

Leitora RFID automática com multiconectividade para pecuária de precisão

Cleiton Anderson Perfilio dos Santos¹, Fábio Iaione¹,
Quintino Izidio dos Santos Neto², Pedro Paulo Pires²

¹Faculdade de Computação (FACOM)
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
Cidade Universitária - CEP 79070-900 - Campo Grande - MS - Brasil

²Embrapa Gado de Corte
Av. Rádio Maia - 830 - Vila Popular - CEP 79106-550 - Campo Grande - MS - Brasil

cleiton.profilio@gmail.com, iaione@facom.ufms.br, {quintino.izidio,
pedropaulo.pires}@embrapa.br

Abstract. *Brazil is the largest meat exporter and will obtain certification as a country free of foot-and-mouth disease without vaccination in the coming years, a worrying scenario in border areas. Thus, it will be necessary to implement systems to detect fever in animals, the first symptom of foot-and-mouth disease. Cattle breeders use RFID transponders on animals, which identify and measure their temperatures. The available models of RFID readers, used to read the transponders, have many limitations. Given the above, we have developed an RFID reader with multi-connectivity, which sends data to different destinations in the cloud, being a serviced subsystem for building systems that help producers in decision making related to animal health.*

Resumo. *O Brasil é o maior exportador de carnes e obterá nos próximos anos a certificação de país livre de aftosa sem vacinação, um cenário preocupante em áreas fronteiriças. Assim, será necessário implementar sistemas para detecção de febre nos animais, primeiro sintoma da aftosa. Atualmente, utilizam-se transponders RFID nos animais, que identificam e medem suas temperaturas. Os modelos disponíveis de leitoras RFID, usadas para ler os transponders, apresentam muitas limitações. Dado o exposto, desenvolveu-se uma leitora RFID com multiconectividade, que envia os dados para diferentes destinos na nuvem, sendo um subsistema imprescindível para construção de sistemas que auxiliarão os produtores na tomada de decisão relacionada à saúde animal.*

1. Introdução

O Brasil possui o maior rebanho comercial do mundo, com cerca de 222 milhões de cabeças, sendo o maior exportador em volume e o terceiro em receita [dos Santos et al. 018a]. De acordo com o Censo Agropecuário, pela primeira vez em quase cem anos houve redução da área de pastagem e aumento da produtividade média da pecuária nacional [dos Santos et al. 018a]. Um dos principais desafios é agregar valor à carne produzida, com o uso de tecnologias e obtenção de certificações internacionais. Em maio de 2018, o Brasil obteve a certificação de país livre de febre aftosa com vacinação, da Organização Mundial de Saúde Animal (OIE). O próximo passo é retirar a

vacinação do rebanho até 2023, cujo objetivo é obter a certificação de país livre da aftosa sem vacinação [dos Santos et al. 018b]. Observa-se um cenário promissor do ponto de vista comercial, porém preocupante do ponto de vista produtivo, principalmente em áreas próximas às fronteiras com outros países. Com a retirada da vacinação, além de medidas sanitárias em conjunto com países vizinhos, é necessário implementar sistemas para monitoramento dos animais, de forma que seja possível identificar alterações da temperatura corporal rapidamente, uma vez que o primeiro sintoma da febre aftosa é a febre alta [dos Santos Neto 2010] e essa doença pode causar prejuízos financeiros e sociais catastróficos.

O monitoramento da temperatura utilizando termômetro retal e aprisionamento dos animais no brete é inviável em grandes rebanhos, com milhares ou milhões de cabeças de gado. O uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) na pecuária (pecuária de precisão) permite um acompanhamento mais rápido, seguro e menos invasivo do animal, evitando assim seu estresse. Neste sentido, uma solução já em uso é a Identificação por Radiofrequência (RFID - *Radio Frequency IDentification*), na qual um transponder RFID fixado no animal permite, além de identificar o animal conforme exigido pelo Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Origem Bovina e Bubalina (SISBOV) [Agrosuisse], medir parâmetros fisiológicos como a temperatura corporal [dos Santos Neto 2010, de Moraes 2018]. Os transponders mais utilizados em bovinos são o brinco auricular, utilizado apenas para identificação, o bolus intra-ruminal e o implante subcutâneo, que além da identificação permitem monitorar a temperatura. Os transponders para aplicação em animais utilizam a faixa LF (*Low Frequency*), na frequência de 134,2 kHz, de curto alcance, porém com maior penetração em tecidos vivos. Segundo as normas internacionais [International Organization for Standardization 1996a, International Organization for Standardization 1996b], esses dispositivos podem ser do tipo FDX (*Full Duplex*) ou HDX (*Half Duplex*).

