UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

Desenvolvimento de tecnologia de hardware e software para o monitoramento de animais

João Fernando Calcagno Camargo

Dissertação de Mestrado do Programa de Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria (MECAI)

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

João Fernando Calcagno Camargo

Desenvolvimento de tecnologia de hardware e software para o monitoramento de animais

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre – Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria.
VERSÃO REVISADA

Área de Concentração: Matemática, Estatística e Computação

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Cláudio Botazzo Delbem

USP – São Carlos
Maio de 2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)

C172d Camargo, João Fernando Calcagno
Desenvolvimento de tecnologia de hardware e
software para o monitoramento de animais / João
Fernando Calcagno Camargo; orientador Alexandre
Cláudio Botazzo Delbem. -- São Carlos, 2019.
75 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Mestrado Profissional em Matemática, Estatística
e Computação Aplicadas à Indústria) -- Instituto de
Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade
de São Paulo, 2019.

1. Internet das Coisas. 2. Monitoramento de
Animais. 3. Mineração de dados. 4. Damicore. I.
Delbem, Alexandre Cláudio Botazzo, orient. II.
Título.

João Fernando Calcagno Camargo

**Development of hardware and software technology for
animal monitoring**

Dissertation submitted to the Institute of Mathematics
and Computer Sciences – ICMC-USP – in accordance
with the requirements of the Professional Master's
Program in Mathematics Statistics and Computing
Applied to Industry, for the degree of Master in Science.
FINAL VERSION

Concentration Area: Mathematics, Statistics and
Computing

Advisor: Prof. Dr. Alexandre Cláudio Botazzo Delbem

USP – São Carlos
May 2019

Este trabalho é dedicado a minha família, amigos e a Deus.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais Elvira e Fernando e a meu irmão Luiz que sempre me apoiaram em meus projetos com muito amor e paciência.

A minha namorada, Clízia Gauch, meu ponto de luz e incentivo durante toda minha jornada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Cláudio Bottazo Delbem pelo apoio e amizade ao longo desses últimos anos.

À Animalltag representada pelo meu amigo e primo Carlos Machado que sempre apostou em mim e me apoiou de inúmeras formas ao longo desse trabalho.

Aos Profs. Drs. Heber Lombardi e Eduardo Simões pelo apoio e amizade ao longo de meus experimentos.

A todos meus amigos e familiares que desejaram meu sucesso nesse desafio.

Finalmente ao programa de pós-graduação do ICMC-USP que me deu a grande oportunidade de participar deste mestrado.

*“As invenções são, sobretudo,
o resultado de um trabalho de teimoso.”
(Santos Dumont)*

RESUMO

CAMARGO, J. F. C. **Desenvolvimento de tecnologia de hardware e software para o monitoramento de animais**. 2019. 75 p. Dissertação (Mestrado – Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2019.

Internet das Coisas é um conceito novo que define a forma que os dispositivos se comunicam entre si sem a necessidade de interferência humana, possibilitando tomadas de decisão mais inteligentes, baseadas em dados coletados de sensores, *tags* e outros dispositivos. O objetivo do trabalho é a criação e validação de um sistema usando elementos de Internet das Coisas com mineração de dados para detectar padrões de comportamentos de animais, possibilitando o proprietário tomar decisões para segurança e saúde dos animais. Para tanto, foi feito um estudo da arte das soluções atuais de monitoramento animal e das tecnologias disponíveis para aplicação no sistema. Dois hardwares foram desenvolvidos para coleta dos dados, e foram integrados a uma ferramenta de mineração chamada Damicore. Apesar de algumas dificuldades envolvendo cobertura com a internet, foram realizados dois experimentos com êxito e seus dados foram processados pela ferramenta de mineração, produzindo *clusters* hierárquicos que possibilitam destacar determinados comportamentos animais através dos *clusters* encontrados. Finalmente, foram sugeridos alguns pontos de melhoria do sistema, para aumentar ainda mais a abrangência da solução.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Monitoramento de Animais, Mineração de dados, Damicore .

ABSTRACT

CAMARGO, J. F. C. **Development of hardware and software technology for animal monitoring**. 2019. 75 p. Dissertação (Mestrado – Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2019.

Internet of Things is a new concept that defines the way devices communicate with each other without the need for human interference, enabling smarter decision-making based on data collected from sensors, tags and other devices. The goal of this project is to create and validate a system using Internet of Things features with data mining to detect patterns of animal behavior, enabling the owner to make decisions for animal safety and health. For this purpose, current animal monitoring solutions and technologies were reviewed. Based on that, two hardware devices were developed for data collection and integrated with a data mining tool, called Damicore. Despite some difficulties involving internet coverage, two experiments were successfully carried out and their data were processed by the data mining tool, producing hierarchical clusterings that enable to highlight certain animal behaviors by means of the found clusters. Finally, some factors that can benefit the evolution of the system were suggested to further increase the scope of the solution.

Keywords: Internet of Things, Animal Monitoring, Data Mining, Damicore.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dispositivo de monitoramento Appego. Imagem extraída do site do produto (APPEGO, acessado em 30/11/2018).	28
Figura 2 – Sistema usado pela empresa Cattle Watch, imagem extraída do site da empresa (WATCH, acessado em 30/11/2018).	29
Figura 3 – Pacote de transmissão Bluetooth 4.0	30
Figura 4 – Pacote de dados iBeacon	32
Figura 5 – Pacote de dados Sensor Data Animalltag	32
Figura 6 – Topologia estrela LPWAN	33
Figura 7 – Ilustração comparativa entre alcance e banda de transmissão para as tecnologias de comunicação sem fio da atualidade	34
Figura 8 – Imagem ilustrativa do tag beacon ALPW-BLETAG001 da Alpwise, extraído de seu <i>datasheet</i> (ALPWISE, acessado em 16/11/2018)	35
Figura 9 – Esquema elétrico do tag beacon sem acelerômetro	38
Figura 10 – PCB projetada e montada	39
Figura 11 – Projeto mecânico do tag beacon Animalltag com dimensões em milímetros	39
Figura 12 – Tag beacon Animalltag em sua proteção plástica	39
Figura 13 – Pacote iBeacon coletado no sniffer da Texas Instruments	40
Figura 14 – Esquema elétrico do receptor <i>beacon</i>	41
Figura 15 – PCB do receptor <i>beacon</i> Animalltag	42
Figura 16 – Receptor <i>beacon</i> em sua caixa plástica	42
Figura 17 – Fluxo de dados sistema	43
Figura 18 – Fluxograma de dados no Damicore	45
Figura 19 – Exemplo de filogenia para um grupo de plantas extraído de (SOARES, 2014)	46
Figura 20 – Exemplo de clusterização de textos em uma árvore filogenética	47
Figura 21 – Fluxo de dados sistema	48
Figura 22 – Foto do cão monitorado nesse experimento com um <i>tag beacon</i> em sua coleira	50
Figura 23 – Foto de um trecho da planta baixa digitalizada mostrando o local de descanso do cão	51
Figura 24 – Trecho dos dados brutos extraídos do sistema de monitoramento	52
Figura 25 – Árvore filogenética do Damicore para intervalo de duas horas com clusterização	52
Figura 26 – Resultado do Damicore para o período de 24 horas	53
Figura 27 – Área do piso inferior monitorada por um dos receptores <i>beacon</i>	54
Figura 28 – Foto do local de alimentação dos gatos com o receptor <i>beacon</i> instalado	55

Figura 29 – Foto de uma das gatas com a coleira do <i>tag beacon</i>	55
Figura 30 – Área do piso superior monitorada por um dos receptores <i>beacon</i>	56
Figura 31 – Foto do local de monitoramento no piso superior	56
Figura 32 – Trecho dos dados brutos referente ao monitoramento dos gatos	57
Figura 33 – Árvore resultante com dados coletados para hipótese A com taxas de mistura entre <i>clusters</i>	59
Figura 34 – Árvore resultante com dados coletados para hipótese B com taxas de mistura entre <i>clusters</i>	59
Figura 35 – Árvore resultante com dados coletados para hipótese C com taxas de mistura entre <i>clusters</i>	60
Figura 36 – Planta baixa digitalizada da residência do experimento com cão	73
Figura 37 – Planta baixa completa do térreo da residência usada no experimento com gatos	74
Figura 38 – Planta baixa completa do piso superior da residência usada no experimento com gatos	75

