

Protótipo para Propor um Brinco Bovino para Captura e Transmissão de Sinais Correlacionados a Ruminação e Deslocamento em Gado de Pastoreio

Pedro Henrique Monteiro Marinho, CEFET-MG

Resumo—Brincos bovinos são uma tecnologia conhecida no meio da pecuária e são largamente utilizados para identificação animal, muitos deles já utilizam algum tipo de tecnologia, como leitores de rádio frequência a curtas distâncias (RFID). O objetivo desse trabalho é desenvolver um brinco capaz de se comunicar de forma remota, via uma matriz computadorizada, acoplada de um dispositivo GPS para detectar as coordenadas no pasto/piquete em que o animal está sendo criado, e um sensor de aceleração para detectar movimentos causados pela ação de ruminação. Desta forma, o desenvolvimento e implementação de tal sensor poderá auxiliar produtores de diferentes setores do agronegócio brasileiro.

Index Terms—IEEE, Engenharia Elétrica, TCC, CEFET-MG, Gado, Bovino, Brinco, Monitoramento, Pecuária de precisão.

I. INTRODUÇÃO

O BRASIL é o maior produtor de carne bovina do mundo [1], a pecuária de corte é responsável por uma fatia importante da economia brasileira e movimenta 8,5% do produto interno bruto nacional. De 1974 a 2012 o rebanho bovino cresceu de 92,5 milhões para 213,68 milhões de cabeças, colocando o Brasil em primeiro lugar mundial em número de cabeças bovinas [2]. O sucesso da pecuária nacional não representa geração de renda apenas para os fazendeiros, mas movimenta outros muitos setores do país.

É essencial para qualquer fazenda saber qual animal produz mais, seja carne ou leite, consumindo menos recursos, com o objetivo de selecioná-lo para reprodução. Entretanto, a maior parte da carne bovina brasileira é produzida em sistemas pastagens, são 162,53 milhões de hectares com uma taxa de 1,31 cabeça por hectare. Nesses sistemas onde os animais ficam espaçados em grandes áreas, não é possível para os tratadores identificarem com clareza, através apenas de observações visuais, quais animais são mais eficientes. Desta forma, a introdução de tecnologias de monitoramento pode ajudar fazendeiros a acompanhar cada animal, evitando o fardo de ter que gastar mão de obra e tempo observando o rebanho a olho nu.

De acordo com [1], fazendas que modernizam seus processos conseguem aumentar o número de cabeças por hectare,

diminuem o tamanho do pasto necessário para criação, e quando a tecnologia é utilizada de forma adequada conseguem diminuir os custos operacionais com funcionários, energia, combustível, manutenção, administrativo e depreciações.

Para atender à necessidade por novas tecnologias uma nova área de estudo chamada de pecuária de precisão surgiu, voltada para o gerenciamento individual dos animais por meio de monitoramento em tempo real da saúde, bem-estar, produção, reprodução e impacto ambiental [3]. Dessa forma, vemos empresas que já desenvolvem diversos produtos focados nessa área, existem no mercado bebedouros, balanças e cochos automatizados, análises de comportamento animal sendo feitas através de filmagens termográficas em infravermelho e chips com comunicação em rádio frequência sendo inseridos dentro dos bois para análise química.

O presente trabalho visou desenvolver um dispositivo, em forma de brinco, capaz de detectar e transmitir sinais de ruminação e deslocamento em bovinos. Os brincos estão em uma categoria chamada de dispositivos equipáveis, dentro dessa categoria estão também colares, tornozeliras, anéis caudais etc. O equipamento desenvolvido neste projeto visa detectar sinais de ruminação e deslocamento de bois e vacas, de forma que cada animal é amostrado pelo brinco individualmente de forma contínua e os dados são detectados e transmitidos de 40 em 40 minutos remotamente para acesso dos usuários. Vale ressaltar que este projeto não prevê interpretação e análise de padrões nos dados

A ruminação e deslocamento foram escolhidos por serem fatores importantes para adequação do manejo. A ruminação é um processo característico de vacas, ovelhas, búfalos, camelos e outros ruminantes que mastigam novamente o alimento como parte do processo digestivo, permitindo que os animais consigam a energia contida nas fibras das paredes celulares das plantas. Os ruminantes geralmente comem rapidamente com mastigação mínima, e durante a ruminação o alimento ingerido é regurgitado, mastigado e engolido novamente. O mastigar durante a ruminação é mais lento e consistente do que durante a alimentação.

O acompanhamento da ruminação é importante para identificar doenças que alteram o padrão de ruminação e padrões de alimentação do animal. Na referência [4] foi feito um estudo com gado de corte em processo de engorda, onde através do monitoramento da ruminação, foi possível identificar previamente sinais de doença respiratória bovina (DRB) e claudicação com uma antecedência de 3 a 6 dias antes

Pedro henrique Monteiro Marinho, Belo Horizonte, Minas Gerais (pedrohm@marinho@gmail.com)

Trabalho de Conclusão de Curso submetido em 30/08/2021, orientado pelo Anthony Chiaratti, integrante do Departamento de Eletrônica e Equipamentos Biomédicos do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e coorientado por Túlio Charles Carvalho, integrante do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

que os sintomas clínicos se manifestassem. Isso foi possível pois o tempo de ruminação dos animais com essas doenças diminui se comparado com os animais saudáveis. O tempo de ruminação maior geralmente é associado com um aumento na produção de saliva e um rúmen mais saudável, pois a saliva controla o pH ruminal. Um tempo de ruminação reduzido pode ser interpretado como um indicador de estresse, ansiedade e doenças [5].

Bikker *et al.* [10] e Pereira *et. al* [11] buscaram validar a precisão de um brinco bovino fabricado pela Cowmanager comparando os dados coletados com as observações de pessoas. O sensor é capaz de identificar 4 estados do animal "ruminando", "comendo", "descansando" e "ativo", ambos estudos concluíram que o sensor possui alta precisão para identificação de ruminação e descanso o que habilita os dados dessas atividades a serem utilizados tanto para manejo do gado quanto para fins científicos. Padrões de alimentação e atividade tiveram um nível de correlação menor, o que foi atribuído ao fato de considerarem padrões mais complexos e difíceis de detectar. De forma geral, os sensores podem ser considerados mais precisos e úteis que observadores humanos, pois não dependem de ângulo de visão e são capazes de continuar o monitoramento durante a noite, quando há pouca ou nenhuma incidência de luz.

Por sua vez, os dados de localização são importantes na realização de pesquisas relacionadas ao manejo, dieta e eficiência dos bovinos criados em regimes de pastagem. De acordo com Guo *et al.* [6], os bovinos tem o costume de permanecer em algumas áreas por períodos maiores que outras áreas, a primeira é identificada como região de permanência (*stay regions*) e a segunda como região de locomoção, que é utilizada apenas para se deslocar de um ponto de permanência a outro.