Para leitura dos dados de identificação e temperatura, enviados pelos transponders RFID, utilizam-se leitoras com antena do tipo bobina. Essas leitoras coletam os dados quando o animal, com o transponder, aproxima-se da área de alcance da antena, 0,5 a 1,5 m. Os transponders geralmente necessitam da energia emitida pela própria antena da leitora, para alimentarem seus circuitos internos, e então enviarem seus dados. Para o monitoramento de um rebanho, várias leitoras devem ser espalhadas por toda propriedade rural, fixadas em locais de maior fluxo de animais, tais como, cochos de água e alimento, locais de passagem, e outros.

Além da pesquisa de soluções disponíveis no mercado, foi realizada uma revisão sistemática da literatura em seis bases de dados renomadas, resultando em 1628 artigos no total, e quatro artigos após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Verificou-se que no mercado existem vários modelos de leitoras RFID [GAO RFID Inc. b, GAO RFID Inc. a, GAO RFID Inc. c, AnimallTAG], entretanto, essas leitoras, assim como outras desenvolvidas em pesquisas semelhantes [Arnaud and Bellini 2010, Moncayo et al. 2011, Addo-Tenkorang et al. 2019, Williams et al. 2019], apresentam limitações que as tornam inadequadas para utilização na pecuária. A primeira limitação é o envio dos dados lidos apenas por meio de cabos, serial EIA/TIA-232 ou USB, ou por meio de tecnologia sem fio de curto alcance (bluetooth), o que inviabiliza sua instalação no campo em vários pontos da propriedade rural, a vários quilômetros da sede. A segunda

limitação é o fato dessas leitoras RFID serem construídas para funcionarem normalmente sob o controle de um operador humano. Esse operador deve posicionar a antena manualmente perto do animal e pressionar um botão para que a leitura do transponder RFID seja realizada, o que é inviável em grandes rebanhos. Além disso, essas leitoras normalmente necessitam da rede elétrica para recarga da bateria, sem a possibilidade de uso no campo de forma autônoma. A terceira limitação é a falta de interoperabilidade, pois essas leitoras normalmente fornecem os dados coletados em formatos proprietários. A última limitação é o custo relativamente elevado, que inviabiliza a utilização devido à grande quantidade de leitoras necessárias em propriedades rurais com grandes rebanhos.

Dado o exposto, desenvolvemos uma leitora RFID de baixo custo, alimentada por energia solar, que permite ler os transponders e enviar os dados à Internet de forma automática, sendo adequada para aplicação na pecuária. Com relação à conectividade, a leitora RFID desenvolvida é modular, permitindo a utilização de diferentes tecnologias de comunicação, de acordo com a disponibilidade na propriedade rural, reduzindo assim o custo da leitora. Além da multiconectividade, a leitora RFID pode enviar os dados coletados dos transponders para diferentes destinos na nuvem, tornando-a independente de plataforma.

Como contribuições desse trabalho, podemos citar as seguintes: o hardware da nova leitora RFID, de baixo custo e “alimentado” por energia solar; o *firmware* da nova leitora RFID, com uma interface homem-máquina baseada em páginas web; a capacidade de multiconectividade, consistindo em WiFi, GSM/GPRS, e LoRaWAN; a capacidade de envio dos dados coletados dos transponders para diferentes destinos (plataforma TagoIO, servidor FTP, servidor de banco de dados, planilhas do Google Drive).

2. Materiais e Métodos

A Figura 1 apresenta uma visão geral da leitora RFID desenvolvida, a qual recebe os dados lidos pela antena quando um animal se aproxima da área de leitura. As leituras são armazenadas e transmitidas, em intervalos configuráveis, por meio dos módulos de comunicação para os destinos configurados. Toda a configuração do equipamento é feita via interface web, acessível via conexão Wi-Fi (rede criada pela leitora).

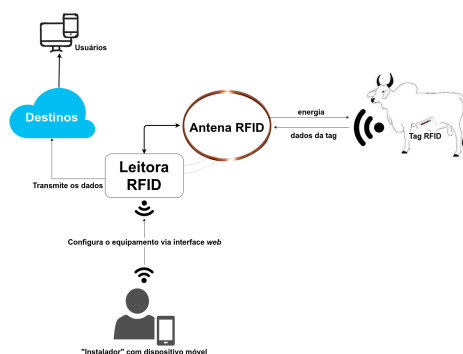


Figura 1. Visão geral da leitora RFID.

