



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

TIAGO ARRUDA FONTENELE

**UM SISTEMA BASEADO EM IOT PARA DETECÇÃO E NOTIFICAÇÃO DE DANO
OU FURTO DE COLMEIAS DE ABELHAS**

QUIXADÁ

2022

TIAGO ARRUDA FONTENELE

UM SISTEMA BASEADO EM IOT PARA DETECÇÃO E NOTIFICAÇÃO DE DANO OU
FURTO DE COLMEIAS DE ABELHAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Sistemas de Informação
do Campus Quixadá da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rafael
Braga

QUIXADÁ

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F763s Fontenele, Tiago Arruda.
Um sistema baseado em IoT para detecção e notificação de dano ou furto de colmeias de abelhas / Tiago Arruda Fontenele. – 2022.
107 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Sistemas de Informação, Quixadá, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Antonio Rafael Braga.

1. Abelhas - Criação. 2. Monitoramento. 3. Internet das Coisas. I. Título.

CDD 005

TIAGO ARRUDA FONTENELE

UM SISTEMA BASEADO EM IOT PARA DETECÇÃO E NOTIFICAÇÃO DE DANO OU
FURTO DE COLMEIAS DE ABELHAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Sistemas de Informação
do Campus Quixadá da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Rafael Braga (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jefferson de Carvalho Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Wagner Guimarães Al-Alam
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho aos que não tiveram oportunidade ou escolha de seguir com seus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por não ter me abandonado nos mais diversos momentos difíceis de minha vida.

À minha mãe, por todo amor, cuidados e apoio, que me instigam a não desistir dos meus sonhos e objetivos.

Ao meu pai, (*in memoriam*), por todas as boas lembranças que carrego comigo quando estive ao seu lado.

Aos meus irmãos pelo apoio, afeto, parceria, amizade e confiança que sempre tivemos um com o outro.

Aos demais membros da minha família, que também torcem por mim, para que eu consiga alcançar meus objetivos.

Agradeço a todos os professores da rede pública de ensino em que estudei, que sem eles não teria chegado até aqui.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade.

Ao Campus UFC Quixadá, pelo acolhimento e conhecimento adquirido.

Aos servidores dos diversos setores do Campus UFC Quixadá, nos quais tive boa relação, pela simpatia e carisma.

Aos colegas que conheci no Campus, pelos momentos de descontração, conversas e risos trocados.

Ao professor Emanuel Ferreira Coutinho, que através da disciplina de Projeto de Pesquisa Científica e Tecnológica, ajudou a dar o passo inicial para a elaboração deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Antonio Rafael Braga, por todo o suporte dado, pelo conhecimento repassado, pelas dúvidas tiradas, pela atenção e compromisso, que foram fundamentais para a elaboração deste trabalho e conclusão desta fase final.

Aos professores integrantes da banca, professor Jefferson de Carvalho Silva e ao professor Wagner Guimarães Al-Alam, pela participação e pelo feedback dado.

Finalizo os agradecimentos agradecendo a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente na conclusão de mais essa fase em minha vida.

“A mente que se abre para alguma coisa nova,
nunca mais será a mesma”

(Albert Einstein)

RESUMO

Dada a extrema importância mundial para o trabalho incessante das abelhas, sua contribuição no meio ambiente, na economia, na saúde e na pesquisa de modo geral, identificou-se, dentre outras, uma problemática grave que ameaça diretamente e indiretamente as mesmas, bem como os apicultores, que é o índice preocupante de furtos de colmeias em todo o mundo. Partindo do problema de furtos de colmeias, este referido trabalho propõe uma possível solução baseada em IoT com uma arquitetura simples, de baixo custo e de fácil implantação. O sistema desenvolvido conta com um sensor de detecção de vibrações, para detecção de movimentações suspeitas na colmeia, com um microcontrolador Atmega328 montado em placa compatível com o Arduino Nano, com um módulo GPS para a possibilidade de rastreamento e resgate da colmeia e com um módulo GSM/GPRS para o envio dos dados, aproveitando a infraestrutura da rede móvel celular já implantada e ainda em uso em boa parte do mundo. O dispositivo físico é alimentado por uma bateria interna, podendo receber alimentação externa como a proveniente de fontes renováveis. Como parte dos resultados, realizou-se algumas análises descritivas, como custos, desempenho dos módulos utilizados e de autonomia da bateria utilizada pelo dispositivo. De modo geral, o trabalho realizado teve grande foco na pesquisa e fundamentação teórica, principalmente relacionada às abelhas e à apicultura, para que se chegasse a um bom entendimento sobre o problema em questão. E que ao final do trabalho, o sistema proposto conseguisse trazer resultados satisfatórios para o objetivo que foi proposto.

Palavras-chave: Abelhas - Criação. Monitoramento. Internet das Coisas.

ABSTRACT

Given the extreme importance worldwide for the incessant work of bees and their importance in the environment, economy, health and research in general, it was identified, among others, a serious problem that directly and indirectly threatens them as well as beekeepers, which is the worrying index of hive theft worldwide. Starting from the hive theft problem, this work proposed an IoT solution with a simple architecture, low cost and easy to implement. The developed system has a vibration detection sensor to detect suspicious movements in the hive, with an Atmega328 microcontroller mounted on a board compatible with the Arduino Nano, with a GPS module for the possibility of tracking the hive and with a GSM/GPRS module for sending data, taking advantage of the cellular mobile network infrastructure already in place and still in use in much of the world. The physical device is powered by an internal battery and can receive external power such as from renewable sources. As part of the results, some descriptive analysis was carried out, such as costs, performance of the modules used and battery autonomy used by the device. In general, the work carried out had a great focus on research and theoretical foundation, mainly related to bees and beekeeping, in order to reach a good understanding of the problem in question. And that at the end of the work, the proposed system could bring satisfactory results for the proposed objective.

Keywords: Bees - Creation. Monitoring. Internet of Things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Coleta de mel. Pintura rupestre de Toghawana Dam, nas colinas de Matopo Hills, Zimbábue, possuindo cerca de 10.000 anos.	27
Figura 2 – Pannel do Túmulo de Pabasa, em Luxor (Vigésima quinta dinastia).	28
Figura 3 – Processo de polinização por abelhas.	29
Figura 4 – Domínios de aplicação da IoT.	31
Figura 5 – As camadas das arquiteturas da IoT (três, quatro e cinco camadas).	32
Figura 6 – Dispositivos conectados de Internet das Coisas instalados em todo o mundo de 2015 a 2025 (em bilhões).	34
Figura 7 – O primeiro protótipo da placa Arduino feito em 2005.	35
Figura 8 – Alguns modelos de Arduinos existentes atualmente	36
Figura 9 – Módulo SIM800L.	37
Figura 10 – Módulo GPS NEO.	38
Figura 11 – Alguns sensores comuns em dispositivos IoT.	39
Figura 12 – Sensor de vibração SW-420.	40
Figura 13 – O telégrafo sem fio.	45
Figura 14 – Arquitetura de uma Rede Celular.	45
Figura 15 – Arquitetura da rede GSM.	46
Figura 16 – Arquitetura da rede GSM com GPRS.	48
Figura 17 – Modificações na rede GSM para suportar a rede GPRS.	48
Figura 18 – Diagrama de atividades dos procedimentos metodológicos.	50
Figura 19 – Requisitos do sistema.	53
Figura 20 – Arquitetura do sistema proposto.	54
Figura 21 – Processo de identificação e acompanhamento do furto de colmeias.	55
Figura 22 – Processo de detecção de furto à colmeia.	56
Figura 23 – Modelagem do processo de obtenção da localização da colmeia.	57
Figura 24 – Modelagem do processo de notificação/envio de dados.	57
Figura 25 – Exemplo de ligação do SW-420.	58
Figura 26 – Experimento inicial com o SW-420.	59
Figura 27 – Função que determina o padrão de vibração aceito.	59
Figura 28 – Exemplo de ligação do GPS NEO-6M.	60
Figura 29 – Experimento inicial com o GPS NEO-6M.	61

