

## **AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA RFID UHF INTEGRADO A PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA RASTREABILIDADE BOVINA**

### ***PERFORMANCE OF A UHF RFID SYSTEM INTEGRATED WITH A COMPUTATIONAL PLATFORM FOR CATTLE TRACEABILITY***

Fernando Caiado Fleury Araujo<sup>1</sup>  
Clarimar José Coelho<sup>2</sup>  
Antônio Marcos de Melo Medeiros<sup>3</sup>

**Resumo** – *A identificação eletrônica de bovinos por meio da tecnologia RFID é fundamental para a rastreabilidade e para a pecuária de precisão. Embora sistemas de baixa frequência (LF) sejam tradicionalmente empregados na identificação animal, a tecnologia UHF apresenta potencial para maior alcance e flexibilidade operacional, demandando avaliações experimentais específicas. Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema RFID UHF (~900 MHz) desenvolvido para identificação bovina, integrado a uma plataforma computacional implementada em Python, com interface gráfica e banco de dados SQLite para armazenamento e gerenciamento dos dados em tempo real. A metodologia adotada consistiu na realização de ensaios experimentais em ambiente controlado, com 1000 interrogativas por condição e três repetições independentes, permitindo o cálculo da taxa de leitura, taxa de falha e variabilidade experimental por meio da média e do desvio padrão. Foram testadas distâncias de até 200 cm e ângulos de inclinação de 30°, 45° e 60°, mantendo constantes as demais configurações do sistema. Os resultados demonstraram taxas de leitura superiores a 95% em curtas distâncias e desempenho estável até aproximadamente 1 m, com redução progressiva da eficiência à medida que aumentaram a distância e o ângulo, observando-se queda acentuada a partir de 45°, evidenciando a influência do alinhamento entre a antena leitora e a TAG. Conclui-se que o sistema UHF, associado ao software de gerenciamento desenvolvido, apresenta potencial para aplicação em rastreabilidade bovina.*

**Palavras-chave:** *identificação bovina; pecuária de precisão; RFID; UHF;*

**Abstract** - *Electronic identification of cattle using RFID technology plays a key role in traceability systems and precision livestock farming. Although low-frequency (LF) systems are traditionally employed for animal identification, ultra-high frequency (UHF) technology*

<sup>1</sup>Mestrando em Engenharia de Produção e Sistemas (PUC Goiás), sendo bolsista da FAPEG via Chamada Pública 38/2022; Especialista em Gestão da Qualidade e Engenharia de Produção (IPOG); Bacharel em Engenharia de Controle e Automação (PUC Goiás). – Contato: fernando.caiadofleury@gmail.com

<sup>2</sup>Pós-doutorado pelo Instituto de Ciências Matemáticas e Computação da Universidade São Paulo, campus São Carlos (2014), Pós-doutorado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2011), Doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2002). Contato: clarimar@pucgoias.edu.br  
<sup>3</sup>Doutor em Agronomia (UFG), Mestre em Engenharia Elétrica e de Computação (UFG); Graduado em Engenharia Elétrica (UFG). Contato - marcosmelo@pucgoias.edu.br

*offers the potential for extended reading range and greater operational flexibility, requiring dedicated experimental validation. This study aimed to evaluate the performance of a UHF RFID system (~900 MHz) developed for bovine identification, integrated with a software platform implemented in Python, featuring a graphical user interface and SQLite database for real-time data storage and management. The methodology consisted of controlled experimental trials with 1000 interrogation attempts per condition and three independent repetitions, enabling the calculation of read rate, failure rate, and experimental variability through mean values and standard deviation. Distances up to 200 cm and tag orientation angles of 30°, 45°, and 60° were tested while maintaining constant system parameters. Results demonstrated read rates above 95% at short distances and stable performance up to approximately 1 m. A progressive decline in efficiency was observed as both distance and angle increased, with a marked reduction beyond 45°, highlighting the influence of polarization alignment between the reader antenna and the tag. At 200 cm, the mean read rate decreased to 6.3%, indicating the operational limit under the tested conditions. The findings suggest that the proposed UHF system, combined with dedicated data management software, presents potential for application in cattle traceability systems.*

**Keywords:** *cattle identification; precision livestock farming; RFID;*

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a pecuária tem incorporado avanços tecnológicos significativos impulsionados pela 4ª Revolução Industrial, que introduziu conceitos de automação, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA) no agronegócio (LINAZA, et al 2021; BEN AYED; HANANA, 2021). No contexto da pecuária de precisão, tais tecnologias têm possibilitado o monitoramento em tempo real da saúde, do bem-estar e da produtividade animal, promovendo maior eficiência e sustentabilidade (ELBASI, et al, 2023). Dispositivos como sensores, etiquetas de Identificação por Radiofrequência (RFID) e sistemas de visão computacional permitem a coleta massiva de dados, que processados por algoritmos de aprendizado de máquina resultam em decisões mais rápidas e assertivas no manejo do rebanho (NEETHIRAJAN; KEMP, 2021; YU, 2022). Além disso, soluções digitais como blockchain ampliam a transparência da cadeia produtiva e fortalecem a confiança do consumidor quanto à segurança alimentar (MATZEMBACHER, 2018).