Foram utilizados os seguintes componentes na leitora RFID desenvolvida: ESP32-WROOM-32D (DevkitC v4 - 38 pinos), módulo leitor RFID RFIDRW-E-TTL (ISO 11784 e 11785), antena RFID circular (diâmetro de 55 cm, 31 espiras de fio 19

AWG), módulo LoRaWAN RD49C, módulo GSM/GPRS SIM800L EVB, módulo GPS GY-NEO6MV2, módulo Relé, sensor de passagem infravermelho PR18S-TM10DNO, módulo regulador de tensão LM2596 SMD, bateria chumbo-ácido selada UP1270SEG (12V / 7Ah), e painel solar 12V / 7W. A escolha dos componentes foi baseada no custo financeiro e disponibilidade no mercado. A Figura 2 exibe o diagrama de blocos da leitora RFID, onde é possível ter uma visão geral do equipamento.

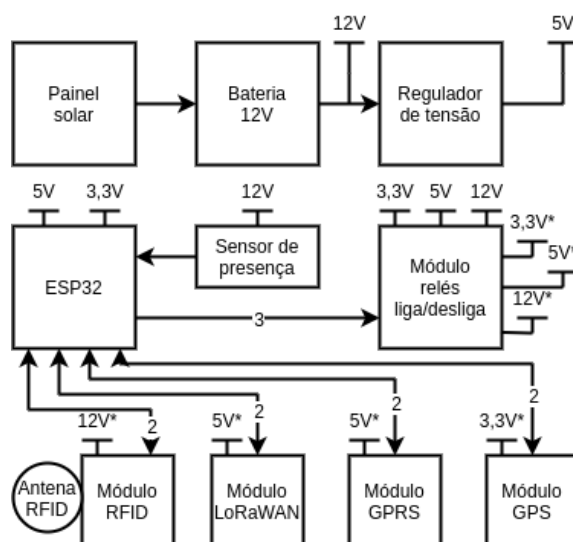


Figura 2. Diagrama de blocos da leitora RFID desenvolvida.

O sistema utiliza três tensões de alimentação, 12V fornecido pela bateria, 5V fornecido pelo módulo regulador de tensão, e 3,3V fornecido pelo ESP32. Essas tensões são controladas pelo módulo relé (12V*, 5V*, 3,3v*) de forma que os módulos possam ser ligados somente quando forem utilizados, aumentando a autonomia da bateria.

O sensor infravermelho de passagem (emissor e receptor) é responsável por identificar quando um animal aproxima-se da leitora. O módulo leitor RFID é conectado a antena e a um LED, indicador da leitura de um transponder. O envio e recebimento de dados do MCU para os módulos RFID, GPS, GSM/GPRS e LoRaWAN é feito via quatro portas UART diferentes (EIA/TIA 232, níveis TTL). Além disso, há um *buzzer* conectado ao pino GPIO 13, sendo responsável por emitir um sinal sonoro quando a leitora finalizar a inicialização, realizar a leitura de um transponder ou iniciar uma nova transmissão. Por fim, no pino GPIO 33 do MCU está conectada a saída do sensor de proximidade.

2.1. Firmware

O *firmware* foi desenvolvido na linguagem C++, utilizando a ferramenta Arduino IDE, por 1 (um) desenvolvedor em um período aproximado de 18 meses, sendo composto por duas partes: um *back-end* com as ações de funcionamento da leitora e um *webserver* que disponibiliza páginas HTML, por meio das quais é possível realizar todas as configurações da leitora.

O *setup* do *firmware* (inicialização) executa as seguintes tarefas: inicialização das portas seriais; configuração dos pinos de controle dos relés e do sensor de proximidade; configuração de todos os módulos presentes; atualização do *Real Time Clock* (RTC) do

ESP32 via GSM/GPRS e coordenadas geográficas via GPS; configuração do *webserver*; e sinalização do término da inicialização.

No *loop*, além do gerenciamento de solicitações de páginas web e do tratamento de comandos recebidos via porta serial USB, são executadas duas tarefas principais: tratar o *timeout* para nova transmissão, e verificar se algum transponder foi lido.

Quando ocorre um *timeout* de transmissão, inicialmente a função verifica se existem leituras a serem transmitidas. Se não existirem, desliga os relés e coloca o ESP32 no modo *deep sleep*, que despertará em duas condições: detecção de um animal pelo sensor de passagem (*Wake Up Ext0*), ou ocorrência de outro *timeout* de transmissão (*timer wake up*). Caso existam leituras a serem transmitidas, o MCU fará a leitura do arquivo `leituras.csv` e tentará transmitir utilizando cada uma das tecnologias, duas vezes, de acordo com a lista de prioridade de transmissão. As transmissões via GSM/GPRS e Wi-Fi possuem diferentes destinos, que podem ser configurados via interface web, apresentados a seguir. Após a transmissão de todas as leituras, é feita a remoção do arquivo `leituras.csv`, a habilitação do *Wake Up Ext0*, a emissão de um sinal sonoro, o desligamento dos relés, e o início do *deep sleep*.