LISTA DE CÓDIGOS-FONTE

Código-fonte 1 – Cálculo da distância com RSSI	57
Código-fonte 2 – Código da rotina principal do tag beacon	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Característica do microcontrolador EM6819	38
Tabela 2 – Característica do chip bluetooth EM9301	38
Tabela 3 – Características do tag Beacon	40
Tabela 4 – Características do receptor <i>beacon</i>	42
Tabela 5 – Contagem de movimentos/minuto do cão durante 24 horas em seis dias seguidos	53
Tabela 6 – Períodos definidos para hipótese C	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Animais no meio urbano	23
1.2	Animais no meio rural	24
1.3	Internet das Coisas	24
1.4	Empresas no ramo de identificação animal	24
1.5	Gargalos tecnológicos	25
1.6	Proposta de solução e hipótese de pesquisa	25
1.7	Considerações finais	26
2	MONITORAMENTO DE ANIMAIS E INTERNET DAS COISAS .	27
2.1	Soluções de monitoramento	27
2.1.1	<i>Animais urbanos</i>	27
2.1.2	<i>Animais no meio rural</i>	28
2.2	Tecnologias em Internet das Coisas	29
2.2.1	Bluetooth Low Energy <i>ou</i> Bluetooth 4.0	30
2.2.2	Beacons <i>e seus tipos de protocolo</i>	30
2.2.3	Low Power Wide Area Network (LPWAN)	32
2.2.4	ZigBee	34
2.2.5	Sensores	34
3	PROPOSTA DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE ANI- MAIS	37
3.1	Tag Beacon	37
3.1.1	Hardware	37
3.1.2	Software <i>Embarcado</i>	40
3.2	Receptor Beacon	40
3.2.1	Hardware	41
3.2.2	Software <i>Embarcado</i>	43
3.3	Sistema de processamento em nuvem	43
3.4	Mineração de dados	44
3.5	<i>Data Mining of Code Repositories - DAMICORE</i>	44
3.6	<i>Normalized Compression Distance - NCD</i>	45
3.7	Árvore Filogenética e Clusterização Hierárquica	46

3.8	Exemplo usando Damicore	47
3.9	Considerações finais	47
4	EXPERIMENTOS E RESULTADOS	49
4.1	Monitoramento de cães	49
4.1.1	<i>Mapeamento da casa</i>	50
4.1.2	<i>Extração dos dados</i>	51
4.1.3	<i>Execução e resultados</i>	52
4.2	Monitoramento de gatos	53
4.2.1	<i>Mapeamento da casa</i>	54
4.2.2	<i>Extração dos dados</i>	57
4.2.3	<i>Execução e resultados</i>	58
5	CONCLUSÕES	61
5.1	Dificuldades	62
5.2	Vantagens e desvantagens	63
5.3	Trabalhos futuros	63
REFERÊNCIAS		65
APÊNDICE A	CÓDIGO FONTE DA ROTINA PRINCIPAL DO TAG BEACON	69
APÊNDICE B	PLANTA BAIXA DOS EXPERIMENTOS	73

INTRODUÇÃO

Atualmente a população está cada vez mais conectada e buscando informações rápidas e atualizadas. Ao mesmo tempo a população de animais domésticos cresce cada vez mais em todo mundo. Nesse caminho, esse trabalho busca desenvolver e aplicar elementos de conectividade dentro do contexto de Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) (KAMILARIS; PITSILIDES, 2016) para realizar monitoramento de animais usando equipamentos desenvolvidos na indústria. Além disso, com o auxílio de técnicas de mineração, poderão ser extraídos dados sobre a rotina do animal para análise do proprietário.

1.1 Animais no meio urbano

A população de animais domésticos, sobretudo de cães e gatos, vem crescendo cada vez mais em todo o mundo. No Brasil, por exemplo, 44,3% dos 65 milhões de domicílios possuem pelo menos um cão e 17,7% pelo menos um gato, segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Com o aumento da população desses animais, cresce a probabilidade de ocorrências de animais perdidos ou largados na rua.

As pessoas visualizam nesses animais uma forma de companhia para seu dia dia, porém se esquecem que eles necessitam de um certo cuidado com relação a possibilidade de fuga da residência. Os animais perdidos, geralmente são aqueles que, por curiosidade, aproveitaram o descuido do dono que deixou alguma porta ou janela aberta, fugiram da casa e não conseguiram mais voltar. Além do problema emocional que essa situação gera, problemas de zoonoses começam a aparecer, pois os animais vão para rua e perde-se todo o registro médico com vacinas, doenças, etc.

1.2 Animais no meio rural

No meio rural, a agropecuária de precisão está cada vez mais presente na lista de prioridades dos agricultores e pecuaristas de todo o mundo. A atividade no campo não é mais vista como uma atividade simplória, mas sim como uma atividade industrial que deve seguir boas práticas de controle e gestão. Dentro desse contexto, uma das necessidades é o monitoramento dos animais para possibilitar sua rastreabilidade, ajudar no entendimento de sua evolução desde o nascimento até o abate e, além disso, evitar o roubo que vem se tornando cada vez mais frequente nas zonas rurais do Brasil.

Em se tratando de rastreabilidade é fundamental saber a origem do animal para saber se a carne tem boa procedência. A maioria dos países do mundo só importam carne devidamente rastreada para evitar problemas com doenças infecciosas que podem afetar os seres humanos. Além da rastreabilidade, o monitoramento permite entender melhor os hábitos dos animais para saber se estão bem de saúde e estão progredindo dentro do esperado com a dieta administrada.

1.3 Internet das Coisas

Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) ([KAMILARIS; PITSILLIDES, 2016](#)) é um conceito relativamente novo que se refere a uma nova era tecnológica na qual os objetos estão conectados entre si, trocando informações úteis para facilitar a vida sem necessidade de interferência humana. Tal conceito já está sendo explorado em vários centros urbanos e aos poucos também está invadindo o meio rural sendo aplicado em diversas situações. Nesse trabalho serão apresentados alguns conceitos de Internet das Coisas junto com técnicas de mineração de dados aplicadas ao monitoramento de animais que podem facilitar a rotina de proprietários que se preocupam com integridade e rotina de seus animais domésticos.

1.4 Empresas no ramo de identificação animal

No Brasil existem várias empresas que atuam com produtos direcionados para animais domésticos e pecuária, sendo um mercado expressivo e em expansão. Dentro desse setor, São Carlos é uma cidade bem atuante e inovadora, pois é considerada polo tecnológico contando com grandes universidades e centros de pesquisa como a Empresa Brasileira de Agropecuária (Embrapa) e a Universidade de São Paulo (USP). Uma das principais empresas nesse ramo está situada na cidade de São Carlos e se chama Animalltag ([ANIMALLTAG, acessado em 15/11/2018](#)). Ela se dedica às mais diversas soluções tecnológicas para identificação e rastreamento animal tais como brincos e leitores de rádio frequência para identificação eletrônica, balanças para pesagem, software de gestão animal, imobilizadores eletrônicos, entre outros. Nos últimos anos a empresa está focada no desenvolvimento de equipamentos que falam entre si dentro do cenário de Internet das Coisas.

Em parceria com esse projeto de mestrado, foi desenvolvido um dispositivo que permite a detecção de animais ou pessoas dentro de um raio de 60 metros em campo aberto usando a tecnologia *Bluetooth Low Energy* (KAJIKAWA *et al.*, 2016), ele será abordado nas próximas seções. Esse dispositivo além de cumprir com os objetivos desse trabalho, se derivou em alguns produtos que são aplicados no monitoramento e identificação de animais e pessoas em diversos contextos e são comercializados pela empresa.

1.5 Gargalos tecnológicos

Os dois maiores desafios no monitoramento de animais é a autonomia de bateria e alcance do sinal de rádio transmitido pelo dispositivo de monitoramento. Como será mostrado nos próximos capítulos, várias soluções no mercado usam *Global Positioning System* (GPS) (HAMID *et al.*, 2009) para obter as coordenadas de geolocalização e 3G para transmissão dos dados. Com isso, a solução fica limitada aos centros urbanos que tem cobertura 3G e a autonomia da bateria fica limitada a menos de uma semana. Uma das preocupações desse projeto é saber trabalhar com essas limitações, tornando a solução viável para o proprietário de animal.

1.6 Proposta de solução e hipótese de pesquisa

Para tentar detectar os padrões dos animais, será desenvolvido uma solução de hardware e software para captar sua movimentação e tentar extrair dados úteis para o entendimento da sua rotina e eventual predição de comportamentos anormais, tais como, enfermidades e tentativas de fuga. Nesse caminho e com a parceria da Animalltag foram desenhados dois hardwares: um receptor e um transmissor (*tag* de identificação, também denominado *beacon*) (TSAI; CHEN; LEE, 2017) que serão apresentados em capítulos posteriores. Basicamente o *tag* transmite sua identificação periodicamente através de um pacote de dados e o receptor recebe os pacotes de diversos *tags* na área de cobertura e envia para um banco de dados. Para extrair os dados do banco de dados, foi desenvolvido um *script* que coleta os dados brutos do banco de dados filtrando pelas especificações de tempo determinadas. Após a extração dos dados, eles serão minerados com o auxílio de metodologias e ferramentas que serão abordadas em capítulos posteriores.

Atualmente, os proprietários de animais domésticos não contam com quase nenhuma ferramenta para conhecer melhor sobre a rotina de seu animal. Com essa solução pretende-se melhorar a capacidade do proprietário entender a rotina do seu animal e, eventualmente, tomar medidas importantes para saúde e bem estar do animal. Além do meio urbano, o meio rural também poderá ser impactado pela solução, pois os produtores rurais poderão entender melhor a evolução dos seus animais, tornando seus processos mais eficientes.

1.7 Considerações finais

Para entender as etapas percorridas nesse projeto, primeiramente no capítulo 2 será mostrado o que existe no mercado atual de monitoramento, e as tecnologias que estão disponíveis e que podem ser aplicadas em soluções de monitoramento dentro do conceito de Internet das Coisas. No Capítulo 3 será mostrado a solução desenvolvida nesse projeto com seus elementos de hardware e software. Na sequência, foram realizados experimentos para testar a hipótese de pesquisa com animais domésticos que serão mostrados no Capítulo 4 juntamente com as análises dos resultados. Para finalizar, no Capítulo 5 será feito uma avaliação do projeto com as conclusões do que deu certo e o que poderá evoluir.