Embora ainda em fase de consolidação, a pecuária de precisão apresenta elevado potencial de transformação dos sistemas de produção por meio da digitalização e automação. Seu principal objetivo é aumentar a eficiência, a sustentabilidade e a rastreabilidade, reduzindo desperdícios e melhorando o bem-estar animal (AKHIGBE, 2021). Para tanto, as chamadas tecnologias inteligentes são sistemas capazes de coletar, processar e analisar dados em tempo real para apoiar a tomada de decisão automatizada

que se tornam indispensáveis (ALONSO, 2020). Segundo Torky e Hassanein (2020), a transformação digital da pecuária envolve a integração de sensores inteligentes, redes sem fio, plataformas de monitoramento remoto, automação do controle ambiental e da alimentação de precisão, além de ferramentas para prevenção de epidemias, diagnóstico remoto, gestão de resíduos e rastreabilidade em larga escala.

No Brasil, a utilização de RFID em bovinos iniciou-se em 2001 com a criação do Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Origem Bovina e Bubalina (SISBOV), regulamentado pelo Ministério da Agricultura (PEDROSO; ZWICKER; SOUZA, 2009) Apesar de consolidada, a tecnologia ainda é majoritariamente aplicada de forma limitada, por meio de brincos auriculares e bastões de leitura com contato físico (YANG; LIU; KIM, 2020) Essas práticas apresentam fragilidades como perdas, adulterações e impactos no bem-estar animal. Mais recentemente, o avanço das antenas RFID e a integração com IoT têm permitido leituras a distância, sem fios e sem necessidade de bateria, aumentando a viabilidade do sistema em diferentes contextos (LANDALUCE, 2020).

Dessa forma, a pesquisa tem como objetivo propor e avaliar um sistema de identificação baseado em RFID aplicado à pecuária de precisão, com foco na integração de dados zootécnicos e sanitários em uma plataforma única de registro e gerenciamento.

## II. METODOLOGIA

### 2.1 Local e Materiais Utilizados

O desenvolvimento do sistema de rastreabilidade e os testes simulados foram conduzidos no Laboratório de Energia e Automação da Faculdade SENAI Roberto Mange em Anápolis. Para a montagem física do sistema, foram utilizados uma antena UHF de 960 MHz de frequência, uma placa Raspberry Pi 4 Model B, e etiquetas RFID passivas de alta frequência. Para o software foi utilizado a linguagem de programação Python 3, utilizando a biblioteca Tkinter para criar uma interface de usuário com 4 telas e por fim foi usado o bando de dados SQLite3, para gravação de dados cadastrados e lidos, que também são utilizados para gerar relatórios.

A base de dados criada para gerar relatórios, foi baseada em algumas diretrizes do SISBOV (BRASIL, 2018), como cadastramento do código de identificação animal, dados zootécnicos básicos, dados de origem, registros de movimentação e registros de

eventos sanitários. Para validar o sistema foram realizados testes utilizando as etiquetas de RFID passivas, para medição de leituras de distâncias de 0,1 a 2m. Foram realizados testes de repetibilidade de sucesso de medições e testes de conflito de leituras, sendo simulado um ambiente com dezenas de cabeças bovinas em um espaço confinado.

## **2.2 Desenvolvimento**

O processo iniciou-se com a instalação do sistema operacional Raspberry Pi OS no cartão microSD. O Raspberry Pi foi escolhido devido à sua compatibilidade com o protótipo e à facilidade de comunicação com diferentes tipos de redes. Em seguida, foram instalados o Python 3.11 e todas as bibliotecas necessárias para o funcionamento do sistema. O leitor RFID foi conectado via USB e reconhecido pelo sistema como um dispositivo serial.

Para garantir a integridade física dos componentes eletrônicos utilizados no sistema, especialmente a antena UHF e o microcomputador Raspberry Pi, foram desenvolvidas estruturas de proteção por meio de impressão 3D. Essa tecnologia permitiu a criação de suportes personalizados, com precisão milimétrica, adaptados às necessidades específicas do protótipo e às condições típicas de ambientes rurais nos quais o sistema será futuramente aplicado.

As peças foram modeladas digitalmente no software AutoDesk Inventor e impressas utilizando filamento de Ácido Polilático (PLA), escolhido por sua resistência mecânica, estabilidade dimensional e facilidade de fabricação. Os projetos estruturais buscaram equilibrar robustez e leveza, incorporando características como reforços internos, aberturas para circulação de ar, trilhos para fixação e compartimentos para organização e passagem de cabos. No caso da antena UHF, foram produzidos suportes rígidos para evitar torções e impactos diretos, assegurando o correto alinhamento e a estabilidade do campo eletromagnético durante as leituras.

