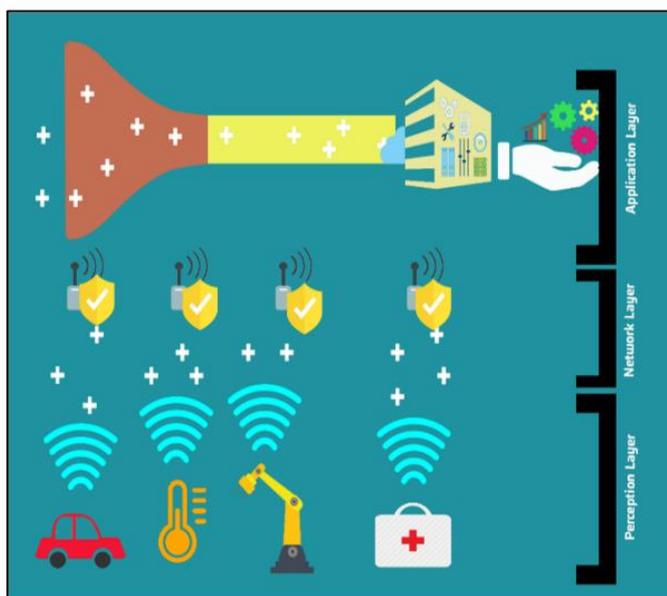
O paradigma da Internet das Coisas tem sido foco das atenções nos últimos anos, sendo o pilar para tornar os setores econômicos mais “inteligentes”, por trás dos termos *smartcity*, *Industry 4.0* ou *smart factory* e *smart agriculture* ou *smart farm*, sempre pode-se encontrar o termo IoT associado e este modelo tem evoluído de maneira significativa. Essa velocidade no desenvolvimento e democratização do IoT, apesar de trazer grandes benefícios, implica em um problema que é a falta de um padrão de uma arquitetura genérica para uma solução IoT (AL-QASEEMI et al., 2017). Para melhor compreender a que uma arquitetura de IoT se refere, a definição de arquitetura de software pode ser adaptada para o contexto de IoT. Martin (2018) em seu livro *Arquitetura Limpa*, define esta como a forma dada um sistema por seus criadores. Esta forma está dividida em componentes e estes são organizados de maneira indicar como se conectam entre si. Por fim, “o propósito de uma arquitetura é facilitar o desenvolvimento, implantação, operação e manutenção do sistema de software contido nela” (Martin, 2017 p. 136).

Assim como uma arquitetura de software, a arquitetura de IoT deve facilitar a implementação da solução tecnológica como um todo e garantir a funcionalidade, mutabilidade e manutenção durante o ciclo de operação da solução.

O trabalho de Al-Qaseemi et al. (2017) aponta que as arquiteturas mais encontradas podem ser organizadas em dois tipos: Arquiteturas IoT de três camadas representada na Figura 5 e cinco camadas exposta na Figura 6. A arquitetura de três camadas é representada pela camada física, composta pelos dispositivos IoT, camada de rede, responsável pela conexão da camada física com a terceira camada que é a camada de aplicação, onde os dados gerados na camada física e transportados pela camada

de rede, são processados para disponibilizar serviços e tomadas de decisão. Os resultados são enviados de volta para a camada física.

Figura 5 - Arquitetura de três camadas



Fonte: extraído de (AL-QASEEMI et al., 2017).

Quanto a arquitetura de cinco camadas, possui as mesmas três camadas, mais as camadas de *gateways* de acesso e *middleware*. A camada de *gateway* de acesso gerencia a comunicação em um ambiente específico e possibilita a troca de mensagens entre objetos e sistemas nas camadas física e de comunicação. A camada do *middleware* proporciona uma associação mais flexível entre os dispositivos IoT e a camada de aplicação (AL-QASEEMI et al., 2017).

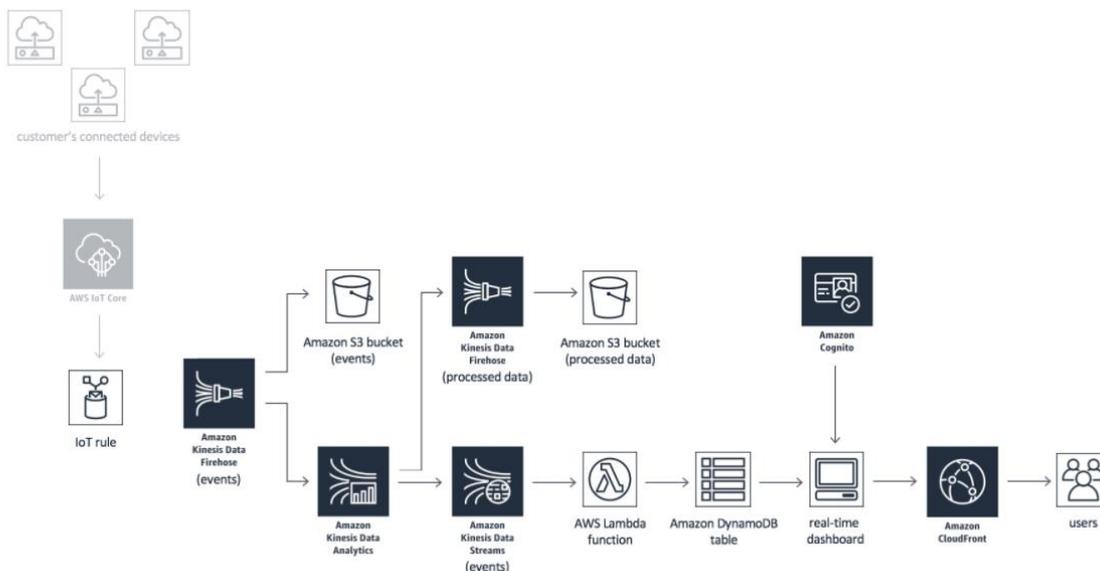
Figura 6 - Arquitetura de cinco camadas



Fonte: extraído de (AL-QASEEMI et al., 2017).

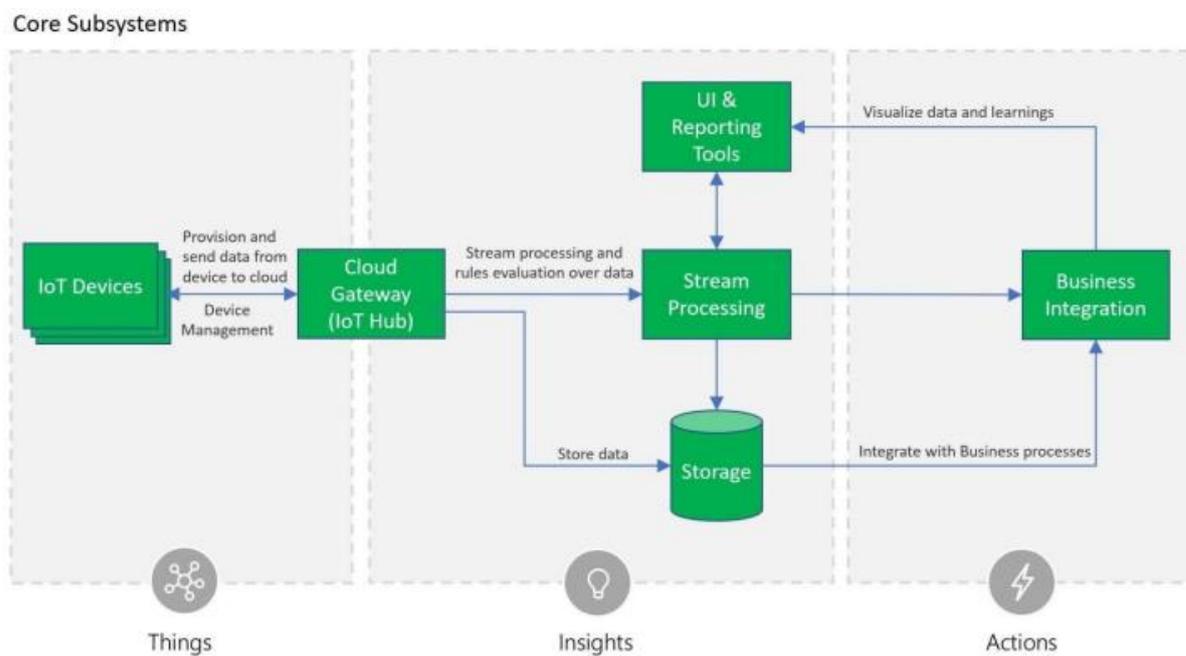
No mercado pode-se encontrar plataformas IoT privadas, como as ofertadas pela AWS, Azure e Tago IO assim como soluções *opensource* como a plataforma de IoT Dojot, desenvolvida pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD) e o framework de componentes *opensource* para IoT FIWARE, que foi fundada pela União Europeia e pela Comissão Europeia e é mantida pela FIWARE Community, uma comunidade de desenvolvedores independentes que garante a evolução e padronização do ecossistema FIWARE (FIWARE, 2020). Cada plataforma utiliza estratégia e tecnologias diferentes para compor a sua plataforma de IoT. As Figuras 7 a 11 apresentam a arquitetura sugerida de cada provedor de softwares de plataforma IoT citado.

Figura 7 - Arquitetura para data analytics e IoT da AWS



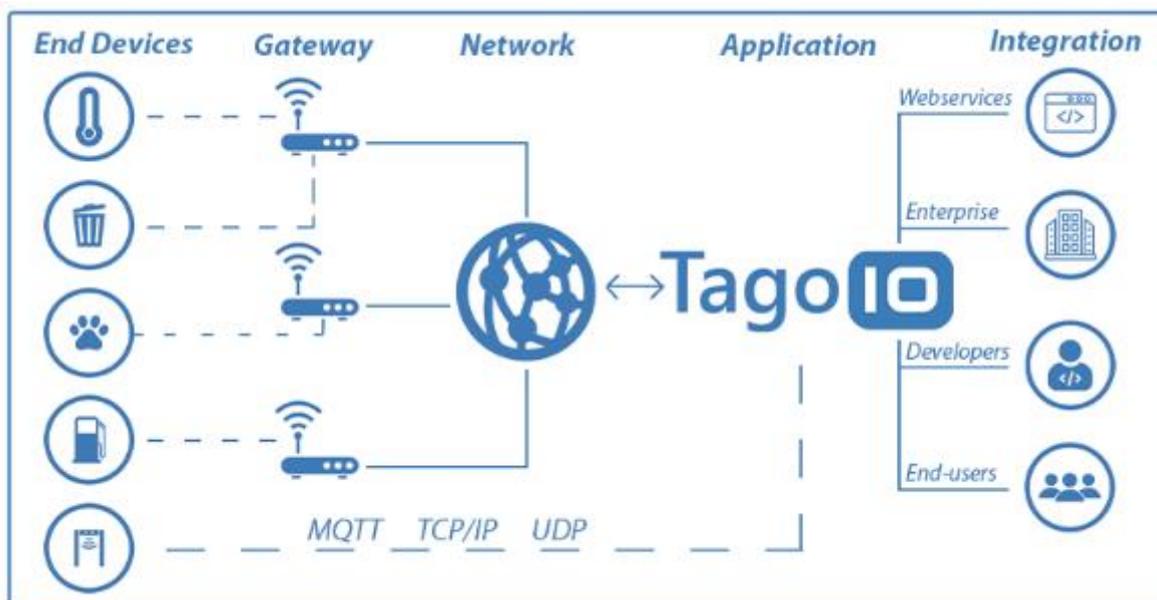
Fonte: extraído de (AWS, 2021).

Figura 8 - Arquitetura básica plataforma IoT MS Azure



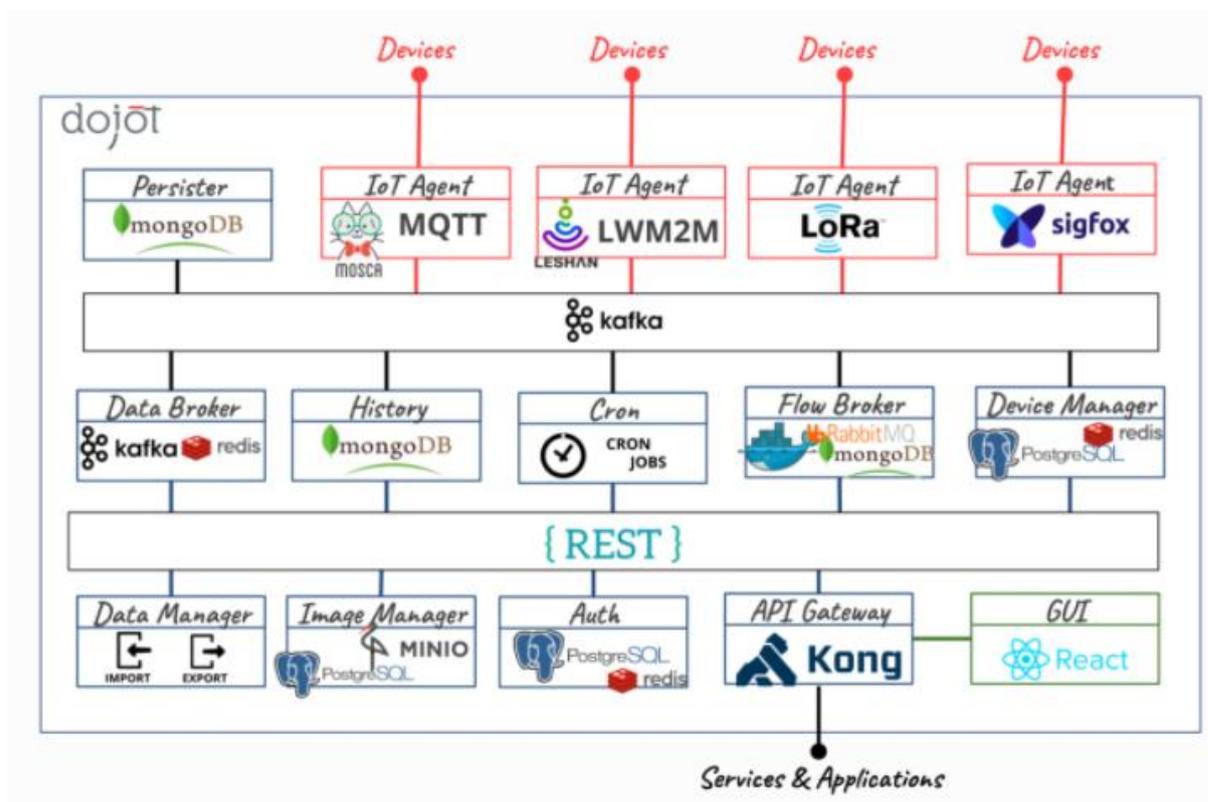
Fonte: extraído de (MICROSOFT, 2018).