MONITORAMENTO DE ANIMAIS E INTERNET DAS COISAS

Nesse capítulo serão mostradas as soluções atuais para monitoramento de animais domésticos e rurais (Seção 2.1) e, posteriormente, serão mostradas as principais tecnologias em Internet das Coisas (Seção 2.2) que podem ser usadas para o monitoramento de animais.

2.1 Soluções de monitoramento

No mercado atual é possível encontrar soluções focadas para o mercado de animais domésticos e soluções com foco na pecuária. Nessa seção serão abordadas as soluções para esses dois tipos de mercado.

2.1.1 Animais urbanos

Atualmente, existem várias empresas que desenvolvem equipamentos e sistemas para monitoramento de animais domésticos. Basicamente o que as empresas buscam é uma solução que consiga a máxima precisão na geolocalização com maior autonomia de bateria. Para obter a máxima precisão em geolocalização do animal é necessário usar a tecnologia *Global Positioning System* (GPS) (HAMID *et al.*, 2009), que usa satélites para realizar a triangulação e obter a longitude e latitude do animal enviando os dados via 3G ou GPRS para o servidor, porém essas tecnologias demandam grande quantidade de energia para seu funcionamento. Um dos requisitos dos *tags* é seu tamanho que deve ser pequeno em relação ao corpo do animal para não atrapalhar sua rotina e, com isso, as baterias não podem ser grandes, resultando em uma grande queda na autonomia dos *tags* com GPS e 3G. Uma estratégia usada pelas empresas para diminuir o gasto energético é aumentar o período de envio dos pacotes ao servidor, porém isso gera grandes "períodos cegos" sem monitoramento. Mesmo com otimizações no envio dos pacotes, os proprietários precisam carregar a bateria semanalmente o que gera um certa

inconveniência para várias pessoas. Alguns exemplos de marcas que comercializam soluções com GPS são Pinmypet ([PINMYPET](#), acessado em 30/11/2018), Appego ([APPEGO](#), acessado em 30/11/2018) e PetPointer ([PETPOINTER](#), acessado em 30/11/2018), algumas delas cobram uma mensalidade pelo serviço, além do custo de aquisição do hardware. Em todos esses casos, o usuário pode visualizar a localização do animal pelo aplicativo ou *website*. No caso do Appego, os valores verificados em 30/11/2018 foram: R\$299,00 pelo hardware e mensalidade de R\$19,90. A ilustração do dispositivo Appego com peso de 35 gramas e diâmetro de 5,6 cm, pode ser vista na figura 1. Junto com o dispositivo acompanha o carregador de bateria e uma alça para fixação na coleira do animal.

Essas soluções que estão disponíveis no mercado são bem amigáveis e cumprem com a especificação, porém o usuário precisa ser disciplinado para manter o *tag* com bateria sempre carregada e estar disposto a gastar com mais uma mensalidade. A mensalidade está ligada ao tráfego de dados que geralmente é feito através das redes *Machine-to-Machine* (M2M) ([LOPER; SWENSON, 2017](#)) das operadoras de telefonia móvel.

Figura 1 – Dispositivo de monitoramento Appego. Imagem extraída do site do produto ([APPEGO](#), acessado em 30/11/2018).

2.1.2 Animais no meio rural

No meio rural existem várias empresas com soluções de rastreamento de animais, porém com monitoramento são poucas as empresas que estão atuando. O rastreamento é basicamente a atribuição de um número de identificação único ao animal, e com isso pode-se atribuir vários eventos, tais como, local de nascimento, movimentações, peso, vacinas, doenças, etc. Já o monitoramento é o controle da localização do animal ao longo do tempo, e pode-se juntar outros dados, tais como, temperatura do animal, peso atual, etc.

Uma das empresas que atuam com monitoramento de bovinos é a Cattle Watch ([WATCH](#), acessado em 30/11/2018) que oferece uma solução com GPS e GPRS que pode ser vista na figura 2, porém não é uma solução muito prática, pois a bateria tem uma baixa autonomia (não há nada informando no site da empresa, mas dispositivos com GPS e GPRS tem autonomia de uma semana no máximo) e é complicado fazer a troca de bateria em um animal desse porte. Uma solução para esse problema poderia ser baterias solares que a empresa Globalstar ([GLO-](#)

BALSTAR, acessado em 30/11/2018) promete usar em seu futuro produto de monitoramento de bovinos e ativos.

Figura 2 – Sistema usado pela empresa Cattle Watch, imagem extraída do site da empresa (WATCH, acessado em 30/11/2018).

Para rastrear animais no meio rural, as empresas oferecem soluções de identificação visual e/ou eletrônica. A Animaltag, por exemplo, oferece o brinco de identificação visual onde o número de identificação é gravado de maneira permanente em sua superfície, e também oferece o brinco eletrônico com o número de identificação gravado eletronicamente em um tag passivo (sem necessidade de bateria) com tecnologia *full duplex* FDX ou *half duplex* HDX (VUZA; CHIQU; SVASTA, 2010) baseado na norma ISO 11784. Para realizar a leitura do brinco visual durante o manejo basta ler visualmente o número gravado, já o brinco eletrônico necessita de um leitor *Radio-Frequency Identification* (RFID) (DIAS; HERNANDEZ-FIGUEROA; COSTA, 2013) para realizar sua leitura. Os números gravados podem pertencer a uma faixa especificada pelo cliente, sendo assim, um número único apenas para os animais do cliente, ou podem ser números únicos ligados a algum sistema de rastreamento e certificação. No Brasil o sistema usado para rastreabilidade animal é o SISBOV (Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Bovinos e Bubalinos) (SISBOV, acessado em 30/11/2018) e é ligado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

2.2 Tecnologias em Internet das Coisas

Dentro de Internet das Coisas, existem várias tecnologias que podem ser usadas para comunicação entre dispositivos e coleta de dados. Nessa seção serão mostradas as principais tecnologias disponíveis e que podem ser aplicadas para monitoramento de animais.

2.2.1 Bluetooth Low Energy ou Bluetooth 4.0

Uma das tecnologias que veio para facilitar a comunicação entre objetos é o *Bluetooth 4.0*. Criada em 2009, a tecnologia *bluetooth* foi melhorada para facilitar a sua implementação em diversas aplicações que não eram possíveis anteriormente, aumentando alcance, e diminuindo custo e consumo energético. Além disso o protocolo ficou mais completo, suportando vários serviços que não constavam nas versões anteriores (1.0, 2.0 e 3.0) e aumentando a segurança usando 128 bits de segurança. Um dispositivo *Bluetooth 4.0* pode operar no modo *Advertising* onde a comunicação é feita em apenas um sentido ou no modo *Connecting* onde é feita uma conexão entre os dois dispositivos e a troca de informação segue nos dois sentidos. O pacote de transmissão *Bluetooth 4.0* pode ser visto na figura 3.

Figura 3 – Pacote de transmissão Bluetooth 4.0

O modo de operação *Connecting* é usado para dispositivos que precisam de trocar dados nos dois sentidos, enviando comando e recebendo respostas. Muito usado, por exemplo, dentro do conceito de Casa Inteligente (*Smart Home*) onde são enviados comandos de automatização da residência, apagando luzes, acionando bombas de jardinagem, climatização e outros dispositivos. Já o modo *Advertising* é usado quando o dispositivo apenas transmite informações, como sua identificação e sensores. Tais sensores podem ser acelerômetros, termômetros, barômetros e outros mais.

2.2.2 Beacons e seus tipos de protocolo

Os *beacons* são *tags* ativos que usam a tecnologia *Bluetooth 4.0* ou superior, emitindo pacotes em modo *Advertising* que podem alcançar até 60 metros em linha direta de visada. Dependendo da configuração de potência e periodicidade do envio dos pacotes, um beacon com bateria CR2032 pode operar até 1 ano sem substituição de bateria. Os tipos de protocolo *beacon* mais conhecidos são:

Eddystone: Protocolo desenvolvido pela Google e projetado com objetivo de proporcionar transparência e robustez. O Eddystone (PEREIRA *et al.*, 2017) pode ser detectado por dis-

positivos móveis com sistema operacional Android e iOS, e outros dispositivos compatíveis com *Bluetooth 4.0*. Os diferentes tipos de protocolo Eddystone são:

- **Eddystone-UID:** O protocolo Eddystone-UID transmite um ID estático único com um campo de 10 bytes (*namespace*) e um campo de 6 bytes (*instance*).
- **Eddystone-URL:** O protocolo Eddystone-URL transmite um URL compactado que, uma vez analisado e descompactado, é diretamente utilizável pelo cliente.
- **Eddystone-TLM:** O protocolo Eddystone-TLM transmite informações de telemetria sobre o próprio *beacon*, como tensão da bateria, temperatura e contadores de pacotes de transmissão.
- **Eddystone-EID:** O protocolo Eddystone-EID transmite um identificador criptografado que muda periodicamente a uma taxa determinada. Este tipo de *frame* é destinado para uso em dispositivos de segurança e privacidade.

iBeacon: Protocolo desenvolvido pela Apple e apresentado ao mundo em 2013. O iBeacon (KOÜHNE; SIECK, 2014) é composto de 4 principais campos que podem ser visualizados na figura 4:

- **Identificador Universal Exclusivo (UUID):** O UUID tem 16 bytes e é um número único que distingue os beacons entre os fabricantes. Por exemplo, o UUID da Animalltag é 003E8C80-EA01-4EBB-B888-78DA19DF9E55.
- **Major value:** Valor principal composto por uma sequência de 2 bytes e é usado para especificar um beacon dentro de um grupo de beacons. Por exemplo, se uma marca usa 15 beacons em uma loja específica, todos esses beacons tem o mesmo major value. Nesse caso, sua principal funcionalidade é saber quais clientes estão nessa loja.
- **Minor Value:** Valor composto por uma sequência de 2 bytes e é usado para identificar sinais específicos. Por exemplo, o *UUID value* indicaria a marca do beacon, o *major value* indicaria a loja onde ele está localizado, e o *minor value* indicaria a sessão da loja em que ele está localizado.
- **TX Power:** Valor composto por 1 byte referente a potência de transmissão, geralmente usado para estimar a distância do *tag* ao receptor.

