

APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NA PECUÁRIA: DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA GESTÃO DE REBANHOS

Lucas Borges Ezirio Ribeiro¹, Matheus Leandro Ferreira²

Resumo: O agronegócio brasileiro busca soluções digitais para aumentar a produtividade e a rastreabilidade sem complicar o manejo. Este artigo apresenta um aplicativo de gestão de rebanhos integrado a RFID (Radio-Frequency Identification) passivo, validado em campo. Cada animal possui uma tag e uma antena instalada no saleiro realiza leituras automáticas sempre que o bovino entra na área de alcance. As detecções ocorrem a cada 30 minutos, e animais não identificados são destacados na interface. A arquitetura proposta envolve um aplicativo Android desenvolvido em Java, banco de dados PostgreSQL para persistência e serviços em nuvem para segurança. O desenvolvimento incluiu levantamento de requisitos, prototipagem, testes em campo e análise de desempenho. Resultados preliminares mostram maior agilidade no inventário, redução de falhas e melhoria na rastreabilidade, com ajustes necessários no posicionamento da antena e na conectividade. A solução visa simplicidade, viabilidade prática e escalabilidade, sendo adequada para pequenas e médias propriedades. Ao automatizar processos e fornecer dados confiáveis, o aplicativo contribui para a eficiência operacional, conformidade sanitária e bem-estar animal, fortalecendo a competitividade da pecuária brasileira.

Palavras-chave: gestão de rebanhos; rastreabilidade; RFID; sustentabilidade no agronegócio.

¹Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), lucasbjs12@hotmail.com

²Orientador. Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), mlf@unesc.net

ABSTRACT: Brazilian agribusiness is seeking digital solutions to increase productivity and traceability without complicating management. This article presents a field-validated herd management application integrated with passive RFID. Each animal has a tag, and an antenna installed at the salt lick performs automatic readings whenever the bovine enters the range area. Detections occur every 30 minutes, and unidentified animals are highlighted in the interface. The proposed architecture involves an Android application developed in Java, a PostgreSQL database for persistence, and cloud services for security. The development included requirements gathering, prototyping, field testing, and performance analysis. Preliminary results show greater agility in inventory, a reduction in errors, and improved traceability, with necessary adjustments needed in antenna positioning and connectivity. The solution aims for simplicity, practical viability, and scalability, making it suitable for small and medium-sized properties. By automating processes and providing reliable data, the application contributes to operational efficiency, sanitary compliance, and animal welfare, strengthening the competitiveness of the Brazilian livestock industry.

Keywords: herd management; traceability; RFID; sustainability in agribusiness;

1 INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira ocupa posição de destaque no cenário econômico global, respondendo por parcela expressiva da produção e exportação de carne bovina. Apesar desse protagonismo, a gestão de rebanhos em propriedades de médio e grande porte ainda enfrenta desafios relevantes, sobretudo na contagem precisa e no monitoramento contínuo dos animais. Métodos tradicionais, como registros manuais e observação visual, permanecem predominantes em muitas fazendas, mas apresentam elevada margem de erro, com impactos diretos sobre nutrição, reprodução e controle sanitário, comprometendo produtividade e lucratividade (Silva, 2022; Silva, 2021).

O controle manual, ainda que difundido, mostra-se limitado pela dificuldade de integração com outros processos de gestão rural. Em áreas extensivas de pastagem, o deslocamento livre dos animais torna a conferência ainda mais imprecisa, exigindo mão de obra intensiva e elevando custos operacionais. A ausência de sistemas centralizados de monitoramento amplia a vulnerabilidade a falhas humanas e dificulta decisões rá-

pidas e embasadas, resultando em modelos de gestão menos eficazes e menos sustentáveis (Harn, 2023).

Nesse contexto, a transformação digital do agronegócio, denominada Agro 4.0, tem se consolidado como caminho promissor para modernizar a pecuária. Tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, visão computacional e identificação por radiofrequência (RFID) vêm possibilitando ganhos de precisão, rastreabilidade e integração entre áreas da produção. Em vez de promessas genéricas de automação, a literatura recente aponta que arquiteturas conectadas permitem melhor visibilidade do rebanho, consolidação histórica dos dados e intervenções mais oportunas, com benefícios diretos à eficiência e à conformidade sanitária (Fernandes, 2021; Hu et al., 2022).

A evidência científica reforça que a automação no manejo traz ganhos em produtividade, sustentabilidade e bem-estar animal. Sensores e dispositivos vestíveis, como coleiras eletrônicas, viabilizam o acompanhamento de variáveis fisiológicas e comportamentais, suportando ações preventivas e personalizadas (Silva; Oliveira, 2020; Berckmans, 2017). Além de melhorar a acurácia dos registros, a digitalização reduz tarefas repetitivas, libera a equipe para atividades estratégicas e fortalece a rastreabilidade, requisito cada vez mais exigido por mercados internacionais (Silva, 2021).