Figura 9 - Arquitetura básica TagoIO



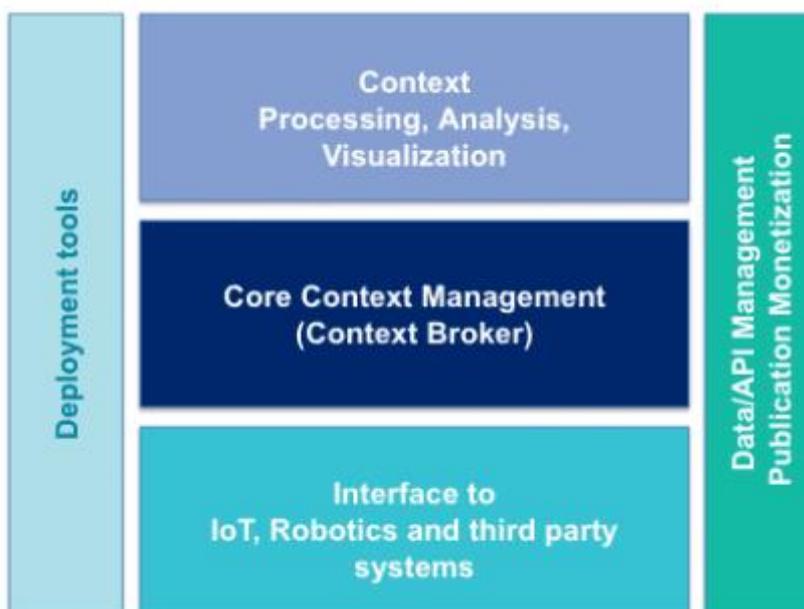
Fonte: extraído de (TAGOIO, 2021).

Figura 10 - Arquitetura plataforma Dojot



Fonte: extraído de (CQPD, 2021).

Figura 11 - Arquitetura básica plataforma FIWARE

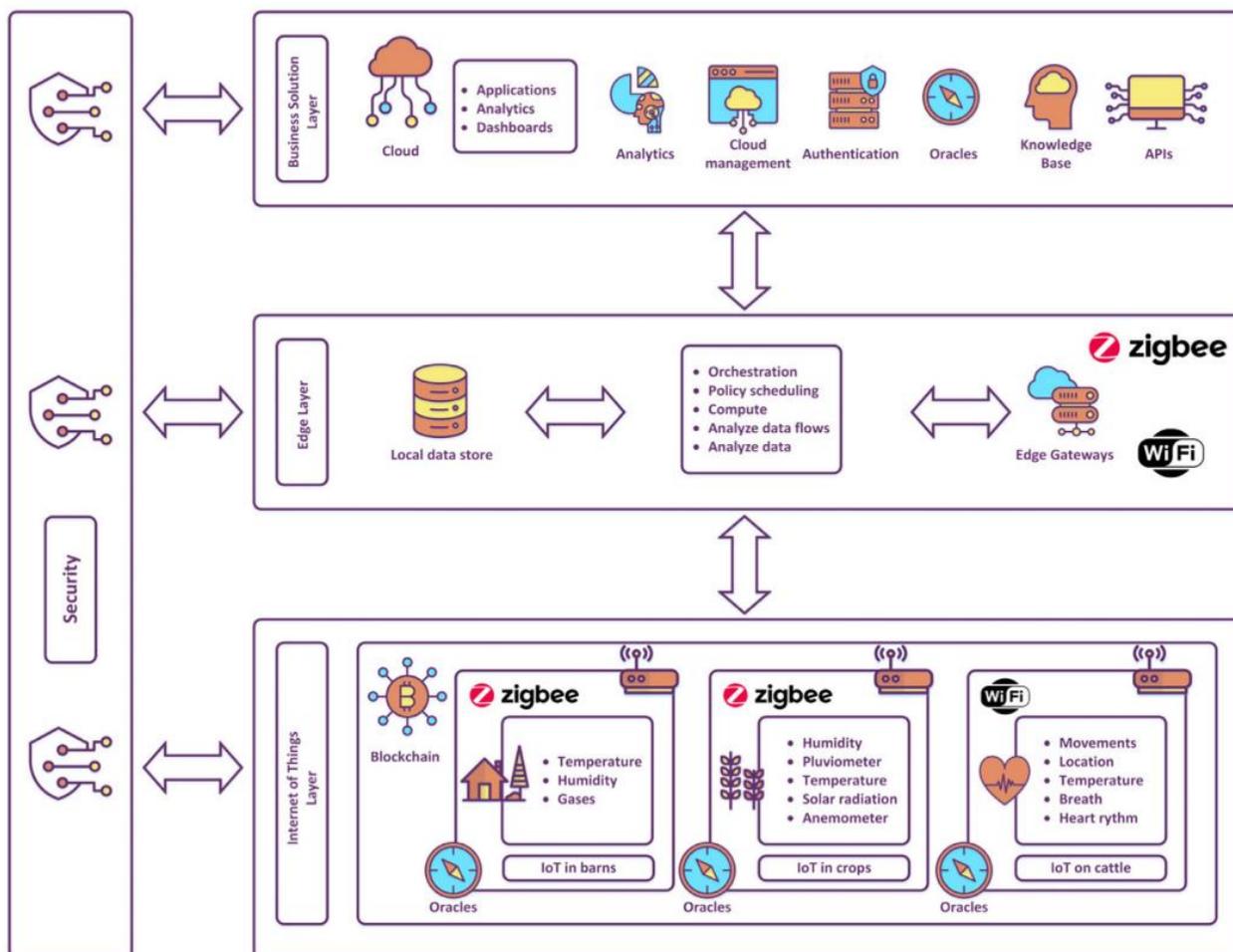


Fonte: extraído de (FIWARE, 2021).

Estas cinco representações de arquitetura falham ao detalhar as camadas físicas e de comunicação do ecossistema de IoT, mas se inseridas nas arquiteturas descritas por Al-Qaseemi et al. (2017), contribuem de maneira enriquecida para definir a camada de aplicação para a arquitetura IoT de monitoramento de gado de corte.

Dentre os trabalhos semelhantes, o que desenvolveu uma arquitetura mais completa para monitoramento dos rebanhos foi Alonso et al. (2019), a plataforma para monitorar todo o ecossistema de uma fazenda leiteira é referenciada na *Global Edge Computing Architecture* (GECA) proposta por Sittón-Candanedo et al. (2019), como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Arquitetura plataforma IoT para a Agroindústria Leiteira



Fonte: extraído de (ALONSO et al., 2019).

A Arquitetura acima possui quatro camadas. Na parte inferior encontra-se a camada de Internet das Coisas, que absorve os dispositivos IoT, a camada de comunicação e é suportada por algoritmo de blockchain para garantir a integridade dos dados coletados. A camada do meio refere-se a camada de computação de borda, responsável por parte da carga de processamento e por reduzir a latência de resposta para a camada de IoT. Na parte superior, tem-se a camada de negócio, onde a informação de geração de valor é processada e apresentada aos usuários da solução. Por fim tem-se a camada de segurança, esta está interconectada a outras três camadas, indicando que a segurança deve ser considerada constantemente.

As arquiteturas apresentadas anteriormente foram utilizadas como referência para definir a arquitetura proposta neste trabalho. Entretanto as arquiteturas não exploraram a questão de conectividade para envio de dados para a nuvem a partir de áreas remotas, portanto o tópico a seguir apresenta algumas alternativas em

desenvolvimento que poderiam suportar a arquitetura de IoT para monitoramento do rebanho.

2.4 Conectividade para Transmissão de dados

Meios tradicionais de acesso à internet como rádio, fibra, 3G ou 4G estão presentes apenas até uma certa distância de aglomerações urbanas, portanto, transmitir os dados para a nuvem a partir de áreas rurais é um desafio que não pode ser negligenciado. Entretanto, existem duas tecnologias promissoras que podem contribuir para aumentar a conectividade de em áreas rurais e para que este trabalho atinja o estado da arte. Estas são o 5G e a solução de iniciativa privada Starlink. Ambas prometem revolucionar a maneira como dispositivos são conectados à internet em áreas remotas.

Começando pela Starlink, este é um projeto desenvolvido pela subdivisão de mesmo nome pertencente a empresa SpaceX, do empreendedor Elon Musk, promete a disponibilidade de conexão banda larga em áreas remotas do globo, principalmente em áreas não atendidas por empresas tradicionais de telecomunicações. O acesso à internet de banda larga de 100 a 200 Mb/s e uma latência de 20ms, é possível através de conexão a satélites que serão instalados na órbita baixa do planeta, conectados a receptores como o da Figura 13 (STARLINK, 2021).

Figura 13 - Hardware para recepção de sinal de internet *Starlink*



Fonte: extraído de (STARLINK, 2021).

Na Figura 14 é possível ver que o sistema já está disponível para reserva (para 2023) para uma área da zona rural de Muzambinho-MG por US\$ 99,00, o que equivale, na cotação da data de elaboração deste trabalho, a aproximadamente R\$ 550,00. O custo da reserva será convertido crédito a ser descontado na aquisição do hardware necessário, que deve custar US\$ 499,00. Por fim, o custo mensal de utilização de serviço previsto é de US\$ 99,00 (STARLINK, 2021).

Figura 14 - Custo de pré-reserva Starlink

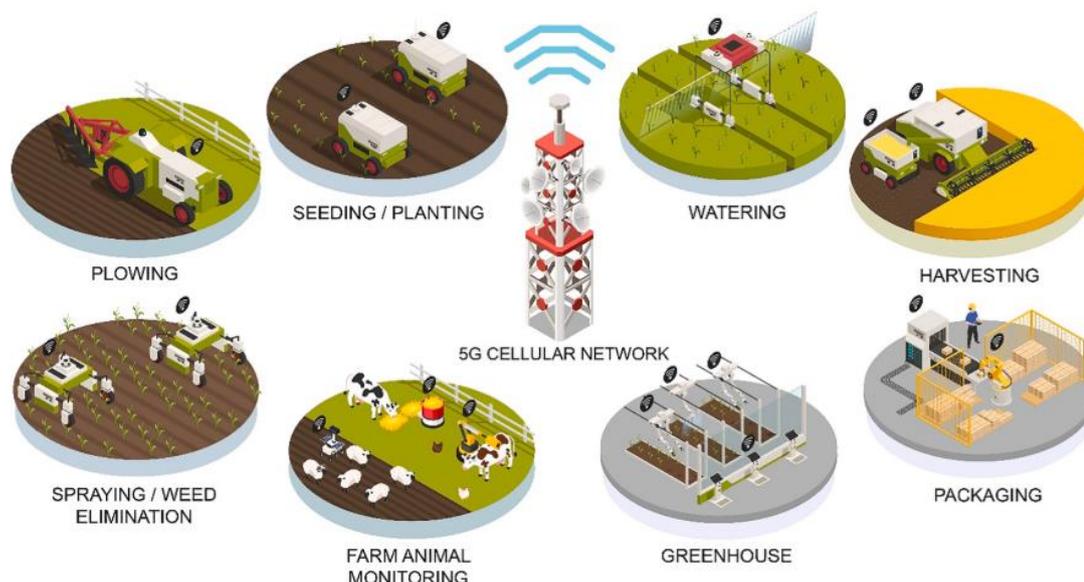


Fonte: extraído de (STARLINK, 2021).

Quanto ao 5G há uma certa expectativa no mercado sobre o potencial que esta tecnologia pode trazer. Espera-se que o paradigma da IoT possa atingir o seu potencial com a implementação desta tecnologia, uma vez que seria possível enviar e receber grandes quantidades de dados, em tempo real, entre milhares ou até milhões de dispositivos. A rede 5G deve operar nas faixas de maior espectro (>1GHz) para oferecer banda larga e baixa latência em áreas urbanas mais densas e nas faixas mais baixas onde operam-se as tecnologias LTE e 4G, de maneira interoperável, com interferência mínima entre elas. Neste último caso o foco seria em proporcionar cobertura de bandas largas para grandes áreas, principalmente áreas rurais (ERICSSON, 2020).

O 5G tem um potencial para contribuir para a digitalização de toda a cadeia agropecuária, fornecendo a base para automação de diversas atividades do campo, como automação de tratores e implementos agrícolas, assim como para a coleta massiva de dados das plantações, terrenos e dos animais (TANG et al., 2021), como pode ser observado na Figura 15. Apesar de excitação do mercado, esta tecnologia depende de ações coordenadas dos setores públicos e privados e, pelo menos no Brasil, não irá se concretizar antes do segundo semestre de 2022 pelo menos.

Figura 15 - 5G na agropecuária



Fonte: extraído de (TANG et al., 2021).

Uma terceira possibilidade de conexão, já disponível no mercado brasileiro, seria a *NB-IoT*, que poderia inclusive dispensar o uso de *gateways*, compatível com as tecnologias 4G e 5G, está ativa no país através da operadora de telecomunicações TIM. Esta oferece uma conectividade na categorização IoT descrita pela Ericsson chamada de IoT Massiva para dispositivos de baixo custo e oferece uma boa eficiência energética (ERICSSON, 2020). Todavia, como pode ser observado no mapa de cobertura da Figura 16, a tecnologia ainda não cobre 100% do território brasileiro e requer evolução na infraestrutura.

Figura 16 - Mapa de cobertura NB-IoT da TIM região próxima a Muzambinho-MG



Fonte: extraído de (TIM, 2021)

2.5 Considerações do capítulo

O capítulo reflete que uma solução completa de IoT, desenvolvida a partir de arquiteturas já propostas, composta por dispositivos vestíveis, infraestrutura para comunicação sem fio, armazenamento, processamento de dados em nuvem e uma aplicação visual amigável para o pecuarista, será capaz de obter dados individuais dos bois e transformá-los em informações que refletem o bem-estar animal do rebanho ou mesmo de maneira individual. Tal arquitetura pode ser empregada em toda a cadeia de valor, desde a cria, reprodução, engorda e transporte de propriedades rurais para frigoríficos para abate do animal, assim como para exportação de animais vivos. Através da aderência das informações zootécnicas coletadas da solução de IoT com métodos adequados de gestão, o produtor pode garantir uma certificação de bem-estar animal, desta maneira corroborar que suas práticas de manejo atendem padrões internacionais de boas práticas de manejo do gado de corte. Um certificado de bem-estar animal é um fator facilitador de entrada em mercados exigentes como o Europeu, entretanto, os especialistas alertam para um possível desafio relacionado a custos (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2020) e dispositivos de IoT tem como uma das características justamente o baixo custo, aliados a soluções de software plataforma aberta, no médio prazo, a arquitetura proposta neste trabalho deve ser viável para a maioria dos pecuaristas de gado de corte.