Para o Raspberry Pi, foi projetada uma caixa de proteção com ventilação lateral e superior, cobertura da região do cartão SD e um sistema de fechamento por parafusos, o qual impede a entrada de poeira e reduz o risco de danos causados por vibração. Esse tipo de encapsulamento é especialmente relevante em ambientes de manejo bovino, onde a presença de partículas suspensas, umidade e variações térmicas pode comprometer a vida útil dos componentes eletrônicos.

O processo inicia-se com a inicialização do sistema e a configuração da rede local, seguida pelo acesso remoto do usuário por meio de um computador ou dispositivo

móvel. O diagrama apresenta, em seguida, a sequência de operações do ciclo de leitura RFID, incluindo a ativação da antena UHF, a detecção das etiquetas passivas, a transferência dos dados via USB para o Raspberry Pi e o processamento em tempo real pelo software desenvolvido em Python. Pontos de decisão no fluxograma destacam etapas fundamentais de verificação, como a validade da etiqueta, o status de cadastro no banco de dados e a continuidade das leituras. As etapas finais demonstram o armazenamento dos dados processados no banco de dados SQLite e sua disponibilização ao usuário por meio da interface remota. De forma geral, o fluxograma fornece uma representação abrangente da construção, operação e lógica de comunicação que permitem o funcionamento eficiente do protótipo no contexto da pecuária de precisão.

### 2.3 Montagem e Configuração do Protótipo

A Figura 1 apresenta a configuração física utilizada para a montagem do protótipo desenvolvido para os testes de identificação eletrônica em ambiente controlado. O arranjo experimental foi projetado para simular condições operacionais típicas de instalações de manejo bovino, como currais, corredores e áreas de contenção, permitindo a avaliação do desempenho do sistema em diferentes distâncias e orientações das etiquetas.

Figura 1 - Protótipo utilizado para medição e testes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A antena UHF foi instalada na extremidade superior de um suporte metálico vertical, posicionada aproximadamente a 30 cm acima da superfície da mesa de testes. Esse posicionamento garantiu a orientação frontal da antena em direção à área de leitura, condição necessária para reduzir perdas angulares e melhorar a consistência das medições.

Logo abaixo da antena, o Raspberry Pi foi fixado em uma caixa personalizada produzida por impressão 3D, projetada para acomodar a placa eletrônica e permitir a passagem segura dos cabos de alimentação e comunicação.

A superfície de testes consistiu em uma mesa de madeira posicionada diretamente em frente à antena, sobre a qual foram dispostas etiquetas RFID acopladas a réplicas de brincos auriculares bovinos. A utilização de uma superfície não metálica teve como objetivo minimizar interferências eletromagnéticas e fornecer condições adequadas para a avaliação do alcance e da precisão das leituras. As etiquetas foram distribuídas em diferentes distâncias e ângulos em relação à antena, reproduzindo variações reais de movimento e posicionamento normalmente observadas em ambientes de manejo bovino.

## **2.4 Comunicação**

A comunicação entre os componentes eletrônicos do protótipo foi estruturada de modo a permitir operação contínua, acesso remoto e integração eficiente entre hardware e software (VIJAYA et al, 2025). Diferentemente de sistemas tradicionais baseados apenas em conexões seriais cabeadas, o protótipo adota uma arquitetura na qual o microcontrolador conectado ao leitor RFID atua como um ponto de acesso (Access Point – AP), criando sua própria rede sem fio local. Esse modelo de comunicação é amplamente utilizado em soluções de IoT para ambientes rurais, onde a infraestrutura externa é limitada, permitindo que dispositivos embarcados estabeleçam redes ad hoc com baixo consumo de energia e alta confiabilidade <sup>(14)</sup>.

Uma vez criada a rede local pelo microcontrolador, um computador pode se conectar diretamente a esse ponto de acesso, estabelecendo um canal de comunicação. O uso de redes geradas por microcontroladores é comum em aplicações de monitoramento animal e agrícola, uma vez que módulos como o ESP8266 e o ESP32 são frequentemente configurados como pontos de acesso para viabilizar a transmissão direta de dados a servidores embarcados (BOONSONG,2022). Esse modelo garante autonomia operacional, reduz interferências externas e elimina a necessidade de

roteadores intermediários, característica essencial para sistemas de rastreabilidade aplicados à pecuária de precisão.

No Raspberry Pi, que hospeda o software de rastreabilidade desenvolvido em Python, os dados recebidos via USB são processados em tempo real e armazenados em um banco de dados local. Arquiteturas semelhantes descritas na literatura demonstram a eficácia do uso de microcomputadores embarcados como servidores locais em sistemas de rastreamento animal baseados em RFID e IoT (VIJAYA et al, 2025). A combinação entre antena, microcontroladores e Raspberry Pi, comunicando-se por meio de uma rede local dedicada, possibilita não apenas a leitura remota das etiquetas RFID, mas também o gerenciamento dos dados sem dependência de conexão externa com a internet, aumentando a resiliência do sistema.