Segundo Souza. *et al* [7] as atividades diárias dos bovinos podem ser caracterizadas por três comportamentos básicos: alimentação, ruminação e ócio. A distribuição e duração de cada comportamento pode ser influenciada pela dieta, condições climáticas, topografia, disponibilidade de água, disponibilidade de forragem etc. Ainda segundo Souza as refeições são fracionadas em turnos, podendo haver várias refeições divididas por intervalos de durações variados, que são destinados a outras atividades como caminhar e ruminar. O animal reage diariamente à disposição do pasto, obtendo uma velocidade de ingestão elevada quando a quantidade de forragem é abundante e apresentando ciclos de saciedade mais rápidos, o que significa maior consumo e ganho de peso.

Souza também evidencia que em regime de criação livre os animais se deslocam mais em decorrência da busca pelo alimento, e gastam mais energia que animais criados em confinamento. A realização do estudo das pastagens e do comportamento digestivo, possibilita a utilização de técnicas de manejo para obtenção de uma melhor eficiência produtiva [8].

A modificação no padrão do pastejo pode interferir no ganho de peso, produção de leite, fertilidade etc., modificações realizadas de forma correta podem otimizar o uso da pastagem

[9]. O histórico de localização do animal produzido por um dispositivo como o brinco bovino ajudaria nas tomadas de decisões necessárias para essa otimização.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

O brinco bovino contará com um módulo equipado com o chip GPS Neo-6M para acompanhamento do posicionamento e com um módulo acelerômetro com o chip MPU6050 para detectar movimentos realizados pela cabeça do animal. A Figura 1 mostra o diagrama de blocos para o dispositivo.

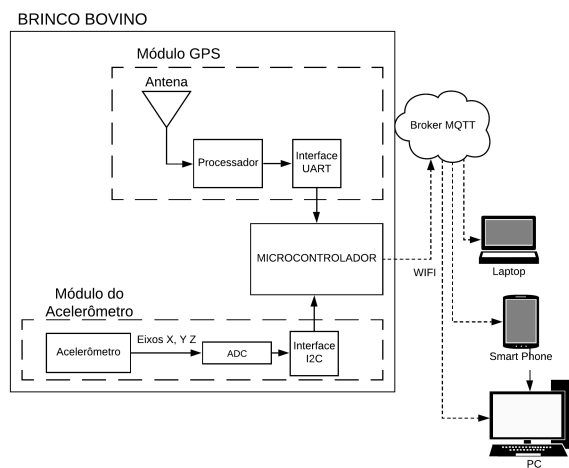


Figura 1. Diagrama de blocos do brinco bovino

A partir do diagrama é possível ver que os sinais fornecidos ao microcontrolador por ambos os módulos são digitais. O GPS utilizará uma interface serial *UART* e o acelerômetro uma interface *I2C*. Os sinais fornecidos pelos módulos são enviados para o microcontrolador, que os trata e, por meio de conexão *Wifi* com a internet, envia pacotes de dados para um broker *MQTT*. Os dados não ficam retidos no *broker*, mas podem ser salvos em um banco de dados para posteriormente os serem acessados pelo usuário através de terminais computadorizados conectados com a internet, como computador, smartphones, laptops etc.

A. Acelerômetro

Ao se conectar à orelha do animal o acelerômetro sofrerá ação de diversos movimentos tais como: o próprio movimento da orelha, movimentos da cabeça de um lado para o outro quando o animal estiver olhando ao seu redor, movimento de sobe e desce quando estiver pastando etc, todos esses movimentos possuem acelerações bruscas e não são o foco de detecção para esse módulo. Buscou-se então estipular uma faixa de aceleração que fosse suficiente para detectar padrões de ruminação, mas que evitasse detectar os movimentos mais bruscos (com maior aceleração).

No experimento para detecção de padrões comportamentais de bovinos utilizando um dispositivo acoplado na parte inferior da mandíbula do animal realizado em [12], verificou-se que 98% dos dados capturados pelo acelerômetro estiveram entre a faixa de +2G (19,6m/s²) e -2G(-19,6m/s²). Por isso, é possível

concluir que a escala de -2G a +2G é a mais adequada para o propósito do projeto, a fim de detectar todos os dados com o máximo de sensibilidade.

O boi reserva um período de tempo para ruminação e fica praticamente parado, sem movimentar a cabeça, movimentando majoritariamente a mandíbula durante esse tempo, por este motivo outro requisito para escolha do acelerômetro é que ele fosse extremamente sensível aos pequenos movimentos detectados.

O MPU-6050 possui maior sensibilidade se comparado com outros acelerômetros no mercado. Ele possui conversor analógico para digital de 16bits para cada um dos eixos x, y e z, permitindo a escolha da escala de -2G até +2G desejada. Dessa forma, a sensibilidade do acelerômetro pode ser calculada como

$$Sensibilidade = \frac{2^R}{LS - LI} = \frac{2^{(16)}}{2 - (-2)} = 16384 LSB/G \quad (1)$$

Onde:

- R é a resolução do conversor ADC
- LS é o limite superior da escala do acelerômetro
- LI é o limite inferior da escala do acelerômetro

A equação 1 mostra que a sensibilidade é proporcional à resolução do conversor analógico para digital e inversamente proporcional ao tamanho da escala selecionada. Para o MPU-6050 cada unidade de força g pode ser representada por 16384 sinais digitais de tensão diferentes, ou então que a faixa que vai de -2G até +2G pode ser dividida em 65536 diferentes representações numéricas em uma escala linear (quatro vezes 16384).

Outro ponto importante para escolha do sensor é sua taxa de amostragem. Os bovinos são animais calmos e a não ser que estejam assustados, eles movimentam a cabeça em baixa velocidade, por isso foi escolhido utilizar uma frequência de amostragem relativamente baixa de 10 amostras por segundo, 0,1Hz. Tal frequência foi validada como satisfatória para detecção comportamental em [13] e [14]. Fornecendo uma amostragem de 4Hz até 1kHz, o MPU-6050 cumpre com mais esse requisito e por isso foi escolhido para o projeto.

Na Figura 2, vemos o sensor MPU-6050 escolhido integrado ao módulo eletrônico. Ele possui as dimensões de (20 x 16 x 1) mm, e possui os seguintes pinos: VCC e GND para alimentação e terra respectivamente, a alimentação pode ser feita com tensão de 3,3V a 5V pois passa por um regulador de tensão que condiciona para 3,3V, SDA e SDL são os pinos utilizados para comunicação I2C; os pinos XDA e XSL são auxiliares para comunicação; ADO é utilizado para endereçamento do sinal e INT para interromper a comunicação de saída.