Figura 30 – Dados recebidos pelo módulo NEO-6M.	61
Figura 31 – Coordenadas obtidas pelo módulo GPS NEO-6M.	62
Figura 32 – Exemplo de ligação do SIM800L.	63
Figura 33 – Experimento inicial com o SIM800L.	63
Figura 34 – Comandos AT para envio de dados via GPRS.	64
Figura 35 – Dados recebidos pela API.	64
Figura 36 – Integração dos módulos do sistema.	65
Figura 37 – Tela de autenticação de usuário.	66
Figura 38 – Tela de dados recebidos da colmeia 01.	67
Figura 39 – Placa universal utilizada no protótipo.	69
Figura 40 – Placa principal pronta sem os módulos encaixados.	69
Figura 41 – Caixa plástica utilizada.	70
Figura 42 – Protótipo finalizado.	70
Figura 43 – Mapa de cobertura de sinal.	71
Figura 44 – Colmeia de teste.	72
Figura 45 – Experimento com o GPS do dispositivo em zona rural.	73
Figura 46 – Dados recebidos no sistema.	75
Figura 47 – Consumo sem o modo <i>sleep</i>	77
Figura 48 – Consumo com o modo <i>sleep</i>	78
Figura 49 – Consumo com os módulos ligados.	79
Figura 50 – Consumo aproximado no envio de dados.	80
Figura 51 – Autonomia com módulos acionados.	81
Figura 52 – Autonomia sem o modo Sleep.	82
Figura 53 – Autonomia em modo <i>sleep</i>	82
Figura 54 – Comparação geral das medições.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de referenciação para os trabalhos analisados na Tabela 2.	25
Tabela 2 – Comparativo entre os trabalhos.	25
Tabela 3 – Produção brasileira de mel (Em mil toneladas).	30
Tabela 4 – Comparação entre algumas tecnologias de comunicações móveis.	49
Tabela 5 – Lista de componentes utilizados.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT	<i>Internet of Things</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
HTTP	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i>
5G	Rede Móvel de Quinta Geração
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
3G	Rede Móvel de Terceira Geração
4G	Rede Móvel de Quarta Geração
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
AT	<i>ATtention</i>
6LoWPAN	<i>IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
RDSI	Rede Digital de Serviços Integrados
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
BSS	<i>Base Station Subsystem</i>
NSS	<i>Network and Switching Subsystem</i>
OMS	<i>Operations and Maintenance System</i>
ERB	Estações Radio Base

BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>
AuC	<i>Authentication Center</i>
MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
EIR	<i>Equipment Identity Register</i>
IMEI	<i>International Mobile Equipment Identity</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
E-Mail	<i>Electronic Mail</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
2G	<i>Rede Móvel de Segunda Geração</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
DC	<i>Direct Current</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
DCA	<i>Direct Current Amperage</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	19
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	19
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	19
2	TRABALHOS RELACIONADOS	20
2.1	Sistema Antifurto Integrado ao Monitoramento de Presença de Crianças no interior de veículos utilizando GPRS	20
2.2	Sistema remoto de detecção e prevenção de incêndios multi-sensor em ambiente residencial	21
2.3	<i>Sistema de Geolocalización de Vehículos a través de la red GSM/GPRS y tecnología Arduino</i>	22
2.4	<i>Hive Tracking and Early Warning System By Using Embedded System Technology</i>	23
2.5	Comparativo entre os trabalhos	24
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
3.1	Apicultura	26
3.1.1	<i>Histórico da apicultura</i>	27
3.1.2	<i>A importância da apicultura</i>	28
3.1.3	<i>Apicultura de precisão</i>	30
3.1.4	<i>Os desafios na atividade da apicultura</i>	30
3.2	Internet das Coisas (IoT)	31
3.2.1	<i>Arquitetura IoT</i>	31
3.2.2	<i>Meios de conectividade IoT</i>	33
3.2.3	<i>Hardwares de uso em IoT</i>	34
3.2.3.1	<i>Arduino</i>	34
3.2.3.2	<i>Módulos</i>	37
3.2.3.3	<i>Sensores</i>	39
3.2.4	<i>Softwares de uso em IoT</i>	40
3.2.4.1	<i>Aplicação</i>	40
3.2.4.2	<i>Armazenamento de dados de dados</i>	41

3.2.4.3	<i>Protocolos de comunicação</i>	41
3.3	Comunicações Móveis	44
3.3.1	<i>Comunicação móvel celular via rede GSM</i>	45
3.3.1.1	<i>Arquitetura da Rede GSM</i>	46
3.3.2	<i>Comunicação móvel celular via rede GPRS</i>	47
3.3.2.1	<i>Arquitetura da Rede GPRS</i>	47
3.3.3	<i>Outras tecnologias de comunicação móvel</i>	48
4	METODOLOGIA	50
4.1	Levantamento dos requisitos	50
4.2	Elaboração da arquitetura do projeto	50
4.3	Elaboração de modelagens e diagramas do sistema	51
4.4	Realização de testes unitários com componentes do sistema	51
4.5	Realização da integração entre os módulos selecionados	51
4.6	Implementação do sistema web	51
4.7	Elaboração do protótipo do projeto	52
4.8	Realização de experimentos e testes em campo com o protótipo	52
4.9	Análise dos resultados obtidos com o sistema proposto	52
5	RESULTADOS	53
5.1	Requisitos identificados	53
5.2	A arquitetura elaborada para o sistema	54
5.3	Modelagem dos principais processos do sistema proposto	55
5.3.1	<i>Modelagem do processo de detecção e notificação de furto</i>	55
5.3.2	<i>Processo de detecção de furto</i>	56
5.3.3	<i>Processo de localização da colmeia</i>	56
5.3.4	<i>Processo de notificação de furto</i>	57
5.4	Testes com módulos do sistema	58
5.4.1	<i>Testes com o módulo de detecção de vibração</i>	58
5.4.2	<i>Testes com o módulo GPS</i>	60
5.4.3	<i>Testes com o módulo de rede GSM/GPRS</i>	62
5.5	Integração dos módulos	65
5.6	Sistema web	65
5.7	Protótipo do dispositivo físico do sistema	67