Figura 4 – Pacote de dados iBeacon

Altbeacon: Protocolo *Open Source* (licença livre) que define um formato de mensagem para *proximity beacon advertisements*. O formato AltBeacon (GOWRISHANKAR; MADHU; BASAVARAJU, 2015) é composto por um campo de 1 byte que indica o comprimento da mensagem, um campo de 1 byte que indica o tipo a um campo de 2 bytes que indicam a marca do beacon, seguidos por 24 bytes adicionais que contém o ID do *beacon* e a intensidade do sinal *Received Signal Strength Indicator* (RSSI).

Sensor Data Animalitag: Protocolo criado pela Animalitag, derivado do protocolo Sensor Data da EM Electronics (fabricante dos chips *bluetooth* usados nesse projeto) para *beacons* que possuem acelerômetro. O pacote pode ser visto na figura 5, sendo 12 bytes de identificação (*Beacon ID*), 1 byte para envio do nível da bateria (*battery voltage*) e 2 bytes para contagem de movimentos (*event counter*). Esse protocolo foi usado no experimento com cães que será mostrado nos próximos capítulos.

Figura 5 – Pacote de dados Sensor Data Animalitag

2.2.3 Low Power Wide Area Network (LPWAN)

Além do *bluetooth*, existem outras tecnologias que são aplicadas no contexto de Internet das Coisas, uma delas é o *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) (LI; REN; ZHU, 2017) que

consiste em uma rede de transmissão de dados com baixo consumo energético e grande alcance. As duas maiores empresas atuantes com essa tecnologia são as francesas Sigfox ([SIGFOX](#), acessado em 30/11/2018) e LoRa ([LORA](#), acessado em 30/11/2018). Essa tecnologia transmite os dados com uma banda estreita e, com isso, consegue consumir menos energia, porém a desvantagem é que a taxa de transmissão que é reduzida. Essa rede possui topologia estrela, ou seja, todos dispositivos da rede são conectados diretamente ao ponto de acesso, como mostrado na figura 6. O alcance de um dispositivo baseado em LPWAN pode variar entre 2 a 50 km, sendo bem maior que o *Bluetooth Low Energy*. A taxa de transmissão é baixa, podendo chegar a no máximo 50 kbit/s. A SigFox e LoRa espalharam pontos de acesso em várias áreas urbanas do mundo e funcionam como uma operadora telefônica cobrando uma mensalidade pelo serviço de comunicação. Além dessa duas empresas, outros fabricantes fabricam dispositivos LPWAN que não necessitam de mensalidade, nesse caso a conexão é feita entre os dispositivos do próprio usuário sem passar por uma rede externa.

Figura 6 – Topologia estrela LPWAN

No comparativo com *Bluetooth Low Energy*, a LPWAN implementada pela SigFox e LoRa se mostra mais adequada para aplicações urbanas que requerem um grande alcance na transmissão de dados, porém em aplicações de monitoramento o *Bluetooth* tem a vantagem de ser compatível com a maioria dos *smartphones* e como o raio de alcance é menor, fica mais fácil de saber que o objeto monitorado está nas proximidades. A figura 7 ilustra uma comparação de banda de transmissão e alcance das principais tecnologias sem fio do mercado.

Figura 7 – Ilustração comparativa entre alcance e banda de transmissão para as tecnologias de comunicação sem fio da atualidade

2.2.4 ZigBee

Parecido com o Bluetooth, a tecnologia ZigBee foi criada em 2003 com o objetivo de ser uma tecnologia barata, de baixo custo energético e baixa taxa de transmissão. Opera na topologia estrela com 3 tipos de dispositivos:

- **ZigBee Coordinator (ZC):** Dispositivo principal na rede, responsável por montá-la e realizar todo seu gerenciamento.
- **ZigBee Router (ZR):** Esse dispositivo pode retransmitir dados de outros dispositivos e pode também transmitir seus próprios dados.
- **ZigBee End Point (ZEP):** O dispositivo mais simples, encarregado apenas de transmitir e receber os dados da aplicação conectada nele. Não realiza retransmissão de dados vindos de outros dispositivos, nem funções de gerenciamento de rede.

2.2.5 Sensores

Além dos dispositivos de transmissão de dados, os sensores são fundamentais dentro do cenário de Internet das Coisas, pois eles refletem a real situação que se encontram os ambientes e objetos monitorados. Os sensores podem servir para diversas necessidades:

- **Termômetro:** Usado para medir a temperatura do ambiente, útil para sistemas de climatização dentro do conceito de Casa Inteligente (*Smart Home*) ou até mesmo em aplicações industriais.

- **Barômetro:** Usado para medir a pressão do ambiente, normalmente usado em aplicações industriais.
- **Luxímetro:** Usado para medir a intensidade de luminosidade do ambiente, muito usado na automação de residências dentro do conceito de Casa Inteligente (*Smart Home*).
- **Acelerômetro:** Usado para medir a aceleração do objeto, útil para avaliar se o objeto entrou em movimento e qual a intensidade do movimento. O *tag beacon* usado em um dos experimentos dessa dissertação, possui um acelerômetro da fabricante Bosch que será apresentado no próximo capítulo.
- **Higrômetro:** Usado para medir a umidade relativa do ar, útil para ambientes que requerem uma umidade controlada.

Com o objetivo de demonstrar algumas possibilidades de uso de sensores no cenário de Internet das Coisas, a empresa francesa Alpwis criou um *tag beacon* (denominado ALPW-BLETAG001) equipado com diversos sensores (luxímetro, acelerômetro, termômetro, higrômetro, bússola, giroscópio e barômetro, visualizados na figura 8) que transmite seus dados com auxílio de um chip *Bluetooth 4.0* EM9301 da EM Electronics. Juntamente com o tag, foi criado um aplicativo disponível para os sistemas operacionais Android e iOS, onde é possível visualizar os dados de cada um dos sensores. Esse tag foi usado pela Animalltag juntamente com esse projeto de mestrado para entender melhor o funcionamento dos sensores na prática e, além disso, foi possível verificar a performance do chip *Bluetooth 4.0* da EM Microelectronics que será apresentando no próximo capítulo.

Figura 8 – Imagem ilustrativa do tag beacon ALPW-BLETAG001 da Alpwis, extraído de seu *datasheet* (ALPWISE, acessado em 16/11/2018)

O uso de sensores auxilia diversas aplicações IoT, porém sua utilização demanda mais gastos de energia. Assim é um grande desafio incorporar vários sensores em um dispositivo só, pois haverá redução de sua autonomia, caso seja alimentado por bateria. Nos *tags* desenvolvidos pela Animalltag, que serão abordados nos próximos capítulos, os sensores presentes são acelerômetro e termômetro, porém o termômetro é incorporado ao microcontrolador e não possui grande precisão e sensibilidade.

PROPOSTA DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE ANIMAIS

Com o objetivo de criar uma solução para monitoramento animal com baixo custo e baixo consumo energético, foram criados dois hardwares baseados na tecnologia *Bluetooth 4.0* que se transformaram em produtos que são comercializados pela Animalltag para donos de animais domésticos que buscam saber se seus animais se encontram em casa e até mesmo se estão em movimento. A tecnologia GPS junto com 3G é a solução que fornece a maior precisão, porém sua baixa autonomia (menos de uma semana) e seu alto custo foram fatores decisivos para a escolha do *Bluetooth 4.0*.