B. Módulo GPS

Os bovinos criados em regime de pastagem costumam passar a maior parte do tempo em regiões específicas, enquanto as outras áreas do pasto são utilizadas apenas para deslocamento

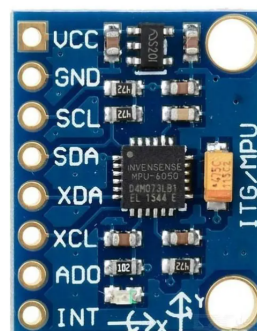


Figura 2. Módulo ITG/MPU que contém o acelerômetro MPU-6050

[6]. A não ser que estejam assustados, os animais não atingem grandes velocidades. De fato, não é bom que o rebanho precise realizar grandes esforços por qualquer que seja o motivo, isso aumenta o gasto calórico e consequentemente afeta o ganho de peso, além de aumentar enrijecer os músculos do boi influenciando na qualidade da carne. Por causa da baixa velocidade de deslocamento dos bovinos, não é necessário que o receptor GPS capture e transmita sinais em alta frequência.

Na realidade, por causa dos muitos fatores que podem influenciar as medições realizadas pelo receptor como: geometria dos satélites conectados ao receptor, efeito de multicaminhos, topografia da região, erro do relógio do satélite ou do receptor, coberturas aéreas ou estruturas adjacentes, existe a preocupação em utilizar uma frequência de amostragem ótima para que os erros não se acumulem nos cálculos de distâncias e velocidades que podem vir a serem feitos posteriormente [15] [16]. O erro pode enviesar os cálculos dessas variáveis de forma a causar interpretação errada das distâncias percorridas pelos animais.

Em [15] concluiu-se um tempo ótimo entre amostras, para reduzir ao máximo os erros de cálculo, seria entre 5 a 10 segundos. Cálculos utilizando dados amostrados em um período menor sofreria com acúmulo dos erros inerentes ao GPS e cálculos utilizando dados amostrados a um período maior corre o risco de perder deslocamentos importantes realizados pelos animais. Se os possíveis cálculos que venham a ser feitos com os dados de posição irão utilizar amostras com intervalos ótimos, não há motivo para que o brinco faça uma amostragem diferente disso. Escolhe-se para o projeto uma amostragem com período de 10 segundos (10Hz), pois é o maior período dentro da faixa ótima apresentada, acionando menos vezes o GPS e gastando menos energia.

Outro ponto importante para o projeto é a precisão que o GPS escolhido deve ter, o comprimento de um bovino adulto pode variar dependendo de sua raça entre 1,3 e 1,8 metros, idealmente para que se obtenha a localização do animal com máxima precisão o receptor de sinais GPS deve ter menos de 2m de precisão. Entretanto, para a aplicação de gado criado em pastagens e piquete que costumam ter quilômetros e vários metros quadrados de extensão respectivamente, uma precisão de alguns metros já é suficiente.

O módulo GY-GPS6MV2, apresentado na Figura 3, é ade-

quadro para o projeto. Neste módulo temos o chip GPS Neo-6M, que pode rastrear até 22 satélites em 50 canais diferentes, consumindo apenas 50mA de corrente. Conectando-se apenas à rede de satélite norte americana, ele pode atualizar a localização em frequência de 1Hz, ou seja, 1 vez por segundo. O receptor NEO-6M oferece uma precisão de 2,5m, operando com uma tensão de alimentação e sinais lógicos de 3,3V, mas suporta até 5V em ambos os casos, pois possui reguladores de tensão e é capaz de transmitir seus dados por meio de uma comunicação serial UART.

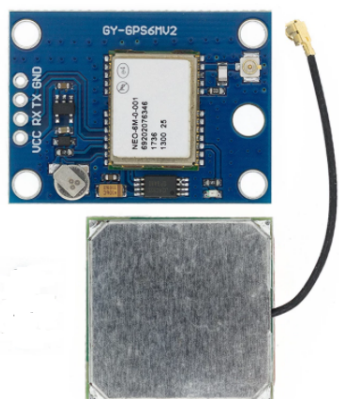


Figura 3. Módulo GR-GPS6MV2 com o chip GPS NEO-6M

C. Microcontrolador

Para a fase de desenvolvimento e testes é importante que o microcontrolador possua uma placa de desenvolvimento, para que assim já seja fornecido em um mesmo local todos os requisitos necessários para o pleno funcionamento e programação do microcontrolador, evitando a necessidade de preocupar com questões que não estejam relacionadas estritamente com a coleta, transmissão e tratamento dos dados.

É essencial para o presente projeto que o microcontrolador escolhido possua de forma integrada comunicação I2C e UART, que são as comunicações utilizadas pelo acelerômetro e GPS respectivamente. Outro ponto considerado como essencial é que o chip possua comunicação sem fio embarcada, isso poupa o custo de ter que comprar mais módulos para realização de comunicação com a internet.

No mercado brasileiro temos algumas fabricantes de microcontroladores muito populares como a Espressif e Microship Technology. Os chips da Espressif possuem os protocolos WiFi 802.11 b/g/n embutidos, fazendo com que tenham vantagem sobre os demais. Enquanto isso, os chips da Microship Technology são muito populares por integrarem as placas da marca Arduino, mas por causa disso suas placas de desenvolvimento são mais caras, mesmo que ofereçam capacidade de processamento menor (possuem menos núcleos e frequência de clock), o que é uma desvantagem.

Uma observação deve ser feita, a melhor comunicação para ser utilizada por um dispositivo remoto em locais que abrangem grandes áreas, como são os pastos, é a comunicação

LoRa. Ela foi desenvolvida para consumir o mínimo de energia possível e se comunicar através de vários quilômetros de distância, enquanto o Wifi consome mais energia e se comunica apenas através de alguns metros. Entretanto, a aquisição de uma placa de desenvolvimento com LoRa embarcado está cerca de 3 vezes mais cara que uma placa sem essa tecnologia.

Outro ponto que tornaria o desenvolvimento do projeto mais caro com a tecnologia LoRa seria a necessidade de buscar outras formas de conectar o dispositivo à internet, enquanto um modem Wi-Fi é comum de se encontrar e está presente na casa de muitas pessoas. Por se tratar de uma fase de testes onde a construção de um dispositivo final, ideal para aplicação, não é o objetivo, a questão custo dos equipamentos se torna mais preponderante que o tipo de tecnologia de comunicação empregada. O objetivo do projeto é estudar como os dados dos sensores podem ser adquiridos, tratados e apresentados aos usuários e isso pode ser realizada por meio de conexão Wi-Fi.

Por possuir um preço mais acessível, comunicação Wi-Fi embarcada e ter maior capacidade de processamento foi escolhido para o presente trabalho o microcontrolador ESP32, ele é o sucessor do ESP8266EX, e foi construído de forma a oferecer um baixo consumo de energia de forma geral, conforme apontado por [17]. O chip microcontrolador ESP32 é oferecido no mercado embarcado em diversas placas de desenvolvimento cada uma incluindo módulos, funcionalidades e tamanhos diferentes. Foi decidido adquirir o módulo Wemos LOLIND32 que é vendido em uma placa como a da Figura 4. Possuindo dimensões de 57 x 25,4 mm, essa placa foi escolhida por causa do seu tamanho reduzido, já possuir em seu módulo um conector tipo PH para baterias de lítio sem aumentar de forma considerável o custo da placa, ter as etiquetas para os pinos bem sinalizados, e ser amigável com *protoboard*, todos esses fatores ajudam no estudo do dispositivo na fase de testagem.