5.7.1	<i>Componentes utilizados no protótipo</i>	67
5.7.2	<i>Montagem do protótipo</i>	68
5.8	Realização de experimentos e testes em campo com o protótipo	70
5.9	Análise dos resultados obtidos com o sistema proposto.	72
5.9.1	<i>A rede móvel celular GSM/GPRS</i>	73
5.9.2	<i>A localização via GPS</i>	73
5.9.3	<i>A detecção de danos ou furto</i>	74
5.9.4	<i>As informações sobre os dados enviados</i>	75
5.9.5	<i>A autonomia de bateria e os recursos utilizados</i>	76
5.9.5.1	<i>As estratégias para economia de bateria adotadas</i>	77
5.9.5.2	<i>Os experimentos práticos sobre a autonomia do dispositivo.</i>	79
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
6.1	Trabalhos futuros e melhorias	86
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICE A – Códigos-fontes utilizados no dispositivo físico	92
	APÊNDICE B – Códigos-fontes utilizados no sistema web	102
	APÊNDICE C – Dados coletados nos testes de autonomia	104

1 INTRODUÇÃO

A apicultura é uma atividade agropecuária que já é praticada há bastante tempo e que possui grande importância para toda a sociedade. Atua diretamente na parte social, econômica e ambiental. É uma prática que trata da criação de abelhas de forma racional, pode ser com propósitos comerciais, ou simplesmente de lazer. Estima-se que no Brasil, tal atividade ocorra desde o século XIX. Porém, esse ramo ganhou força a partir do século XX, com a contribuição do Dr. Warwick Estevam Kerr introduzindo a abelha africana em território brasileiro (FREITAS, 2003). Porém, em contraste com o cenário de produção de mel, tem-se o furto de colmeias como um fator limitante na criação de abelhas (MEIRELLES *et al.*, 2020). Pensando nisso, surgiu então a ideia de propor neste trabalho uma possível solução para o problema dos furtos de colmeias.

Conforme Mendes *et al.* (2009), relativo à importância da apicultura em nosso país, sabe-se que além de outras atividades produtivas praticadas aqui no Brasil, a apicultura é uma das que mais vem ganhando notoriedade e espaço, devido a condições climáticas ideais e retorno rápido do investimento. Como produtos comercializáveis desta atividade temos: o mel, a própolis, a geleia real, cera, apitoxina (veneno), pólen e até mesmo a venda de rainhas e enxames (MUTSAERS *et al.*, 2006). O fato de ser uma atividade rentável e de retorno rápido do capital aplicado, é um dos motivos que tornam a apicultura atraente para os atuais e futuros produtores de mel. Além disso, as condições climáticas na maior parte do Brasil são bastante favoráveis ao bom desenvolvimento das abelhas do gênero *Apis* (MENDES *et al.*, 2009).

De acordo com Vidal (2020) o Brasil se destaca por possuir a maior capacidade de produção de mel orgânico do mundo. Alves (2008) destaca que o mel orgânico é definido como desprovido de qualquer tipo de contaminação química. Alves (2008) reforça ainda que a grande valorização e procura do mel orgânico está relacionada com a preocupação da população com a saúde e ingestão de alimentos naturais, livres de contaminações ou alterações químicas. Ainda segundo Vidal (2020) a região Nordeste tem grande potencial competitivo no mercado mundial de produtos apícolas pelas seguintes características: baixa contaminação por pesticidas e resíduos antibióticos e baixa umidade do ar, que dificulta o aparecimento de doenças nas abelhas dispensando o uso de medicamentos no tratamento de pragas na colmeia.

Sobre a localização e cuidados, recomenda-se que a instalação de apiários seja realizada em zonas rurais. Por segurança, a distância mínima deve ser de 500 metros em relação a localização de animais domésticos, residências, estradas e demais pontos de circulação de

peessoas nas proximidades. Devido ao fato dos apiários ficarem distantes ao público e da sede do apicultor, há sempre um grande risco de roubos e vandalismos. As práticas de furtos têm maiores chances de ocorrerem com maior frequência em épocas do ano de maior produção do apiário (WOLFF *et al.*, 2006). Além de fatores como, aquecimento global, desmatamento e uso de pesticidas com maior frequência em algumas regiões relativas às próprias atividades humanas no meio rural, que são bastante preocupantes para a vida das abelhas, polinização, produção de mel e demais produtos apícolas, tem-se, portanto, ainda um novo agravante atual que é o furto de colmeias (MEIRELLES *et al.*, 2020).

Algumas pesquisas apontam os roubos de colmeias como um fator desmotivador para os apicultores. De acordo com Lautharte *et al.* (2019) em pesquisa realizada com aproximadamente 80 apicultores brasileiros, obteve-se que mais da metade 59,3 % dos consultados afirmaram já terem sido vítima de furto. Ainda segundo Lautharte *et al.* (2019), apenas 12,3 % das vítimas vieram a registrar ocorrência na polícia e que nenhum obteve retorno dos agentes policiais, até o momento em que foi feita a consulta. Um possível motivo para o baixo índice de registro de ocorrência nos órgãos policiais para esse tipo de caso de furto, é que 71 % dos apicultores consultados disseram não acreditar que o registro de roubo de colmeias nos órgãos competentes resolva alguma coisa.

Um dos grandes avanços na apicultura de modo geral, vem acontecendo com o uso de novas tecnologias, dentre elas a Internet das Coisas, do inglês, *Internet of Things* (IoT). Denominada como apicultura de precisão, essa nova técnica visa monitorar, estudar e identificar padrões que possam contribuir para o melhoramento da produção de mel e saúde das abelhas. (BRAGA *et al.*, 2020). Apesar dos avanços tecnológicos em diversas atividades agropecuárias com o objetivo de melhoria da produção, ainda são utilizados meios arcaicos e poucos eficientes para tentar evitar o problema de furtos de colmeias e mel. Por exemplo, é possível citar casos de apicultores que utilizam cadeados com correntes para prender colmeias para evitar furtos (G1, 2017).

Além dos meios ineficientes contra a prática de roubos das colmeias, outro fator bastante motivador para a busca de uma possível solução para o problema de furtos nos apiários é o crescente uso da apicultura de precisão, que envolve diversos sensores e embarcados conectados à Internet para o monitoramento não invasivo de colmeias de abelhas (SILVA, 2017). Inferiu-se, então, que tal uso de dispositivos de monitoramento pode gerar também uma preocupação a mais em caso de furto das colmeias, já que reflete em prejuízos maiores ao apicultor, que teve

uma ou mais colmeias furtadas. Ou seja, existe a possibilidade de que além de ter a colmeia roubada, que já é um prejuízo alto, todo o aparato utilizado na apicultura de precisão instalado na colmeia também possa ser furtado junto, aumentando assim o prejuízo final ao apicultor. Assim, enseja-se um sistema de baixo custo e rastreável.

Diante da problemática observada, identificou-se a necessidade de um sistema com funcionalidades que auxiliem o apicultor contra possíveis tentativas de furtos e danos em apiários. Partindo do pressuposto relativo à necessidade de melhoramento da segurança em colmeias de abelhas contra furto e danos, este trabalho traz a proposta de um sistema que vise, por meios de fundamentos em IoT e sistemas de informação, uma possível solução, ou pelo menos, redução dos casos de furtos e danos em colmeias de abelhas. Visando propor um sistema eficiente e de custo acessível, pensou-se uma arquitetura simplificada para o projeto, que envolva as principais necessidades de um sistema para os possíveis cenários de furtos ou danos às colmeias do apicultor.