3.1 *Tag Beacon*

3.1.1 Hardware

Como falado em outras seções, a tecnologia usada no *tag* é a *Bluetooth 4.0* ou *Bluetooth Low Energy*, e o chip escolhido foi o EM9301 da fabricante suíça EM Electronics. Esse chip foi escolhido, pois cumpre com as normas *Bluetooth 4.0* e o fabricante possui uma boa parceria com a Animalltag, deixando o custo do produto adequado aos objetivos comerciais da empresa. Existem duas versões do *tag Beacon*, uma simples onde só é enviado a identificação e outro com acelerômetro que transmite a quantidade de movimentos que foram detectados no último minuto de acordo com limiar configurável de detecção de movimento. O circuito do *beacon* Animalltag é composto basicamente de um microcontrolador EM6819, um chip *bluetooth* EM9301, acelerômetro triaxial BMA222E da fabricante Bosch (presente na versão com acelerômetro), suporte para bateria CR2032, botão liga/desliga, uma antena desenhada como trilha na própria Placa de Circuito Impresso (PCB) e alguns componentes necessários para o funcionamento dos elementos de processamento e transmissão, tais como, cristais, resistores e capacitores. As características do chip *bluetooth* e microcontrolador estão nas tabelas 2 e 1 respectivamente. O esquema elétrico

Figura 10 – PCB projetada e montada

Figura 11 – Projeto mecânico do tag beacon Animalltag com dimensões em milímetros

Figura 12 – Tag beacon Animalltag em sua proteção plástica

3.1.2 Software Embarcado

O software embarcado foi desenvolvido na linguagem C e é responsável por configurar o microcontrolador EM6819 e executar as rotinas de formação e envio dos pacotes no protocolo escolhido. As características do tag podem ser configuradas através de um aplicativo criado pela Animalltag. Para ser configurado, o tag precisa estar em modo de configuração (modo *Connecting*) e os dados que podem ser alterados são referentes ao protocolo (Major ID, Minor ID, UUID, endereço MAC, todos detalhados no Capítulo 2) e a transmissão (potência e periodicidade de envio). O código fonte 2 presente no Apêndice A é referente a função principal do tag beacon. É possível notar que a cada 1 segundo ele configura o pacote e todos os contadores para envio.

Com auxílio de um sniffer Bluetooth 4.0 da fabricante Texas Instruments modelo CC2540EMK-USB, é possível observar na figura 13 os pacotes iBeacon emitidos pelo tag beacon da Animalltag com periodicidade de 1 segundo, e as características gerais de operação do tag beacon podem ser vistas na tabela 3.

Figura 13 – Pacote iBeacon coletado no sniffer da Texas Instruments

P.nbr.	Time (us)	Channel	Access Address	Adv PDU Type	Adv PDU Header	AdvA	AdvData	CRC	RSSI (dBm)	FCS
17	+11435 =850188	0x25	0x8E89BED6	ADV_NON_CONN_IND	Type TxAdd RxAdd PDU-Length 2 0 0 36	0x0CF3EE541583	02 01 06 1A FF 4C 00 02 15 00 3E 8C 80 EA 01 4E BB B8 88 78 DA 19 DF 9E 55 00 04 00 53 C5	0x2FEB94	-38	OK
32	+71588 =1853449	0x25	0x8E89BED6	ADV_NON_CONN_IND	Type TxAdd RxAdd PDU-Length 2 0 0 36	0x0CF3EE541583	02 01 06 1A FF 4C 00 02 15 00 3E 8C 80 EA 01 4E BB B8 88 78 DA 19 DF 9E 55 00 04 00 53 C5	0x2FEB94	-38	OK
51	+2332 =2860475	0x25	0x8E89BED6	ADV_NON_CONN_IND	Type TxAdd RxAdd PDU-Length 2 0 0 36	0x0CF3EE541583	02 01 06 1A FF 4C 00 02 15 00 3E 8C 80 EA 01 4E BB B8 88 78 DA 19 DF 9E 55 00 04 00 53 C5	0x2FEB94	-38	OK
68	+57060 =3867736	0x25	0x8E89BED6	ADV_NON_CONN_IND	Type TxAdd RxAdd PDU-Length 2 0 0 36	0x0CF3EE541583	02 01 06 1A FF 4C 00 02 15 00 3E 8C 80 EA 01 4E BB B8 88 78 DA 19 DF 9E 55 00 04 00 53 C5	0x2FEB94	-38	OK
89	+28738 =4873762	0x25	0x8E89BED6	ADV_NON_CONN_IND	Type TxAdd RxAdd PDU-Length 2 0 0 36	0x0CF3EE541583	02 01 06 1A FF 4C 00 02 15 00 3E 8C 80 EA 01 4E BB B8 88 78 DA 19 DF 9E 55 00 04 00 53 C5	0x2FEB94	-38	OK
108	+91990 =5877023	0x25	0x8E89BED6	ADV_NON_CONN_IND	Type TxAdd RxAdd PDU-Length 2 0 0 36	0x0CF3EE541583	02 01 06 1A FF 4C 00 02 15 00 3E 8C 80 EA 01 4E BB B8 88 78 DA 19 DF 9E 55 00 04 00 53 C5	0x2FEB94	-38	OK
129	+38263 =6882049	0x25	0x8E89BED6	ADV_NON_CONN_IND	Type TxAdd RxAdd PDU-Length 2 0 0 36	0x0CF3EE541583	02 01 06 1A FF 4C 00 02 15 00 3E 8C 80 EA 01 4E BB B8 88 78 DA 19 DF 9E 55 00 04 00 53 C5	0x2FEB94	-38	OK

Tabela 3 – Características do tag Beacon

Tecnologia	Bluetooth 4.0 (EM9301)
Frequência de rádio	2.4 GHz
Período de envio	1 segundo
Potência de Transmissão Bluetooth	3 dBm
Tensão de alimentação	3.3V (DC - bateria CR2032)

3.2 Receptor Beacon

Para detecção dos tags beacon, pode-se usar um smartphone com Bluetooth 4.0 (facilmente encontrado nos dias atuais) ou qualquer outro dispositivo que seja compatível com a tecnologia. Como na aplicação de monitoramento de animais o escaneamento deve ser constante, deixar um smartphone dedicado apenas para esse fim seria caro e pouco robusto, pois geralmente

Figura 15 – PCB do receptor *beacon* Animalltag

As características de operação do receptor *beacon* podem ser vistas na tabela 4.

Tabela 4 – Características do receptor *beacon*

Tecnologias	Bluetooth 4.0 e Wifi IEEE 802.11 a/b/g/n
Frequência de rádio	2.4 GHz para Wifi e Bluetooth
Potência de transmissão Wifi	19.5 dBm
Tensão de alimentação	3.3 V (DC)
Alcance de escaneamento	40 metros (visada direta)

Para proteger o circuito, foi usado uma caixa plástica. Na figura 16 é possível ver a caixa plástica com o nome comercial Chiip Cloud que é vendido ao público.

Figura 16 – Receptor *beacon* em sua caixa plástica

3.4 Mineração de dados

Um das partes da solução proposta é o uso ferramentas computacionais de mineração de dados para tentar encontrar padrões em dados obtidos através do sistema de monitoramento com beacons mostrado anteriormente. A metodologia de mineração escolhida foi o *Data Mining of Code Repositories* (Damicore) (SANCHES; CARDOSO; DELBEM, 2011) por ser uma metodologia em que os dados de entrada não precisam de grande preparação para o processamento. Para realizar os experimentos desse projeto de mestrado, os dados foram extraídos manualmente e inseridos no Damicore, porém em uma evolução, os dados poderiam ser extraídos automaticamente e inseridos no Damicore, permitindo um monitoramento automático que pode gerar alertas de possíveis problemas aos usuários.

3.5 *Data Mining of Code Repositories* - DAMICORE

O Damicore (SANCHES; CARDOSO; DELBEM, 2011) foi criado em 2011 e consiste em uma metodologia de clusterização e classificação escrita em diversas linguagens computacionais com vários módulos que podem ser facilmente evoluídos. Um dos diferenciais desse método é a possibilidade de tratar os dados de entrada como uma string de bits, graças à Distância por Compressão Normalizada (NCD (LI *et al.*, 2004), do inglês *Normalized Compression Distance*), uma métrica baseada em compressão para cálculo de distância. Dessa forma, os dados de entrada podem estar em qualquer formato (imagem, texto, áudio, etc) sem preocupação com preparação dos dados. Nesse trabalho, por exemplo, os dados foram obtidos diretamente do relatório no formato de *string* de caracteres e inseridos diretamente no Damicore. No fluxograma mostrado na figura 18, é possível notar que os dados passam pela NCD, formam uma matriz de distância entre eles, forma-se uma árvore filogenética e, por fim a árvore passa por algum método de clusterização. Por padrão é usado o método de clusterização Fast Newman (NEWMAN, 2004), porém outros métodos podem ser aplicados (Edge Betweenness, Walktrap, Optimal Modularity, etc).

Figura 18 – Fluxograma de dados no Damicore

3.6 Normalized Compression Distance - NCD

A NCD (LI *et al.*, 2004) é uma métrica usada para mensurar a relação entre dados sem necessidade de ter o domínio da aplicação, por isso tem sido amplamente aplicado em várias áreas como medicina, música, literatura e outros mais. Derivando-se da *Normalized Information Distance* (NID (LILLO-CASTELLANO *et al.*, 2013)), a NCD mede a relação entre variáveis de acordo com a característica dominante comum entre elas. Diferente do NID (LILLO-CASTELLANO *et al.*, 2013), a NCD substitui o cálculo de complexidade de Kolmogorov, que é computacionalmente inviável para grandes amostras, por uma aproximação calculada através de um algoritmo de compressão. A distância entre dois dados X e Y é calculada pela equação 3.1:

$$D_{NCD}(X, Y) = \frac{C(XY) - \min\{C(X), C(Y)\}}{\max\{C(X), C(Y)\}}, \quad (3.1)$$

onde $C(XY)$ é tamanho resultado da concatenação de X e Y após a compressão, $C(X)$ e $C(Y)$ são seus tamanhos comprimidos. O resultado é um valor variando entre 0 e $1 + \varepsilon$, onde ε é o limitante superior para o erro do compressor escolhido. A escolha do compressor interfere diretamente no resultado dessa métrica de distância, alguns compressores conhecidos são gzip, bzip e ppmz. No experimentos desse trabalho foi utilizado o compressor gzip (RAUSCHERT *et al.*, 2004).