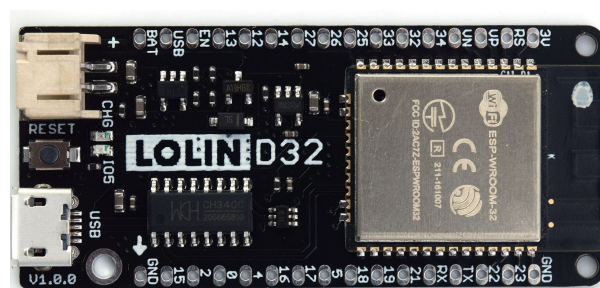


Figura 4. Placa Wemos Lolind32 com o Esp32

A placa LOLIND32 opera com um clock de 240MHz, conta com uma antena PCB embutida, memória flash de 4MB, conector micro-USB, além de reguladores de tensão, condicionadores de sinal, sistemas de proteção etc. Por causa de todos esses recursos temos 22 pinos disponíveis na placa dos 49 que o chip ESP32 possui.

O microcontrolador possibilita que seja programado por meio da Arduino *IDE*, o que também é um facilitador

por causa da grande quantidade de usuários dessa IDE e consequentemente uma grande quantidade de programas e bibliotecas que podem ser utilizados como referência.

D. Esquemático

Na Figura 5 podemos ver as ligações que foram feitas do acelerômetro e do GPS com o microcontrolador ESP32. Vemos que os módulos são alimentados por uma fonte de tensão CC de 3,3V essa é a tensão de alimentação dos chips, mas como todos os módulos possuem reguladores de tensão seria possível alimentá-los também com uma tensão de 5V, pois seria regulada para 3,3V. Os sinais lógicos de todos os módulos também são de 3,3V, dessa forma não é necessário o condicionamento de nenhum dos sinais de dados.

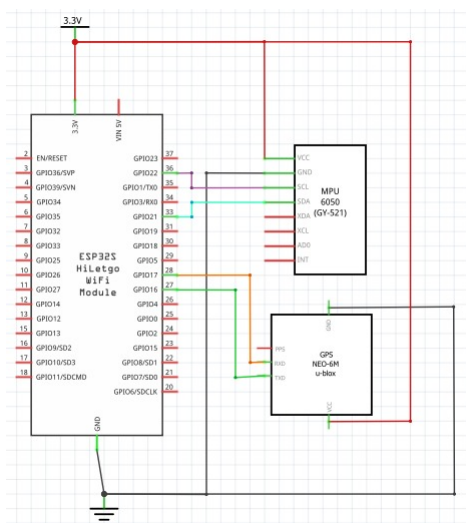


Figura 5. Esquema de ligações do brinco bovino

Os GPIO's 16 e 17 do microcontrolador foram utilizados para comunicação serial UART, dessa forma a porta TXD do GPS é conectada ao GPIO16 e a porta RXD é conectada ao GPIO17.

Os dados que são enviados pelo GPS possuem o formato do protocolo *NMEA* 0183, definido pela Associação Americana de Eletrônica Marinha, nesse protocolo os dados são enviados em formatos de sentenças. Na Figura 6, cada linha da imagem representa uma sentença na comunicação *NMEA* e as informações presentes em cada sentença são diversas, por isso o tamanho das sentenças enviadas pelo GPS pode variar, mas a maior sentença possível tem 82Bytes.

De todas as informações que estão presentes em uma sentença *NMEA*, o programa desenvolvido extrai a latitude e longitude para poder enviar ao *broker*.

Com o GPS detectando dados da localização à uma frequência de 0,1Hz (1 vez a cada 10 segundos), o ideal para que nenhum dado seja perdido é que as sentenças sejam transferidas com uma frequência de 0,1Hz ou superior. Isso é possível de ser realizado através do *baud rate* padrão 9600bps do GPS NEO-6M. Por exemplo, a sentença mais longa do protocolo *NMEA* possui 656 bits de comprimento (82 Bytes),

```
$GPGGA,092750.000,5321.6802,N,00630.3372,W,1.8,1.03,61.7,M,55.2,M,,*76
$GPGSA,A,3,10,07,05,02,29,04,08,13,,,,,1.72,1.03,1.38*0A
$GPGSV,3,1,11,10,63,137,17,07,61,098,15,05,59,290,20,08,54,157,30*70
$GPGSV,3,2,11,02,39,223,19,13,28,070,17,26,23,252,,04,14,186,14*79
$GPGSV,3,3,11,29,09,301,24,16,09,020,,36,,,*76
$GPRMC,092750.000,A,5321.6802,N,00630.3372,W,0.02,31.66,280511,,,A*43
$GPGGA,092751.000,5321.6802,N,00630.3371,W,1.8,1.03,61.7,M,55.3,M,,*75
```

Figura 6. Sentenças do protocolo *NMEA* 0183

à uma taxa de transferência de 9600 *bit* por segundo através de comunicação serial levaria apenas 0,0683 segundos para transferir a sentença. No pior cenário, caso o GPS tivesse que enviar somente sentenças no formato mais longo, a taxa de transferência seria de 14,63 Hz, mais rápida que a frequência de amostragem e suficiente para o projeto.

Por sua vez, o acelerômetro utiliza comunicação *I2C*, onde o barramento de dados (SDA) é conectado ao GPIO21 e o barramento de clock (SCL) é conectado ao GPIO 22 da placa de desenvolvimento do ESP32. Para este trabalho as informações mais importantes para serem extraídos do MPU-6050 são as informações sobre aceleração nos eixos x, y, z, cada uma desses dados possuem 16 bits de comprimento e são transferidos através da conexão *I2C* em pacotes de 8bits.

Foi definido que precisamos coletar os dados de aceleração à uma frequência mínima de 10Hz, ou seja, precisamos que todos os 6 Bytes de dados vindos dos 3 eixos sejam transferidos em menos de 0,6s isso seria algo entorno de 80bps (48 bits divididos por 0,6 segundos), sem considerar os bits de controle que são utilizados nesse tipo de comunicação. De acordo com o datasheet do ESP, em seu modo padrão a capacidade de transmissão da conexão *I2C* é 100kbps, o que é mais do que suficiente para o projeto.

E. Comunicação com o usuário

Para esse projeto foi escolhido o protocolo *MQTT* para realizar a comunicação dos dispositivos com os usuários. Esse é um protocolo leve e desenvolvido para aplicações *IoT*, onde há a necessidade de diminuir o consumo energético [18]. É um protocolo de comunicação assíncrono, destinado à comunicação de máquina para máquina, que opera em um sistema de tópicos com publicações e assinaturas.