Com isso, visto que a apicultura, através do trabalho incansável das abelhas, desempenha um grande papel em nosso planeta, a proposta principal deste trabalho é propor um sistema baseado em Internet das Coisas, que contribua de alguma forma na questão de combate aos furtos e danos em colmeias em uma atividade tão importante, que é a apicultura.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral, definiu-se a intenção de propor um sistema baseado em IoT para detecção, notificação e localização de possíveis danos ou furtos em colmeias de abelhas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para os objetivos específicos, foram definidos os seguintes objetivos:

- I. Definir uma arquitetura flexível às necessidades e recursos dos apicultores;
- II. Utilizar *hardware* de uso livre no projeto;
- III. Emitir alerta de dano ou furto da colmeia;
- IV. Localizar a colmeia furtada remotamente;
- V. Otimizar o consumo de bateria pelo dispositivo.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, serão apresentados quatro trabalhos relacionados escolhidos e suas relações identificadas com o trabalho aqui proposto. Objetivou-se trazer nos trabalhos relacionados características em comuns como: detecção de furto ou ameaça, localização de bens roubados, métodos de notificações e com cenário na apicultura. Não desconsiderando os demais trabalhos selecionados, mas infelizmente nas buscas realizadas, conseguiu-se encontrar apenas um trabalho científico com o mesmo intuito e cenário deste trabalho proposto.

2.1 Sistema Antifurto Integrado ao Monitoramento de Presença de Crianças no interior de veículos utilizando GPRS

O trabalho proposto por Martins (2010) visa o desenvolvimento de um sistema de uso veicular, que além de alertar sobre uma tentativa de furto do mesmo, possui uma outra funcionalidade que é evitar o esquecimento de crianças ou animais domésticos em seu interior.

De acordo com Martins (2010), com a crescente produção e aquisição de veículos, cresce também as tentativas de furtos de automóveis. Pensando nessa problemática, o sistema proposto por Martins (2010) objetiva evitar ou pelo menos minimizar as condições que facilitam o furto de carros e esquecimentos de crianças ou animais. No quesito de tentativa de furto do veículo, o projeto possui sensores que detectam a tentativa de furto e logo em sequência notifica imediatamente seu proprietário sobre tal ato. A tentativa de furto é identificada por um sensor principal (sensor de presença), processada por um Arduino, ao qual é encarregado de repassar as instruções para um módulo que possui as tecnologias *Global System for Mobile Communication* (GSM) e *General Packet Radio Service* (GPRS), que envia a notificação para o número ou números configurados para receber as notificações.

A partir de casos de mortes de crianças e animais causadas por esquecimento dentro do interior de veículos, Martins (2010) destaca que outra importante funcionalidade do sistema é o monitoramento de crianças ou animais domésticos esquecidos no interior do veículo. Para este caso específico, são descritos os seguintes passos em sequência de verificação pelo sistema: identificar se a chave do veículo se encontra na ignição, verificar se as portas estão fechadas, verificar o peso no banco por meio de um sensor de pressão. E caso exista um peso em desacordo com a configuração do sistema no banco do carro, um *Short Message Service* (SMS) será enviado aos números de destino configurados.

Segundo Martins (2010), nos resultados de simulação, o sistema demonstrou-se satisfatório para o que se propôs. Nos testes realizados, não ocorreram indisponibilidade de serviço com a rede utilizada. Contudo, houveram algumas dificuldades relatadas, como aquisição e configurações.

Com isso, além de toda a abordagem de segurança e referenciais teóricos abordados sobre programação, redes e *hardware*, o sistema apresentado pode ser uma possível solução, de fato satisfatória, para a problemática de furto e esquecimento de crianças e animais no interior de veículos. Tem relação com o trabalho aqui proposto no sentido de identificação e notificação de furtos à distância, bem como na similaridade entre as tecnologias utilizadas.

2.2 Sistema remoto de detecção e prevenção de incêndios multi-sensor em ambiente residencial

O sistema proposto por Carvalho e Antunes (2015) tem como objetivo principal alertar a detecção de incêndio em ambiente residencial. De acordo com Carvalho e Antunes (2015), apesar da existência de uma grande infinidade de sistemas com o mesmo propósito, neste, propõe-se um dispositivo de alerta multi-sensor, que o torna mais confiável em relação ao disparo de alarmes falsos de incêndio.

Segundo Carvalho e Antunes (2015), com o uso de multi-sensores, meios de monitoramento remoto e notificações através de mais de uma tecnologia, a confiabilidade e eficiência do dispositivo torna-se mais elevada. Carvalho e Antunes (2015) definiram critérios de maior importância na elaboração do sistema com base em alertas de incêndios falsos de sistemas similares. Com isso, uma das observações foi a necessidade de dispor maior quantidade de sensores para a detecção do perigo de fogo na residência e evitar alarmes falsos de incêndio que possam ocorrer.

Além da implantação de multi-sensores de detecção, observou-se também, a necessidade de melhorias no monitoramento remoto e na notificação da situação da residência em tempo real. Desse modo, Carvalho e Antunes (2015) definiram o uso de telefonia móvel e Internet como um dos requisitos para criação de um sistema que transmitisse maior confiança aos moradores da residência. Ainda neste contexto, Carvalho e Antunes (2015) reforçam que há pouquíssimo melhoramento nesses sistemas e cita, inclusive, países bem desenvolvidos como Estados Unidos. Ainda segundo Carvalho e Antunes (2015), no Brasil, apesar dos inúmeros casos de incêndios noticiados frequentemente, ainda não se adotou um maior uso ou procura por tais sistemas pela

maioria da população.

Para a detecção de incêndio, o projeto utiliza um sensor comumente utilizado, que é o detector de fumaça fotoelétrico ou ionizado. Carvalho e Antunes (2015) relatam ainda que apesar do preço baixo do sensor, o mesmo por ser muito preciso, pode detectar perturbações externas e considerá-las como incêndio, gerando assim, falso positivo. Com isso, partiu a ideia de utilização de um sistema multi-sensor, que objetiva evitar casos de falso positivos de incêndios.

Partindo para as tecnologias utilizadas, Carvalho e Antunes (2015) fizeram uso da tecnologia GSM para envio de notificação via SMS. E com o GPRS é realizado o envio de pacotes contendo as informações para a *Web*. Carvalho e Antunes (2015) ainda mencionam também a possibilidade de uso de módulos de *Radio Frequency* (RF) como meios de comunicação a mais. Com isso, reforça a confiabilidade do sistema em casos de falhas de um dos meios de comunicação.

Pode-se concluir então, que segundo Carvalho e Antunes (2015), o protótipo obteve resultados satisfatórios, diante dos testes realizados. Com as diferentes tecnologias mencionadas e combinadas no projeto, os autores relatam que tal combinação pode melhorar e muito a eficácia e confiabilidade do sistema de notificação de incêndio proposto em relação a outros que são utilizados para a mesma funcionalidade. Tem relação com o trabalho aqui proposto no quesito de detecção de perigo e notificação remota com uso de algumas tecnologias como GSM e GPRS. Difere basicamente no uso de sensores para o cenário de incêndios e algumas tecnologias adicionais.