3. ARQUITETURA DA SOLUÇÃO IOT PARA MONITORAMENTO BOVINOS DE CORTE

O presente capítulo apresenta o *Lean Canvas* inicial e deriva os requisitos da pecuária considerados para a elaboração deste projeto, propõe a arquitetura completa da solução, por fim, detalha os requisitos de cada camada da arquitetura e expõe de maneira crítica a melhor solução tecnológica que atenderia aos requisitos. Os requisitos foram definidos a partir de necessidades que foram apontadas por estudos citados nos Capítulos 1 e 2 e da aplicação da metodologia de engenharia de requisitos proposta por Pohl e Rupp (2016). A partir desta combinação, definem-se os objetivos macros do setor, requisitos do pecuarista, os requisitos funcionais e os não funcionais da arquitetura.

Para o preenchimento do modelo *Lean Canvas* instruções extraídas e adaptadas do livro *The Design Thinking Playbook*, de LEWRICK, LINK e LEIFER(2018), foram utilizadas. A seguinte sequência foi implementada e resulta no modelo preenchido expostos nas Figuras 17 a 19:

1. **Proposição do Problema:** é definido a partir do problema detalhado no capítulo introdutório deste documento.
2. **Definição do Seguimento do Cliente:** O cliente é o pecuarista, e o objeto de estudo é o bovino.
3. **Proposta de Valor único:** Defini o que esta arquitetura deve oferecer como sendo um diferencial no mercado
4. **A proposta da arquitetura:** Os resultados esperados a partir da arquitetura proposta
5. **Alternativas existentes:** Descreve quais são as alternativas disponíveis e utilizadas pelo pecuarista.
6. **Canais:** Como o pecuarista pode vir a conhecer a solução proposta.
7. **Competência essencial:** descreve itens cruciais para adoção da solução pelos pecuaristas.
8. **Métrica:** Apresenta quais variáveis são chaves para a medição da viabilidade e sucesso da arquitetura proposta.
9. **Modelo de Receitas:** Estratégia para tornar a solução sustentável
10. **Estrutura de custos:** Custos para implementação da arquitetura.

11. **Conceito de Alto Nível:** Para facilitar e democratizar o entendimento da solução, esta é comparada a uma solução presente no mercado há alguns anos.

Figura 17 - *Lean Canvas* - Primeira Parte

<p>Problema</p> <ul style="list-style-type: none"> Incerteza sobre o bem-estar animal Nenhum dado sobre a saúde do rebanho Perda de animais por extravio ou roubo Produtividade Limitada Pressão no setor ambientalista Baixo acesso à tecnologia Pouca infraestrutura de comunicação 	<p>Solução</p> <ul style="list-style-type: none"> Informação do rebanho na palma da mão exibidos em um aplicativo de fácil entendimento. Localização do rebanho e alertas caso algum animal apresente comportamento atípico ou se afaste da propriedade Relatório de histórico do rebanho com informações sobre o bem-estar ao longo da vida do animal
<p>Alternativas Existentes</p> <ul style="list-style-type: none"> Aferições e contagem do rebanho de maneira visual Diagnósticos por médico veterinários de animais com sintomas visíveis Aferição do peso com baixa periodicidade 	<p>Métricas</p> <ul style="list-style-type: none"> Quantidade de propriedade e cabeças de gado monitorados Avaliação dos pecuarista Lucro
<p>Estrutura de Custos</p> <ul style="list-style-type: none"> Custo de Hardware Desenvolvimento de Software Custo de computação em nuvem 	

Figura 18 - Lean Canvas - Segunda Parte

Proposta de Valor Único	Competência Essencial	Segmento do Cliente
Proposta de baixo custo e com escalabilidade para todo o rebanho, garantindo animais monitorados em qualquer área do pasto, garante o fornecimento de dados confiáveis para otimizar as técnicas de manejo e aumentar a produtividade. Evidência concreta de que o produtor preza pelo bem-estar animal e preservação do meio-ambiente para atender exigências de mercados externos	O pecuarista acima de tudo. Capacitação e treinamento personalizados no uso da tecnologia e aprimoramento do negócio	Pecuaristas de gado de corte Perfil mais jovem de 25 a 50 anos Fazendas exportadoras de bovinos
Conceito em Alto Nível	Canais	Pioneiros
Relógio Inteligente bovino, porém, mais barato e o boi não será distraído pelas constantes notificações das redes sociais.	Feiras e exposições de agronegócios Órgãos do setor: Embrapa e ABIEC Marketing boca-a-boca entre pecuaristas Revistas de agronegócios	Pecuaristas com maior afinidade a tecnologia e que já romperam a resistência de adoção ao smartphone
Modelo de Receitas		
Serviço por Subscrição Venda de dados descaracterizados para empresas da cadeia de valor pecuária		

Figura 19 - Lean Canvas - Completo

Problema	Solução	Proposta de Valor Único	Competência Essencial	Segmento do Cliente
Incerteza sobre o bem-estar animal Nenhum dado sobre a saúde do rebanho Perda de animais por extravio ou roubo Produtividade Limitada Pressão no setor ambientalista Baixo acesso à tecnologia Pouca infraestrutura de comunicação	Informação do rebanho na palma da mão exibidos em um aplicativo de fácil entendimento. Localização do rebanho e alertas caso algum animal apresente comportamento atípico ou se afaste da propriedade Relatório de histórico do rebanho com informações sobre o bem-estar ao longo da vida do animal	Proposta de baixo custo e com escalabilidade para todo o rebanho, garantindo animais monitorados em qualquer área do pasto, garante o fornecimento de dados confiáveis para otimizar as técnicas de manejo e aumentar a produtividade. Evidência concreta de que o produtor preza pelo bem-estar animal e preservação do meio-ambiente para atender exigências de mercados externos	O pecuarista acima de tudo. Capacitação e treinamento personalizados no uso da tecnologia e aprimoramento do negócio	Pecuaristas de gado de corte Perfil mais jovem de 25 a 50 anos Fazendas exportadoras de bovinos
Alternativas Existentes	Métricas	Conceito em Alto Nível	Canais	Pioneiros
Aferições e contagem do rebanho de maneira visual Diagnósticos por médico veterinários de animais com sintomas visíveis Aferição do peso com baixa periodicidade	Quantidade de propriedade e cabeças de gado monitorados Avaliação dos pecuarista Lucro	Relógio Inteligente bovino, porém, mais barato e o boi não será distraído pelas constantes notificações das redes sociais.	Feiras e exposições de agronegócios Órgãos do setor: Embrapa e ABIEC Marketing boca-a-boca entre pecuaristas Revistas de agronegócios	Pecuaristas com maior afinidade a tecnologia e que já romperam a resistência de adoção ao smartphone
Estrutura de Custos		Modelo de Receitas		
Custo de Hardware Desenvolvimento de Software Custo de computação em nuvem		Serviço por Subscrição Venda de dados descaracterizados para empresas da cadeia de valor pecuária		

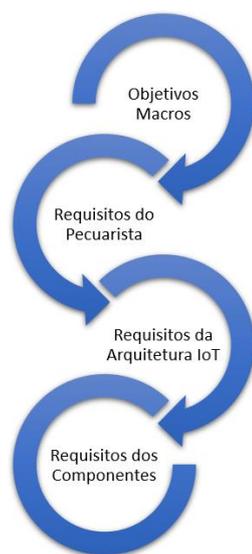
Fonte: do autor (2021)

3.1 Objetivos macros do setor pecuário

Durante a análise dos trabalhos, observou-se dois objetivos claros no setor pecuário, aumento da produtividade e redução do impacto ambiental, e estes estão interconectados, pois um aumento na produtividade pode significar redução na expansão das pastagens, o que reduziria a projeção de desmatamento causado pelo setor pecuário. Conforme mencionado em Embrapa Gado De Corte (2020), diversas áreas podem contribuir para a melhoria da produtividade do mercado de carnes tais como genética, nutrição, manejo, gestão e saúde bovina. Os requisitos da solução de IoT apresentada neste trabalho focam nas áreas de manejo, gestão e saúde bovina. Porém acredita-se no potencial de a solução, mesmo que indiretamente, fornecer dados do rebanho para avaliar técnicas de melhoramento genético e nutrição no longo prazo.

No tópico a seguir foram descritos os requisitos de negócio para os pecuaristas derivados a partir do referencial teórico. Na Figura 20 são exibidos os níveis de abstração dos requisitos, inspirados no trabalho de Pohl e Rupp (2016).

Figura 20 - Níveis de Abstração dos Requisitos



Fonte: adaptado de (POHL; RUPP, 2016).

3.2 Requisitos dos pecuaristas

Priori a apresentação dos requisitos, é importante compreender o que estes representam. O conceito de requisitos é definido a partir de uma citação da IEEE 610.12(1990) em Pohl e Rupp (2016). Abaixo estão as três definições para requisitos consideradas por Pohl e Rupp (2016) extraídas de seu livro (Tradução livre do autor):

- a) Condição ou capacidade necessária por usuário para resolver um problema ou atingir um objetivo.
- b) Condição ou capacidade que precisa ser atingida ou processada por sistema para satisfazer um contrato, normas, especificações ou outros documentos formais estabelecidos
- c) Uma representação documentada de uma condição ou capacidade como apresentado em a) ou b)

Os fundamentos encontrados nos artigos e publicações utilizados para compor os Capítulos 1 e 2 deste trabalho serviram como base inicial para a definição dos requisitos. Para disponibilizar informações que contribuem para otimizar a produtividade do rebanho, os seguintes requisitos devem ser atendidos:

R1 - Monitoramento da saúde e bem-estar do rebanho: A saúde e bem-estar impactam diretamente no desenvolvimento físico e ganho de peso.

R2 - Identificação única de cada animal: Serve tanto para conferir a quantidade de gado no pasto quanto identificar a origem foco de doenças de maneira antecipada e isolar os animais já contaminados.

R3 - Monitoramento das condições ambientais das pastagens: Trará uma melhor visão de como as técnicas de manejo e volume de gado impactam na pastagem. Pastagem com alto nível de degradação impactam negativamente na engorda e requerem maiores gastos com suplementação ou busca por expansão de pastos.

R4 - Georreferenciamento do rebanho: permite identificar padrões de movimentação do rebanho pelas pastagens assim como localizar animais perdidos. Este requisito pode contribuir com dados para auditoria das propriedades, comprovando a isenção de pecuaristas quanto ao uso inadequado de áreas de preservação ambiental.

R5 - As informações devem ser exibidas de maneira simples para a fácil compreensão do pecuarista: Importante para quebrar a resistência à tecnologia e à adoção de novos modelos de gestão.

3.3 Requisitos da Arquitetura IoT

A seguir são apresentados os requisitos funcionais e não funcionais da arquitetura proposta que devem ser atendidos a fim de atender aos requisitos do pecuarista.

3.3.1 Requisitos Funcionais

A partir dos requisitos R1, R2, R3, R4 e R5 os requisitos funcionais (RF), ou seja aqueles que definem o que o sistema a ser desenvolvido deve oferecer (POHL; RUPP, 2016), foram definidos:

RF1: A solução deve coletar e enviar os dados dos parâmetros de saúde como temperatura do animal e nível de atividade.

RF2: O software da solução deve ser capaz de processar os dados e prever se o animal está doente, agitado ou desaparecido.

RF3: A solução deve conter dispositivos instalados em pontos estratégicos para monitoramento das condições das pastagens (temperatura, umidade do ar e do solo) e gerar alertas para o pecuarista.

RF4: A solução deve monitorar a localização do rebanho e informar o pecuarista caso esteja fora dos limites da propriedade.

RF5: Baseado na localização, a solução deve prover um mapa de calor de ocupação das pastagens em função do tempo.

3.3.2 Requisitos não funcionais

Estes requisitos definem a qualidade desejada do sistema e impactam diretamente na arquitetura do sistema Pohl e Rupp (2016) e são importantes para atender aos requisitos de negócio:

RNF1: A aplicação de interface com o pecuarista deve ser amigável e simples de utilizar

RNF2: O dispositivo da solução deve ter identificador único, a prova de violação e alteração, para prevenir fraudes e roubos.

RNF3: A solução deve possuir custo acessível para que possa ser democratizada para diversos níveis de pecuarista.

RNF4: Os dispositivos vestidos nos bovinos devem ter vida útil ao menos igual a idade média do bovino.

Os requisitos funcionais e não funcionais aqui descritos devem ser suficientes para garantir os requisitos para o pecuarista e conseqüentemente atingir a meta de aumento da produtividade e redução do impacto ambiental.