3.7 Árvore Filogenética e Clusterização Hierárquica

Uma árvore filogenética de dados é uma divisão em grupos de dados que são correlatos. Uma árvore pode ser descrita como um grafo que reflete a relação entre os dados, na figura 19 é possível observar uma árvore filogenética.

Figura 19 – Exemplo de filogenia para um grupo de plantas extraído de (SOARES, 2014)

Basicamente a clusterização hierárquica é o uso de técnicas de mineração para realizar o agrupamento dos dados de acordo com sua semelhança. O agrupamento pode ser aglomerativo (abordagem *down-top*), quando os dados começam cada um em seu cluster e vão se mesclando conforme sobem na hierarquia, ou divisório (abordagem *top-down*) quando os dados começam em um único cluster e são divididos em outros conforme descem a hierarquia. Para tomada de decisão de quais grupos devem ser combinados ou divididos calcula-se a dissimilaridade entre as séries de observações.

No Damicore é possível usar vários tipos de algoritmos de clusterização, porém por padrão é usado o Fast Newman (NEWMAN, 2004) que realiza o agrupamento por aglomeração dos vizinhos. Em cada iteração, para cada par de comunidades que compartilham ao menos uma aresta, calcula-se o ganho de modularidade pela união dado pela equação 3.2.

$$\Delta Q_{uv} = \frac{2}{S}(w_{uv} - S_u S_v) \quad (3.2)$$

onde $S_u = \sum_{i \in C_u} s_i$ é a soma das forças dos vértices da comunidade C_u , e w_{uv} é a soma dos pesos das arestas com extremos em C_u e C_v . Assim, esse algoritmo realiza suas iterações até que a modularidade máxima ou um valor fixo definido de modularidade seja atingido.

3.8 Exemplo usando Damicore

Um exemplo usando o Damicore é a identificação de semelhança textual entre os idiomas. Para tanto foi usado o site Lipsum ([LIPSUM](#), acessado em 30/11/2018), que gera textos com o mesmo tamanho e conteúdo em vários idiomas. Nesse exemplo, foram gerados textos do mesmo tamanho e conteúdo nos idiomas Português, Espanhol, Francês, Italiano e Inglês e foram salvos no formato ".txt". Pode-se observar na figura 20 que os textos em Português e Espanhol ficaram na mesma ramificação pela sua grande semelhança que pode ser claramente observada durante a leitura.

Figura 20 – Exemplo de clusterização de textos em uma árvore filogenética

3.9 Considerações finais

Após o desenvolvimento do hardware e software embarcado, e a integração com a ferramenta de mineração Damicore, o sistema está completo e oferece como resultado árvores filogenéticas dos dados obtidos pelo sistema. Essas árvores podem ser usadas na tentativa de detectar comportamentos dos animais monitorados. A figura 21 mostra o diagrama completo da solução com todos seus elementos.

[illegible]

EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Para demonstrar o sistema de monitoramento proposto, foram escolhidos cenários urbanos onde animais domésticos podem ser controlados para evitar fuga e analisar seu comportamento ao longo do tempo. Para tanto, foram usados os hardwares desenvolvidos nesse projeto de mestrado juntamente com o Damicore instalado no sistema operacional Linux (Ubuntu 16.04 instalado em uma máquina virtual Oracle VM VirtualBox versão 5.1.6 em um computador com processador Intel i7 2GHz com 8GB de memória RAM) implementado na linguagem Python.

4.1 Monitoramento de cães

Os cães são animais curiosos e alteram seu comportamento sempre que há algo errado com sua saúde ou com a residência onde ele vive (invasão por ladrões ou chegada de pessoas novas na casa). Por isso, foi escolhido uma residência na cidade de São Carlos no estado de São Paulo para realizar o monitoramento de um cão adulto da raça Labrador (figura 22), durante os dias 11/10/2016 e 16/10/2016. Foi instalado um receptor *beacon* em um ponto estratégico no fundo da residência onde o cão normalmente passa grande parte do dia e foi instalado um *tag beacon* com acelerômetro em sua coleira emitindo protocolo Sensor Data Animaltag, mostrado no Capítulo 2. A sensibilidade do contador de movimentos do cão foi configurada empiricamente, observando os tipos de movimento do cão e o resultado obtido em um aplicativo de celular que recebe os dados brutos do *tag beacon*. O contador de movimentos é reinicializado a cada 60 segundos, com isso, cada movimento registrado pelo receptor *beacon* reflete a movimentação do cão no último minuto.

Figura 22 – Foto do cão monitorado nesse experimento com um *tag beacon* em sua coleira

4.1.1 Mapeamento da casa

Primeiramente foi feito um mapeamento da casa para saber os pontos de interesse do cão. Descobriu-se que ele passa grande parte do tempo em um área externa para brincar e descansar, então foi fixado um receptor próximo a essa área conforme mostrado na figura 23 com uma área estimada de cobertura (em azul) de acordo com testes empíricos. A planta completa da casa pode ser vista na figura 36 no apêndice B.

Figura 23 – Foto de um trecho da planta baixa digitalizada mostrando o local de descanso do cão

4.1.2 Extração dos dados

Usando o *script php* desenvolvido para o sistema, foram gerados arquivos no formato .txt no período e dia selecionados. Cada arquivo possui como nome a data da análise e a hora de início. Os arquivos possuem uma *string* de bits na qual cada minuto coletado corresponde a três caracteres e quando não há sinal do *tag* é colocado “xxx”, um exemplo de arquivo pode ser visto na figura 24. Tais arquivos foram inseridos em uma pasta no Linux Ubuntu para uso do Damicore.

- Ativo: 2 a 10 movimentos
- Brincando: acima de 10 movimentos
- Sem dados: o receptor *beacon* não recebeu dados naquele minuto, pois o *tag* estava fora do alcance

O resultado dessa classificação pode ser visto na tabela 5:

Tabela 5 – Contagem de movimentos/minuto do cão durante 24 horas em seis dias seguidos

	11/10/2016	12/10/2016	13/10/2016	14/10/2016	15/10/2016	16/10/2016
Descansando	905	774	715	1133	765	791
Ativo	61	62	89	72	104	60
Brincando	35	30	48	32	46	38
Sem dados	439	574	588	203	525	551

Figura 26 – Resultado do Damicore para o período de 24 horas

Comparando a figura 26 com a classificação da tabela 5, foi possível concluir que o *cluster* da parte inferior está associada aos dias de maior atividade do animal e o superior está associado aos dias de menor atividade.

4.2 Monitoramento de gatos

Com o objetivo de monitorar outro tipo de animal doméstico, foi realizado um experimento com gatos de uma residência no município de São Carlos no estado de São Paulo entre os dias 04/12/2018 e 08/12/2018. Para tanto, foram usados dois receptores *beacons* em dois pontos de interesse da casa e foram instalados dois *tag beacons* emitindo protocolo iBeacon (mostrado no Capítulo 2) em dois gatos que já vivem na residência há um bom tempo e estão

habituaados a rotina. Outra diferença do experimento com o cão da seção anterior é que ao invés de monitorar o acelerômetro do *beacon*, o software embarcado do receptor foi alterado para coletar a intensidade do sinal recebido e enviá-la para o servidor. Assim, é possível estimar a distância que o gato está do receptor. Essa métrica não é indicada para chegar a uma distância muito precisa, pois pode haver interferência do ambiente na propagação do sinal, principalmente de objetos com presença de água (aquários, plantas com folhagem verde, etc), um dos maiores atenuantes do sinal na frequência *Bluetooth Low Energy* (2.4 GHz), porém é possível saber se o gato está próximo ou mais afastado do ponto de recepção, podendo ser útil na detecção de comportamentos do animal.

4.2.1 Mapeamento da casa

Primeiro, foi realizado um mapeamento da casa para escolha de dois pontos interessantes na detecção de comportamentos desses animais. Como essa residência tem dois andares, foram escolhidos pontos em andares distintos para detectar a movimentação desses animais entre os dois andares. O primeiro ponto de interesse é o local de alimentação dos gatos, localizado no piso inferior em uma região usada para os moradores fazerem suas refeições e assistirem a televisão, o ponto pode ser visto na figura 27 mostrando uma estimativa de cobertura de sinal em azul claro, e a planta baixa original da casa se encontra no apêndice B. Na figura 29 é possível ver uma das gatas com *tag beacon* posicionado em sua coleira.

Figura 27 – Área do piso inferior monitorada por um dos receptores *beacon*

Figura 28 – Foto do local de alimentação dos gatos com o receptor *beacon* instalado

Figura 29 – Foto de uma das gatas com a coleira do *tag beacon*

O segundo ponto de recepção se localiza no piso superior onde pode ser escaneado alguns quartos e a varanda que é usada para os animais brincarem e descansarem, esse ponto pode ser visto na figura [30](#).

Figura 30 – Área do piso superior monitorada por um dos receptores beacon

Figura 31 – Foto do local de monitoramento no piso superior

```
12:  ratio = rssi*1.0/txPower;
13:  if (ratio < 1.0) {
14:      return ratio^10;
15:  }
16:  else {
17:
18:      distance = (0.89976)*(ratio^7.7095) + 0.111;
19:      return distance;
20:  }
21: }
```

4.2.3 Execução e resultados

Para testar a proposta de visualização do comportamento dos gatos com detecção de comportamentos, foram definidas 3 hipóteses:

- **Hipótese A:** Influência dos pisos no comportamento dos gatos.
- **Hipótese B:** Influência do comportamento do gato variando por dia.
- **Hipótese C:** Influência do comportamento do gato variando por período do dia.