No sistema de publicações e assinaturas o *MQTT* define dois tipos de entidades: o *broker* e os clientes. O *broker* é um servidor que recebe todas as mensagens dos clientes publicadores e em seguida distribui essas mensagens aos clientes que fizerem solicitações por elas. O servidor nada mais é que um software em um computador, pode ser qualquer tipo de computador, desde Raspberry Pi até um PC por exemplo, pode se localizar em servidor local ou em nuvem, assim como pode ser hospedado pelo próprio usuário ou por uma empresa terceira. Por sua vez, um cliente é qualquer coisa que possa interagir com o *broker* e receber mensagens, pode ser um sensor, microcontrolador, computador, *data center*, entre outras coisas. Baseando-se na Figura 1, o brinco bovino é um

cliente que faz publicações dos dados dos sensores ao *broker*, enquanto computadores, celulares são clientes que fazem a assinatura e recebem esses dados.

Além de ser um protocolo voltado para o *IoT*, o *MQTT* foi escolhido para esse projeto por ser um protocolo com um grande número de usuários, logo existem várias referências sobre o assunto; é um protocolo flexível, de domínio público, e que pode escalar facilmente de poucos dispositivos conectados para vários. Sendo assim, através do protocolo *MQTT* é possível incluir mais brincos bovinos no sistema sem a necessidade de reconfigurar todo um servidor, por exemplo.

A utilização de servidores brokers costuma ser paga, existindo a opção de utilização de versões grátis, mas com limitações. No presente projeto foi utilizada a versão grátis do Broker "MyMQTT", que como limitação estipula a transferência de dados ao máximo de 300 mensagens por minuto e 800 mensagens por hora.

A comunicação *MQTT* também possui dois parâmetros importantes que foram considerados durante o projeto que são: a qualidade de serviço (QoS) e o nível de segurança. Neste trabalho estipulou-se uma qualidade de serviço de nível 0, em que o microcontrolador irá publicar as mensagens ao broker, mas não irá se certificar se esta mensagem foi ou não recebida por algum cliente, evitando que dados deixem de ser capturados enquanto o brinco busca a certificação que a mensagem foi recebida.

E foi utilizada a porta 1883 para comunicação, essa porta não possui criptografia das mensagens, algo considerado desnecessário para tipo de informação sendo transferida.

F. Programa

O anexo I e a Figura 7 mostram o programa desenvolvido para este projeto e seu fluxograma de funcionamento respectivamente. Nele são utilizadas bibliotecas públicas para a configuração e comunicação entre os dispositivos. As bibliotecas utilizadas são:

- TinyGPS.h: implementa funções para leitura dos dados do GPS convertendo as sentenças *NMEA* recebidas em informações úteis.
- SoftwareSerial.h: Habilita e controla a comunicação serial *UART* o *GPS* e o *ESP32*
- Adafruit_MPU6050.h: Implementa funções para leitura dos dados vindos do acelerômetro.
- Wire.h: Habilita e controla a comunicação *I2C* entre o acelerômetro e *ESP32*
- WiFi.h: implementa funções para o uso do *Wifi* no *ESP32*
- PubSubClient.h: implementa funções para a utilização do protocolo *MQTT*

Antes do programa entrar em seu loop principal ele estipula o clock do microcontrolador em 80MHz, configura a comunicação *MQTT* informando ao brinco o endereço do *broker* e define o dispositivo como cliente, estabelecendo um ID e usuário. Posteriormente a comunicação *UART* é parametrizada com 9600 de *baud rate*, a mesma taxa do GPS. Nesta etapa o acelerômetro é parametrizado para capturar entre

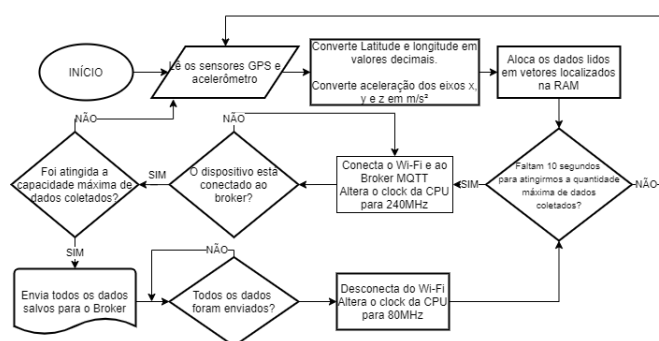


Figura 7. Fluxograma brinco bovino

as faixas de -2G e +2G com um filtro passa-baixa de 10Hz, utilizado para retirar ruídos.

Ao entrar no loop o programa já começa coletar dados dos sensores, os dados do *GPS* são convertidos para decimal e salvos como variáveis do tipo inteiro em dois vetores, latitude e longitude, de 240 posições cada. As acelerações dos eixos x, y e z são coletadas, convertidas em m/s² e salvas em 3 vetores de 2400 posições cada uma. Como a posição é coletada uma vez a cada 10 segundos e a aceleração 10 vezes por segundo é possível salvar 40 minutos de dados.

Para evitar sofrer com falta de memória no microcontrolador e consequente perda de dados, 10 segundos antes dos vetores estarem cheios o brinco bovino se conecta ao *Wi-Fi* e ao *broker*, ao se conectar ao *Wi-Fi* o clock do microcontrolador é alterado para 240MHz com o intuito de garantir uma transmissão rápida. Quando os vetores estão cheios os dados começam a ser transferidos para a nuvem. Os dados são enviados a uma taxa muito maior do que são coletados, e por isso é possível continuar salvando os dados dos sensores mutuamente com o envio ao broker, assim a coleta de dados é contínua. Após a transferência de todos os dados adquiridos em um período de 40 minutos a comunicação *Wi-Fi* é desligada e o clock do microcontrolador volta para 80MHz.

III. RESULTADOS

Por causa das medidas restritivas decorrentes da pandemia de COVID-19 não foi possível testar o dispositivo em um animal como era planejado inicialmente, buscou-se então validar os dados produzidos pelo acelerômetro e GPS através da utilização de softwares e comparações.

A. Latitude e Longitude

Para analisar a qualidade das medições do GPS NEO-6M foi utilizado o programa U-Center, que é disponibilizado gratuitamente pela fabricante do chip. O módulo GPS se encontrava desligado e foi ligado no momento do início da coleta de dados e deixado estático durante 1h23m em área com ampla visibilidade para o céu em um dia limpo, condições semelhantes a de um pasto. Os dados de posição obtidos podem ser vistos na Figura 8, onde o centro é a posição média de todos os dados.