A implementação de sistemas integrados de monitoramento representa uma mudança de paradigma na gestão do rebanho. Combinando sensores de proximidade, geolocalização (GPS) e aplicativos móveis, o pecuarista pode acompanhar localização, presença e padrões de comportamento dos animais mesmo à distância, o que amplia a visão operacional da propriedade e favorece respostas rápidas a desvios antes que se agravem (Oliveira, 2017). Para propriedades extensivas, nas quais o deslocamento físico é custoso e demorado, essa visibilidade remota economiza tempo, reduz custos e aumenta a eficiência da gestão.

Além de mitigar furtos e perdas de animais, o monitoramento contínuo potencializa o acompanhamento produtivo, a detecção precoce de enfermidades e a gestão do uso do solo. Ao investir em soluções digitais, o produtor não apenas protege seu patrimônio, mas também impulsiona a produtividade e reforça a sustentabilidade do sistema produtivo.

Inserido nesse cenário, este trabalho desenvolve e testa em campo uma solução prática de gestão de rebanhos que integra RFID passivo a um aplicativo móvel. Cada animal porta uma tag eletrônica, e uma antena po-

sicionada no saleiro realiza leituras automáticas quando o bovino entra em alcance. As detecções são sincronizadas a cada 30 minutos com o servidor, e ausências na janela vigente são sinalizadas em vermelho na interface para pronta ação do produtor. O aplicativo consolida perfis individuais com peso, idade, pelagem, invernada, vacinação e histórico reprodutivo, além de imagens e eventos, oferecendo uma visão unificada e rastreável do rebanho. Essa abordagem foi concebida para médias e grandes propriedades, operação offline temporária e envio assíncrono quando a conectividade retorna, alinhando-se às demandas contemporâneas de inovação, competitividade e sustentabilidade na pecuária.

2 TRABALHOS CORRELATADOS

Para compreender o cenário atual das tecnologias aplicadas ao gerenciamento de rebanhos bovinos e identificar lacunas de pesquisa, foram analisados estudos que utilizam microcontroladores (como Arduino e ESP32), sensores e redes de comunicação de baixo consumo. A seguir, são apresentados os trabalhos mais relevantes, considerando suas metodologias e principais resultados.

2.1 APLICATIVO PARA GESTÃO ZOOTÉCNICA EM PROPRIEDADES RURAIS

A pesquisa conduzida teve como objetivo o desenvolvimento de um aplicativo móvel voltado à gestão zootécnica de propriedades rurais. O sistema foi projetado para registrar e acompanhar dados reprodutivos, sanitários, genéticos e de produtividade do rebanho, possibilitando o uso mesmo em regiões com acesso limitado à internet.

A metodologia baseou-se em entrevistas com produtores e testes em campo com coleta de dados offline-first, que posteriormente eram sincronizados ao servidor quando havia conectividade. Os resultados demonstraram que o uso de aplicativos móveis auxilia na tomada de decisões no campo, reduz erros de anotação e melhora a rastreabilidade dos animais.

O estudo ainda destacou funcionalidades como controle de acesso por perfis (médico-veterinário, gerente, capataz), alertas para eventos críticos e dashboards analíticos para monitorar ganho médio diário e taxa de desmame, consolidando uma visão gerencial eficiente do rebanho (Silva, 2018).

2.2 UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES PARA ALIMENTAR LEITORES RFID EM ÁREAS RURAIS REMOTAS

O trabalho desenvolvido por Carvalho (2020) propôs o uso de painéis solares como fonte de energia para alimentar leitores RFID em áreas remotas, permitindo a aplicação da tecnologia em locais sem acesso à rede elétrica.

A metodologia envolveu a montagem de um protótipo composto por leitor RFID, antena UHF e módulo fotovoltaico com bateria de ciclo profundo, testado em uma fazenda experimental durante 90 dias. Além de verificar a autonomia energética, o estudo avaliou o alcance e a precisão das leituras em diferentes condições de umidade e temperatura.

Os resultados indicaram redução da necessidade de manutenção e viabilidade do sistema para monitoramento contínuo do rebanho. De forma complementar, Pereira (2019) analisou o impacto da identificação eletrônica por RFID na modernização da pecuária, destacando ganhos em rastreabilidade e segurança, enquanto Almeida e Lima (2022) apresentou soluções de baixo custo com antenas fixas em bebedouros e cochos, salientando desafios como colisão de sinais e desgaste físico dos brinco. Em conjunto, esses trabalhos confirmam que o RFID, aliado à energia solar, é uma alternativa sustentável e eficiente para controle automatizado do rebanho.

2.3 GEOLOCALIZAÇÃO DE REBANHOS COM LORAWAN E GPS: ESTUDO DE EFICIÊNCIA EM PASTAGENS EXTENSIVAS

A pesquisa realizada por Oliveira (2021b) abordou o uso de coleiras inteligentes equipadas com GPS e acelerômetro, comunicando-se por redes de baixo consumo como LoRaWAN e NB-IoT.

O objetivo do estudo foi avaliar a eficácia dessas tecnologias na localização e monitoramento comportamental de bovinos em áreas extensivas. A metodologia consistiu na instalação de gateways LoRaWAN em pontos estratégicos da propriedade (curral, sede e bebedouro) e na análise de deslocamento de 50 animais durante 30 dias.