Após o ESP32 ser despertado pela passagem de um animal no sensor, o transponder do animal entra na área de leitura da antena e o módulo RFID envia caracteres pela porta serial para o ESP32, que envia o comando RAT ao módulo RFID, solicitando todos os dados lidos do transponder. A identificação única do animal e sua temperatura são extraídas dos dados recebidos e armazenadas no arquivo `leituras.csv`, em conjunto com a data e hora, obtidas do RTC. Nesse arquivo também são adicionados o MAC da leitora e suas coordenadas geográficas. Considerando a capacidade da memória do ESP32, verificou-se que é possível armazenar as leituras de 52400 animais por dia, o que equivale à passagem de um animal a cada 1,65 s durante 24 h, valor esse impossível de ocorrer na prática. Por fim, é emitido um sinal sonoro, os relés são desligados, e é iniciado o *deep sleep*.

2.1.1. Destinos de Envio das Leituras

Uma das principais características da leitora é a multiconectividade, permitindo seu uso com diversas tecnologias de transmissão. Além disso, foi implementado o envio de dados para vários destinos, de forma a garantir a independência de plataformas específicas, evitando eventuais problemas futuros com a desativação e/ou mudança de termos/valores dessas plataformas. As leituras podem ser enviadas aos seguintes destinos:

- TagoIO: é necessário cadastrar o dispositivo na plataforma e informar o *Device Token* na interface web da leitora;
- Servidor FTP: devem ser informados o endereço do servidor, usuário e senha na interface web da leitora. As leituras serão gravadas em subdiretórios e arquivos com o seguinte padrão de nomes: `mm-aaaa/dd-mm-aaaa.csv`;
- Servidor de Banco de Dados MySQL: é necessário informar o endereço do servidor/*script* e uma chave de autenticação. No servidor, um *script* é responsável por inserir os dados no banco de dados;
- Planilhas Google: deve ser criada uma planilha e um *script* associado, que irá gerar um ID, para ser informado na interface web da leitora.

As transmissões realizadas via Wi-Fi ou GSM/GPRS podem ser enviadas diretamente aos destinos apresentados. Para as transmissões via LoRaWAN, é necessário adicionar a integração. Nos testes realizados, foi utilizado o *gateway* RD43HAT, da marca Radioenge, com a pilha Chirpstack instalada e configurada. Nele foram criadas as integrações, permitindo o envio das leituras para os seguintes destinos: TagoIO, envio do *payload* à TagoIO; *script* PHP local, escreve os dados em arquivo `.csv`; *script* PHP remoto, escreve os dados também em arquivo `.csv`.

3. Resultados e Discussões

Na Figura 3, é exibido o hardware da leitora com a identificação dos componentes acondicionados dentro da caixa protetora, da qual saem quatro cabos: emissor e receptor do sensor de passagem; painel solar e antena RFID.

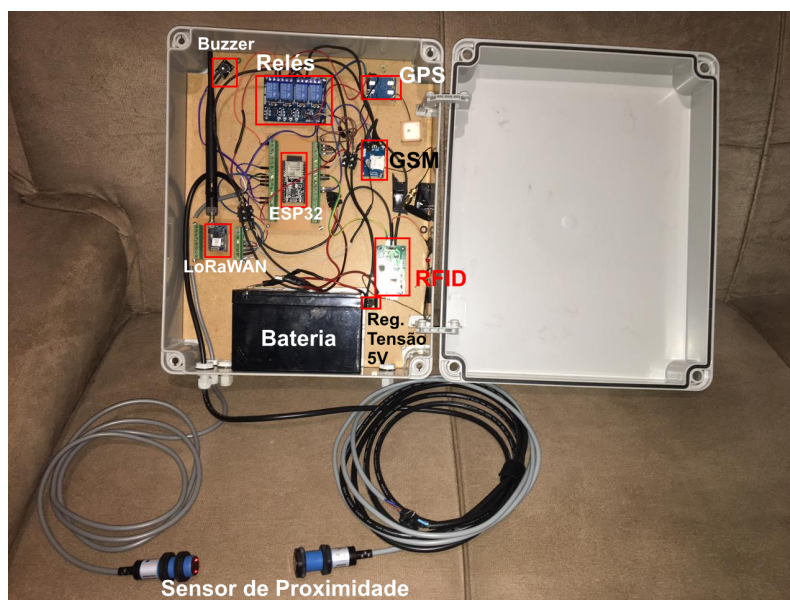


Figura 3. Imagem do hardware da leitora com a identificação dos componentes. Dimensões 380 x 300 x 120 mm.