A partir dessa configuração, qualquer dispositivo conectado à mesma rede local pode acessar o sistema do Raspberry Pi via navegador ou protocolo SSH, permitindo acesso remoto ao software, visualização em tempo real das leituras, exportação de dados e atualização dos registros dos animais. Essa funcionalidade se destaca como uma vantagem importante, pois amplia a mobilidade operacional sem comprometer a segurança ou a confiabilidade da comunicação, requisitos fundamentais para aplicações de rastreabilidade bovina. Sistemas semelhantes, baseados em comunicação local e processamento distribuído, têm sido amplamente recomendados para ambientes agrícolas e pecuários devido à sua robustez e independência de infraestrutura externa (LANDALUCE, 2020).

## **2.5 Software**

O software desenvolvido para este projeto foi construído utilizando a linguagem de programação Python e a biblioteca Tkinter como base para a implementação da interface gráfica do usuário (GUI). Esse framework foi escolhido devido à sua ampla documentação, estabilidade, integração nativa com o interpretador Python e capacidade de suportar aplicações desktop responsivas e de baixo custo. O Tkinter é amplamente recomendado para prototipagem rápida e sistemas embarcados, especialmente quando executado em plataformas como o Raspberry Pi (RATHOD, 2022), tornando-se adequado ao contexto da pecuária de precisão.

O sistema utiliza o SQLite como estrutura local de armazenamento de dados. O SQLite foi selecionado por ser leve, portátil, apresentar baixo consumo de recursos e possuir elevada compatibilidade com aplicações embarcadas, características que o

tornam particularmente apropriado para sistemas de IoT executados em plataformas como o Raspberry Pi (BOONSONG,2022; GUPTA et al, 2023).

A interface desenvolvida com Tkinter é composta pelas seguintes abas: Leitura RFID, Cadastro, Eventos e Consultas. Na aba de leitura RFID, a tela permite ao usuário ativar ou pausar a leitura contínua, ao mesmo tempo em que exibe, em tempo real, cada etiqueta detectada, apresentando o número do brinco e a data e o horário da leitura. Na tela de cadastro, foram criados campos para o registro da propriedade e dos animais, com base nos parâmetros de identificação recomendados pelo SISBOV. Essa estrutura modular foi projetada para facilitar a navegação do usuário e organizar de forma clara o fluxo das informações, em conformidade com recomendações de usabilidade descritas na literatura para sistemas digitais aplicados à agricultura.

Na aba Eventos, há um módulo destinado ao registro das vacinações do animal identificado e à documentação de suas movimentações entre propriedades ou até o abatedouro. Por fim, a aba Consultas permite ao usuário visualizar todos os animais cadastrados na propriedade, bem como exportar relatórios e planilhas.

## 2.6 Testes

A avaliação do desempenho do sistema RFID foi realizada por meio do cálculo da taxa de leitura, obtida a partir da razão entre o número de leituras bem-sucedidas das etiquetas e o número total de tentativas realizadas pelo leitor a cada 1000 tentativas. A Equação 1 apresenta o critério utilizado:

$$\text{Taxa de leitura (\%)} = \frac{N_{\text{leituras bem-sucedidas}}}{N_{\text{total de tentativas}}} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

- $N_{\text{leituras bem sucedidas}}$ : corresponde ao número de vezes em que a etiqueta foi corretamente identificada pelo leitor;
- $N_{\text{tentativas totais}}$ : representa o número de interrogativas realizadas pelo sistema.

Para assegurar a confiabilidade e a repetibilidade dos resultados, os ensaios foram realizados em triplicata para cada condição avaliada (MONTGOMERY, 2013). Os valores de taxa de leitura foram expressos como média acompanhada do respectivo desvio padrão, o qual fornece uma medida da variabilidade experimental entre as