Para provar a hipótese A, foram gerados arquivos com 24 horas de coleta de dados para cada gato e piso. O resultado está na figura 33 onde é possível observar a clusterização por piso sem registro de mistura. Na parte superior da árvore pode-se observar elementos do piso inferior. Já na parte inferior da árvore, pode-se observar elementos do piso superior da casa. Essa clusterização é coerente, visto que os dois pisos são pontos de interesse com características bem diferentes na casa.

Para provar a hipótese B, foram gerados arquivos com 24 horas para cada gato (com nomes Sky e Luna) apenas no piso inferior para eliminar a influência dos pisos. O resultado pode ser visto na figura 34 onde pode-se observar um *cluster* na parte superior da árvore referente a gata Sky e na parte inferior da árvore referente a gata Luna. Esse resultado mostra que os gatos tem comportamentos diferentes em sua rotina.

Figura 33 – Árvore resultante com dados coletados para hipótese A com taxas de mistura entre *clusters* Figura 34 – Árvore resultante com dados coletados para hipótese B com taxas de mistura entre *clusters*

Para provar a hipótese C foram definidos 4 períodos do dia conforme mostrado na tabela 6, e foram gerados arquivos de acordo com esses períodos para os dois gatos somente no piso

inferior. O resultado pode ser visto na figura 35. Embora exista um *cluster* misto, é possível notar 3 principais *clusters* referentes aos períodos da tarde, noite e madrugada/manhã. Esse resultado mostra que os animais tem comportamentos específicos em cada período do dia.

Tabela 6 – Períodos definidos para hipótese C

Período	Faixa de horário
Manhã	06h:00m - 12h:00m
Tarde	12h:00m - 18h:00m
Noite	18h:00m - 00h:00m
Madrugada	00h:00m - 06h:00m

Figura 35 – Árvore resultante com dados coletados para hipótese C com taxas de mistura entre *clusters*

CONCLUSÕES

Conforme mostrado em capítulos anteriores, o desenvolvimento de tecnologias para Internet das Coisas abriu grandes possibilidades de aplicações em diversas áreas. Este projeto busca uma solução com elementos de Internet das Coisas e mineração de dados com o objetivo de detectar padrões de comportamento de animais. Atualmente já existem soluções de monitoramento de animais, porém com várias limitações tecnológicas e de custo, e este projeto busca gerar um solução mais adequada para tal fim.

Primeiramente foi realizado uma pesquisa das soluções e tecnologias atuais (estado da arte) na área de monitoramento animal para entender o que já foi desenvolvido, suas limitações e o que pode ser usado para aperfeiçoá-las. Com base nessa pesquisa, foram escolhidas as tecnologias *Bluetooth Low Energy* ou *Bluetooth 4.0* e *Wifi* para a solução proposta. Além da tecnologia, foi escolhido também o fornecedor (EM Microelectronics) que se encaixava melhor nas necessidades tecnológicas e de custo, visto que esse projeto se tornou um produto comercializado pela empresa parceira *Animalltag*. Após as escolhas tecnológicas, foi realizado o desenvolvimento de todos elementos eletrônicos (placas de circuito impresso, antenas, sistema embarcado, etc), resultado em um receptor que se comunica com diversos *tags* que podem ser fixados nos animais monitorados. Com o hardware desenvolvido e produzindo dados relativos ao monitoramento dos animais, foi escolhido a ferramenta *Damicore* para realizar a mineração desses dados. Tal escolha foi feita pela facilidade de uso da ferramenta que tem uma boa capacidade de trabalhar com diversos tipos de arquivos de entrada, sem a necessidade de pré-processamento dos dados. Com o sistema completo (hardware de monitoramento e ferramenta de mineração) foram escolhidos cenários para realizar os experimentos e tentar comprovar que a solução atinge o objetivo proposto.

O primeiro experimento foi realizado com um cão e trouxe resultados relativos a dados de frequência de movimentação captados pelo *tag* com acelerômetro para tentar detectar padrões de comportamento do animal. Como visto na figura 25, foram formados dois principais *clusters*

de movimentação, mostrando que o sistema consegue diferenciar os períodos mais ativos e menos ativos do animal. Esse padrão de comportamento pode ser usado para detectar se o animal está com alguma alteração (enfermidade, *stress*, período de cio, etc) podendo ser útil em uma aplicação para proprietários de animais domésticos.

O segundo experimento foi realizado com ovinos (carneiros e borregos) no campus fazenda Lagoa do Sino da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) com intuito de monitorar a movimentação dos animais ao longo do dia. Porém não teve sucesso, pois a conectividade com a internet nas instalações onde os ovinos são mantido era muito instável no período em que os testes puderam ser realizados. Com isso, houve muita perda de dados, impossibilitando qualquer análise.

O terceiro e último experimento foi realizado com gatos, e o objetivo foi de detectar padrões de comportamento relativos a intensidade do sinal recebido pelo receptor *beacon* em dois pontos de interesse localizados em pisos diferentes da residência. Para facilitar as análises, foram definidas 3 hipóteses: influência dos pontos de interesse (A), influência do comportamento do gato por dia (B) e influência do comportamento do gato por período do dia (C). Conforme mostrado no Capítulo 4, o agrupamento obtido mostra uma separação das amostras por piso/ponto de interesse, mostrando que o sistema consegue captar o comportamento característico de cada ponto de interesse. Além disso, foi possível notar dois *clusters* relativos ao comportamento de cada animal, mostrando que sistema consegue diferenciar o comportamento de cada animal em sua rotina doméstica diária. Foi também possível notar uma diferenciação entre os períodos do dia, porém com um *cluster* misto que pode conter alterações comportamentais naquele dia, tais como, visitas, mudança nos horários dos moradores da residência, enfermidades, etc. Dessa forma, a capacidade de detecção de comportamentos nesse experimentos poderia ser usada em uma aplicação para proprietários de animais domésticos para gerar alertas sobre alterações comportamentais.

5.1 Dificuldades

Uma das grandes dificuldades da instalação do sistema de monitoramento por *beacons* na zona rural foi a baixa qualidade ou ausência de cobertura de internet. Com isso, as tentativas de realizar o monitoramento de ovinos não tiveram sucesso. Como a conexão com a internet oscilou muito, foram perdidos muitos dados, tornando-se impossível extrair alguma informação relevante. Esse problema de conectividade pode ser solucionado com a utilização de outras tecnologias em conjunto com as que foram aplicadas nesse trabalho e será abordado na seção sobre trabalhos futuros.

Além da dificuldade de conectividade, outro desafio é a adaptação dos animais aos elementos de monitoramento. Um *tag* deve ser leve, com cor neutra e ainda ser robusto para suportar eventuais tentativas de remoção por parte dos animais. No caso do experimento com

gatos, que são animais de pequeno porte, o *tag* juntamente com a coleira afetou um pouco a rotina dos animais que tentaram remover a coleira algumas vezes, devido ao seu tamanho. Como mostrado no projeto do *tag* no capítulo 3, as dimensões do *tag* são pequenas, porém para animais com um porte bem pequeno, ainda é uma limitação a ser trabalhada.

5.2 Vantagens e desvantagens

Uma das vantagens do sistema de monitoramento por *beacons* é o baixo consumo energético que possibilita uma autonomia maior que os sistemas atuais de monitoramento por GPS e 3G, porém a desvantagem é que é necessário instalar pontos de recepção ao longo de toda área monitorada, tornando-se caro para áreas muito extensas. Uma das soluções para esse problema é a utilização de drones equipados com receptores *beacon* que podem se movimentar em uma área extensa coletando dados.

5.3 Trabalhos futuros

Durante o trabalho, foram encontrados pontos de evolução do sistema de monitoramento:

- **Cobertura de internet zona rural:** Para solucionar o problema da cobertura de internet na zona rural, pode-se incluir um módulo LPWAN ao receptor *beacon* no lugar do módulo Wifi que está presente, assim seus dados serão enviados diretamente para um concentrador na sede da propriedade rural, mesmo estando a vários quilômetros de distância, visto que o alcance LPWAN é de até 50km.
- **Automação da extração dos dados:** Embora a extração dos dados de monitoramento seja feita por um *script php*, o mesmo não é executado automaticamente com uma frequência definida, é necessário que o usuário execute o *script* para obter os dados e inseri-los no Damicore. Para tornar o sistema mais ágil e até mesmo comercial, pode-se automatizar a extração de dados do servidor para com uma periodicidade definida (diariamente, por exemplo) e processá-los periodicamente com ajuda de um agendador de tarefas.
- **Expansão do monitoramento:** Como nas propriedades rurais possuem os mais diversos tipos de produções agropecuárias, pode-se expandir o monitoramento para plantações usando sensores de umidade e temperatura aliados à tecnologia de transmissão LPWAN, pois geralmente as lavouras estão localizadas longe da sede da propriedade rural. Assim será possível estimar eventuais problemas climáticos que podem prejudicar a produção. Além das aplicações rurais, pode-se ampliar o uso do Damicore com testes em objetos como, por exemplo, no monitoramento da retirada de objetos de almoxarifados hospitalares para otimizar o caminho que os agentes realizam.