3.4 Arquitetura IoT Completa

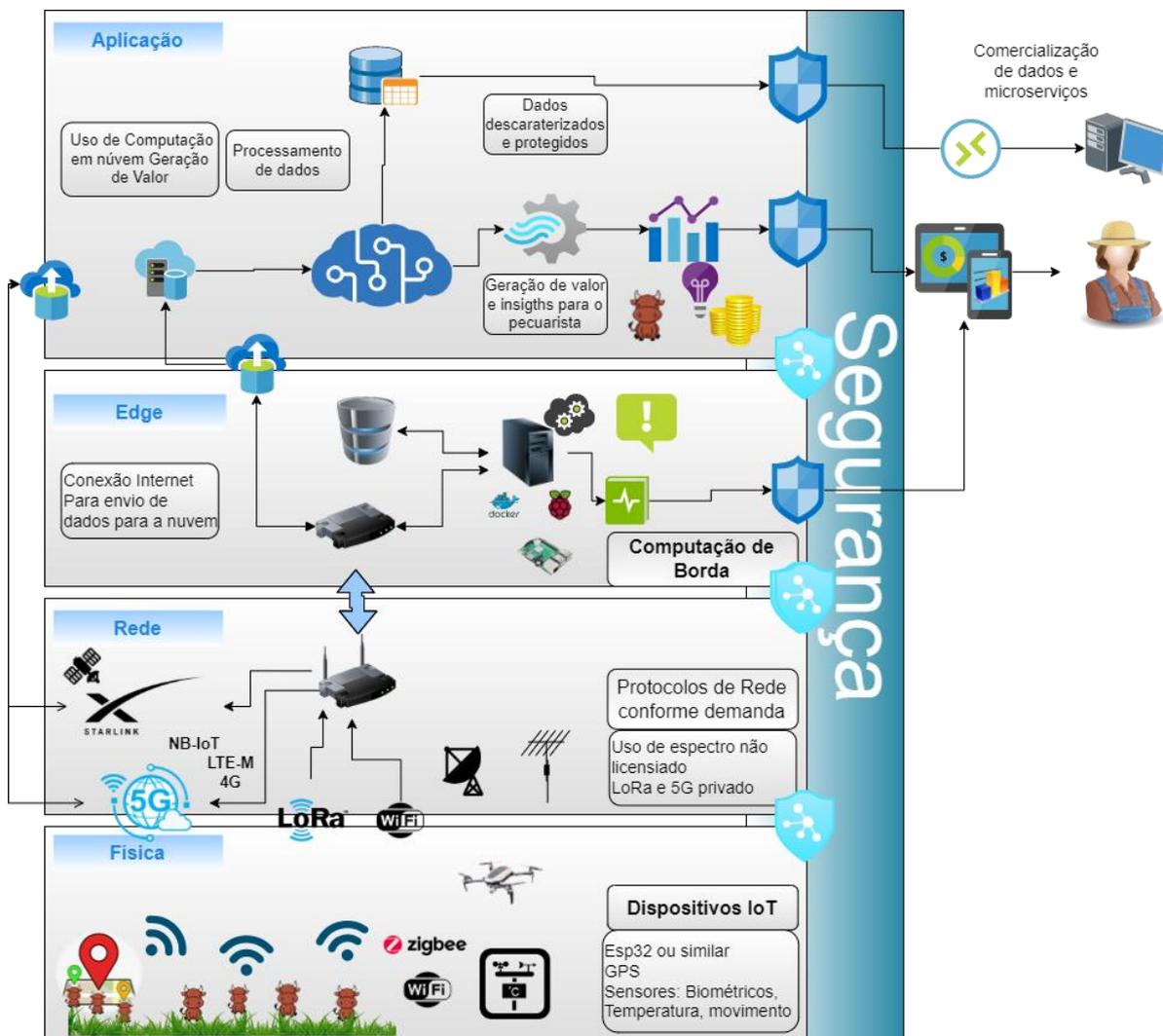
Baseado nos modelos gerais de arquitetura IoT expostos no Capítulo 2, este trabalho propõe a arquitetura de cinco camadas conforme Figura 21 da solução para monitoramento de rebanho de corte.

- **Camada Física:** composta pelos dispositivos IoT vestíveis a serem conectados de maneira individual em cada bovino. Imergindo na camada de rede, tais dispositivos são capazes de comunicar entre si através de rede de sensores sem fio. Nesta camada também se encontram dispositivos IoT para monitorar as características do ambiente.
- **Camada de Rede:** é composta pela infraestrutura necessária para a transmissão e recepção de dados e pode ser estruturada de maneira modular conforme as necessidades da propriedade. Ela compõe os meios de comunicação entre os dispositivos IoT e a camada de *Edge*.
- **Camada de Edge:** é responsável pelo processamento de dados para gerar informações que necessitam de baixa latência, ou seja, baixo tempo de resposta entre o sistema de processamento de dados e os dispositivos de IoT. Essa camada também é responsável por processar algoritmos de análise de dados do rebanho local, reduzindo assim custos de processamento e tráfego de dados em plataformas de nuvem (ALONSO et al., 2019).
- **Camada de Aplicação:** contém as informações necessárias para a gestão e manejo do rebanho. É nesta camada que se encontra a aplicação de interface com o pecuarista.
- **Camada de Segurança:** Essa camada abrange todas as outras camadas da solução. Cada camada possui requisitos de segurança específicos e não pode ser negligenciada assim como também não pode ser implementada com recursos excessivos, fazendo com que a solução se torne cara e inviável de ser implementada.

De maneira geral, a solução é composta por tecnologias existentes e já exploradas no meio acadêmico-científico e no mercado. Entretanto, a aderência das

tecnologias é idealizada de maneira que os requisitos de implementação na pecuária extensiva possam ser atendidos.

Figura 21 – Arquitetura da Solução IoT para monitoramento de gado de Corte



Fonte: elaborado pelo autor

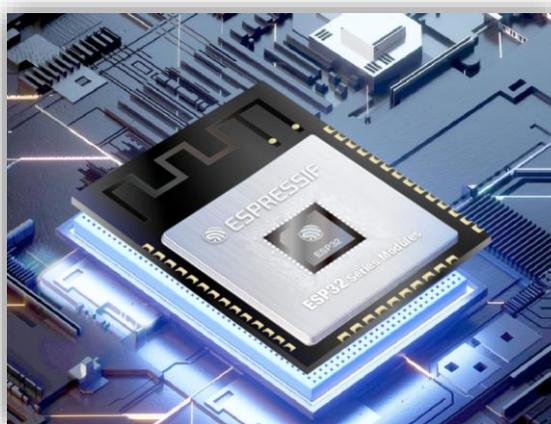
3.4.1 Camada Física: Bovinos ganham novos acessórios

Neste tópico são apresentadas as características de Hardware necessárias para os dispositivos IoT da Camada Física da arquitetura. Para dispositivos que devem ser acoplados aos animais as seguintes qualidades devem ser considerados:

- **Processamento e memória:** a solução apesar de coletar dados importantes, requer a coleta e transmissão apenas de algumas variáveis e integração com periféricos, tais como sensores e módulos de comunicação e armazenamento. É possível encontrar dispositivos embarcados de baixo custo e consumo energético que possuem comunicação nativa em alguns protocolos de rede

como Wi-Fi e Bluetooth. Como exemplo, a placa de processamento ESP32 da Espressif, representado na Figura 22, tem ganhado popularidade, inclusive no cenário de IoT, por ser um dispositivo compacto capaz de integrar com diversos periféricos simultaneamente, possui dois núcleos de processamento com *clock* de 240MHz, memória RAM de 520KB e memória ROM de 448 KB para inicialização e funções críticas, modo de funcionamento com consumo reduzido de energia , Wi-Fi 802.11 b/g/h e Bluetooth LE integrados (ESPRESSIF, 2021).

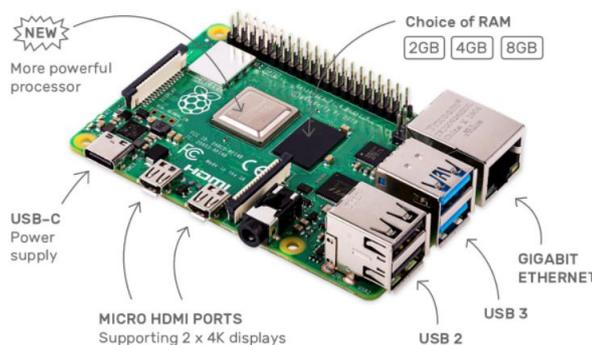
Figura 22 - Representação ESP32



Fonte: extraído de (ESPRESSIF, 2021).

Para a recepção e processamento destes dados, os gateways e dispositivos das camadas de rede e de processamento de borda podem ser compostos por hardwares de arquitetura aberta e com ótimo custo-benefício, como o Raspberry Pi mostrado na Figura 23, que pode ser encontrado a partir de 35 dólares, desenvolvido pela Raspberry Pi Foundation, uma organização de altruísmo que tem por objetivo democratizar o uso de computadores tanto para uso pessoal quanto para desenvolvimento e inovação em todas as partes do globo (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2021) , é utilizado em diversas aplicações, inclusive aquelas revisadas por esse estudo. É possível encontrar o uso deste computador em Alonso et al. (2019), Wa Maina (2017) e Joshitha et al. (2021).

Figura 23 - Raspberry Pi 4



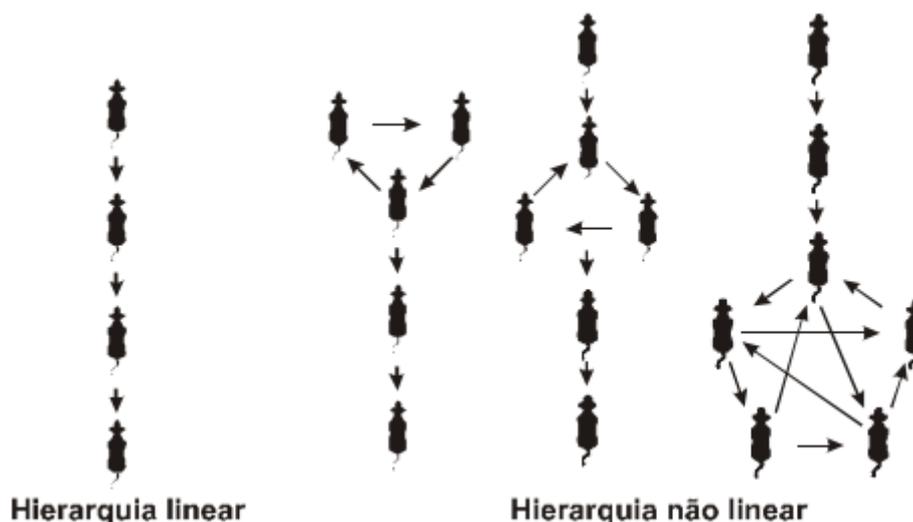
Fonte: extraído de (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2021)

- **Sensores:** conforme apontado em Algayer (2013), Eloy (2007), Li, Liu e Xiao (2018) e em Unold et al. (2020), diversos fatores podem ser monitorados com a finalidade de identificar indícios de doenças e níveis de estresse, tais como temperatura do corpo animal, batimento cardíaco e comportamento. Neste contexto, faz-se necessário que os dispositivos sejam equipados com sensores de temperatura, sensores de frequência cardíaca, módulo de geolocalização e acelerômetros para monitorar a movimentação do animal.
- **Design e conforto:** o bem-estar animal deve ser considerado (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2020), portanto, o dispositivo deve ser vestido no animal de maneira que este tenha o menor incômodo possível.
- **Robustez:** o dispositivo estará exposto a situações adversas, tais como a exposta na Figura 1, onde o boi pode se envolver em uma briga, ficar preso ou esbarrar o dispositivo em uma árvore ou em cercas.
- **Bateria:** é o ponto crítico para a solução, esta deve ter vida útil de pelo menos igual ao ciclo de vida do bovino. Além de eficiente, é importante que possa ser recarregável para que possa ser reaproveitada. O trabalho de Russo (2022) explora os desafios para o consumo energético e expõe a necessidade de inovação para métodos de recarregamento, geração de energia para dispositivos IoT e melhores práticas tanto para o aumento da vida útil das baterias assim como o descarte sustentável.

3.4.2 Camada de Rede: Uso da natureza comportamental bovina para otimizar a infraestrutura de comunicação

Priori a proposição da solução da camada de comunicação deste trabalho, é importante compreender o comportamento social de rebanhos bovinos. De acordo com Gonsalves Neto (2009), bovinos, que podem ser inseridos na classe de ruminantes, apresentam comportamentos e tendências de agrupamentos e desenvolvem até mesmo hierarquias sociais. Em rebanhos maiores, observa-se que o grupo é subdividido em hierarquias menores, onde o líder é determinado geralmente através de conflitos físicos, em um contexto que se nota a dominância de animais mais velhos, fortes e pesados. Vale ainda ressaltar que animais com idade avançada tendem a perder a liderança (GONSALVES NETO, 2009). Tais teorias há muito foram comprovadas por Guhl e Atkeson (1959) para um rebanho de vacas leiteiras e por se tratar de uma mesma espécie de animal, esse comportamento social é observado em rebanhos de corte. O rebanho tende a se movimentar em grupos para buscar recursos nas pastagens, seja em busca por alimento, água, conforto ou segurança, e, geralmente, seguem o líder do grupo ou subgrupo, como pode ser observado nas Figuras 24, 25 e 26.

Figura 24 - Deslocamento do rebanho conforme hierarquias



Fonte: extraído de (TECH et al., 2009).

Figura 25 - Rebanho Sítio Santa Marta – Muzambinho-MG



Fonte: o autor, 2020.

Figura 26 - Imagem aérea de rebanho no Sítio Santa Marta

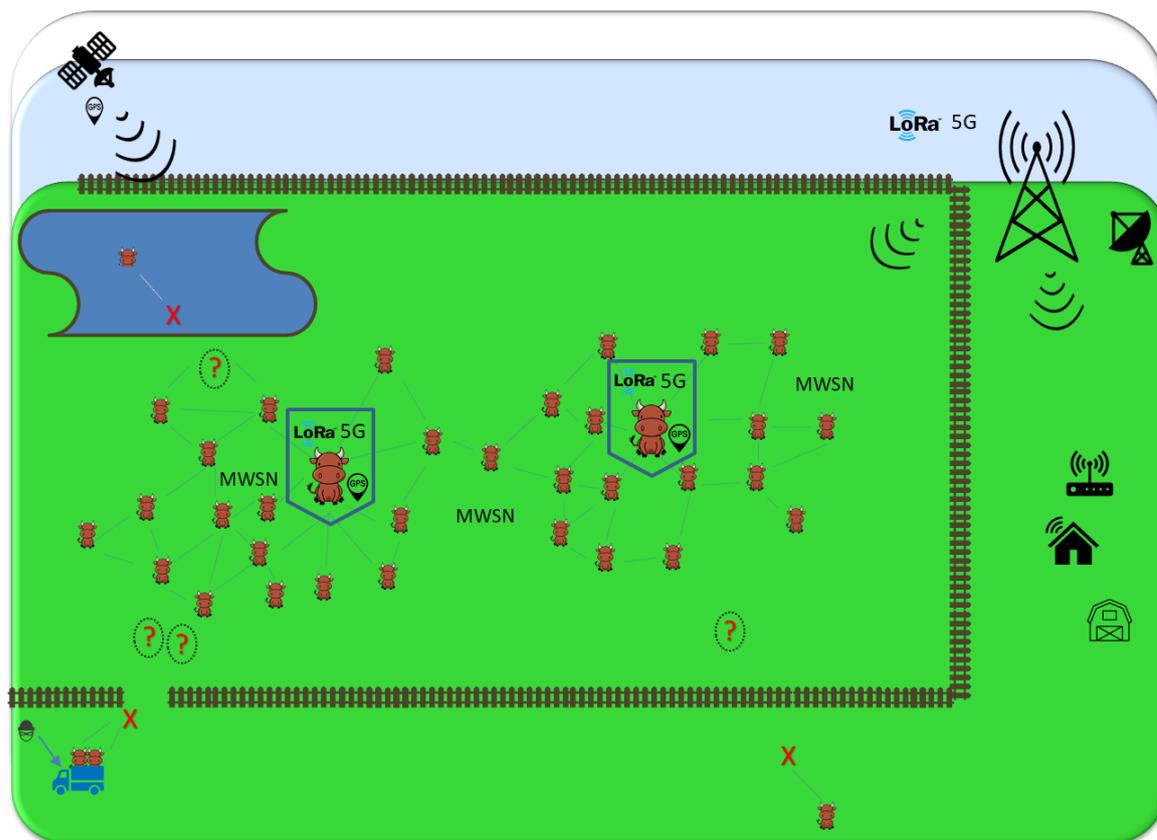


Fonte: o autor, 2020

O trabalho de Tech et al. (2009) que implementa um software para predição de comportamento e movimentação de rebanho, sugere também a adoção de rede de sensores sem fio para localização do rebanho baseado no próprio comportamento de grupo observado na sociedade bovina.