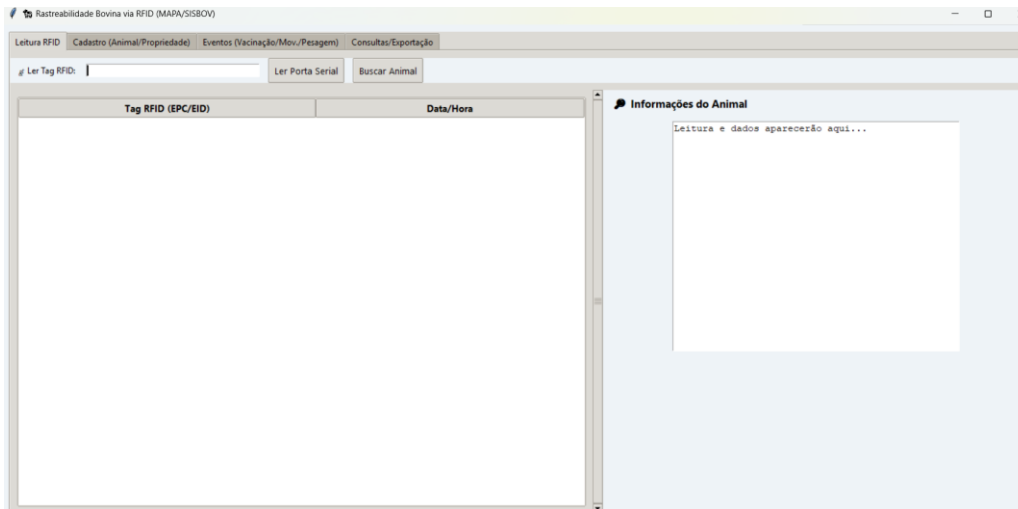
repetições. O desvio padrão foi calculado a partir da distribuição das leituras obtidas em cada repetição, permitindo avaliar a estabilidade do sistema RFID frente às variações experimentais. E com o objetivo de avaliar a influência da orientação angular da etiqueta RFID no desempenho do sistema, foi realizado um ensaio experimental controlado na distância fixa de 100 cm entre a antena leitora e a TAG. A etiqueta foi posicionada em diferentes ângulos de inclinação em relação ao eixo de polarização da antena, especificamente 30°, 45° e 60°. Para cada condição angular, foram realizadas três repetições independentes, cada uma composta por 1000 interrogativas consecutivas do leitor. A taxa de leitura foi calculada como a razão entre o número de leituras bem-sucedidas e o número total de tentativas, expressa em percentual.

Esse indicador é amplamente empregado em estudos de desempenho de sistemas RFID aplicados à pecuária de precisão, pois fornece uma medida objetiva da eficiência de leitura sob diferentes condições de teste, como distância, ângulo de incidência da antena e movimentação dos animais. Adrion et al (2017) utilizaram metodologia semelhante em ensaios controlados com brincos UHF, quantificando a razão entre leituras válidas e falhas para comparar diferentes configurações de antenas e materiais de suporte.

### III. RESULTADOS

O software desenvolvido foi projetado para permitir o gerenciamento completo de todas as informações associadas a cada animal cadastrado. Na aba Leitura RFID (Figura 2), quando uma etiqueta é escaneada, o sistema verifica automaticamente se o número já existe no banco de dados. Caso o registro seja encontrado, as informações do animal são carregadas e exibidas na seção Informações do Animal; caso contrário, o programa redireciona o usuário para a aba de cadastro para inclusão de um novo bovino. Além disso, foi confirmada a presença de um campo dedicado à etiqueta RFID, vinculado à data e ao horário da leitura

Figura 2 - Tela inicial do software desenvolvido para rastreabilidade bovina.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A aba Eventos (Vacinação/Movimentação/Pesagem), apresentada na Figura 3, oferece uma interface estruturada para o registro de informações relacionadas a procedimentos sanitários e atividades operacionais associadas a cada animal. A seção superior da tela contém um campo para seleção do animal por meio do número do brinco SISBOV, seguido de um botão que carrega o respectivo cadastro. Após a seleção do animal, o usuário pode navegar entre as abas Vacinação, Movimentação (GTA) e Pesagem. No painel de vacinação exibido na figura, a interface inclui campos para tipo de vacina, dosagem, número do lote, data de aplicação, técnico responsável e observações opcionais. Um botão específico permite registrar cada evento de vacinação no banco de dados. O layout agrupa todos os campos relevantes em uma única seção, possibilitando o registro consistente de dados sanitários e apoiando a manutenção de históricos completos para cada animal.

Figura 3 - Tela de Cadastramento Animal e Proprietário.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A aba Cadastro (Animal/Propriedade), exibe um layout estruturado para a inserção e atualização de informações relacionadas tanto às propriedades quanto aos animais individuais. No lado esquerdo da tela, a seção de propriedade inclui campos para o código da propriedade no SISBOV, município, estado e nome da propriedade, além de um botão para salvar o registro. O painel de cadastro do animal, posicionado à direita, contém campos para o brinco SISBOV de 15 dígitos, etiqueta RFID opcional, nome, sexo, raça, pelagem, categoria, data de nascimento e propriedade de origem. Um botão Ler RFID permite ao sistema capturar automaticamente o número da etiqueta quando um dispositivo RFID está presente, enquanto outro botão realiza o salvamento das informações do animal no banco de dados. A tela também disponibiliza um campo opcional para observações adicionais. Embora funcional e alinhada às categorias de dados exigidas em registros oficiais de identificação, a interface concentra-se principalmente na organização dos campos essenciais necessários para um cadastro consistente no sistema de rastreabilidade (Figura 4).