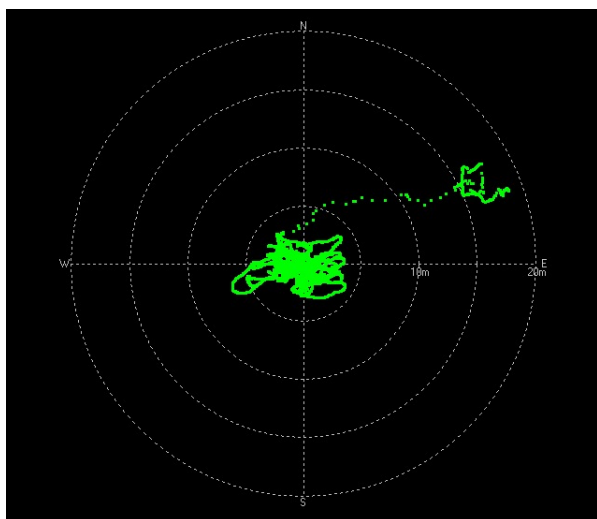


Figura 8. Amostragem de latitude e longitude utilizando U-Center. Dados coletados durante o tempo de 1h23m

Após o GPS ser ligado ele leva 27s para começar a receber os sinais GNSS e precisa ainda de mais alguns minutos para atualizar o almanaque com as informações sobre a órbita de cada satélite conectado à ele. Durante a primeira inicialização a transmissão de todo o almanaque pode levar até 12 minutos, caso o GPS possua dados salvos de utilizações anteriores a atualização do almanaque é mais rápida.

Na imagem é possível ver que há um desvio de cerca de 15 metros nos dados coletados. Esses dados com alto desvio e que estão mais distantes do centro foram coletados durante os primeiros 4 minutos de amostragem e estão relacionados com a atualização do almanaque. Ao retirar os primeiros 4 minutos temos a Figura 9.

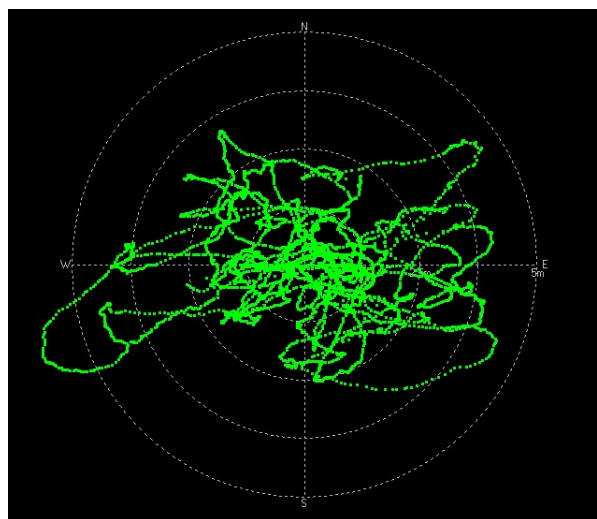


Figura 9. Amostragem de latitude e longitude utilizando U-Center. Dados desconsiderando o tempo de atualização do almanaque.

Como pode ser visto na Figura 9, a maioria dos dados se concentram uma faixa de 2,5m da média central, com alguns

desvios chegando a cerca de 4m e menos desvios maiores 5m. Os dados estão de acordo com o esperado, a precisão de posicionamento do NEO-6M é de 2,5m conforme catálogo, mas outros erros podem influenciar o desempenho do GPS.

Nas condições em que o dispositivo foi testado (semelhante às condições de um pasto) de acordo com [19], temos possíveis fonte de erros:

- Clock dos satélites: mesmo que todos os satélites tenham clocks extremamente acurados, um erro 1ns no clock pode causar um erro de posicionamento na escala de 3m.
- Órbita dos satélites: de forma geral só é possível saber a posição real do satélite com uma aproximação de 1 a 5m.
- Velocidade dos sinais: Os sinais dos satélites viajam na velocidade da luz mas podem ser desacelerados ao cruzar a ionosfera e a troposfera. O desvio na velocidade normal da luz causa um erro no cálculo da posição.
- Erro de medição do tempo de viagem do sinal: o receptor GNSS é capaz de determinar o tempo de viagem dos sinais emitidos pelos satélites apenas com uma precisão limitada.
- Geometria dos satélites: Determinar a posição é mais difícil quando os satélites utilizados como referência estão muito perto um do outro. O efeito da geometria dos satélites na precisão da medição é chamado de DOP (diluição da precisão).

Todos os fatores acima descritos podem contribuir para um erro de até 4m, sendo o fator DOP uma das mais influentes causas. Existem uma variedade de termos DOP, o HDOP (DOP horizontal) descreve a influência da geometria de satélites na posição calculada em um plano 2D e é o que influencia o cálculo da posição do brinco. Durante o teste a média do HDOP foi de 0,8, considerada baixa, mas ainda assim de acordo com [19], com este valor temos 95% dos dados coletados dentro de uma faixa de 3,2m, o que está coerente com a Figura 9.

Para diminuir as fontes de erro é possível implementar ações corretivas como DGPS (GPS diferencial), que tem como princípio de funcionamento a utilização de estações base de GPS como referência. Essas estações são colocadas em lugares conhecidos e cuidadosamente analisados. As estações de referência medem sua posição utilizando os sinais emitidos por 4 ou mais satélites e comparam a posição medida com sua posição real já conhecida. Dessa forma, o desvio da posição medida e a pseudodistância dos satélites pode ser determinado e utilizado para correção das medições de receptores GPS à uma distância de até 200km da estação base.

B. Aceleração

Para validar os dados do acelerômetro eles foram comparados com dados obtidos pelo acelerômetro de um smartphone comum. As tabelas I e II mostram os dados resultantes

Tabela I

VARIANDO OS ACELERÔMETROS EM TORNO DO EIXO Y MANTENDO O EIXO X IGUAL A ZERO - DADOS EM M/S²

Inclinação do acelerômetro	MPU-6050		Smartphone	
	Eixo Y	Eixo Z	Eixo Y	Eixo Z
0°	0,0	9,9	0,0	9,7
30°	-5,0	8,6	-4,9	8,3
60°	-8,3	5,4	-8,5	4,5
90°	-9,8	0,0	-9,7	0,0
120°	-8,4	-5,2	-8,5	-4,8
150°	-5,0	-8,5	-5,0	-8,3
180°	0,0	-10,1	0,0	-10,0

Tabela II

VARIANDO OS ACELERÔMETROS EM TORNO DO EIXO X MANTENDO O EIXO Y IGUAL A ZERO - DADOS EM M/S²

Inclinação do acelerômetro	MPU-6050		Smartphone	
	Eixo X	Eixo Z	Eixo X	Eixo Z
0°	0,0	9,9	0,0	9,7
30°	-4,6	8,5	-4,5	8,7
60°	-8,1	5,0	-8,2	5,1
90°	-9,4	0,0	-9,7	0,0
120°	-8,3	-4,5	-8,4	-4,6
150°	-4,5	-8,6	-4,8	-8,4
180°	0,0	-10,1	0,0	-10,0

As acelerações dos dois dispositivos são similares variando quando muito 0,1 a 0,2 m/s², o que demonstra que os dados obtidos através do MPU-6050 são coerentes e podem ser utilizados para detectar os padrões de ruminação.