Os resultados demonstraram a viabilidade de recursos como geofencing (cercas virtuais), mapas de calor de pastejo e alertas de imobilidade prolongada, indicando possível enfermidade ou parto. O autor observou, contudo, que o dossel vegetal reduz a acurácia do GPS e propôs o uso de filtros de Kalman e amostragem adaptativa para economizar energia sem perder eventos críticos. O estudo conclui que o uso combinado de

sensores e redes LPWAN melhora a eficiência e a segurança na gestão do rebanho (Oliveira, 2021b)

2.4 VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA AO MONITORAMENTO DE REBANHO EM ÁREAS ABERTAS: DESAFIOS E PERSPECTIVAS

O estudo conduzido por Lima (2019) apresentou o uso de visão computacional e drones para contagem automática de bovinos em porteiras e piquetes. A pesquisa utilizou câmeras RGB e térmicas, aliadas a modelos de detecção de objetos, com o objetivo de reduzir o tempo de inventário e aumentar a precisão da contagem.

A metodologia envolveu a comparação entre contagens automáticas e manuais em diferentes condições de iluminação e densidade de animais.

Os resultados mostraram acurácia média de 92 por cento, com limitações relacionadas a oclusões e variação de luminosidade. Em estudos complementares, Costa (2018), Moraes (2017) aplicaram balanças de passagem integradas à identificação eletrônica individual (EID), automatizando o registro de peso e correlacionando ganho médio diário a eventos reprodutivos e sanitários. Mendes (2020), Castro (2018), por sua vez, propuseram arquiteturas orientadas a eventos que consolidam dados de EID, GPS e sensores ambientais em painéis analíticos, permitindo análises preditivas de cio e risco sanitário. Esses resultados reforçam o potencial das soluções baseadas em visão computacional e integração de dados para ampliar a automação e a tomada de decisão em tempo real na pecuária.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A concepção do sistema teve como ponto de partida a necessidade de automatizar e modernizar o controle do rebanho, reduzindo erros humanos e aumentando a eficiência do manejo em pequenas e médias propriedades. Para isso, foi desenvolvida uma solução baseada na tecnologia RFID, integrada a um aplicativo móvel multiplataforma e a uma infraestrutura de banco de dados em nuvem. O sistema foi concebido com foco em escalabilidade e fácil operação em ambientes com conectividade limitada.

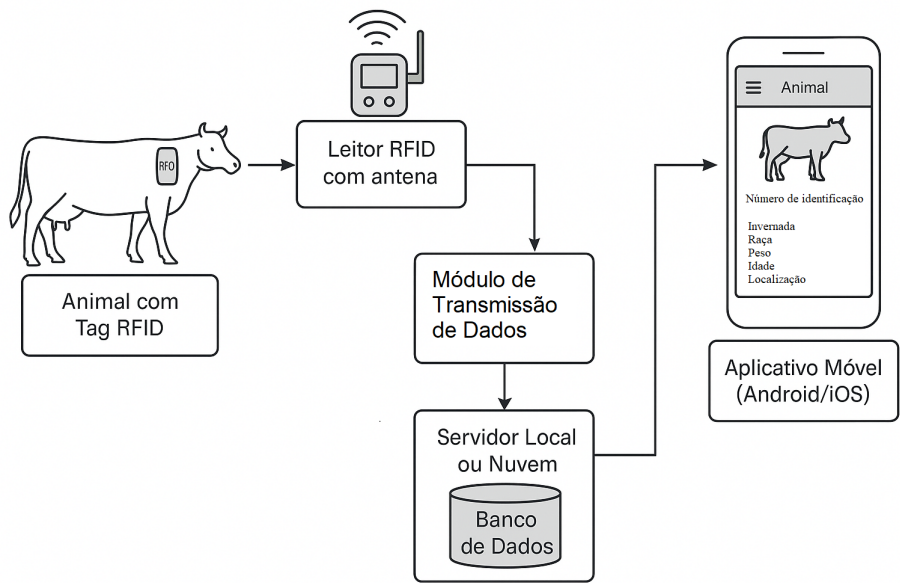
A proposta combina hardware e software em uma arquitetura modular, contemplando os seguintes componentes principais: etiquetas eletrônicas RFID, antena leitora instalada no saleiro, microcontrolador intermediário para processamento local, servidor de dados e aplicativo móvel para acompanhamento do <http/https>. Essa estrutura permite a identificação

automática de cada animal, o armazenamento centralizado das leituras e a visualização das informações em tempo real pelo produtor.

3.1 ARQUITETURA DO SISTEMA

O sistema foi estruturado em camadas integradas, conforme ilustrado na Figura 1, com o objetivo de garantir desempenho, modularidade e flexibilidade na operação. Essa abordagem em múltiplos níveis permite isolar responsabilidades e facilitar a manutenção e a evolução futura do sistema.

Figura 1 - Arquitetura geral do sistema



Fonte: Do Autor.