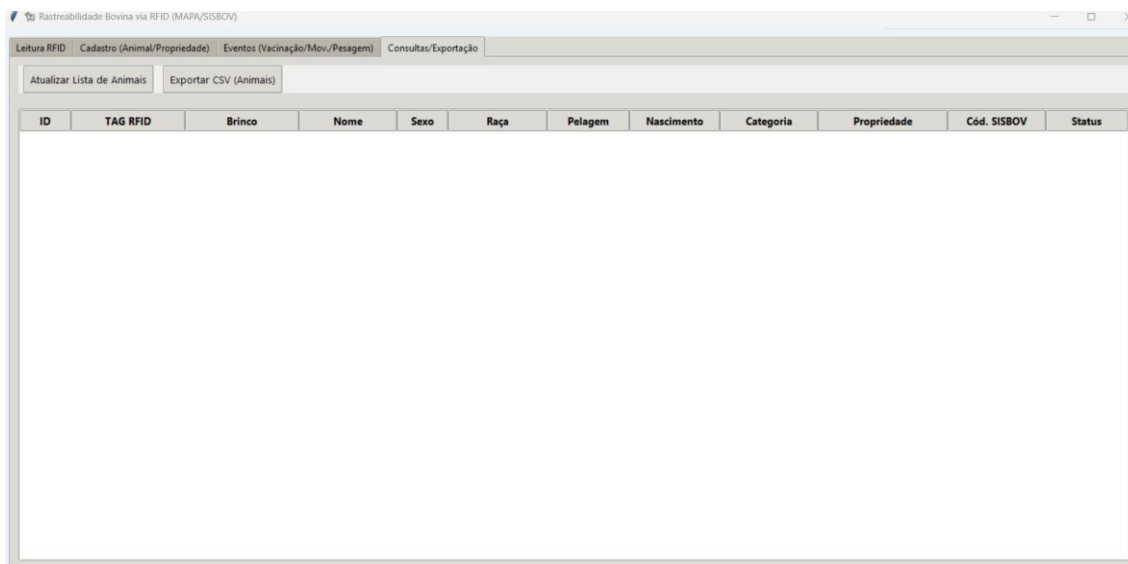
Figura 4 - Tela de Eventos.

The screenshot shows a web application window titled 'Rastreabilidade Bovina via RFID (MAPA/SISBOV)'. The main menu includes 'Leitura RFID', 'Cadastro (Animal/Propriedade)', 'Eventos (Vacinação/Mov./Pesagem)', and 'Consultas/Exportação'. The 'Eventos' section is active, with a sub-tab for 'Vacinação'. The form contains several input fields: 'Brinco/SISBOV' with a 'Carregar' button, 'Vacina', 'Dose', 'Data Aplicação' (a date picker showing 2025-08-11), 'Lote', 'Responsável', and 'Observação'. A 'Registrar Vacinação' button is positioned below the 'Observação' field.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A aba Consultas/Exportação (Figura 5), disponibiliza uma interface tabular que permite ao usuário visualizar os principais atributos armazenados para cada animal no banco de dados. A tela apresenta dois botões de comando na parte superior, um para atualizar a lista de animais e outro para exportar o conjunto de dados no formato CSV. Abaixo desses controles, é exibida uma tabela com cabeçalhos de colunas predefinidos, incluindo ID, Etiqueta RFID, Número do Brinco, Nome, Sexo, Raça, Pelagem, Data de Nascimento, Categoria, Propriedade, Código SISBOV e Status. A área da tabela é inicialmente exibida vazia e é preenchida quando o sistema recupera os registros do banco de dados. Esse layout reúne todos os campos cadastrados em uma única visualização, permitindo a consulta direta do conjunto de dados e fornecendo uma visão estruturada das informações gerenciadas pelo sistema.

Figura 5 - Tela de Consulta/Exportação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os resultados apresentados na Tabela 1, obtidos a partir dos ensaios de leitura em função da distância, evidenciam uma redução clara no desempenho do sistema RFID à medida que aumenta a separação entre a antena UHF e a etiqueta passiva. Em curtas distâncias (10 a 30 cm), a taxa média de leitura manteve-se superior a 95%, com baixa variabilidade experimental (desvio padrão inferior a 2 leituras em 10 cm), indicando elevada estabilidade do sistema e forte acoplamento eletromagnético entre a antena leitora e a TAG RFID. Nessas condições, a taxa de falha permaneceu inferior a 5%, caracterizando um regime de operação altamente confiável.

Tabela 01 - Leituras bem-sucedidas em função da distância do brinco.