2.3 Sistema de Geolocalización de Vehículos a través de la red GSM/GPRS y tecnología Arduino

O trabalho de Correa *et al.* (2019) tem como objetivo propor um sistema de localização de veículos através de tecnologias acessíveis e *hardwares* de uso livre. Conforme Correa *et al.* (2019), utilizando as tecnologias GSM, GPRS, *Global Position System* (GPS) e *hardwares* livres, foi possível o desenvolvimento de um sistema de localização eficiente e de baixo custo. A elaboração de tal dispositivo, traz consigo diversos conceitos principais, como longitude, latitude, redes móveis, protocolos e conceitos de *hardwares* com o *Raspberry Pi. 3*, Arduino e módulos, como o módulo SIM900 utilizado em seu trabalho.

Para envio e armazenamento das variáveis que contém as informações de longitudes e latitude, utilizou-se o padrão *Transmission Control Protocol* (TCP) / *Internet Protocol* (IP).

No primeiro momento, a obtenção das coordenadas é obtida através do módulo GPS L80, que por meio do posicionamento por satélites, retorna a localização aproximada do veículo em tempo real. Um Arduino Uno é encarregado de tratar e processar as informações recebidas pelo módulo GPS. Após o devido processamento, as informações são repassadas para transmissão GPRS através do módulo SIM900, que é o responsável por enviar as coordenadas pela Internet pelo protocolo TCP/IP utilizando *Hyper Text Transfer Protocol* (HTTP). Toda a transmissão é recebida e armazenada em um servidor Apache, rodando diretamente em um *Raspberry Pi* 3 com um banco de dados e uma aplicação *Hypertext Preprocessor* (PHP) para tratamento e manipulação das informações no banco de dados.

Conforme Correa *et al.* (2019), para a garantia de um monitoramento eficiente, se fez uso de variáveis como a velocidade, data e hora do dispositivo em cada leitura obtida. Para nível de precisão, obteve-se como resultado uma diferença de 6,50 metros em relação ao serviço de localização *web* de navegadores recentes com *Hyper Text Markup Language* (HTML)5.

Para Correa *et al.* (2019), tal diferença obtida de apenas 6,50 metros, garantiu uma boa eficiência do dispositivo proposto. Outro ponto favorável, é o uso de *hardwares* livres como o Arduino, que facilitam e muito a elaboração de projetos como esse. Dessa forma, identificou-se relações com o trabalho aqui proposto no propósito de geolocalização e uso de algumas ferramentas em comum, como Arduino e GPRS. Diferiu basicamente no cenário voltado para veículos e uso de tecnologias adicionais.

2.4 *Hive Tracking and Early Warning System By Using Embedded System Technology*

O referido trabalho, trata de um sistema para minimizar os danos e prejuízos causados por eventuais ações de tentativas de furtos e danos às colmeias causados por terceiros ou mesmo fatores naturais. Com base em tais prejuízos ao apicultor ocasionados por furtos ou danos às colmeias de abelhas. Cetinkaya *et al.* (2019) apresentam um sistema que tem como propósito minimizar tais prejuízos e transtornos. Trata-se de um sistema de notificação que realiza de maneira constante o monitoramento e coleta informações de temperatura, umidade e localização, para a segurança da colmeia.

Com o uso de sensoriamento externo, por meio de um sensor ultrasônico, para detecção de aproximação e movimentos de possíveis ameaças à colmeia, e um sensor DHT11 interno para temperatura e umidade, um conjunto de procedimentos (funções definidas no código) são processados por um arduino mega. Caso algo anormal seja identificado, o dono da colmeia é

notificado. O dispositivo requisita as coordenadas geográficas por meio de um módulo GPS, logo após o processamento das coordenadas, envia por meio de um módulo GSM uma notificação ao responsável configurado no dispositivo. Com isso, o responsável pela colmeia é notificado de imediato para que tome a devida ação a qual julgar melhor.

Bastante similar aos métodos de geolocalização utilizados nos sistemas de rastreamentos de veículos via GPS, o sistema proposto por Cetinkaya *et al.* (2019) realiza três ações principais após a identificação de anormalidades em algum dos sensores para o envio da localização da colmeia ao apicultor, a saber: (i) coleta da localização, (ii) processamento dos dados e (iii) envio de SMS ao proprietário. Na primeira fase, um módulo GPS é o responsável pela obtenção da posição atual via satélites. Após isso, o Arduino MEGA realiza o processamento das informações e envia para o estágio final do sistema que é a transmissão dos dados via rede móvel celular através do módulo GSM SIM800L.

Com a vantagem da rede celular GSM ter boa cobertura e já que em zonas rurais geralmente ainda não existem outras opções, o envio e recebimento das informações é feito via SMS. Com isso, pode-se configurar para que mais de um aparelho móvel receba as notificações e as coordenadas de localização. Assim, os números dos dispositivos celulares habilitados serão notificados para que alguém realize a tomada de decisão conforme o caso.

Como conclusão, Cetinkaya *et al.* (2019) mencionam que o protótipo teve resultado satisfatório para o propósito, também destacam importância do sistema para os apicultores que sofrem com problemas de furtos ou danos em suas colmeias.

Dentre os trabalhos relacionados escolhidos, este foi o que mais teve relações com o trabalho aqui proposto. Pois relaciona-se com o cenário voltado para a apicultura, com o propósito de notificação de furtos e localização da colmeia, bem como, com o uso das tecnologias GSM, GPRS e GPS. Diferiu basicamente nas escolhas dos *hardwares* e ausência de uma aplicação *web*.

2.5 Comparativo entre os trabalhos

Em relação às características em comuns, os trabalhos relacionados escolhidos, mesmo alguns não sendo direcionados para a apicultura, foram considerados devidos a quesitos importantes em comum com o trabalho aqui proposto, por exemplo, o uso de alguns conceitos de IoT, as tecnologias utilizadas em comum, a problemática de furtos de bens materiais, a notificação e a localização dos mesmos para uma possível recuperação.

Sobre as características que diferem os trabalhos, além das diferenças de ambientes para os quais os trabalhos foram elaborados, notou-se também diferenciações em outros elementos, como exemplo, *hardwares*, aplicações, modo de armazenamento de dados e modo de notificação.

Com o propósito de apresentar algumas das diferenciações entre os trabalhos, foi elaborada a Tabela 2. Para melhor gerir as dimensões da Tabela 2, sem comprometer a quantidade de elementos analisados e o aspecto visual da mesma, foi criado uma enumeração para os trabalhos conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de referência para os trabalhos analisados na Tabela 2.

Referenciação	Trabalho
Trabalho 1	Martins (2010)
Trabalho 2	Carvalho e Antunes (2015)
Trabalho 3	Correa <i>et al.</i> (2019)
Trabalho 4	Cetinkaya <i>et al.</i> (2019)
Trabalho 5	Proposto

Fonte: Elaborado pelo autor

Como mencionado anteriormente, relacionada com a Tabela 1, a Tabela 2 elenca alguns dos diferenciais identificados nos trabalhos analisados.

Tabela 2 – Comparativo entre os trabalhos.