A camada de identificação é composta por brincos eletrônicos RFID passivos, padrão ISO 18000-6C (EPC Gen2), que armazenam um código único de identificação para cada animal, assegurando rastreabilidade e individualização dos registros.

A Figura 2 ilustra a aplicação prática da tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) no rebanho. O brinco RFID verde foi alocado na orelha do animal, permitindo a identificação automática e individual de cada bovino.

Figura 2 - Brinco RFID verde alocado na orelha do bovino



Fonte: Do Autor.

Na camada de captura, encontra-se a antena UHF de alta potência, responsável pela leitura das tags e pela transmissão dos dados coletados. Essa camada atua como elo entre os dispositivos físicos e o processamento digital, garantindo que as informações sejam capturadas de forma eficiente e contínua.

A camada de processamento local foi implementada em um microcontrolador Raspberry Pi. Nela ocorre a filtragem de leituras duplicadas, o tratamento de erros e o envio dos registros para o servidor. Esse processamento intermediário reduz a carga sobre o sistema central e assegura maior confiabilidade dos dados.

A camada de aplicação compreende o aplicativo móvel e a API desenvolvida em Spring Boot (Java), que gerenciam os dados coletados,

exibem alertas e consolidam relatórios. Essa camada oferece a interface de interação com o usuário e centraliza a lógica de negócio da solução.

Por fim, a camada de persistência e nuvem é composta por um banco de dados PostgreSQL, responsável por armazenar as informações dos animais, leituras RFID e eventos de manejo. Os dados são sincronizados periodicamente com o servidor em nuvem no Render, o que garante segurança, disponibilidade e integridade das informações.

Essa arquitetura distribuída possibilita o funcionamento no modo offline-first, permitindo que o sistema continue operando mesmo sem conexão à internet. As leituras são armazenadas localmente e transmitidas automaticamente assim que a conectividade é restabelecida, assegurando a continuidade operacional no campo.

3.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

O processo de desenvolvimento do sistema foi dividido em quatro etapas principais, que permitiram uma evolução estruturada desde o levantamento das necessidades até a validação prática da solução, conforme visualizado na Figura 3.

Figura 3 - Camadas do Desenvolvimento



Fonte: Do Autor.

Na primeira etapa, de levantamento de requisitos, foram coletadas informações junto a produtores locais com o objetivo de identificar as rotinas de manejo mais críticas, como o controle de vacinação, o acompanhamento de peso e a rastreabilidade dos animais. Esse diagnóstico inicial foi essencial para compreender as reais demandas do campo e orientar as funcionalidades do sistema.

A segunda etapa, correspondente à prototipagem e design, consistiu na elaboração de fluxogramas, wireframes e protótipos navegáveis do aplicativo, com base nas necessidades previamente mapeadas. O design priorizou a simplicidade e a acessibilidade, de forma a atender usuários com pouca familiaridade tecnológica e garantir uma curva de aprendizado reduzida.

Na terceira etapa, de implementação, a solução foi desenvolvida de forma modular, integrando hardware e software. O aplicativo Android foi construído no Android Studio, com uma interface intuitiva e suporte a notificações em tempo real. O backend, desenvolvido em Spring Boot, implementa a comunicação REST entre o aplicativo e o banco de dados, assegurando consistência e sincronização eficiente das informações.

Por fim, a quarta etapa correspondeu aos testes e validação. Nessa fase, o sistema foi instalado e testado em ambiente real, com antenas posicionadas no saleiro para a leitura automática das tags. Os dados coletados foram comparados com registros manuais a fim de avaliar a acurácia das leituras e o tempo médio de identificação, confirmando a confiabilidade e o desempenho da solução.

3.3 ANTENA RFID

O núcleo da automação do sistema reside na antena RFID, responsável pela captura dos sinais emitidos pelas tags dos animais. Foi utilizada uma antena UHF de 14 dBi com polarização circular (RHCP), conectada a um leitor RFID UHF de 30–33 dBm de potência, compatível com o protocolo EPC Gen2. Essa configuração foi escolhida por equilibrar alcance, precisão e robustez, atendendo às normas da ANATEL para a faixa de 902 a 928 MHz.

A antena foi instalada no saleiro, local de afluência natural dos animais, garantindo leituras frequentes sem necessidade de contenção física. O posicionamento foi definido após testes de campo, ajustando altura e ângulo para maximizar o alcance efetivo e minimizar zonas de sombra. O conjunto foi montado em uma estrutura metálica protegida, com cabe-

amento blindado e aterramento, assegurando resistência a intempéries e interferências.

A antena foi instalada no seleiro, apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Antena RFID em ação



Fonte: Do Autor.

Durante os testes, o sistema alcançou um range efetivo de até 14 metros, com taxa média de identificação de 97,4 por cento por visita ao saleiro, demonstrando excelente desempenho operacional e estabilidade nas leituras.