A sensibilidade teórica do acelerômetro é de 16384LSB/g ou então 0,0000598 m/s², mas para a presente aplicação foi decidido utilizar apenas 2 números significativos após a virgula, pois a partir do terceiro dígito os sinais são muito influenciados por ruídos, variando mesmo quando o chip está parado. A Figura 10 mostra uma representação gráfica dos dados recebidos de forma dinâmica.

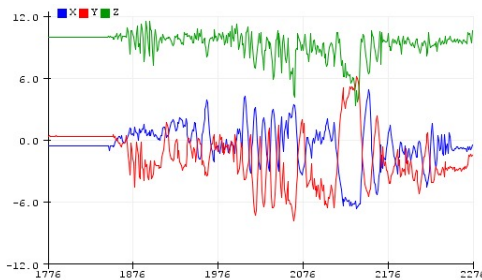


Figura 10. Dados dinâmicos dos eixos X, Y e Z do acelerômetro

C. Consumo de energia

Durante o processo de coleta de dados o brinco funciona em um modo chamado *modem sleep*. Neste modo as conexões Wi-Fi estão desligadas e o clock do microcontrolador é reduzido para 80MHz, conforme o datasheet o consumo de corrente neste estado é de 20mA. No momento em que o brinco se conecta ao Wi-Fi para transmitir dados ao broker o dispositivo passa a trabalhar em modo ativo, a frequência de clock é

alterada para 240MHz e o consumo passa a ser de 240mA. Durante o período de 40 minutos em que o brinco recebe, armazena e depois envia os dados o dispositivo fica apenas cerca de 15 segundos no modo ativo. Dessa forma, o consumo médio (Cm) do micro controlador é:

$$Cm = \frac{TA * IA + TS * IS}{TA * TS} \quad (2)$$

$$Cm = \frac{15 * 240 + 2385 * 20}{15 + 2385} = 21,375mA$$

Onde:

- TA é o tempo no modo ativo em segundos
- TS é o tempo no modo modem sleep em segundos
- IA é a corrente no modo ativo em miliampere
- IS é a corrente no modo modem sleep em miliampere

O MPU-6050 por outro lado opera com 0,5mA enquanto o NEO-6M consome 50mA após a inicialização. Utilizando a bateria de 1800mAh adquirida para os testes, o brinco bovino teria autonomia de:

$$T = \frac{1800}{21,375 + 0,5 + 50} = 25,04 \text{ horas} \quad (3)$$

A autonomia do brinco pode aumentar diminuindo o consumo de energia ou então aumentando a capacidade da bateria. É possível diminuir o consumo de energia ao utilizar os modos de salvamento de energia do GPS ou então utilizando o modo *sleep* do microcontrolador, essas opções não foram exploradas durante o projeto devido à complexidade e falta de tempo para implantação. Outra forma de economizar energia seria alimentando o GPS e acelerômetro com fontes próprias de energia. Aumentar a capacidade da bateria para aumentar a autonomia, é uma opção que deve ser analisada com cuidado para não aumentar muito a dimensão e o peso do brinco.

IV. CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento desse projeto verificou-se a importância da detecção de ruminação e deslocamento de bovinos em regime de pastoreio, foi visto que ambos os dados são importantes na criação e manejo e podem ser utilizados para prever doenças e desenvolver planos de manejo. Foi confirmado que há embasamento teórico para a utilização de um brinco bovino na coleta dos sinais e mostrou a possibilidade de construção desse brinco utilizando recursos que podem ser encontrados facilmente no mercado.

O projeto encontrou limitação quando se refere ao tipo de comunicação realizada, pois foi utilizada a comunicação Wi-Fi para transmitir os dados devidos aos altos custos para aquisição de componentes com a comunicação LoRa, que é a comunicação que funciona a uma distância maior consumindo menos energia. Outro ponto que prejudicou o devido desenvolvimento do brinco bovino foi o fato de não ter sido possível realizar os testes com animais conforme planejado inicialmente, com o início da pandemia de COVID-19, o campus de zootecnia da USP, onde seriam realizados os testes

interrompeu a realização de pesquisas que necessitassem de testes práticos em animais.

Ainda assim, o brinco cumpre seu objetivo de coletar dados de posição e aceleração e transmiti-los através de uma comunicação sem fio, espera-se que em futuras pesquisas seja possível utilizar os dados gerados para análise e detecção de padrões comportamentais.

REFERÊNCIAS

- [1] USDA - United States Department of Agriculture. (2021). "Livestock and Poultry: World Markets and Trade". Disponível em: www.fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade
- [2] ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. (2020). "Beef Report – Perfil da Pecuária no Brasil". Disponível em: www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020
- [3] Berckmans D (2017) General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers* 7, 6–11
- [4] Marchesini, G., Mottaran, D., Contiero, B., Schiavon, E., Segato, S., Garbin, E., Tenti, S., Andrighetto, I., 2018. Use of rumination and activity data as health status and performance indicators in beef cattle during the early fattening period. *Vet. J.* 231, 41–47. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.11.013>
- [5] Schirmann, K., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Veira, D.M., Heuwieser, W., 2009. Technical note: validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92 (12), 6052–6055.
- [6] Guo Y, Poulton G, Corke P, Bishop-Hurley GJ, Wark T, Swain DL. Using accelerometer, high sample rate GPS and magnetometer data to develop a cattle movement and behaviour model. *Ecol Model.* 2009;220:2068–75.
- [7] Souza, S.R.M.B.O.; Ítavo, L.C.V.; Rimoli, J.; Ítavo C.C.B.F.; Dias A.M.. Comportamento ingestivo diurno de bovinos em confinamento e em pastagens. *Arch. de Zootecnia*, v.56, n.213, p.67-70, 2007
- [8] Mendonça, S.S., J.M.S. Campos, S.C. Valadares Filho, R.F.D Valadares, C.A. Soares, R.P. Lana, A.C. Queiroz, A.J. Assis e M.L.A. Pereira. 2004. Comportamento Ingestivo de vacas leiteiras alimentadas com dietas à base de cana de açúcar ou silagem de milho. *Rev. Bras. Zootec.*, 33: 723-728
- [9] Páscoa, A.G. e Paranhos da Costa, M.J.R. 2007. Aplicação dos sistemas de informação geográfica para definição de estratégias de manejo de bovinos nas pastagens. *Rev. Bras. Zootec.* (suplemento especial), 36: 45-51.
- [10] Bikker, J. P., H. van Laar, P. Rump, J. Doorenbos, K. van Meurs, G. M. Griffioen, and J. Dijkstra. 2014. Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *J. Dairy Sci.* 97:2974–2979
- [11] Pereira, G. M., B. J. Heins, and M. I. Endres. 2018. Technical note: Validation of an ear-tag accelerometer sensor to determine rumination, eating, and activity behaviors of grazing dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 101:2492–2495.
- [12] Watanabe S, Izawa M, Kato A, Ropert-Coudert Y, Naito Y: A new technique for monitoring the detailed behaviour of terrestrial animals: a case study with the domestic cat. *App Anim Behav Sci* 2005, 94:117–131.
- [13] Hamäläinen, W., Järvinen, M., Martiskainen, P., Mononen, J., 2011. Jerk-based feature extraction for robust activity recognition from acceleration data. In: *Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*, 2011 11th International Conference On. IEEE, pp. 831–836.
- [14] Martiskainen, P., M. Jarvinen, J. P. Skon, J. Tiirikainen, M. Kolehmainen, and J. Mononen. 2009. Cow behaviour pattern recognition using a three-dimensional accelerometer and support vector machines. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 119:32–38.
- [15] McGavin Sharon L., Bishop-Hurley Greg J., Charmley Ed, Greenwood Paul L., Callaghan Matthew J. (2018) Effect of GPS sample interval and paddock size on estimates of distance travelled by grazing cattle in rangeland, Australia. *The Rangeland Journal* 40, 55-64.
- [16] Ganskopp, D. C., and Johnson, D. D. (2007). GPS error in studies addressing animal movements and activities. *Rangeland Ecology and Management* 60, 350–358. doi:10.2111/1551-5028(2007)60[350:GEISAA]2.0.CO;2
- [17] Maier, A. Sharp and Y. Vagapov, "Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things," 2017 Internet Technologies and Applications (ITA), Wrexham, UK, 2017, pp. 143-148, doi: 10.1109/ITECHA.2017.8101926.
- [18] D. Ghosh, A. Agrawal, N. Prakash and P. Goyal, "Smart Saline Level Monitoring System Using ESP32 And MQTT-S," 2018 IEEE 20th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), Ostrava, Czech Republic, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/HealthCom.2018.8531172.
- [19] GPS – Essentials of Satellite Navigation Compendium. 174 pages. [Online] Cited 2010-01-03. Disponível em: https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/GPS-Compendium_Book%28GPS-X-02007%29.pdf