<b>Distância (cm)</b>	<b>Média (leituras)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Taxa leitura (%)</b>	<b>Taxa falha (%)</b>
10	978,3	1,53	97,8	2,2
20	956,3	26,16	95,6	4,4
30	965,0	9,54	96,5	3,5
40	901,7	8,08	90,2	9,8
50	837,7	9,29	83,8	16,2
60	558,0	13,89	55,8	44,2
80	676,3	59,50	67,6	32,4
100	945,0	4,36	94,5	5,5
120	685,0	11,27	68,5	31,5
150	805,7	61,61	80,6	19,4

180	565,0	19,92	56,5	43,5
200	63,1	12,77	6,3	93,7

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

À medida que a distância aumentou, observou-se redução progressiva da taxa de leitura e aumento correspondente da taxa de falha. Em 40 e 50 cm, a taxa média de leitura reduziu-se para aproximadamente 90% e 84%, respectivamente, evidenciando o início da atenuação significativa do sinal. Nessa faixa, a taxa de falha passou a representar parcela relevante das tentativas (entre 10% e 16%), embora ainda dentro de limites aceitáveis para aplicações de identificação em ambiente controlado.

A partir de 60 cm, verificou-se queda mais acentuada do desempenho, com taxa média de leitura próxima de 56% e taxa de falha superior a 40%. Esse comportamento indica transição para uma zona de operação instável, possivelmente associada à redução da intensidade do campo eletromagnético incidente sobre a TAG e ao aumento da suscetibilidade a efeitos de múltiplos percursos e interferências ambientais. A elevação do desvio padrão em determinadas distâncias intermediárias, como 80 cm e 150 cm, reforça a hipótese de formação de regiões de interferência construtiva e destrutiva no padrão de radiação da antena.

Observou-se ainda comportamento não estritamente monotônico da taxa de leitura, como evidenciado pelo desempenho elevado em 100 cm (94,5%), sugerindo a existência de lóbulos secundários ou zonas de reforço do campo eletromagnético. Esse fenômeno é característico de sistemas RFID UHF operando em ambiente real, nos quais reflexões e interferências podem produzir regiões localizadas de maior intensidade de campo.

Em maiores distâncias, como 180 cm, a taxa média de leitura estabilizou-se em torno de 56%, com taxa de falha próxima a 43%, caracterizando limite prático de operação nas condições testadas. Assim, considerando um critério operacional conservador de desempenho mínimo de 85% de taxa de leitura, o sistema apresentou zona funcional confiável até aproximadamente 1 m, faixa compatível com aplicações de rastreabilidade bovina em cenários controlados de manejo.

A elevada taxa de falha média (93,7%) na distância de 200cm evidencia que a potência do campo eletromagnético incidente na TAG é insuficiente para garantir energização consistente e resposta confiável ao leitor. Apesar do grande número de tentativas reduzir a incerteza estatística da estimativa, o baixo desempenho médio e a

variabilidade observada caracterizam essa faixa como região não funcional para aplicações práticas de rastreabilidade. O comportamento verificado está alinhado ao modelo físico de sistemas RFID passivos UHF, nos quais a potência recebida pela etiqueta decresce com o aumento da distância, comprometendo a probabilidade de resposta e elevando a incidência de falhas.

Tabela 02 - Leituras bem-sucedidas em função da distância do brinco.

<b>Ângulo (°)</b>	<b>Média (leituras)</b>	<b>Taxa média (%)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Taxa de falha (%)</b>
30	840,67	84,07	15,53	15,93
45	607,00	60,70	68,73	39,30
60	119,33	11,93	24,34	88,07

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os resultados da Tabela 2 evidenciam influência direta do ângulo de orientação da TAG sobre o desempenho do sistema RFID a 100 cm de distância. No ângulo de 30°, a taxa média de leitura foi de 84,07%, com desvio padrão de 15,53 leituras, indicando comportamento estável e boa repetibilidade experimental. Com o aumento do ângulo para 45°, observou-se redução significativa da taxa média para 60,70%, acompanhada de aumento expressivo da variabilidade (DP = 68,73), o que indica maior instabilidade do sistema nessa condição.

Em 60°, o desempenho foi drasticamente comprometido, com taxa média de leitura de apenas 11,93% e taxa de falha de 88,07%, caracterizando essa condição como região crítica de operação. A queda progressiva do desempenho com o aumento do ângulo está associada à redução do acoplamento eletromagnético entre a antena leitora e a TAG, fenômeno típico de sistemas UHF cuja eficiência depende fortemente do alinhamento entre as polarizações.

Os resultados obtidos no presente estudo apresentam convergência conceitual com os achados de Adrion et al. <sup>(19)</sup>, que também observaram forte dependência do desempenho de leitura UHF em relação ao posicionamento e à orientação da TAG. No trabalho citado as taxas de detecção superiores a 95% foram reportadas em condições ideais de alinhamento, com redução significativa quando havia desalinhamento ou variação estrutural na instalação das antenas. De forma semelhante, neste estudo verificou-se queda progressiva da taxa de leitura com o aumento do ângulo,

especialmente a partir de 45°, indicando que a orientação exerce influência crítica sobre o acoplamento eletromagnético e a eficiência do sistema.