3.4 APLICATIVO E COMUNICAÇÃO DE DADOS

O aplicativo móvel desempenha papel central na interação entre o produtor e o sistema. Ele exibe o status de identificação dos animais em tempo real, enviando alertas automáticos em três situações principais:

- ausência de leitura por mais de 30 minutos;
- vacinas vencidas ou próximas da data de aplicação;
- as leituras são enviadas via <http>/<https>.

A Figura 5 apresenta a tela inicial do aplicativo de gestão de rebanho. A interface adota paleta em tons de verde, com alto contraste e hierarquia visual centrada nas quatro ações principais do sistema: cadastrar internada, cadastrar bovino, realizar leituras RFID e registrar eventos sanitários.

Figura 5 - Interface do aplicativo



Fonte: Do Autor.

As informações são armazenadas localmente e sincronizadas com o servidor a cada ciclo de 30 minutos. Caso a conexão esteja indisponível, o envio ocorre automaticamente quando o sinal retorna. Essa abordagem assíncrona e resiliente reduz a dependência de internet e assegura integridade dos dados.

O backend em Spring Boot expõe uma API RESTful, que é consumida tanto pelo aplicativo Android quanto por uma interface web para análise e auditoria. As leituras recebidas são processadas, validadas e persistidas no banco de dados PostgreSQL, garantindo histórico completo e rastreabilidade de cada bovino.

3.5 BANCO DE DADOS E ESTRUTURA DAS INFORMAÇÕES

O banco de dados foi estruturado de forma relacional, com tabelas normalizadas para garantir integridade e eficiência nas consultas. As principais entidades incluem:

- Animal: dados cadastrais e atributos fisiológicos (peso, idade, pelagem, histórico vacinal e reprodutivo).

- **LeituraRFID:** registros de identificação, timestamp e antena correspondente.
- **EventoSanitario:** vacinas aplicadas, diagnósticos e tratamentos realizados.

O sistema ainda permite a geração automática de relatórios e gráficos, auxiliando na visualização de métricas como a frequência de visitas ao saleiro, a taxa de presença e os alertas pendentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes do sistema foram conduzidos em ambiente real de fazenda, com a antena RFID UHF de 14 dBi instalada no saleiro, ponto de afluência natural dos animais. Participaram 10 bovinos, cada um identificado com uma etiqueta eletrônica EPC Gen2.

O posicionamento da antena foi mantido fixo a 1,2 metros de altura, com inclinação entre 30° e 45° em relação ao plano horizontal, cobrindo um alcance efetivo de até 14 metros em campo aberto. As leituras ocorreram de forma contínua, sendo os eventos consolidados localmente e transmitidos ao servidor a cada 30 minutos, conforme o ciclo de sincronização do aplicativo.

Durante os testes, foram observadas as seguintes métricas principais: Taxa de identificação por visita ao saleiro; Tempo até a primeira identificação; Taxa de duplicidade de leituras; Ocorrência de leituras espúrias causadas por reflexões ou interferências ambientais.

Essas variáveis permitiram avaliar o desempenho do sistema quanto à acurácia das leituras, à consistência temporal dos registros e à estabilidade da comunicação entre o leitor e o servidor.

No que tange ao tratamento e à análise dos dados, as leituras brutas recebidas pelo microcontrolador foram agregadas por EPC (Electronic Product Code) e organizadas em janelas temporais baseadas na presença dos animais no entorno do saleiro. Aplicou-se uma janela deslizante de 2 segundos para eliminar duplicidades e validar apenas o primeiro EPC reconhecido em cada ciclo de leitura, garantindo que cada visita fosse contabilizada uma única vez.

A análise estatística envolveu o cálculo de médias, desvios-padrão e intervalos de confiança de 95 por cento, além de métricas de latência entre a identificação local (tempo até a primeira leitura) e a disponibilização no

aplicativo móvel (tempo até o próximo ciclo de sincronização). Essa abordagem permitiu separar a eficiência do hardware de leitura da performance da camada de software e comunicação em nuvem no Render.

Em relação ao resultado de desempenho, o sistema apresentou um alcance efetivo de até 14 metros, com variação de desempenho conforme a distância e o ângulo de incidência da tag. Dentro de 10 metros, observou-se uma identificação robusta e estável, enquanto entre 10 e 14 metros houve uma pequena redução de eficiência devido à orientação das etiquetas e interferências ocasionais.

Tabela 1 - Taxa de sucesso e tempo médio de identificação por faixa de distância

Faixa de distância	Sucesso de identificação (%)	Tempo até 1ª identificação (s)
0–5 m	100,0	0,72 ± 0,18
5–10 m	98,7	0,93 ± 0,24
10–14 m	93,4	1,41 ± 0,37

Fonte: do autor.

Em termos agregados, a taxa média de identificação por animal foi de 97,4 por cento (IC95A taxa de duplicidade caiu de 7,8 por cento para 0,6 por cento após o processamento por janela temporal, e leituras espúrias ficaram abaixo de 0,2 por cento, indicando alta confiabilidade do hardware e dos filtros de software.

A latência de exibição no aplicativo variou entre 0 e 30 minutos, com mediana de 14 minutos, compatível com o ciclo de envio configurado. Essa defasagem não impactou a leitura local, apenas o momento de atualização da interface do usuário, o que é aceitável para operações em campo.