- **Triangulação do animal:** Com dois receptores *beacon* pode-se estimar a posição do animal através das intensidades de sinal recebidas, e usa-se um terceiro para validar o cálculo. Com isso, elimina-se a necessidade do uso de GPS, alertando o dono sobre eventuais tentativas de fuga.
- **Drones para coleta de sinais e imagens:** Aproveitando da facilidade de mineração de dados oferecida pelo Damicore, pode-se usar drones para capturar sinais de animais em pastos distantes e até mesmo imagens aéreas de lavouras. Com os sinais captados dos *tags*, pode-se realizar a contagem dos animais, detectar enfermidades e prevenir até mesmo furtos. Já com as imagens coletadas de lavouras, pode-se realizar análises de suas propriedades de acordo com a tonalidade de cor.

REFERÊNCIAS

ALPWISE. **ALPW-BLETAG001 DATASHEET**. acessado em 16/11/2018. Disponível em: <https://www.emmicroelectronic.com/sites/default/files/products/files/alpwbletag001_datasheet.pdf>. Citado nas páginas 15 e 35.

ANIMALLTAG. **Website da empresa Animalltag**. acessado em 15/11/2018. Disponível em: <<http://www.animalltag.com.br>>. Citado na página 24.

APPEGO. **Website da empresa Appego**. acessado em 30/11/2018. Disponível em: <<http://www.meappego.com.br/>>. Citado nas páginas 15 e 28.

DIAS, R. R. de F.; HERNANDEZ-FIGUEROA, H. E.; COSTA, L. R. Analysis of impacts on the change of frequency band for rfid system in brazil. In: **2013 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA)**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1–5. Citado na página 29.

GLOBALSTAR. **Website da empresa Globalstar**. acessado em 30/11/2018. Disponível em: <<https://la.globalstar.com>>. Citado na página 29.

GOWRISHANKAR, S.; MADHU, N.; BASAVARAJU, T. G. Role of ble in proximity based automation of iot: A practical approach. In: **2015 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS)**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 400–405. Citado na página 32.

HAMID, M. H. A.; ADOM, A. H.; RAHIM, N. A.; RAHIMAN, M. H. F. Navigation of mobile robot using global positioning system (gps) and obstacle avoidance system with commanded loop daisy chaining application method. In: **2009 5th International Colloquium on Signal Processing Its Applications**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 176–181. Citado nas páginas 25 e 27.

KAJIKAWA, N.; MINAMI, Y.; KOHNO, E.; KAKUDA, Y. On availability and energy consumption of the fast connection establishment method by using bluetooth classic and bluetooth low energy. In: **2016 Fourth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 286–290. ISSN 2379-1896. Citado na página 25.

KAMILARIS, A.; PITSILLIDES, A. Mobile phone computing and the internet of things: A survey. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 3, n. 6, p. 885–898, Dec 2016. ISSN 2327-4662. Citado nas páginas 23 e 24.

KOÜHNE, M.; SIECK, J. Location-based services with ibeacon technology. In: **2014 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 315–321. Citado na página 31.

LI, L.; REN, J.; ZHU, Q. On the application of lora lpwan technology in sailing monitoring system. In: **2017 13th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 77–80. Citado na página 32.

LI, M.; CHEN, X.; LI, X.; MA, B.; VITANYI, P. M. B. The similarity metric. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 50, n. 12, p. 3250–3264, Dec 2004. ISSN 0018-9448. Citado nas páginas 44 e 45.

LILLO-CASTELLANO, J.; MORA-JIMÉNEZ, I.; SANTIAGO-MOZOS, R.; ROJO-ÁLVAREZ, J.; RAMIRO-BARGUEÑO, J.; ALGORA-WEBER, A. Weaning outcome prediction from heterogeneous time series using normalized compression distance and multidimensional scaling. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 5, p. 1737 – 1747, 2013. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417412010810>>. Citado na página 45.

LIPSUM. **Website Lipsum**. acessado em 30/11/2018. Disponível em: <<https://pt.lipsum.com/>>. Citado na página 47.

LOPER, M. L.; SWENSON, B. Machine to machine trust in smart cities. In: **2017 IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1887–1889. ISSN 1063-6927. Citado na página 28.

LORA. **Website da empresa Lora**. acessado em 30/11/2018. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/>>. Citado na página 33.

NEWMAN, M. E. J. Fast algorithm for detecting community structure in networks. **Phys. Rev. E**, American Physical Society, v. 69, p. 066133, Jun 2004. Disponível em: <<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.69.066133>>. Citado nas páginas 44 e 46.

PEREIRA, R. V. M.; SOUSA, F. R. d.; BEZERRA, E. A.; BEREJUCK, M. D. A digital implementation of eddystone standard using ibm 180nm cell library. In: **2017 VII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 161–166. ISSN 2324-7894. Citado na página 30.

PETPOINTER. **Website da empresa PetPointer**. acessado em 30/11/2018. Disponível em: <<https://www.petpointer.ch>>. Citado na página 28.

PINMYPET. **Website da empresa PinMyPet**. acessado em 30/11/2018. Disponível em: <<http://pinmypet.com/>>. Citado na página 28.

RAUSCHERT, P.; KLIMETS, Y.; VELTEN, J.; KUMMERT, A. Very fast gzip compression by means of content addressable memories. In: **2004 IEEE Region 10 Conference TENCON 2004**. [S.l.: s.n.], 2004. D, p. 391–394 Vol. 4. Citado na página 45.

SANCHES, A.; CARDOSO, J. M. P.; DELBEM, A. C. B. Identifying merge-beneficial software kernels for hardware implementation. In: **2011 International Conference on Reconfigurable Computing and FPGAs**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 74–79. ISSN 2325-6532. Citado na página 44.

SIGFOX. **Website da empresa Sigfox**. acessado em 30/11/2018. Disponível em: <<https://www.sigfox.com>>. Citado na página 33.

SISBOV. **Website do Sisbov**. acessado em 30/11/2018. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/primeira_pagina/extranet/SISBOV.html>. Citado na página 29.

SOARES, A. H. M. **Algoritmos de estimação de distribuição baseados em árvores filogenéticas**. Tese (Doutorado) — Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Citado nas páginas 15 e 46.

TSAI, H.; CHEN, G.; LEE, H. Poster abstract: Using low-cost, non-sensor-equipped ble beacons to track people's movements. In: **2017 16th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 291–292. Citado na página 25.

VUZA, D. T.; CHIU, S.; SVASTA, P. An rfid tag simulator for the fdx and hdx protocols. In: **2010 IEEE 16th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 53–58. Citado na página 29.

WATCH, C. **Website da empresa Cattle Watch**. acessado em 30/11/2018. Disponível em: <http://www.cattle-watch.com>. Citado nas páginas 15, 28 e 29.

CÓDIGO FONTE DA ROTINA PRINCIPAL DO TAG BEACON

Código-fonte 2 – Código da rotina principal do tag beacon

```
1:
2:  //caso botão esteja pressionado, não emitir pacotes
3:  if (!switchPresTime)
4:  {
5:      if (beaconing())
6:      {
7:          // configurações para emissão de pacote
8:          SetupDCDC();
9:          PowerUp9301(em9301PowerState);
10:         #if CAPABILITY_EM9301_ONESHOT_CAL
11:         if (OneShotCalIsSupported())
12:         {
13:             //calibração de radio frequência baseada na
14:             temperatura coletada pelo microcontrolador
15:             RFCalibration(GetLastTemperatureCelsius(), !
16:             USE_AUTOCAL_DISABLE_CALL);
17:             if (RFIsUncalibrated())
18:             {
19:                 PowerDown(EM9301_POWERSTATE_OFF);
20:                 EnterTerminalErrorState();
21:             }
22:         }
```

```
23:         if (PRODUCT_IS_BROADCAST_ENABLED(beaconModeIdx ,
        beaconMode))
24:         {
25:             //enviando pacote selecionado
26:             SendData(GetPowerFromMode(), beaconMode &
        RotateModeMask());
27:         }
28:
29:         // atualizando contadores e coletores de nível de
        bateria
30:         UpdateDynamicPacketData(GetPowerFromMode(),
31:             GetBatteryLife(
        EMAdvertisingPacket.data.packet_count));
32:         UpdateDynamicIdPacketData(GetPowerFromMode());
33:
34:
35:     }
36:     else
37:     { //caso não esteja em modo de emissão, entrar em modo
        standby para economia de bateria
38:         if (em9301PowerState == EM9301_POWERSTATE_DEEPSLEEP)
39:         {
40:             PowerDown(EM9301_POWERSTATE_OFF);
41:         }
42:     }
43: }
44: // delay entre envios de pacotes, nessa tese foi configurado
        para 1 segundo
45: WaitForDelay();
46:
47: #if defined (EM_PRODUCT_EMBC02)//condição para usar apenas com
        beacon com acelerômetro (código interno EMBC02)
48: if(counter==TIME_ACCEL){//reinicia contador acelerômetro a
        cada 60 segundos
49:
50:     counter=0;
51:     embc02_EventCount=0;
52:
53: }
54:
55:
56:     counter++; //incrementa contador de tempo
```

```
57: #endif
58:
59: //verifica se o botão foi pressionado
60:   ProcessButton();
```

Figura 37 – Planta baixa completa do térreo da residência usada no experimento com gatos