## V. CONCLUSÃO

O trabalho demonstra que o sistema desenvolvido para rastreabilidade bovina, baseado em identificação eletrônica por radiofrequência integrada a uma plataforma digital, cumpre o objetivo de oferecer uma solução viável para melhorar a precisão, a organização e a confiabilidade das informações utilizadas na gestão do rebanho. A pesquisa confirma que a automação do processo de identificação, aliada ao registro estruturado dos dados, fortalece o controle sanitário e produtivo e contribui para a modernização da cadeia pecuária. Embora algumas limitações tenham sido identificadas em ambiente controlado, elas não comprometem a funcionalidade do sistema e indicam oportunidades de aperfeiçoamento em estudos futuros. Assim, o trabalho apresenta uma contribuição prática e aplicável ao avanço da rastreabilidade animal, com potencial para ampliar sua adoção em diferentes contextos produtivos.

## V. REFERÊNCIAS

1. ADRION, F.; KAPUN, A.; HOLLAND, E. M.; STAIGER, M.; LÖB, P.; GALLMANN, E. Novel approach to determine the influence of pig and cattle ears on the performance of passive UHF-RFID ear tags. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 140, p. 440-451, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.004>.
2. AKHIGBE, I. et al. IoT technologies for livestock management: a review of present status, opportunities, and future trends. **Big Data and Cognitive Computing**, v. 5, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/bdcc5010010>.
3. 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, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.102047>.
4. BEN AYED, R.; HANANA, M. Artificial intelligence to improve the food and agriculture sector. **Journal of Food Quality**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2021/5584754>.
5. BOONSONG, W. Animal identification and performance analysis based on RFID-IoT smart farming applications. **Przegląd Elektrotechniczny**, v. 98, n. 2, p. 6-9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15199/48.2022.02.02>.
6. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 51, de 1º de outubro de 2018. **Institui o Sistema Brasileiro de**

**Identificação Individual de Bovinos e Bubalinos (SISBOV).** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 out. 2018. Seção 1.

7. ELBASI, E. et al. Artificial Intelligence Technology in the Agricultural Sector: A Systematic Literature Review. **IEEE Access**, v. 11, p. 171-202, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3232485>.

8. GUPTA, Z.; BINDAL, A.; CHOPRA, I. Smart agriculture: a comprehensive and analytical survey. In: **IEEE International Conference on Intelligent Innovations (IC3I)**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IC3I59117.2023.10397737>.

9. LANDALUCE, H. et al. A review of IoT sensing applications and challenges using RFID and wireless sensor networks. **Sensors**, v. 20, n. 9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20092495>.

10. LINAZA, M. T. et al. Data-Driven Artificial Intelligence Applications for Sustainable Precision Agriculture. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1-25, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11061227>.

11. MATZEMBACHER, D. E. et al. An integration of traceability elements and their impact in consumer's trust. **Food Control**, v. 92, p. 420-429, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.05.014>.

12. MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 8. ed. New York: John Wiley & Sons, 2013.

13. NEETHIRAJAN, S.; KEMP, B. Digital Twins in Livestock Farming. **Animals**, v. 11, n. 4, p. 1008, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani11041008>.

14. PEDROSO, M. C.; ZWICKER, R.; SOUZA, C. A. Adoção de RFID no Brasil: um estudo exploratório. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 12-36, jan./fev. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-69712009000100002>.

15. RATHOD, L. M. et al. Cloud Computing and Networking for SmartFarm AgriTech. **Journal of Nanomaterials**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/6491747>.

16. TORKY, M.; HASSANEIN, A. E. Integrating blockchain and the internet of things in precision agriculture: analysis, opportunities, and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105476>.

17. VIJAYA, C.; PARAMITA, G.; GIOVANNI, P.; SUNITA, M. An overview of smart agriculture using internet of things (IoT) and web services. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 26, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100607>.

18. YANG, L.; LIU, X. Y.; KIM, J. S. Cloud-based livestock monitoring system using RFID and blockchain technology. In: **IEEE International Conference on Cloud and Edge Computing**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/CSCloud-EdgeCom49738.2020.00049>.

19. YU, Z. et al. Smart traceability for food safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1830262>.

## VI. AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo apoio institucional e incentivo à pesquisa científica no Estado, que foi fundamental para a realização deste trabalho. Estendo minha gratidão especial aos meus orientadores e coorientadores, pelo acompanhamento dedicado, pelas orientações precisas e pelo constante incentivo durante todas as etapas do mestrado. Também agradeço aos professores do programa de pós-graduação, que contribuíram de forma significativa com seus conhecimentos, críticas construtivas e apoio acadêmico, possibilitando meu crescimento científico e profissional. O suporte da FAPEG, aliado à orientação e ao ensino recebido, foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa em rastreabilidade bovina, contribuindo para o avanço do conhecimento na área da pecuária de precisão e da segurança alimentar.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.