Este trabalho propõe o uso do comportamento animal como meio de otimizar a rede de sensores e técnicas de localização do rebanho. A partir desta estratégia, a topologia proposta para a camada de rede é apresentada na Figura 27.

Figura 27 - Proposta de estrutura de rede otimizada conforme comportamento do rebanho



Fonte: elaborado pelo autor.

O comportamento social dos bovinos permite explorar mais de uma tecnologia para comunicação, que resulta em um melhor custo-benefício, tanto monetário quanto energético. Para atingir este objetivo, esse projeto propõe a implementação de dispositivos mais completos nos animais que apresentam comportamentos de líder de rebanho. Estes dispositivos devem ser compostos por módulos de georreferenciamento por satélites, módulo de comunicação de dados para longa distância, módulo de comunicação para a rede de sensores sem fio, sensores para monitorar a saúde e o bem-estar e uma bateria com maior carga para permitir a transmissão de dados e geolocalização suficientes para garantir a integridade e funcionalidade da solução como um todo.

Os demais bovinos devem ser vestidos com um dispositivo mais simples, que contém os mesmos sensores para monitoramento de saúde e bem-estar, módulo de comunicação sem fio e uma bateria menor, porém, com vida útil pelo menos igual ao período de soltura do bezerro no pasto até este atingir o peso para abate.

3.4.2.1 Localização do Rebanho

Para determinar a localização do rebanho na pastagem a combinação de módulos de *Global Positioning System* (GPS) com algoritmos de determinação de localização dos nós via rede de sensores sem fio é proposta.

A ideia de aplicar o GPS deve-se ao fato de estes utilizarem satélites para prover a localização dos dispositivos, o que eventualmente gera maior cobertura em uma área aberta como as passagens brasileiras. Além disso, nem todos os dispositivos precisam ser acoplados com módulos GPS, a localização deles pode ser obtida por técnicas de triangulação ou algoritmos probabilísticos aplicados a rede de sensores sem fio móveis, desta maneira o intuito de aplicar o GPS é uma tentativa de melhorar a precisão da localização dos animais.

Essa não seria a única técnica possível de ser aplicada, por exemplo o trabalho de Hu e Evans (2004) avalia algumas técnicas de localização centralizadas e descentralizadas e, por fim, propõe seu próprio algoritmo para localização dos nós da rede sem depender de um computador centralizado, a partir do método de localização Monte Carlo (MCL)(THRUN et al., 2001). O destaque deste trabalho é que propõe resolver o problema de localização para nós e dispositivos que podem se movimentar constantemente, sem um padrão definido, como uma rede de veículos ou robôs interconectados, ou conforme discutido até agora, um rebanho bovino em pastagens extensivas. Além de atuar em um problema onde nenhum nó da rede possuía uma localização conhecida ou fixa, reduzir o custo esforço energético e de processamento, o intuito de Hu e Evans (2004) era lidar também com o alto custo de implementar módulos GPS, entretanto, 17 anos mais tarde, com a atual intensificação de adoção de IoT, um módulo de GPS NEO-6M-0-001 da u-blox pode custar menos de 70 reais, ser encontrado em sites de comércio digital, e ainda oferece uma precisão adequada para o problema aqui explorado. Portanto, para localização do rebanho e gestão de alertas de risco para os animais, este trabalho sugere que uma solução que combina algoritmos eficientes e simples com hardware barato e confiável seja explorada e avaliada.

3.4.2.2 Topologia e protocolos da rede de sensores

A rede de sensores é vital não apenas para otimizar o custo-benefício de obter a localização de cada boi em tempo real, é importante também para a transmissão de

dados dos sensores pela rede para que possam ser processados na Camada de Edge para atualizar o status comportamental e de saúde dos animais.

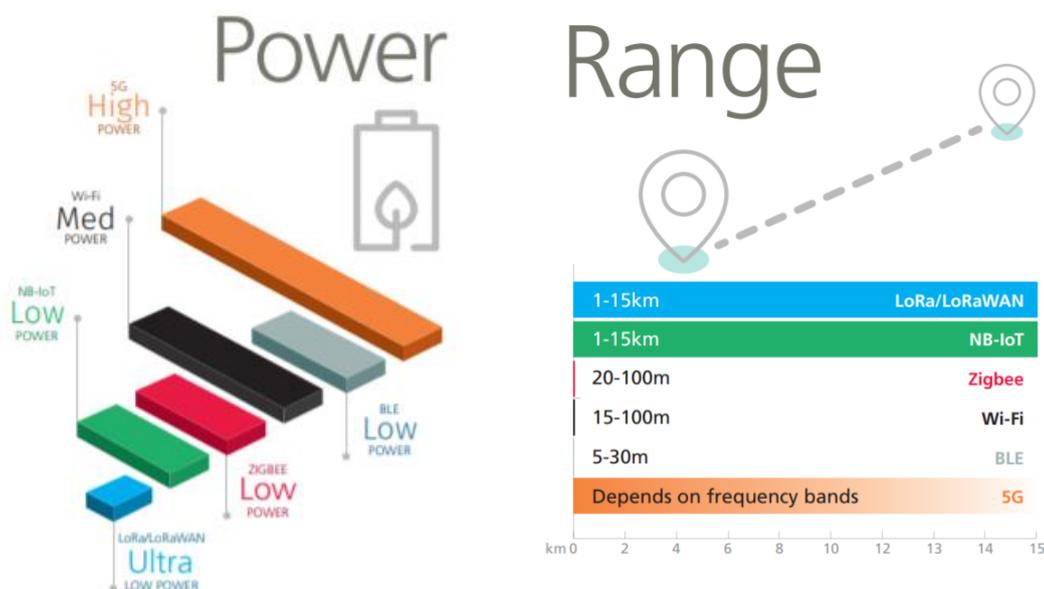
Almesaeed e Jedidi (2021) avaliam diversos protocolos de roteamento e propõem um algoritmo de roteamento dinâmico que, conforme testes simulados de seus desenvolvedores, mostrou uma melhor eficiência para um ecossistema de IoT. O algoritmo segue da premissa de que é possível localizar os dispositivos geograficamente, assim como proposto por este trabalho, e determinar a melhor rota de transmissão. Deste modo, a solução otimizada para georreferenciamento dos bovinos servirá também como base para que a rota de comunicação da rede seja recalculada buscando sempre o melhor caminho conforme o rebanho desloca-se pelas pastagens.

Diversas topologias estão disponíveis para as conexões de dispositivos sem fio: *flat* ou *unstructured*, *chain*, *mesh*, *tree*, *clustered* e híbrida (ALMESAEED; JEDIDI, 2021). Para atender aos requisitos deste trabalho, a rede deve ser capaz de proporcionar robustez, confiabilidade e ser, principalmente, capaz de recalculando rotas de transmissão de maneira constante, uma vez que o rebanho bovino pode alterar seu padrão de movimento de maneira aleatória conforme a liderança do animal dominante. O fator da mobilidade imprevisível deve ser considerado na escolha da topologia e do algoritmo de roteamento.

A topologia escolhida para este trabalho é a topologia *Mesh*, que permite a utilização dos nós da rede como meio propagar a comunicação. Esta deve ser equipada com roteamento dinâmico devido ao comportamento do rebanho e o algoritmo deve ser implementado de maneira que proporcione robustez, segurança e exija baixo processamento dos dispositivos.

Dentre os protocolos de comunicação que oferecem a capacidade de serem implementados com a topologia *Mesh*, pode-se utilizar a própria rede *LoRaWAN*, *Bluetooth Low Energy* (BLE), *ZigBee* ou *Wi-Fi*. Conforme Figura 28 as tecnologias diferenciam-se quanto ao consumo energético e a distância de transmissão de dados. Outro fator importante é a quantidade de dados enviados em um único ciclo de transmissão.

Figura 28 - Comparativo principais redes sem fio para IoT



Fonte: extraído de (SEMTECH, 2021)

Como os ruminantes tendem a manter um espaço de conforto e eventualmente afastar-se dos demais animais para beber água, buscar áreas de pasto mais vantajosas ou até mesmo buscar uma área de descanso próxima, o BLE oferece uma faixa de distância de transmissão de dados muito pequena que poderia ocasionar na perda de dados e falsos alertas de extravio de animais. *LoRa*, *ZigBee* e *Wi-Fi* continuam como sendo atrativas, com o *Wi-Fi* em desvantagem devido ao maior consumo energético. O *Wi-Fi*, porém, deve ser mantido na lista de possibilidade devido a boa capacidade de transmissão de maiores volumes de dados. Por tanto, o trabalho sugere a implementação de *LoRa*, *ZigBee* e por *Wi-Fi*

3.4.2.3 Transmissão de dados para a computação de borda

Um *gateway* de comunicação deve ser implementado para que os dados possam ser transmitidos tanto para a camada de Edge quanto para a camada de aplicação em nuvem. Devido à falta de infraestrutura na zona rural do Brasil, onde, de acordo com o IBGE, apenas 29% das propriedades possuem conectividade (ERICSSON, 2020), uma arquitetura híbrida deve ser explorada conforme a necessidade de cada propriedade. Dentre as possibilidades, a que apresenta maior grau de maturidade é uma interface *LoRa-Ethernet*. Essa interface pode ou não depender de conexão de internet, e, exatamente na ausência desta, é importante destacar a implementação de

dispositivos na camada denominada *Edge* para processamento de dados e disponibilização de informações para o produtor rural.

Solução de conexão e transmissão de dados avançadas como 5G, *Starlink*, NBloT e SigFox foram consideradas, entretanto, nenhuma destas oferece nível de maturidade ou área de cobertura suficientes para atender ao requisito de conectividade em pastagem extensiva localizada longe dos centros urbanos do país considerando a data deste trabalho. Deste modo, a implementação da arquitetura deve ser dividida em duas etapas conforme prazo de implementação. No curto prazo, a arquitetura pode ser implementada, com acesso à internet, em propriedades próximas aos centros urbanos e com cobertura de conexão à internet oferecido por meios como rádio, 4G e 3G. No médio e longo prazo, as tecnologias emergentes de conectividade devem ser exploradas para garantir a cobertura da arquitetura em todas as propriedades.

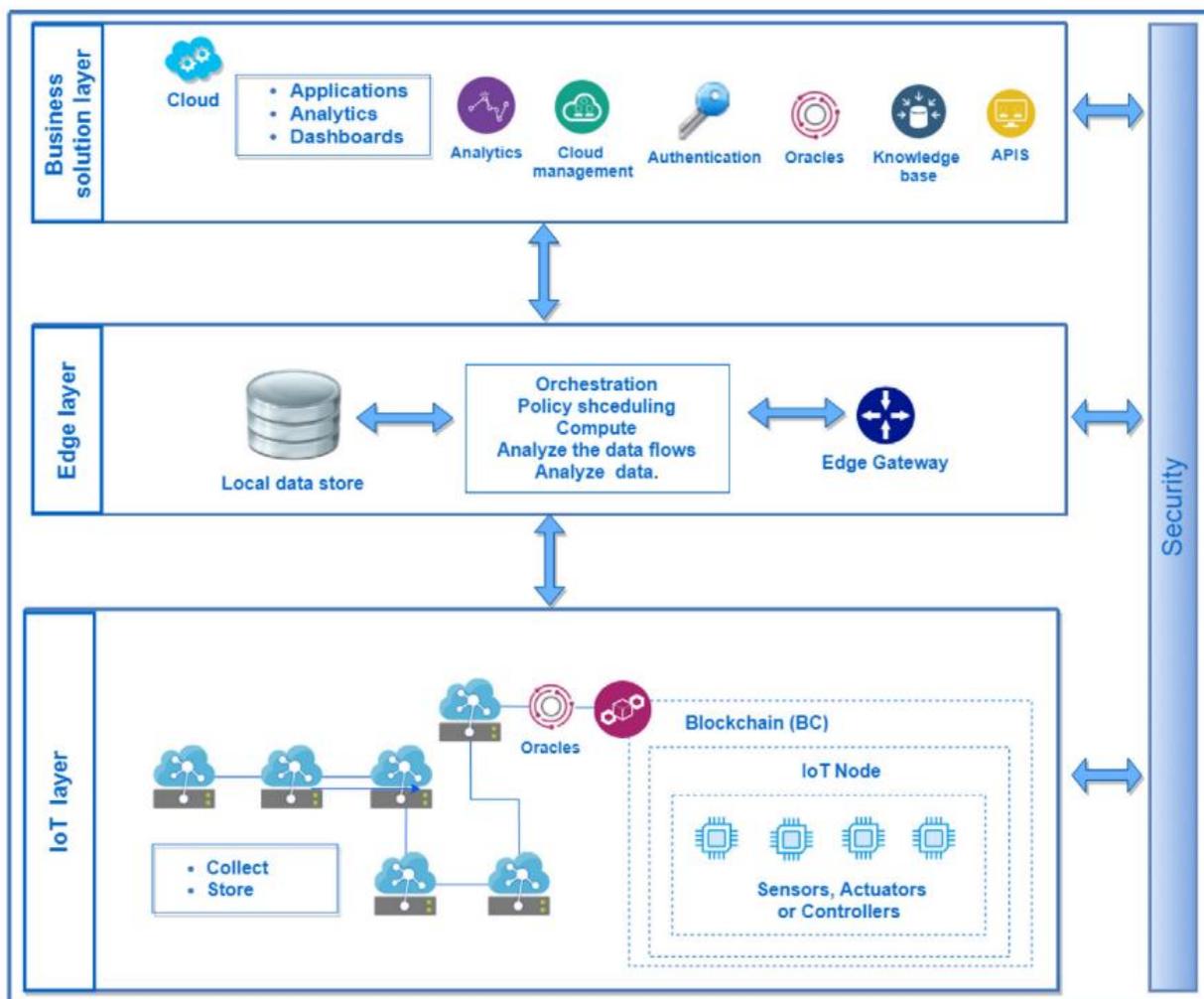
3.4.3 Camada Edge: Processamento de Dados em computação de borda

O requisito funcional RF2 requer um tempo de resposta baixo pois o animal pode estar em risco e o pecuarista ou funcionário da fazenda devem ser alertados o quanto antes. Caso o animal atole ou seja furtado, quanto menor o tempo de resposta maior a probabilidade de recuperar o animal.