3.1. Visão Geral do Firmware

A seguir serão descritos os resultados relacionados às duas principais partes do *firmware*.

3.1.1. Interface Web

Após a inicialização da leitora, esta cria uma rede sem fio denominada *LeitoraRFID*, com a senha inicial 12345678, ambos configuráveis. Ao se conectar à rede sem fio da leitora, é possível acessar sua interface web (192.168.4.1 ou *leitora.local*) e realizar as configurações necessárias.

Após o *login*, é mostrada a página principal da interface web. Nessa página há sete seções, porém duas estão ocultas inicialmente. Na seção Status (Figura 4) são exibidas as informações de data, hora, fuso horário, coordenadas, rede Wi-Fi da leitora, rede Wi-Fi que está conectada como cliente (caso houver), status dos módulos LoRaWAN e

GSM/GPRS e se há leituras para transmitir. Nesse último, caso houver, será exibido um botão que permite realizar o download das leituras armazenadas e ainda não transmitidas.



Figura 4. Seção status da página principal da interface da leitora RFID.

Na Figura 5, são exibidos os recursos disponíveis na seção Configurações Gerais: lista de prioridade de transmissão, intervalo entre as transmissões, destinos configurados, configurações de data e hora, ajustes da interface web, adicionar/configurar destinos e interface de comando para testes.



Figura 5. Seção configurações gerais da página principal da interface da leitora RFID.

As demais seções da página principal da interface web da leitora são:

- Status dos relés: permite ligar ou desligar um relé específico, útil para ativar o relé de algum módulo, quando for necessário configurá-lo;
- *Reset* de fábrica: apaga todos os arquivos de configuração, retornando a leitora à sua configuração inicial;
- Wi-Fi: permite conectar a leitora à uma rede Wi-Fi (cliente) e ajustar o SSID e senha da rede Wi-Fi criada pela leitora (AP).

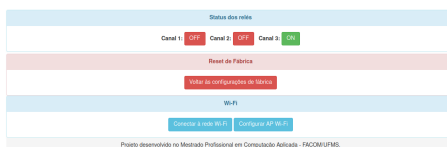


Figura 6. Seções Status dos relés, *reset* de fábrica e Wi-Fi da página principal da interface da leitora RFID.

As seções LoRaWAN e GSM inicialmente estão ocultas porque o relé do módulo (IN2) está desativado. Para visualizar essa seção, é necessário ligá-lo na seção Status dos relés, sendo permitido configurar o módulo LoRaWAN com ativação ABP ou OTAA e o chip (SIMCard) instalado no módulo SIM800L. Para o correto funcionamento, deve ser

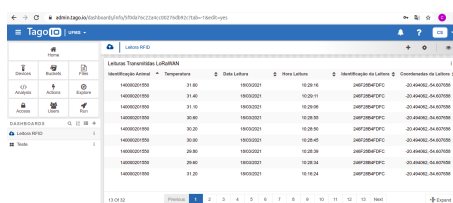
informado o *Access Point Name* (APN) da operadora de telefonia celular, usuário e senha, caso necessário.

3.1.2. Destinos de Envio das Leituras

As leituras realizadas pela leitora podem ser enviadas para os destinos apresentados anteriormente. Para isso, é necessário acessar a interface web da leitora e adicionar as informações necessárias para configurar o(s) destino(s).

Nas transmissões via GSM/GPRS e Wi-Fi serão feitas duas tentativas de transmissão. Em caso de falha, serão realizadas novas tentativas com o destino seguinte. As transmissões via LoRaWAN também terão duas tentativas e poderão ser enviadas a um ou mais destino(s), porém isso depende da integração criada no *gateway*.

Para melhor visualização dos dados na plataforma TagoIO foi criado um *dashboard* chamado *Leitora RFID*, no qual foi adicionado um *widget* para cada módulo de transmissão, que permite exportar os dados para CSV ou XLSX. Na Figura 7, é possível visualizar as leituras transmitidas via LoRaWAN em formato de tabela.



The screenshot shows a web browser window displaying the TagoIO dashboard. A table titled 'Leituras Transmitidas (LoRaWAN)' is visible, containing the following data:

Identificação Animal	Temperatura	Data Leitura	Hora Leitura	Identificação do Leitor	Coordenadas do Leitor
1400001000	31,80	19/03/2021	19:29:16	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700
1400001000	31,40	19/03/2021	19:29:11	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700
1400001000	31,10	19/03/2021	19:29:06	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700
1400001000	30,80	19/03/2021	19:29:01	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700
1400001000	30,50	19/03/2021	19:28:56	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700
1400001000	30,20	19/03/2021	19:28:51	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700
1400001000	30,00	19/03/2021	19:28:46	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700
1400001000	29,80	19/03/2021	19:28:39	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700
1400001000	29,60	19/03/2021	19:28:34	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700
1400001000	31,20	19/03/2021	19:28:24	DMP70B05FC	20.44862,-54.83700

Figura 7. Widget adicionado a dashboard criada na plataforma TagoIO para visualização das leituras transmitidas via LoRaWAN.