Elementos	Trabalho 1	Trabalho 2	Trabalho 3	Trabalho 4	Trabalho 5
Cenário	Veículo	Residência	Veículo	Apicultura	Apicultura
Problema	Furto/Acidentes	Incêndios	Localização	Furtos/Danos	Furtos/Danos
Modelo Arduino	Mega	Uno	Uno	Mega	Nano
Uso da Rede GSM/GPRS	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Módulo GSM/GPRS	Hilo V2	SIM900	SIM900	SIM800	SIM800
Sensor de vibração	Não	Não	Não	Não	SW-420
Sirene compartilhada	Não	Não	Não	Não	Sim
Aplicação Web	Não	Sim	Sim	Não	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor

Para os trabalhos relacionados, decidiu-se buscar apenas contribuições científicas acadêmicas disponíveis em repositórios públicos, ou seja, de uso e citação livre com o devido referenciamento aos autores de cada trabalho selecionado. Por isso, evitou-se trazer soluções relacionadas restritas a terceiros ou com restrições comerciais devidamente protegidas por leis nacionais ou internacionais.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção tem como objetivo descrever de forma clara e breve os principais conceitos e definições importantes para que o leitor possa entender e associar tais assuntos e sua importância com a elaboração deste trabalho.

Na seção 3.1, apresenta-se a fundamentação sobre a apicultura. É apresentado um breve histórico e conceitos base referente à apicultura bem como sua importância. A apicultura tem total relação com o trabalho proposto por se tratar do cenário e contexto em que surgiu a problemática dos furtos de colmeias que afetam gravemente a apicultura em todo o mundo. Com isso, o objetivo principal da fundamentação sobre a apicultura é dar maior ênfase sobre a enorme importância que esta atividade tem juntamente com o papel das abelhas e que o sistema proposto visa tentar sanar umas das ameaças que prejudica diretamente a apicultura, que o furto de colmeias. Em poucas palavras, o intuito é mostrar ao leitor que o trabalho proposto tenta contribuir de forma positiva para uma atividade economicamente, cientificamente e ambientalmente importante para o mundo, que é a apicultura.

A seção 3.2 traz conceitos e definições fundamentais para o entendimento de Internet das Coisas. A Internet das Coisas, ultimamente tem ganhado espaço nos mais diversos cenários possíveis e a apicultura é um deles. Como exemplo, a apicultura de precisão, que coleta dados da colmeia, por meio de sensores e envia tais dados pela camada de rede para uma aplicação. Desse modo, uma fundamentação básica relativa a IoT, é bastante relevante para a proposta da solução do problema do trabalho proposto.

Na seção 3.3 aborda-se conceitos e definições de comunicações móveis. Tal fundamentação e conceitos sobre as comunicações móveis tem total importância e relação com o trabalho proposto pelo fato da mobilidade oferecida pela rede móvel celular. Para o trabalho proposto, a rede móvel celular será a ponte entre a camada de percepção e a camada de aplicação do sistema proposto.

3.1 Apicultura

De modo geral, define-se a apicultura como uma ciência voltada para a criação racional de abelhas da espécie *Apis mellifera*. Como alguns dos principais produtos desta atividade, temos: o mel, o pólen, a própolis, a cera, e apitoxina e geleia real. Além destes benefícios, as abelhas desenvolvem um importante papel na natureza que é a polinização de

diversas espécies de vegetais, principalmente árvores frutíferas, contribuindo assim para a alimentação de vários seres vivos em nosso planeta (PEGORARO *et al.*, 2017).

3.1.1 Histórico da apicultura

É praticamente impossível saber ao certo quando a espécie humana teve conhecimento do mel das abelhas como fonte de alimento. Porém, supõe-se que o início do consumo teve início com o homem primitivo, na observância de animais consumindo o mel (SANTOS *et al.*, 2015). A Figura 1 retrata um dos primeiros possíveis registros de coleta de mel pelo homem primitivo que se tem conhecimento.

Figura 1 – Coleta de mel. Pintura rupestre de Toghawana Dam, nas colinas de Matopo Hills, Zimbábue, possuindo cerca de 10.000 anos.



Fonte: (SANTOS *et al.*, 2015, p. 15)

De acordo com estudos e descobertas arqueológicas, os primeiros vestígios de abelhas encontradas na região de Akwizdram datam de aproximadamente entre 10 a 30 milhões de anos. Outros estudos históricos baseados em hieróglifos egípcios e inscrições em papiros demonstram que a prática da apicultura já era praticada por algumas civilizações antigas (PEGORARO *et al.*, 2017). Apesar de gravuras rupestres estipuladas com idade de 10 mil anos registradas em cavernas, que remetem possivelmente à prática da coleta de mel, tem-se os egípcios como os pioneiros na atividade de produção de mel por volta de 4.4 mil anos (SOARES NETO *et al.*, 2011).

Uma das maiores evidências da prática da apicultura no Egito antigo está gravada no túmulo de Pabasa, em Luxor e data do século VII a.C. (SANTOS *et al.*, 2015). A Figura 2 mostra um registro egípcio de uma possível criação de abelhas em colmeias com formatos de

tubos registrada no túmulo de Pabasa.

Figura 2 – Painel do Túmulo de Pabasa, em Luxor (Vigésima quinta dinastia).



Fonte: SANTOS *et al.* (2015, p. 44)

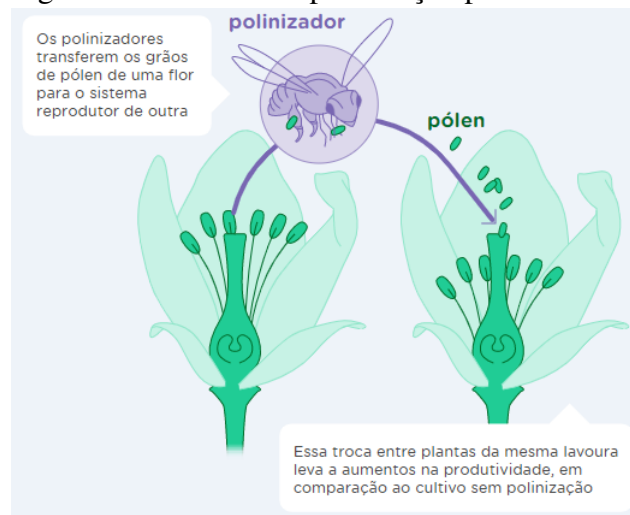
3.1.2 A importância da apicultura

Observa-se por meios de registros históricos que desde a antiguidade a prática da apicultura foi bastante valorizada. A apicultura desempenha um importante papel na geração de fonte de renda e também na questão ambiental, por exemplo, a polinização natural de algumas espécies de plantas realizada pelas abelhas (SILVEIRA *et al.*, 2012).

A polinização é definida como a transferência de pequenos grãos de pólen entre os órgãos reprodutores das plantas. Pode ocorrer por meio da ação de animais, vento ou água. A maior parte da polinização ocorre por animais, que em sua maioria são insetos. As abelhas são tidas como os principais agentes de polinização, pois atuam em benefício de mais de 90 % dos principais tipos de cultivos agrícolas do mundo. Frutos com melhor aparência, maior valor nutritivo, durabilidade e sabor, são os principais benefícios provenientes da polinização através das abelhas. Em um cálculo realizado com 67 tipos de plantas cultivadas no Brasil, estima-se que a polinização realizada pelos agentes naturais contribua com valor de aproximadamente R\$ 43 bilhões anuais para a produção de alimentos no país. (WOŁOWSKI *et al.*, 2019). A Figura

3 ilustra o processo de polinização pelas abelhas, que acontece por meio da transferência de pequenos grãos de pólen transportados de uma planta para outra por meio das abelhas.