ANEXO I

```
/* Objetos globais */
WiFiClient espClient;
PubSubClient MQTT(espClient);
Adafruit_MPU6050 mpu;
TinyGPS gps;
SoftwareSerial ss(16, 17);

//Prototypes
void init_serial(void);
void init_acel(void);
void init_mqtt(void);
void reconnect_wifi(void);
void conecta_wifi_mqtt(void);

/*
  Implementações das funções
*/
void setup()
{
  init_acel();
  init_mqtt();
  ss.begin(9600);
  Serial.begin(115200);
  setCpuFrequencyMhz(80);
}

//-----
/* Função: Inicializa o acelerômetro.
  Parâmetros: nenhum
  Retorno: nenhum
*/
void init_acel()
{
  /*Aguarda a inicialização do MPU-6050*/
  if (!mpu.begin()) {
    while (1) {
      delay(10);
    }
  }
  mpu.setAccelerometerRange(MPU6050_RANGE_2_G); //Define o range do acelerometro
  mpu.setFilterBandwidth(MPU6050_BAND_10_HZ); // Define a frequência de corte do filtro passa
  baixo dos sinais
}

//-----
/* Função: inicializa parâmetros de conexão MQTT(endereço do broker e porta)
  Parâmetros: nenhum
  Retorno: nenhum
*/
void init_mqtt(void)
{
  MQTT.setServer(BROKER_MQTT, BROKER_PORT); //Informa a qual broker e porta deve ser
  conectado
```

```

}

//-----
/* Função: Conecta-se ao WI-FI e ao MQTT.
   Parâmetros: nenhum
   Retorno: nenhum
*/
void conecta_wifi_mqtt(void)
{

    if (!init_wifi)
    {
        setCpuFrequencyMhz(240);
        WiFi.mode(WIFI_MODE_STA);
        WiFi.begin(SSID, PASSWORD);
        init_wifi = true;
    }
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)//Somente conecta ao MQTT após a certeza de que o Wi-fi está
    conectado
    {
        MQTT.connect(ID_MQTT, USER_MQTT, SENHA_CLIENTE);
        wifi_mqtt_init = true;
    }
}
//-----
/* programa principal */
void loop() {
    while (ss.available())
    {
        char c = ss.read();
        if (gps.encode(c)) { // Foram recebidos dados válidos do GPS?
            newData = true;
        }
    }

    if (millis() - start_gps > 10000) {

        //if (newData)
        {

            gps.get_position(&lat, &lon); //Recebe os dados do GPS
            lat_vet[GPS_flag1] = lat;
            lon_vet[GPS_flag1] = lon;
            GPS_flag1 = GPS_flag1 + 1;
            bool newData = false;
        }
        if (GPS_flag1 == amostras_GPS) //Foi capturada o máximo de amostrar desejadas?
        {
            limite_amostras_GPS = true;
            GPS_flag1 = 0;
        }

        start_gps = millis();
    }

    if (millis() - start_acel > 100)
    {

```

```

mpu.getEvent(&a, &g, &temp); //Recebe os dados do acelerômetro
ACEL_x[ACEL_flag1] = a.acceleration.x;
ACEL_y[ACEL_flag1] = a.acceleration.y;
ACEL_z[ACEL_flag1] = a.acceleration.z;
ACEL_flag1 = ACEL_flag1 + 1;

if (ACEL_flag1 == amostras_ACEL)
{
    ACEL_flag1 = 0;
}

start_acel = millis();
}

if (GPS_flag1 == (amostras_GPS - 1) && wifi_mqtt_init == false) {
    conecta_wifi_mqtt();
}

/*Publicando os dados*/

if (limite_amostras_GPS) {
    if (GPS_flag2 < amostras_GPS ) {

        dtostrf(lat_vet[GPS_flag2], 9, 0, buff_lat); //convertendo a latitude em string
        dtostrf(lon_vet[GPS_flag2], 9, 0, buff_lon); //convertendo a longitude em string
        strcat(buff_lat, buff_lon); //concatenando latitude e longitude
        MQTT.publish("Coordenadas", buff_lat); //publicando coordenadas GPS

        GPS_flag2 = GPS_flag2 + 1;
    }

    if (ACEL_flag2 < amostras_ACEL)
    {

        MQTT.publish("EixoX", dtostrf(ACEL_x[ACEL_flag2], 6, 2, buff)); //Publica eixo x do
        acelerometro
        MQTT.publish("EixoY", dtostrf(ACEL_y[ACEL_flag2], 6, 2, buff)); //Publica eixo y do
        acelerometro
        MQTT.publish("EixoZ", dtostrf(ACEL_z[ACEL_flag2], 6, 2, buff)); //Publica eixo z do acelerometro

        ACEL_flag2 = ACEL_flag2 + 1;
    }
    if (GPS_flag2 >= amostras_GPS && ACEL_flag2 >= amostras_ACEL) {
        GPS_flag2 = 0;
        ACEL_flag2 = 0;
        limite_amostras_GPS = false;
        WiFi.disconnect();
        WiFi.mode(WIFI_OFF);
        init_wifi = false;
        wifi_mqtt_init = false;
        setCpuFrequencyMhz(80);
    }
}
}
}

```