Os dados transmitidos por GSM/GPRS e Wi-Fi também podem ser visualizados da mesma maneira, na forma de tabelas. Poderia ser criado um único *gadget* para todas as tecnologias de transmissão, porém, foram separados de forma a identificar a origem dos dados e facilitar a visualização.

A planilha criada no Google Drive para recebimento das leituras transmitidas pela leitora via Wi-Fi ou GSM/GPRS possui um *script* associado a ela, também armazenado no Google Drive, responsável por receber os dados e inserir nas colunas.

Para o envio dos dados às planilhas Google via LoRaWAN com o Chirpstack, é necessário adicionar à integração um *script* que faça um POST para o *script* Google. Todos os dados lidos dos transponders e transmitidos aos vários destinos foram validados mediante comparações do conteúdo exibido no terminal serial (porta serial USB), para realização de testes, com o armazenado na aplicação de destino.

O formato das leituras é o seguinte:

```
identificação_animal;temperatura;data_leitura;hora_leitura;mac_leitora;  
coordenadas_leitora
```

3.2. Testes de Campo

Os testes de campo foram realizados no Mangueiro Digital da Embrapa Gado de Corte, responsável pelo manejo dos animais. Para isso, foram separados cinco animais que

possuíam bolus intra-ruminal (HDX).

No primeiro teste, o objetivo foi verificar o funcionamento do equipamento e validar a estrutura montada. Foi utilizada a antena RFIDCOIL-250A, que acompanha o módulo leitor RFID, aproximada manualmente na posição vertical em relação ao animal. Foi possível realizar a leitura do bolus de apenas um animal e os dados foram transmitidos via GSM/GPRS.

No segundo teste, foi instalada uma antena em formato circular, à aproximadamente 70 cm acima do solo, sendo possível realizar a leitura do bolus de apenas um animal.

Acredita-se que a pequena distância de leitura proporcionada pelo módulo RFID utilizado e a imprevisibilidade da posição do bolus no estômago do animal influenciaram diretamente na capacidade de leitura. Se o bolus não estiver com sua bobina alinhada concentricamente com a bobina da antena, diminui o acoplamento magnético e as leituras podem falhar. Espera-se que o uso de um leitor RFID de maior potência e duas bobinas posicionadas de forma perpendicular apresentem melhores resultados.

Além disso, foi possível constatar que *tags* HDX apresentam distância menor de leitura em comparação às *tags* FDX. Isso se deve ao fato de que as primeiras precisam armazenar energia para depois transmitir, enquanto que as FDX realizam as duas ações simultaneamente, tornando o processo de leitura mais rápido.

Para validar o funcionamento do equipamento em situação de produção, a leitora foi montada no mangueiro (Figura 8) e a passagem do animal foi simulada, interrompendo o feixe do sensor de presença e aproximando manualmente um implante subcutâneo (FDX), à cerca de 10 cm da antena.

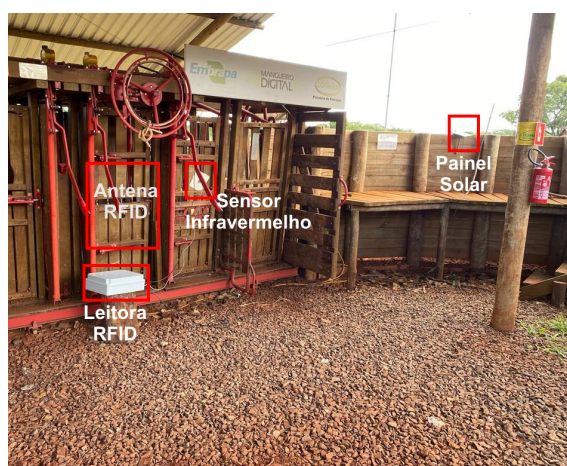


Figura 8. Leitora RFID montada no Mangueiro Digital da Embrapa Gado de Corte.

O *gateway* LoRaWAN e um roteador Wi-Fi foram instalados aproximadamente à 150 metros do mangueiro, local onde a leitora RFID foi instalada, e que possui cobertura de telefonia celular.