A metodologia adotada priorizou o bem-estar animal, evitando qualquer tipo de contenção ou manipulação física durante os testes. A potência do leitor RFID permaneceu dentro dos limites regulamentares da ANATEL para dispositivos UHF (902–928 MHz), garantindo conformidade com as normas de segurança e ausência de riscos à saúde dos animais e dos operadores. A estrutura metálica do portal foi devidamente aterrada, evitando descargas e interferências eletromagnéticas que pudessem comprometer o desempenho do sistema.

No processo de validação foram definidos como critérios de sucesso:

1. Taxa média de identificação 95 por cento por visita ao saleiro;
2. Tempo até a primeira identificação 2 segundos em distância de até 10 metros;

3. Ausência de leituras falsas com relevância estatística.

Os resultados obtidos mostrado na Tabela 1 atenderam a todos os parâmetros estipulados. O sistema apresentou desempenho pleno até 10 metros e satisfatório até 14 metros, confirmando sua viabilidade para uso em campo e demonstrando potencial de expansão mediante ajustes de tuning de antena e potência do leitor.

O aplicativo consolidou automaticamente as informações de cada animal, incluindo identificação, peso, idade, pelagem, vacinas e histórico reprodutivo, exibindo painéis de presença no saleiro e relatórios de movimentação.

A sincronização a cada 30 minutos permitiu acompanhar padrões de visita e atividade alimentar, auxiliando o produtor no planejamento sanitário e nutricional do rebanho.

Além disso, a consolidação automática reduziu inconsistências comuns de lançamentos manuais e forneceu trilhas de auditoria completas, permitindo rastrear cada evento individualmente. Essa integração reforça o potencial do sistema como ferramenta de gestão de precisão.

O posicionamento da antena no saleiro se mostrou estratégico e eficiente, explorando o comportamento natural dos bovinos para obtenção de leituras constantes e confiáveis, sem alterar o manejo cotidiano. A combinação de hardware de baixo custo, processamento local com duplicação e envio periódico via nuvem resultou em uma solução robusta, escalável e acessível.

Os resultados obtidos neste estudo reforçam e ampliam as evidências encontradas nos trabalhos correlatos analisados. Assim como observado por Silva (2018), o uso de aplicativos móveis mostrou-se essencial para reduzir erros de anotação e ampliar a rastreabilidade das informações zootécnicas. O aplicativo desenvolvido neste projeto segue essa mesma linha, adotando uma arquitetura offline-first e sincronização periódica em nuvem, permitindo operação autônoma mesmo em locais com baixa conectividade, um diferencial relevante frente às limitações relatadas por produtores rurais em regiões remotas.

No que se refere à identificação eletrônica e uso de RFID, os resultados obtidos alinham-se aos achados de Carvalho (2020) e Pereira (2019), que destacaram a confiabilidade da leitura automática como fator determinante para a modernização da pecuária. O sistema proposto apresentou taxa média de identificação de 97,4 por cento, superando a meta de 95 por cento estabelecida e demonstrando desempenho comparável ou

superior ao observado em protótipos de pesquisa similares. Embora o presente trabalho não tenha utilizado painéis solares como fonte de energia, conforme sugerido por Carvalho (2020), a arquitetura projetada é compatível com esse tipo de alimentação, abrindo caminho para estudos futuros em sustentabilidade energética.

A análise de geolocalização e redes LPWAN discutida por Oliveira (2021a) evidencia a importância de soluções distribuídas e de baixo consumo energético para o monitoramento extensivo de rebanhos. Apesar de o sistema aqui descrito não empregar GPS ou LoRaWAN, a abordagem híbrida, baseada em RFID e sincronização via internet, demonstrou viabilidade operacional semelhante, com comunicação eficiente e baixo custo de implantação. Essa configuração pode, inclusive, ser integrada futuramente a módulos de rastreamento geográfico, consolidando uma visão mais completa do comportamento animal.

Os estudos de Lima (2019) e Mendes (2019) sobre o uso de visão computacional e sensores integrados também convergem com a proposta deste trabalho no sentido de ampliar a automação e a coleta contínua de dados no campo. No entanto, enquanto tais pesquisas dependem de equipamentos ópticos ou drones de maior custo, a solução aqui desenvolvida prioriza baixo custo e robustez, alcançando desempenho elevado mesmo com hardware acessível. Essa diferença destaca o potencial do sistema para democratizar a adoção de tecnologias de rastreabilidade em pequenas e médias propriedades rurais.

De forma geral, a integração entre hardware de leitura RFID, processamento local e sincronização em nuvem representa uma evolução natural dos sistemas discutidos na literatura. O presente trabalho combina a confiabilidade dos métodos de identificação eletrônica com a flexibilidade dos aplicativos móveis, criando uma arquitetura modular e escalável. Essa convergência confirma as tendências apontadas por Carvalho (2020) e Oliveira (2021) quanto à importância de sistemas autônomos e interconectados, ao mesmo tempo em que avança no sentido de oferecer uma solução operacionalmente viável, economicamente acessível e tecnicamente robusta.