Propõe-se que este tipo de informação seja processado por computadores instalados na própria fazenda, além de baixo tempo de resposta, pode-se reduzir o custo de processamento e volume de dados, quando comparado a uma mesma aplicação utilizando a infraestrutura de uma nuvem privada como a AWS, *Google Cloud* e *Azure*. Plataformas como o *Raspberry Pi* podem ser implementadas com o intuito de reduzir custos de Hardware.

A figura 29 apresenta de maneira destacada como a camada de *Edge* realiza um trabalho de mediador ou até mesmo um balanceador de cargas de processamento e armazenamento de dados entre as camadas.

Figura 29 - Global Edge Computing Architecture



Fonte: (SITTÓN-CANDANEDO et al., 2019)

3.4.4 Camada de Aplicação: Integração com o Cloud

A camada de aplicação (Figura 30) exerce um papel fundamental para o sucesso da arquitetura proposta neste trabalho. Aqui propõe-se o processamento de dados que geram valor agregado à cadeia de valor da pecuária de corte. Esta é composta pelos seguintes itens:

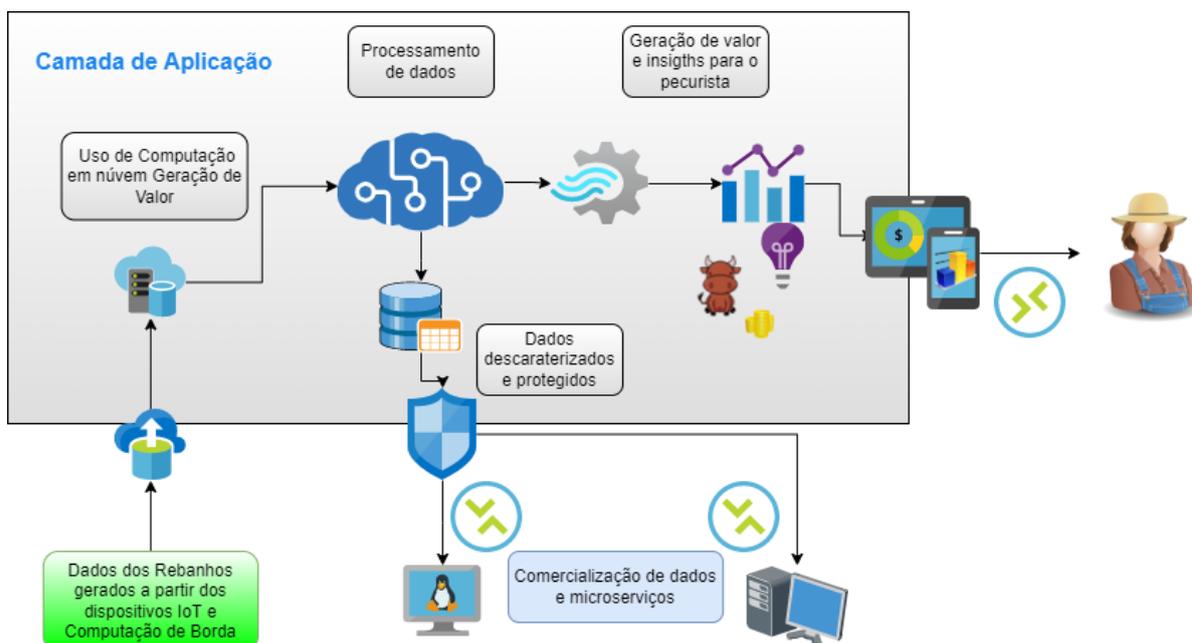
- **Interface do pecuarista:** Aplicação de interface gráfica, permite que o pecuarista monitore o rebanho em tempo real, histórico do rebanho, visualizar relatórios de produtividade e receber informações e sugestões de melhorias no manejo diário. Essa aplicação deve ser desenvolvida de maneira cuidadosa, pecuaristas e demais usuários da solução devem ser envolvidos no processo. Com diversos pecuaristas participando e oferecendo suas

opiniões, aumenta-se as chances de ter um produto que seja facilmente adotado por esta classe de fazendeiros.

- **Base de dados e micro serviços monetizáveis:** Os dados gerados pelos dispositivos devem ser descaracterizados e comercializados. O objetivo é tornar a solução economicamente sustentável e disponibilizar dados e micro serviços para empresas da cadeia de valor pecuária, para que possam desenvolver produtos e soluções visando modernizar e otimizar demais setores da pecuária. A solução pode disponibilizar recursos importantes para pesquisadores, com o intuito de fomentar o estudo sobre produção pecuária brasileira. Os dados serão relevantes para compor métodos de pesquisa para aprimoramento de técnicas de manejo, nutrição e melhoramento genético.
- **Aplicação de Análise de dados:** O uso de técnicas de *Business Intelligence - BI*, algoritmos estatísticos e aprendizagem de máquina, aplicados às diversas variáveis que podem ser monitoradas através de sensores nos dispositivos vestíveis e distribuídas nas pastagens, resultará em análises precisas e coerentes para o pecuarista. A partir destes dados ele poderá identificar seu próprio histórico de produtividade e até mesmo comparar o resultado de rebanhos com a média dos demais pecuarista.

As informações geradas nesta camada são capazes de gerar uma competição cooperativa, ou seja, os pecuaristas podem identificar o quão competitiva sua propriedade é quando comparadas a média do município, estado ou região do país e ter acesso a uma comunidade de usuários que podem compartilhar técnicas para melhor gestão de estresse animal e prevenção de doenças, por exemplo.

Figura 30 - Camada de Aplicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.5 Camada segurança

A camada de Segurança Cibernética deve estar integrada a todas as outras quatro camadas, apesar destas possuírem necessidades diferentes, como os exibidos na Tabela 4, uma vulnerabilidade pode afetar todo o funcionamento da arquitetura. Um aspecto importante aqui é a imutabilidade dos dados. Isto significa que os dados gerados pelos dispositivos serão os mesmos enviados, recebidos e armazenados nas camadas de Edge e Aplicação. Tal requisito é importante para proteger pecuaristas e rebanhos, e para garantir a integridade do sistema, impedindo por exemplo que este seja manipulado de maneira a mascarar possíveis maus tratos aos animais e mau uso de áreas de preservação ambiental. A segurança dos dispositivos é importante para garantir o requisito funcional RNF2, impedindo que os dispositivos sejam violados em caso de tentativa de furto dos animais.

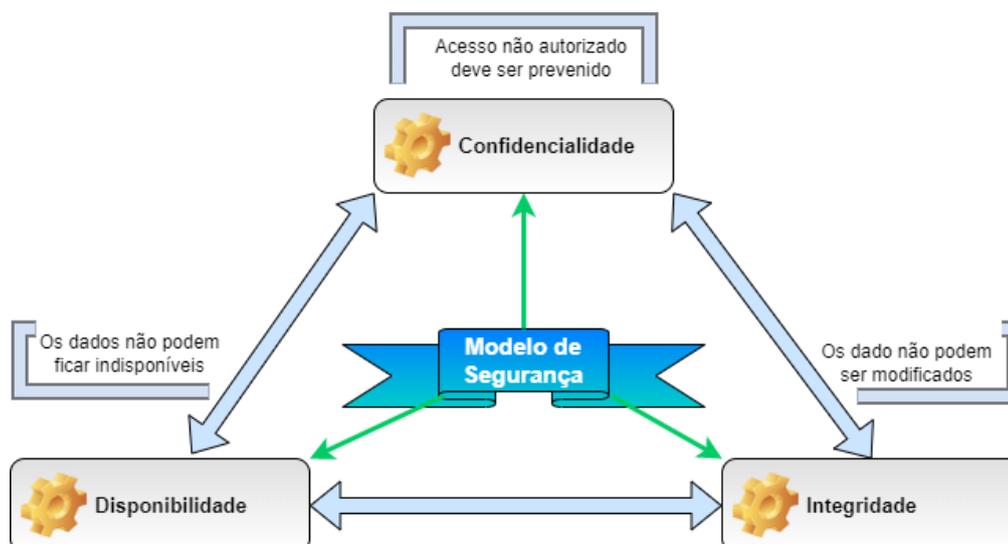
Tabela 4 - Aspectos de Cyber Security para as camadas da arquitetura

Camada	Aspectos Pertinentes a Segurança
	Os dispositivos devem possuir design a prova de violações.
Física	Devem possuir identificação única e imutável. Sistemicamente, o mesmo hardware pode ser utilizado em mais de um animal para uso sustentável dos dispositivos. Uso de <i>blockchain</i> pode ser aplicado para garantir rastreabilidade imutável de uso dos dispositivos(LEME et al., 2020).
Rede	Os dados devem ser protegidos contra alterações e manipulações maliciosas. Criptografia e algoritmos de <i>blockchain</i> podem ser implementados
Edge	Proteção tradicional quanto a ataques cibernéticos via rede ou dispositivos infectados. Dados gerados pelos dispositivos IoT e transmitidos através da rede de sensores devem ser imutáveis.
Aplicação	Dados dos pecuaristas devem estar protegidos, e todo o sistema devem seguir a LGPD O sistema deve ser desenvolvido conforme boas práticas de Engenharia de Software e Computação em Nuvem para eliminar vulnerabilidades

Fonte: elaborado pelo autor.

Para acrescentar robustez a camada de segurança, sugere-se a implementação do modelo de segurança CIA (*Confidentiality, Availability, Integrity*)(FRUSTACI et al., 2018) ou CID se adaptado para o português. O modelo exibido na Figura 31 sustenta-se em três pilares: Confidencialidade, Integridade e Disponibilidade.

Figura 31 - Modelo de Segurança CID



Fonte: adaptado de FRUSTACI et al.(2018)

3.5 Considerações do capítulo

Sugere-se que as camadas da arquitetura IoT para monitoramento de gado de corte sejam implementadas de forma integrada, desta maneira os requisitos levantados podem ser atendidos. A tabela 5 apresenta em quais camadas da arquitetura os requisitos da solução são atendidos.

Tabela 5 - Atendimento dos Requisitos por Camada da Arquitetura

Requisito	Resumo do Requisito	Camada capaz de atender ao requisito
RF1	Coleta e envio de dados de variáveis do animal	Física, Rede
RF2	Processamento de dados e previsão do bem-estar animal	Edge, Aplicação
RF3	Monitoramento das variáveis das pastagens	Física
RF4	Localização e alertas do rebanho	Física, Rede, Edge e Aplicação
RF5	Mapa de calor de ocupação das pastagens	Física, Aplicação
RNF1	Interface amigável e simples	Aplicação
RNF2	Identificação única e a prova de violações	Física, Segurança
RNF3	Baixo custo	Todas as camadas
RNF4	Vida útil mínima do dispositivo	Física

Fonte: elaborado pelo Autor

Baseado em requisitos de negócio e de sistemas, este capítulo apresentou uma arquitetura concisa, porém capaz de solucionar problemas aqui abordados para o pecuarista de corte. A arquitetura busca o estado da arte, utilizando conceitos e soluções maduros, entretanto, como abordado no próximo capítulo, existem desafios para a implementação da arquitetura.

4. DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Diversos pesquisadores apontam para os desafios, não apenas para a segurança cibernética ou geolocalização, mas para a própria transmissão de dados em si para soluções de IoT. A necessidade de alocação dinâmica da rede de sensores acrescenta uma complexidade considerável e a própria características de dispositivos IoT, que possuem capacidade de processamento reduzida e geralmente alimentados são por baterias, torna essa estratégia ainda mais desafiadora (ALMESAEED; JEDIDI, 2021). Além desses desafios técnicos existe também desafios culturais e socioeconômicos para a adoção do IoT que devem ser estimados.

4.1 Desafios Técnicos

Observa-se desafios técnicos em pelo menos três camadas:

Física: Como não é comum que bovinos tenham acessórios vestíveis, como um relógio de pulso para humanos, faz necessário desenvolver um dispositivo IoT com design adequado, considerando o conforto do animal e alta resistência devido a rotina agitada que um boi pode passar. Outro desafio, é o consumo energético e a vida útil da bateria. Seria inviável ter que fechar mais de mil cabeças de gados toda semana ou mês apenas para substituir as baterias dos dispositivos IoT. Portanto este tópico merece um estudo a parte.

Rede: A escolha do protocolo de comunicação também deve levar em consideração o consumo energético, mas o principal desafio desta camada está na falta de infraestrutura em áreas rurais. Apesar de existir tecnologias como a rede LoRa, que possibilita a transmissão de dados por longas distâncias dos dispositivos IoT para um *gateway* que enviará os dados para serem processados na camada de Edge. Ainda existe a falta de conexão com a internet para que a camada de aplicação possa ser atualizada constantemente. A aposta aqui está no desenvolvimento e maturação de tecnologias como o NB-IoT, 5G e a iniciativa privada Starlink.

Segurança: O desafio de implementação presente na camada de segurança não é exclusivo desta arquitetura para monitoramento do gado, e sim de qualquer solução de IoT. Existem trabalhos como o de FRUSTACI et al.(2018) que apresentam uma taxonomia da segurança de solução IoT e enfatizam que a segurança não pode ser atingida sem que toda a integração seja avaliada e tenha os riscos mitigados. É importante que vulnerabilidades em todas as camadas da arquitetura, dispositivos,

software e hardware sejam avaliadas para que o equilíbrio entre proteção máxima e custo-benefício deve seja atingido. A Tabela 6 mostra um comparativo entre aspectos de segurança de TI tradicional e IoT.