Foram realizadas cinquenta leituras para cada tecnologia de transmissão, totalizando cento e cinquenta leituras, as quais foram recebidas nos destinos utilizados.

3.3. Teste de Autonomia da Bateria

Para a medição de corrente elétrica da leitora, foram realizadas cinco medições durante a inicialização/leitura, transmissão e *deep sleep*, com um multímetro da marca Hikari, modelo HM-1001. Assim, foi possível obter os valores médios das correntes: 0,2 A na inicialização/leitura, 0,2 A na transmissão, e 0,03 A em *deep sleep*, e dos tempos correspondentes: 4 s (DP = 0,1 s) na inicialização/leitura, e 6,6 s (DP = 2,1 s) na transmissão.

Sendo assim, realizou-se uma estimativa da autonomia da bateria (Tabela 1), que resultou em 8,5 dias (7Ah / 0,82Ah), considerando nenhuma incidência de luz no painel solar, autonomia que sugere uma operação contínua adequada, durante sua utilização no campo.

Tabela 1. Consumo da leitora durante 24 horas (86400 s), considerando a passagem de 200 animais próximos a antena.

Estado	Corrente	Tempo	Ah
Inic./Leit. transp.	0,2 A	4 s x 200 = 800 s	0,04 Ah
Transmitindo	0,2 A	6,6 s * 200 = 1320 s	0,07 Ah
<i>Deep Sleep</i>	0,03 A	86400-800-1320=84280 s	0,7 Ah
Total			0,82 Ah

3.4. Custos da leitora RFID

Na Tabela 2 são apresentados os custos de cada componente da leitora RFID construída. Cabe observar que para disponibilização no mercado existem custos de produção, distribuição, e outros, difíceis de serem estimados nessa etapa da pesquisa.

Tabela 2. Custo dos componentes da leitora RFID.

Item	Descrição	Quantidade	Valor (FOB)
1	ESP32-WROOM-32D	1	US\$ 3,36
2	Módulo leitor RFID FDX-B/HDX Antena RFID-COIL 250A	1	US\$ 37,63
3	Módulo EndDevice LoRaWAN	1	US\$ 17,87
4	Módulo SIM800L	1	US\$ 4,07
5	Módulo Relé 5V 4 Canais	1	US\$ 4,61
6	Módulo GPS GY-GPS6MV2	1	US\$ 7,92
7	Sensor Infravermelho Lanbao PR18S-TM10DNO	1	US\$ 3,74
8	Painel Solar 12V	1	US\$ 5,00
9	Adaptador com bornes para ESP32 e módulo LoRaWAN	1	US\$ 19,11
10	Caixa Tampa Alta Opaca 380X300X120 CEMAR	1	US\$ 23,32
11	Módulo Regulador de Tensão Ajustável LM2596 Smd	1	US\$ 2,38
12	<i>Buzzer</i> Passivo	1	US\$ 1,98
13	Bateria selada Unipower, modelo UP1270SEG, 12V/7Ah	1	US\$ 20,00
Total			US\$ 150,99

Pode-se constatar que o custo final não chega a 50% do custo da leitora RFID de menor valor encontrada no mercado (US\$ 389,00 FOB). Além disso, a leitora RFID construída oferece mais recursos e autonomia de operação, permitindo o funcionamento de forma estacionária e o envio de dados de forma periódica.

Considerando a modularização do equipamento, o custo final pode ser ainda menor. Pois a leitora pode utilizar apenas os módulos de comunicação de acordo com as tecnologias de conectividade disponíveis na propriedade.

4. Conclusão

A leitora RFID desenvolvida disponibiliza várias formas de transmissão de dados, permitindo seu uso nas mais diversas localidades, além de possibilitar a obtenção de dados em tempo hábil, sem a necessidade de ter um dispositivo conectado fisicamente à ela.

O *firmware* desenvolvido possibilita toda a configuração do equipamento por meio de uma interface web, simples e intuitiva. O hardware foi construído com componentes de baixo custo e que podem ser adquiridos facilmente no mercado especializado, de forma a ter um produto final com custo acessível e comercializável, sem similares no mercado.

Os testes em laboratório mostraram resultados interessantes na validação do processo de leitura e transmissão. Os testes realizados em campo foram suficientes para verificar o funcionamento da leitora. Assim, foi possível validar a proposta da leitora e realizar ajustes, principalmente da antena.

Cabe destacar a conectividade de rede da leitora e sua modularização, possibilitando a seleção dos módulos de comunicação de acordo com as características do local de instalação, a obtenção dos dados em intervalo de tempo configurado de acordo com as necessidades e a autonomia do equipamento, que após ser configurado não necessita de dispositivos auxiliares e/ou manuseio físico. Além disso, a conectividade de rede possibilita o envio de dados aos mais diversos destinos. Isso permite a recepção dos dados em plataformas mais acessíveis aos usuários, garantindo uma grande “flexibilidade”, além de tolerância à desativação destas e o “consumo” dos dados por aplicações externas.