Figura 3 – Processo de polinização por abelhas.



Fonte: Adaptado de Maia e Gomes (2021, p. 1)

Além do importante papel ambiental que traz a criação de abelhas, destaca-se também o comércio dos produtos derivados da apicultura (SOARES NETO *et al.*, 2011). A China lidera o cenário de produção mundial de mel, com o menor preço do produto. Em 2018 a China alcançou 24 % da produção de mel em todo o mundo. Infelizmente, devido ao surto de coronavírus, é esperado que a produção sofra impactos causados pelo vírus. Além da China, conforme Vidal (2020), outros países como a Turquia também ganham destaque no cenário mundial.

Ainda de acordo com Vidal (2020), no Brasil a região nordeste também tem destaque na produção de mel, por possuir baixo índices de contaminação por pesticidas, pois grande parte do mel produzido pelas abelhas nesta região brasileira vem da vegetação nativa e não de lavouras (VIDAL, 2020). A Tabela 3 mostra números relevantes sobre a produção de mel no Brasil do ano de 2011 a 2020.

Conforme a Tabela 3, observa-se que as regiões Sul e Nordeste são as principais produtoras de mel aqui no Brasil. E que a região Nordeste manteve números crescentes de produção de mel a partir do ano de 2016. Conclui-se ainda que o estado do Piauí mantém liderança entre os demais estados comparados.

Tabela 3 – Produção brasileira de mel (Em mil toneladas).

Região/UF	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019*	2020*
Norte	0,95	0,93	0,93	1,05	0,95	0,91	0,80	0,89	0,88	0,87
Nordeste	16,91	7,70	7,53	10,56	12,31	10,46	12,81	14,21	16,14	18,32
Alagoas	0,21	0,13	0,15	0,19	0,14	0,17	0,22	0,24	0,27	0,30
Bahia	2,65	1,60	2,06	2,86	4,60	3,58	3,41	3,21	3,51	3,84
Ceará	4,17	2,02	1,83	1,93	1,36	1,15	1,78	2,11	2,17	2,24
Maranhão	1,11	1,11	1,14	1,21	1,29	1,71	2,36	2,26	2,60	2,98
Paraíba	0,30	0,19	0,16	0,32	0,19	0,16	0,16	0,20	0,21	0,22
Pernambuco	2,35	0,64	0,50	0,39	0,39	0,37	0,26	0,62	0,64	0,67
Piauí	5,11	1,56	1,27	3,25	3,97	3,05	4,40	5,22	6,94	9,21
Rio Grande do Norte	0,90	0,41	0,33	0,31	0,26	0,20	0,17	0,30	0,30	0,29
Sergipe	0,11	0,05	0,10	0,10	0,12	0,07	0,06	0,04	0,03	0,03
Centro-Oeste	1,42	1,56	1,56	1,68	1,59	1,70	1,97	1,53	1,52	1,51
Sudeste	6,34	7,08	7,59	8,73	8,90	9,47	9,63	9,24	9,61	9,99
Sul	16,18	16,66	17,74	16,46	14,12	17,15	16,48	16,48	16,23	16,00
Brasil	41,79	33,93	35,36	38,48	37,86	39,68	41,70	42,35	43,90	45,51

Fonte: (VIDAL, 2020, p. 4)

3.1.3 Apicultura de precisão

Apesar de parecer algo recente, a apicultura de precisão já era analisada a bastante tempo por alguns estudiosos. Conforme Meikle e Holst (2015) existem registros na literatura que relatam a prática do monitoramento de colmeias por sensores por volta do ano de 1907. Logicamente, tais meios de monitoramentos naquela época eram bem menos precisos e práticos do que o modo de monitoramento com as tecnologias atuais que temos hoje.

De modo geral, a apicultura de precisão também faz parte da agricultura de precisão, inclusive, relacionam-se diretamente na questão da polinização das abelhas com as culturas cultivadas na agricultura. Pois, ambas objetivam por meio do monitoramento melhorias de produção e definição estratégias específicas conforme for o caso (MOJARAVSKI *et al.*, 2018).

3.1.4 Os desafios na atividade da apicultura

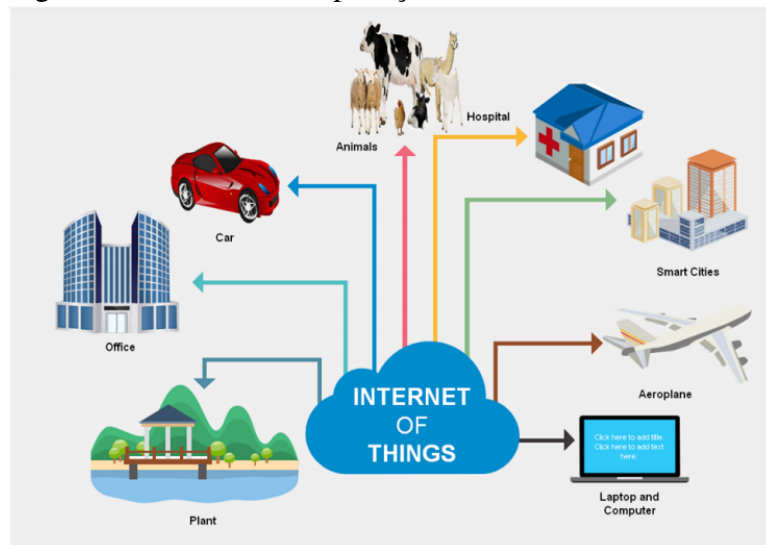
Conforme Schmitz *et al.* (2017), alguns fatores naturais e não naturais vêm impactando na atividade. O uso de agrotóxicos, desmatamento, queimadas e o aquecimento global consequência de mudanças climáticas em toda parte do mundo, influencia diretamente sobre a vida de várias espécies de seres vivos, inclusive no desaparecimento das abelhas (AZEVEDO *et al.*, 2016). Alterações de temperaturas, por exemplo, podem ter impacto negativo na manutenção da temperatura adequada na colmeia, podendo causar a morte ou migração do enxame (MACIEL

et al., 2018). Segundo Meirelles *et al.* (2020), outro fator negativo que impacta na atividade da apicultura são as práticas de furtos e vandalismos em colmeias, pois além dos prejuízos, também podem causar desmotivação aos apicultores.

3.2 Internet das Coisas (IoT)

De acordo com Almeida (2005), a Internet surgiu no final da Segunda Guerra Mundial, ganhou forma no período da Guerra Fria e tornou-se a rede de comunicação e armazenamento de dados mundial que conhecemos hoje. De modo geral, a Internet das Coisas é tida como a revolução já iniciada de como nós humanos utilizamos e iremos utilizar e interagir com objetos utilizados por nós em atividades do nosso cotidiano (MADAKAM *et al.*, 2015). A Figura 4 retrata as mais diversas possibilidades do uso de IoT, como exemplo, em cidades inteligentes, agricultura e diversas outras áreas.