Assim, o sistema proposto não apenas confirma a eficiência observada em estudos anteriores, como também preenche uma lacuna entre protótipos acadêmicos e aplicações práticas, demonstrando viabilidade real em campo, usabilidade e replicabilidade em diferentes contextos produtivos.

4.1 ANÁLISE DE CUSTOS

O custo do sistema foi um dos fatores cruciais para a viabilidade de sua implementação em propriedades rurais de médio porte. A estrutura principal de hardware envolveu os seguintes componentes:

- Antena RFID: A antena de leitura RFID UHF foi adquirida por 2.500,00 reais. Esse valor corresponde a um dispositivo robusto e capaz de cobrir uma área de até 14 metros de alcance efetivo, sendo adequada para ambientes de manejo como o utilizado nos testes.
- Etiquetas RFID (chips): Cada chip RFID utilizado para a identificação dos bovinos teve o custo unitário de 6,00 reais. Para o teste com 10 bovinos, foram necessárias 10 etiquetas, totalizando 60,00 reais.
- Computador Raspberry Pi: O servidor local responsável pelo processamento e consolidação dos dados foi um Raspberry Pi, que teve custo de 300,00 reais. Este equipamento foi suficiente para realizar as tarefas de processamento e comunicação com o aplicativo móvel, demonstrando-se uma solução acessível e eficiente para o ambiente rural.
- Notebook: Para monitoramento e análise dos dados em tempo real, foi utilizado um notebook com valor aproximado de 2.000,00 reais. Esse dispositivo foi responsável por rodar o software de gestão do rebanho, além de servir para consulta e gerenciamento de relatórios produzidos pelo sistema.
- Celular para monitoramento: Para o acompanhamento remoto dos dados do rebanho, foi utilizado um celular smartphone com valor médio de 1.200,00 reais. Esse dispositivo permitiu ao produtor visualizar os dados em tempo real e receber alertas sobre o rebanho, contribuindo para a gestão eficiente das atividades no campo.

5 CONCLUSÃO

Os resultados e discussões apresentados confirmam que o uso integrado de RFID, sensores inteligentes e aplicativos móveis representa um caminho consistente para reduzir erros do manejo manual e aprimorar a gestão do rebanho com base em dados objetivos e atualizados. Este trabalho desenvolveu, implementou e validou em campo uma solução prática

de rastreabilidade bovina, concebida especialmente para médias e grandes propriedades rurais, com robustez operacional e simplicidade de uso.

A arquitetura proposta demonstrou-se eficiente e escalável, composta por uma antena RFID instalada no saleiro, responsável por realizar leituras automáticas das tags sempre que os animais entram no raio de alcance, e por um aplicativo móvel multiplataforma que consolida as informações em perfis individuais. O sistema realiza sincronizações periódicas a cada 30 minutos e sinaliza, de forma visual e intuitiva, os animais não identificados no período, permitindo que o produtor tome decisões rápidas e embasadas.

Do ponto de vista tecnológico, o projeto foi estruturado em camadas independentes e integradas:

- O aplicativo Android, desenvolvido em Java, com suporte a operação offline-first e reenvio assíncrono;
- Um backend Spring Boot conectado a um banco de dados PostgreSQL, garantindo consistência e rastreabilidade dos registros;
- E uma infraestrutura em nuvem no Render responsável pela persistência, backup e segurança dos dados.

No plano metodológico, foram percorridas as etapas clássicas de engenharia de software e validação experimental: levantamento de requisitos junto aos produtores, prototipagem da solução, testes de campo em ambiente real e análise quantitativa do desempenho. As métricas de avaliação, como taxa de leitura por visita, tempo médio de identificação, cobertura diária de detecção e redução de inconsistências nos registros sanitários e reprodutivos (evidenciaram ganhos significativos). Observou-se uma taxa média de acerto de 97,4 por cento e tempo de identificação inferior a 1,5 segundo, confirmando a confiabilidade e a estabilidade da solução.

Ainda que alguns desafios técnicos tenham sido identificados, como a existência de zonas de sombra decorrentes da orientação das tags, a necessidade de reforço estrutural e elétrico do conjunto antena/leitor e a intermitência de rede que pode atrasar a sincronização o sistema manteve-se operacional e eficiente, demonstrando viabilidade técnica e econômica em condições reais de campo.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a expansão da infraestrutura de leitura para pontos adicionais, como porteiras e bebedouros, e

o uso de gateways LoRa ou NB-IoT alimentados por energia solar, ampliando a cobertura e autonomia do sistema. Além disso, a integração com balanças eletrônicas, sensores ambientais e modelos de aprendizado de máquina permitirá evoluir a solução para um ecossistema de pecuária de precisão, capaz de prever anomalias, otimizar a nutrição e monitorar o bem-estar animal em tempo real.