Uma limitação do hardware a ser destacada é em relação ao módulo leitor RFID, que apresentou uma distância de leitura menor do que o esperado. Foram confeccionadas antenas diferentes no intuito de aumentar essa distância, porém não foram observadas melhorias consideráveis por conta da baixa potência que o módulo envia à antena.

Portanto, sugere-se a utilização de um módulo leitor de longo alcance, que permita realizar a leitura do transponder a uma distância de pelo menos 80 cm, que corresponde à largura média do corredor de passagem dos animais, além de uma segunda bobina no chão. Para isso há duas alternativas: adquirir um módulo leitor RFID de alta potência pronto, cujo custo não inviabiliza o custo baixo da leitora; ou desenvolver esse módulo, sendo essa a solução mais interessante do ponto de vista do custo. Além disso, sugere-se verificar a qualidade de comunicação das diversas tecnologias utilizadas em campo, com um número elevado de animais.

O presente trabalho contribui com o desenvolvimento de novas soluções para rastreabilidade animal, tanto para o aprimoramento dos transponders já existentes, quanto para a busca ou construção de módulos leitores e antenas. Portanto, acredita-se que este trabalho trouxe uma importante contribuição para área de pecuária de precisão.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC/Brasil, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES/Brasil, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT.

Referências

Addo-Tenkorang, R., Gwangwava, N., Ogunmuyiwa, E. N., and Ude, A. U. (2019). Advanced animal track--trace supply-chain conceptual framework: An internet of things approach. *Procedia Manufacturing*, pages 56–63.

- Agrosuisse. A rastreabilidade da cadeia da carne bovina no Brasil. Available at http://www.coalizaobr.com.br/boletins/pdf/A-rastreabilidade-da-cadeia-da-carne-bovina-no-Brasil-desafios-e-oportunidades_relatorio-final-e-recomendacoes.pdf (2021/07/08).
- AnimallTAG. Leitor de transponder at05. Disponível em: <https://balancasacores.com.br/wp-content/uploads/2011/12/AT05-datasheet-PT.pdf> (2021/08/12).
- Arnaud, A. and Bellini, B. (2010). Full ISO 11784/11785 compliant RFID reader in a programmable analog-digital, integrated circuit. *2010 Argentine School of Micro-Nanoelectronics, Technology and Applications*, pages 107–111.
- de Moraes, S. C. (2018). *Desenvolvimento de transponder RFID com sensor de temperatura*. PhD thesis, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande - MS.
- dos Santos, C. E. et al. (2018a). Escrito nas nuvens. *Anuário brasileiro da pecuária 2018*, pages 8–9.
- dos Santos, C. E. et al. (2018b). Questão de status. *Anuário brasileiro da pecuária 2018*, pages 34–35.
- dos Santos Neto, Q. I. (2010). *Termus - Uma Plataforma Para Aferição Remota de Temperatura de Bovinos da Raça Brangus*. PhD thesis, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande - MS.
- GAO RFID Inc. 134.2 khz dsp long range fixed rfid reader (212007). Disponível em: https://gaorfid.com/RFID-brochures/134.2_kHz_DSP_Long_Range_Fixed_RFID_Reader_212007.pdf (2021/08/12).
- GAO RFID Inc. 134.2 khz long range rfid reader - 212002b. Disponível em: https://gaorfid.com/RFID-brochures/134.2_kHz_Long_Range_RFID_Reader_212002B.pdf (2021/08/12).
- GAO RFID Inc. 134.2 khz stationary rfid reader (212002). Disponível em: https://gaorfid.com/RFID-brochures/134.2_kHz_Stationary_RFID_Reader_212002.pdf (2021/08/12).
- International Organization for Standardization (1996a). ISO 11784:1996 - Radio frequency identification of animals — Code structure. Standard, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (1996b). ISO 11785:1996 - Radio frequency identification of animals — Technical concept. Standard, Geneva, Switzerland.
- Moncayo, R., Casanova, A. B. V., and Gongora, A. (2011). Designing an electronic identification system and its potential use in beef traceability. *ORINOQUIA*, pages 90–98.
- Williams, L. R., Fox, D. R., Bishop-Hurley, G. J., and Swain, D. L. (2019). Use of radio frequency identification (RFID) technology to record grazing beef cattle water point use. *Computers and Electronics in Agriculture*, pages 193–202.