Tabela 6 - Segurança TI Tradicional vs Segurança IoT

Segurança TI Tradicional	Segurança IoT
Segurança acoplada	Segurança embutida
Algoritmos complexos	Algoritmos leves para dispositivos de recursos limitados
Controle de usuário	Problemas de privacidade: Soluções IoT geralmente coletam informações privadas do usuário
Baixa heterogeneidade tecnológica	Grande heterogeneidade tecnológica e consequentemente uma área maior para ataques
Vários agentes de segurança	Poucos agentes de segurança
Dispositivos de TI geralmente estão localizados em ambientes fechados e protegidos	Dispositivos IoT estão localizados também em ambientes abertos com baixo ou nenhum controle de acesso

Fonte: adaptado de FRUSTACI et al.(2018)

No geral a arquitetura de IoT sem a camada de segurança estaria exposta a ataques DoS, vazamento de dados, interceptação de dados, ataques na rede e no roteamento, injeção de códigos maliciosos e até mesmo ataques físicos aos dispositivos de IoT(FRUSTACI et al., 2018).

As camadas de Edge e de Aplicação por serem compostas por uma infraestrutura de IT madura, como computadores, bancos de dados e infraestrutura de cloud, não apresentam barreiras de implementação para a arquitetura. O que deve ser avaliado com ressalva é o custo de cada tecnologia, adoção de boas práticas de arquitetura de software e de segurança para estas tecnologias e buscar por soluções *opensource* e hardware com um bom custo-benefício.

4.2 Resistência da classe pecuarista

A classe pecuária apresenta comportamentos semelhantes ao restante da população quanto a adoção de tecnologias, podendo ser agrupada entre inovadores ou pioneiros, adotantes adiantados, maioria adiantada, maioria atrasada e céticos ou resistentes. Fatores como idade, nível educacional, renda e inclusive infraestrutura de telecomunicação influenciam na tomada de decisão para adotar ou não determinada

tecnologia. MACHADO e NANTES (2011) realizaram uma pesquisa com 2000 pecuaristas membros de uma associação de criadores de gado de corte, para identificar padrões de comportamento da classe pecuarista em adotar ou rejeitar o uso de determinada tecnologia de TI. Dados interessantes foram obtidos, boa parte dos pecuaristas, 62,51% já utilizam algum software para suporte ao manejo do rebanho, 50,88% das propriedades utilizam algum tipo de identificação eletrônica passiva nos animais (brincos, código de barras e leitores), entretanto, um quarto dos proprietários não pretendiam adotar essa tecnologia, devido a custos ou resistência ao uso de tecnologia. Aproximadamente 28% dos pecuaristas entrevistados apenas, possuíam internet na propriedade e a falta de infraestrutura foi apontada como um dos principais desmotivadores para a adoção de diversas tecnologias de TI. Tecnologias de IoT devem passar pela mesma resistência por pecuaristas. Vale ressaltar que o trabalho de MACHADO e NANTES (2011), apesar de completo e bem estruturado, foi aplicado a uma classe específica de produtores e certamente com uma melhor situação financeira e acesso à educação, pois cerca de 86% da amostra é de propriedades de pelo menos 250ha e 500 cabeças de gado e 90% dos pecuaristas da amostra reside na área urbana.

O nível de resistência ao uso de tecnologia certamente irá aumentar se o estudo for estendido ao restante da população. Segundo o Censo Agro realizado pelo IBGE em 2017, existem no país cerca de 1.450.000 propriedades de 5ha a 50ha. Outro fator interessante de se analisar é que, ainda de acordo com o IBGE, apenas 5,5% dos produtores brasileiros (considerando toda a classe agropecuária) possuem ensino superior, enquanto mais de 70% da amostra do estudo possuía ensino superior. Logo, quanto maior o acesso à informação e a educação, menor será a barreira para adoção da classe pecuarista ao IoT. Como o intuito é criar uma adoção em escala, como ocorreu com os *smartphones*, uma estratégia robusta de implementação para atingir a massa pecuarista deve ser explorado em trabalhos futuros.

O estudo de LONG, BLOK e CONINX (2016) faz um esforço mais aprofundado para identificar quais barreiras de adoção de tecnologias são impostas aos agropecuaristas no continente europeu. Analisando de maneira genérica, observa-se que o custo inicial de investimento, sem evidências claras de retorno no curto médio prazo, somado à linguagem científico-tecnológica dos provedores de soluções, criam uma barreira difícil de ser superada.

O paradigma da IoT tem como um dos principais apelos o baixo custo, por utilizar dispositivos mais simples e tecnologias *opensource* para compor as aplicações. Porém, ao avaliar o cenário macroeconômico brasileiro, cuja moeda está desvalorizada em comparação ao dólar, e a maioria dos componentes eletrônicos são importados, o custo inicial de implantação de infraestrutura e dispositivos pode gerar uma barreira à adoção da IoT. Neste cenário torna-se importante oferecer ao produtor um estudo econômico preciso e claro sobre a adoção de novas tecnologias e utilizar da própria comercialização dos dados para contrabalancear os gastos do investimento inicial necessário.

A falta de conhecimento, treinamento e suporte adequado em conjunto com opiniões e forte crenças do pecuárias pioram a situação e nem sempre, o provedor da tecnologia está preparado para persuadir o produtor rural a adotar uma nova técnica ou inovação tecnológica. Assim, mesmo em países desenvolvidos, observa-se uma aversão não apenas à tecnologia, mas também aos provedores, uma vez que a linguagem utilizada na explicação e apresentação dos produtos, difere consideravelmente da linguagem presente no dia a dia do pecuarista, esse desencontro na comunicação gera um desinteresse simplesmente por não compreenderem a mensagem transmitida.

4.3 Considerações do Capítulo

O capítulo evidencia desafios que devem ser explorados para a melhoria contínua da arquitetura IoT proposta. Ainda existe dificuldades técnicas para a adoção completa da arquitetura em qualquer região do território brasileiro. Apesar dos desafios, a arquitetura pode ser implementada no curto prazo em fazendas ou pequenas propriedades que já possuem conexão à internet. À medida que a infraestrutura de conexão do país evoluir nos próximos dois ou três anos, a arquitetura de IoT, se implementada em breve, terá passado por períodos de validação e aplicabilidade técnica, fazendo com que a adoção em áreas remotas seja simplificada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de IoT para a transformação do manejo é iminente, entretanto ela deve apresentar uma relação custo-benefício favorável e ser acessível às diferentes classes de pecuaristas, de maneira que a concorrência no setor seja justa e socialmente e ambientalmente sustentável. Observa-se uma corrida tecnológica saudável em busca da modernização do setor agropecuário brasileiro, no qual um dos propulsores das empresas e entidades de pesquisa, é o paradigma da IoT.

5.1 Conclusões e Contribuições do Trabalho

A arquitetura de aplicação IoT proposta neste trabalho serve como guia e ponto de partida para orientar profissionais dos setores tecnológicos e agropecuário. Apesar de propor uma arquitetura de estado da arte destinada ao setor pecuário de corte brasileiro, que poderia ser transposta para diversas propriedades rurais, o trabalho buscou focar em soluções realistas e expõe as principais dificuldades de implementação da IoT no meio rural. Prevê-se que esta arquitetura possa ser empregada em sua potencialidade no médio-longo prazo, com a maturação e evolução das tecnologias habilitadoras da IoT. A disseminação do 5G e incentivo aos próprios pecuaristas para que possam investir na infraestrutura necessária, podem potencializar a adoção do IoT para otimizar o manejo do gado de corte em pastagens abertas.

O trabalho aproxima ainda dois setores da economia brasileira, o tradicional setor pecuário brasileiro, que historicamente contribuiu e permanecerá contribuindo para a composição do PIB brasileiro, e o setor tecnológico através do IoT. A arquitetura deste trabalho, projetada para atender à realidade brasileira, irá contribuir para trabalhos futuros integrando os dois setores. O principal resultado aqui exposto é a integração entre tecnologia, ciência e manejo, na qual o próprio comportamento do animal é utilizado para orientar a implementação proposta baseada na IoT, utilizando recursos reduzidos e oferecendo transparência para o pecuarista quanto a eficiência das técnicas de manejo aplicadas.

A digitalização do rebanho deve colocar o bem-estar animal como ponto focal nas técnicas de manejo. Como resultado, pecuaristas serão capazes de criar animais mais saudáveis, reduzir o período de transição de cria, engorda e abate, reduzir custos com medicamentos e suplementação alimentar para os bovinos que precisam de alimentação extra para recuperar o peso e vigor físico.

Estes benefícios implicam em aumento da produtividade, logo redução da necessidade de impactar o meio ambiente com expansão de pastagens. A solução implementada a partir da arquitetura IoT proposta servirá como mecanismo de

auditoria de boas práticas para criação de gado e como artifício composto por dados concretos e precisos para aumentar o controle, monitoramento e combate ao desmatamento das florestas brasileira por pecuaristas inconscientes.

5.2 Trabalhos Futuros

Lewrick, Link e Leifer(2018) propõem um 12º passo na aplicação no modelo de *Lean Canvas*, denominado de Relatórios Experimentais que, através de experimentos, prototipagem e testes, tenta responder a seguinte pergunta: Como as hipóteses e teorias aqui levantadas podem ser testadas?

Após a realização destes testes, uma reflexão aprofundada sobre a viabilidade da arquitetura IoT pode ser realizada e documentada.

Neste contexto, ao menos três linhas de trabalhos futuros devem ser executadas em sequência a este estudo. A primeira deve colocar a experiência do pecuarista e dos animais no centro do problema, coletar dados a partir de métodos científicos que possibilitarão criar um mapa de empatia do pecuarista e do bovino (LEWRICK; LINK; LEIFER, 2018). A importância deste estudo dá-se a necessidade de encontrar um método que possa contribuir para quebrar a resistência a adoção do IoT de maneira simples e eficaz. O segundo trabalho futuro consistirá em validar a camada de rede aqui proposta. A solução deve passar pela etapa de prototipação, para que possa ser experimentada em larga escala. Desta maneira, a teoria de utilizar o comportamento bovino como método de otimização da localização e transferência de dados por todas as camadas, suportada pela adoção do 5G, pode ser validada. Por fim, o terceiro trabalho, baseado nos resultados das análises da experiência do pecuarista e do rebanho inseridos no ecossistema da arquitetura IoT, deve focar no modelo de negócio, tanto do provedor da solução IoT quanto do pecuarista, cujo objetivo é propor uma solução viável e ajustada economicamente ao mercado brasileiro.

REFERÊNCIAS

ABIEC; CARNES, A. B. DAS I. E. DE. **Perfil da pecuária no Brasil BeefREPORT**.

[s.l: s.n.]. Disponível em:

<<http://www.abiec.com.br/control/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>>.

AHMED, J. et al. How the supply landscape for global meat consumption will evolve

McKinsey. [s.l.] 2020

AL-QASEEMI, S. A. et al. IoT architecture challenges and issues: Lack of standardization. In: FTC 2016. **Proceedings of Future Technologies Conference**, n. December, p. 731–738, 2017.

ALGAYER, N. S. **EFEITOS DE AGENTES ESTRESSORES SOBRE OS NÍVEIS SÉRICOS DE CORTISOL E TAXA DE PRENHEZ EM VACAS NELORE (BOS INDICUS) SUBMETIDAS À IATF**. Curitiba, 2016.

ALLFLEX. **SenseHub Beef**. Disponível em:

<<https://www.allflex.global/na/product/sensehub-solution-for-beef-cows/>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

ALMESAED, R.; JEDIDI, A. Dynamic directional routing for mobile wireless sensor networks. **Ad Hoc Networks**, v. 110, n. July 2020, p. 102301, 2021.

ALONSO, R. S. et al. An intelligent Edge-IoT platform for monitoring livestock and crops in a dairy farming scenario. **Ad Hoc Networks**, v. 98, p. 102047, 2019.

AMARAL, T. B. et al. **Demandas tecnológicas dos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil – Pecuária de Precisão**. Embrapa Gado de Corte, p. 19, 2016.

AWS. **AWS Architecture**. Disponível em:

<<https://docs.aws.amazon.com/solutions/latest/real-time-iot-device-monitoring-with-kinesis/architecture.html>>. Acesso em: 23 set. 2021.

BERNARDI, A. C. DE C. et al. **Potencial de uso das tecnologias de agricultura e pecuária de precisão e automação**. Embrapa Pecuária Sudeste, n. May, p. 1–25, 2017.

BOSCH. **Pecuária Bosch**. Disponível em: <<https://pecuaria.bosch.com.br/>>. Acesso

em: 13 jul. 2021.

BUNGENSTAB, D. J. **Demandas tecnológicas dos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil – Sustentabilidade ambiental**. Embrapa Gado de Corte p. 19, 2016.

CHOQUEHUANCA-ZEVALLOS, J. J.; MAYHUA-LOPEZ, E. A Low-Cost IoT Platform for Heat Stress Monitoring in Dairy Cattle. In: 2021 IEEE THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND COMMUNICATION SYSTEMS. **Proceedings** p. 982–986, 2021.

CQPD. **Dojot Architecture**. Disponível em:

<<https://dojotdocs.readthedocs.io/en/latest/architecture.html>>. Acesso em: 23 set. 2021.

DELBONI LOMBA, L. F. et al. Sistema para Monitoramento da Movimentação Bovina e Aferição dos Comportamentos. In: **XI Congresso Brasileiro de Agroinformática (SBIAgro 2017)**. **Anais ...** Campinas, São Paulo, 2 a 6 de outubro de 2017 SBIAgro~, n. SBIAgro, p. 363–373, 2017.

DICK, M.; ABREU DA SILVA, M.; DEWES, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 2015.

DIENG, O. et al. A Study on IoT Solutions for Preventing Cattle Rustling in African Context. In: CEUR Workshop. **Proceedings ...**, v. 2657, p. 1–9, 2020.

ELOY, Â. M. X. Estresse na Produção Animal. Cunicado Técnico, Sobral: **Embrapa Caprinos**, 2007. p. 1–7, 2007.

EMBRAPA GADO DE CORTE. O Futuro da Cadeia Produtiva da Carne Bovina Brasileira: uma visão para 2040. **Embrapa Gado de Corte-Outras publicações técnicas** (INFOTECA-E). [s.l.: 2020.].

EMPRAPA. **Internet das Coisas monitora produtividade e bem-estar animal em sistemas de ILPF**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63903853/internet-das-coisas-monitora-produtividade-e-bem-estar-animal-em-sistemas-de-ilpf>>. Acesso em: 28 dez. 2021.