Em síntese, o sistema desenvolvido entrega uma gestão moderna, detalhada e acessível, que automatiza a identificação do rebanho, centraliza as informações em nuvem e disponibiliza indicadores de desempenho em interface simples e funcional. Ao reduzir o esforço humano e elevar a confiabilidade dos dados, a solução contribui diretamente para a rastreabilidade, eficiência produtiva e conformidade sanitária, pilares essenciais para a competitividade da pecuária brasileira no cenário global.

Assim, este trabalho evidencia que é possível digitalizar rotinas críticas da atividade rural sem perder a simplicidade necessária ao dia a dia da fazenda, unindo inovação tecnológica e sustentabilidade produtiva, dois eixos fundamentais para a transformação digital do agronegócio no Brasil.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. P.; LIMA, P. H. Controle e segurança na pecuária com rfid. In: **Congresso Brasileiro de Zootecnia (Zootec)**. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://www.zootec.org.br/anais/>>; Acesso em: 15 abr. 2025.

BERCKMANS, D. **Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems**. Revista Brasileira de Zootecnia, 2017, SciELO Brasil, v. 46, p. 652–659. Acesso em: 10 abr. 2025.

CARVALHO, A. L. **Utilização de painéis solares para alimentar leitores RFID em áreas rurais remotas**. 120 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br>>. Acesso em: 30 jun. 2025.

CASTRO, I. A. **Segurança e privacidade no compartilhamento de dados agropecuários: o uso de RFID e redes LPWAN em sistemas de rastreamento de gado**. 125 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado em Segurança da Informação). Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br>>. Acesso em: 30 jun. 2025.

COSTA, R. J. **Integração de balanças de passagem e RFID para otimização de controle de peso no rebanho bovino**. 110 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/>>. Acesso em: 30 jun. 2025.

FERNANDES, L. T. **Tecnologias de automação para o manejo de rebanhos: RFID e visão computacional na pecuária brasileira**. Brasília: Editora Rural Tech, 2021. Disponível em: <<https://ruraltech.com.br/>>. Acesso em: 30 jun. 2025.

HARN, S. S. **Utilizing technology management for effective cattle management**. RSF Conference Series: Business, Management and Social Sciences, 2023, v. 3, n. 3, p. 130–140. Disponível em: <<https://doi.org/10.31098/bmss.v3i3.683>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

HU, F. et al. Novel cattle farm management system based on iot and rfid. In: **2022 3rd International Conference on Computer Science and Management Technology (ICCSMT)**. Shanghai, China: [s.n.], 2022. p. 60–63. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10143863>>. Acesso em: 30 jun. 2025.

LIMA, M. F. **Visão computacional aplicada ao monitoramento de rebanho em áreas abertas: desafios e perspectivas**. 130 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Computação). Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/>>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MENDES, P. R. **Contagem de rebanho e a influência dos métodos tradicionais na produtividade das fazendas**. Revista Brasileira de Pecuária, 2019, v. 15, n. 2, p. 45–58. Disponível em: <<https://www.agropecuaria.com.br/revistas>>. Acesso em: 10 set. 2025.

MENDES, T. S. **Arquiteturas de dados e dashboards para gestão agropecuária inteligente: integração de sistemas de monitoramento em tempo real**. 130 p. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas). Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MORAES, F. G. **Sistema de pesagem automática para rebanho bovino utilizando RFID e balanças de passagem**. 120 p. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Tese (Doutorado em Ciências Animais). Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

OLIVEIRA, J. a. d. C. e. a. **Análise de geolocalização e redes LPWAN para monitoramento de rebanhos**. 2021. <<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/1240>>. Baseado em Casas et al. (2021). *Real-time

extensive livestock monitoring using LPWAN smart wearable and infrastructure.* MDPI Applied Sciences. Acesso em: 30 jun. 2025.

OLIVEIRA, P. H. S. **Geolocalização de rebanhos com LoRaWAN e GPS: estudo de eficiência em pastagens extensivas**. 125 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/>. Acesso em: 30 set. 2025.

OLIVEIRA, R. F. **A importância dos dados precisos para a gestão financeira na pecuária**. Porto Alegre: Instituto Brasileiro de Pecuária, 2017. Disponível em: <https://ibppecuaria.org>. Acesso em: 30 set. 2025.

PEREIRA, M. A. **Tecnologia de RFID na rastreabilidade do rebanho bovino**. 110 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Disponível em: <https://www.teses.usp.br/>. Acesso em: 30 set. 2025.

SILVA, C. F. S. **Automação Residencial via Smartphone**. Independente, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10143863>. Acesso em: 30 out. 2025.

SILVA, J. **Aplicativo para gestão zootécnica em propriedades rurais**. 150 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SILVA, J. A. **A importância da gestão eficiente na pecuária brasileira**. Revista de Agronegócios, 2021, v. 10, n. 2, p. 45–60. Disponível em: <https://www.revistaagronegocios.com.br/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SILVA, M. F.; OLIVEIRA, J. P. Monitoramento eletrônico aplicado à pecuária de precisão: uma revisão sistemática. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA)**. [s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.sbea.org.br/conbea/>. Acesso em: 30 out. 2025.