ERICSSON. **Cobrando o campo com IoT Celular: Um Guia para a transformação digital do Agronegócio**. São Paulo, 2020

- ESPRESSIF. **ESP32-WROOM-32E & ESP32-WROOM-32UE Datasheet**, 2021.
- FIWARE. **FIWARE**. Disponível em: <<https://www.fiware.org/developers/catalogue/>>. Acesso em: 23 set. 2021.
- FRUSTACI, M. et al. Evaluating critical security issues of the IoT world: Present and future challenges. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 4, p. 2483–2495, 2018.
- GONSALVES NETO, J. ET AL. Comportamento social dos ruminantes. **Revista Eletrônica Nutrime**, v. 6, n. 4, p. 1039–1055, 2009.
- GUHL, A. M.; ATKESON, F. . W. Social Organization in a Herd of Dairy Cows. **Transactions of the Kansas Academy of Science**, v. 62, n. 1, p. 80–87, 1959.
- HU, L.; EVANS, D. Localization for mobile sensor networks. In: Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM, **Proceedings ...**, p. 45–57, 2004.
- IBGE. **IBGE | Projeção da população**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>.
- JANICEK, V. et al. IoT monitoring system for farmers. In: ASDAM 2020 - 13th International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, **Proceedings ...** p. 59–64, 2020.
- JETBOV. **Jetbov**. Disponível em: <<https://jetbov.com/>>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- JOSHITHA, C. et al. Lorawan based cattle monitoring smart system. In: **7th International Conference on Electrical Energy Systems, ICEES 2021, Proceedings ...**, p. 548–552, 2021.
- KNIPPEN;, J. T.; GREEN, T. B. Problem solving Problem solving. **Journal of Workplace Learning**, v. 9, n. May, p. 98–99, 1997.
- LATAWIEC, A. E. et al. Improving land management in Brazil: A perspective from producers. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 240, p. 276–286, 2017.
- LEME, L. et al. Secure Cattle Stock Infrastructure for the Internet of Things using Blockchain. In: 2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2020, **Proceedings ...**, p. 337–341, 2020.
- LEWRICK;, M.; LINK, P.; LEIFER, L. **The Design Thinking Playbook**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2018.

LI, Q.; LIU, Z.; XIAO, J. A Data Collection Collar for Vital Signs of Cows on the Grassland Based on LoRa. In: 2018 IEEE 15th International Conference on e-Business Engineering, ICEBE 2018, **Proceedings ...**, p. 213–217, 2018.

LONG, T. B.; BLOK, V.; CONINX, I. Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate-smart agriculture in Europe: Evidence from the Netherlands, France, Switzerland and Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 9–21, 2016.

MAROTO-MOLINA, F. et al. A low-cost IOT-based system to monitor the location of a whole herd. **Sensors** (Switzerland), v. 19, n. 10, 2019.

MARTELLO, L. S. zootecnia de precisão ZP Conceitos Aplicações e Desafios. **Anais ...**. Santos, 2017.

MAURYA, A. **Running Lean: Iterate from Plan A to a Plan That Works**. 2nd. ed. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc, 2012.

MICROSOFT. **Microsoft Azure IoT Reference Architecture**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://download.microsoft.com/download/A/4/D/A4DAD253-BC21-41D3-B9D9-87D2AE6F0719/Microsoft_Azure_IoT_Reference_Architecture.pdf>.

MOOCALL. **Moocall**. Disponível em: <<https://www.moocall.com/>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

MOOVEMENT. **mOOvement**. Disponível em: <<https://www.moovement.com.au/gps-ear-tags>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

MUNOZ, C. et al. PTZ camera tuning for real time monitoring of cows in grazing fields. In: 2020 IEEE 11th Latin American Symposium on Circuits and Systems, LASCAS 2020, **Proceedings ...**, p. 20–23, 2020.

NFC GROUP. **Tracks360**. Disponível em: <<https://www.tracks360.com/asset-tracking-solutions/asset-tracking-applications/livestock-tracking-system/>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

PAULINO, M. F. et al. Bovinocultura de precisão em pastagens. In: V Simpósio de Produção de Gado de Corte. **Proceedings ...**, n. June, p. 361–412, 2006.

MARTIN, R **Arquitetura Limpa: O Guia do Artesão para Estrutura e Design de Software**, 2018

POHL, K.; RUPP, C. **Requirements Engineering Fundamentals**. 2nd. ed. Santa Barbara, CA. 2016

QUANTIFIEDAG. **QuantifiedAG**. Disponível em: <<https://quantifiedag.com/>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Raspberry Pi**. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/>>. Acesso em 20 set. 2021

SEMTECH. **Ultimate Network Comparison-web**. Disponível em: <[https://info.semtech.com/hubfs/Ultimate Network Comparison-master-v3-web.pdf?hsCtaTracking=303ccd60-8df8-439b-9296-25325c8fd274%7Ce3b870dd-1220-4d2a-9758-2745f05d4e6d](https://info.semtech.com/hubfs/Ultimate%20Network%20Comparison-master-v3-web.pdf?hsCtaTracking=303ccd60-8df8-439b-9296-25325c8fd274%7Ce3b870dd-1220-4d2a-9758-2745f05d4e6d)>. Acesso em: 10 out. 2021.

SITTÓN-CANDANEDO, I. et al. A review of edge computing reference architectures and a new global edge proposal. **Future Generation Computer Systems**, v. 99, n. 2019, p. 278–294, 2019.

STARLINK. **Starklink**. Disponível em: <<https://www.starlink.com/>>. Acesso em: 28 out. 2021.

SUSEENDRAN, G.; BALAGANESH, D. Smart cattle health monitoring system using IoT sensors. In: MATERIALS TODAY: **Proceedings ...**, n., 2021.

TAGOIO. **TagoIO Basic Archicture**. Disponível em: <<https://tago.io/blog/the-6-things-to-consider-when-building-your-own-or-selecting-an-iot-platform/>>. Acesso em: 23 set. 2021.

TANEJA, M. et al. Connected Cows: Utilizing Fog and cloud Analytics Toward Data-Driven Decisions for Smart Dairy Farming. In: 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), **Proceedings ...**, v. 19, n. 1, p. 746–750, 2017.

TANG, Y. et al. A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 180, n. September 2020, p. 105895, 2021.

TECH, A. R. B. et al. Uma análise de deslocamento de rebanho bovino através dos modelos random walk e browniano. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 223, p. 345–356, 2009.

THRUN, S. et al. Robust Monte Carlo localization for mobile robots. **Artificial Intelligence**, v. 128, n. 1–2, p. 99–141, 2001.

Russo, A. **A ampliação do tempo de vida útil de dispositivos IoT remotos por meio de captação de energia do ambiente em redes LoRa®/LoRaWAN™**. 2022. p. 80. Monografia (MBA em Internet of Things). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2021.

TIM. **Mapa cobertura rede NB-IoT TIM**. Disponível em:

<<https://site.tim.com.br/rj/para-voce/cobertura-e-roaming/mapa-de-cobertura>>.

Acesso em: 1 nov. 2021.

UNOLD, O. et al. IoT-Based Cow Health Monitoring System. **Springer Nature Switzerland**, v. 1, p. 344–356, 2020.

VANNIEUWENBORG, F.; VERBRUGGE, S.; COLLE, D. Designing and evaluating a smart cow monitoring system from a techno-economic perspective. In: Joint 13th CTTE and 10th CMI Conference on Internet of Things - Business Models, Users, and Networks, **Proceedings ...** v. 2018- Janua, p. 1–8, 2017.

VELOSA, A. et al. **Hype Cycle for the Internet of Things**, 2020. Disponível em:

<<https://www.gartner.com/en/documents/3987602/hype-cycle-for-the-internet-of-things-2020>>. Acesso em: 17 jul. 2021.

WA MAINA, C. IoT at the grassroots - Exploring the use of sensors for livestock monitoring. In: 2017 IST-Africa Week Conference, IST-Africa. **Proceedings ...**, 2017, p. 1–8, 2017.

WATHES, C. M. et al. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 64, n. 1, p. 2–10, 2008.

ANEXO I

Implementação de uma solução simplificada a partir da arquitetura proposta.

Figura 32 - Implementação Simplificada

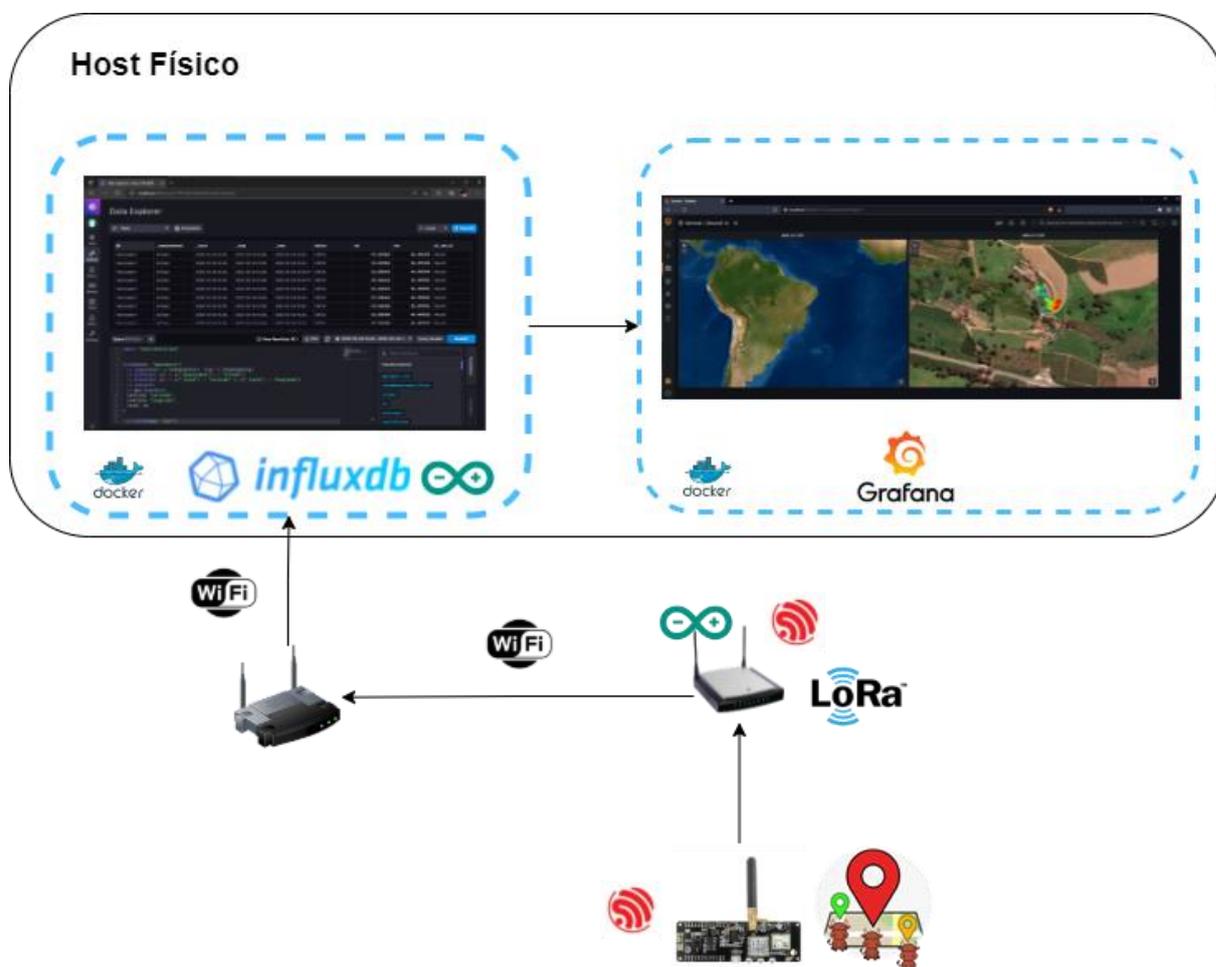


Figura 33 - Dispositivos e voluntários



Figura 34 - Interface usuário - Georreferenciamento

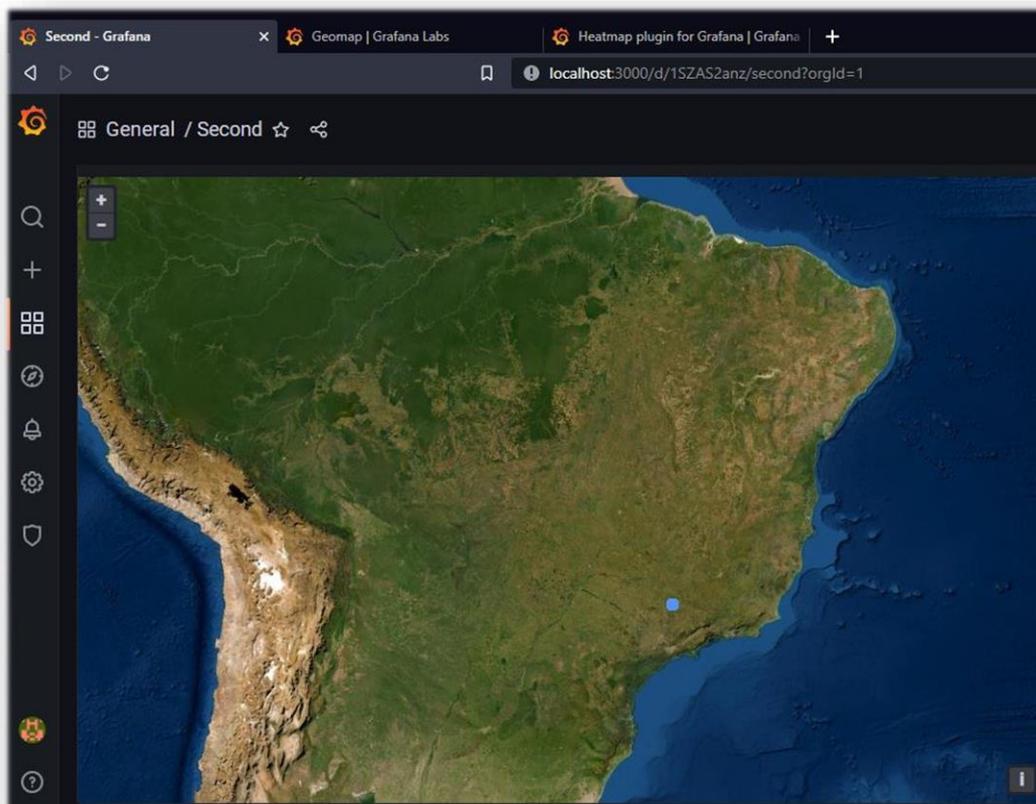


Figura 35 - Interface usuário - Mapa de calor do rebanho dentro da propriedade