Figura 4 – Domínios de aplicação da IoT.



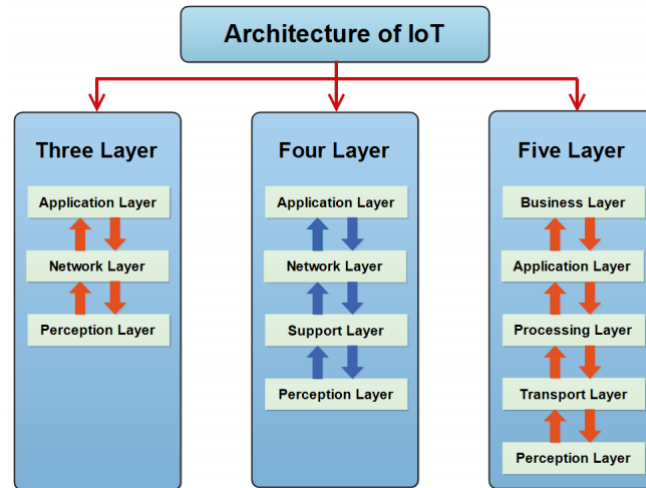
Fonte: (BURHAN *et al.*, 2018, p. 2)

3.2.1 Arquitetura IoT

De certa forma, ainda não existe uma arquitetura para a IoT definida e mundialmente reconhecida. Uma das primeiras propostas de arquitetura surgiu junto com o conceito inicial de IoT. A mais geral possui três camadas (percepção, rede, aplicação) e é a mais simples e representada até então. No entanto, com o avanço das tecnologias utilizadas e novas necessidades, surgem novas propostas de arquiteturas. A Figura 5 mostra os três principais modelos de

arquiteturas propostos para IoT e suas respectivas camadas.

Figura 5 – As camadas das arquiteturas da IoT (três, quatro e cinco camadas).



Fonte: (BURHAN *et al.*, 2018, p. 10)

De acordo com Burhan *et al.* (2018), os motivos das novas arquiteturas propostas se deram por necessidades observadas por pesquisadores em relação com a aprimoração e segurança dos dispositivos IoT.

Como mencionado anteriormente, o modelo mais simples possui três camadas e são definidos da seguinte forma: camada de percepção, envolve a parte do sensoriamento, que trata basicamente de sensores e atuadores que fazem a interação com o meio físico; na camada de rede, ocorre a ponte de comunicação entre a camada de percepção e a camada de aplicação; a camada de aplicação, por sua vez, é basicamente a camada que interage com o usuário através das camadas anteriores para se for o caso, efetuar uma ação específica.

O modelo de quatro camadas, possui todas as camadas (percepção, rede, aplicação) contidas no modelo anterior com adição de uma quarta. A quarta camada tem como objetivo uma atenção maior na parte de segurança. Ainda segundo Burhan *et al.* (2018), o autor menciona a verificação de usuário habilitado e identificação de ataques de intrusão e negação de serviço como um dos papéis fundamentais para a quarta camada.

Na terceira proposta de arquitetura com cinco camadas, observa-se uma diferença um pouco maior entre as demais. Conforme Burhan *et al.* (2018), as modificações ocorreram pela identificação de novas falhas de segurança encontradas por pesquisadores no modelo de quatro camadas. Mantendo as camadas fundamentais do modelo de arquitetura de três camadas, a nova proposta ganhou duas novas camadas, que são a camada de processamento e a camada

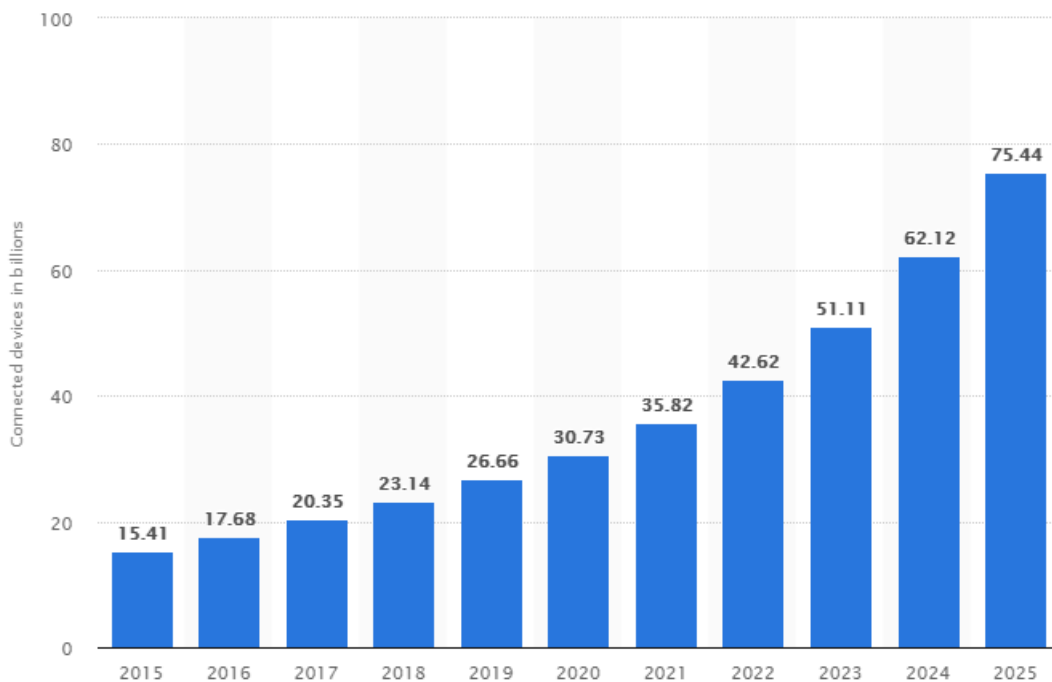
de negócios. A camada de processamento, também conhecida como *middleware*, veio para suprir a necessidade de eliminar informações extras e deixar apenas informações importantes, melhorando o desempenho inclusive em uso de IoT com *big data*. Essa é uma camada crítica e, segundo o autor, pode sofrer ataque de exaustão similar a negação de serviços e demanda de recursos de memória. Outra ameaça citada pelo autor que pode ocorrer é a infecção por vírus, *spyware*, *adware*, *trojans* e *worms* com a intenção de interagir ou causar *bugs* no sistema IoT. Por fim, a camada de negócios ou transações, é voltada para o controle e gerência do sistema. Cuida da privacidade do usuário e também da forma como as informações são armazenadas ou alteradas.

3.2.2 Meios de conectividade IoT

Graças aos avanços nas tecnologias de comunicações, a IoT está cada vez mais integrada ao nosso dia a dia. Com a interconexão entre dispositivos e a interação por meios de sensores e atuadores a Internet das Coisas será mais um marco revolucionário para o futuro da humanidade. Para isso, destaca-se a importância do aperfeiçoamento de tecnologias de comunicação de dados dedicadas para a IoT, como é o caso da Rede Móvel de Quinta Geração (5G). Fazendo uma analogia com a Rede Mundial de Computadores, a Internet das Coisas seria algo como a “Rede Mundial das Coisas”. Para que esse grande ecossistema possa existir, é preciso que exista meios de conectividade (CARRION; QUARESMA, 2019). A Figura 6 mostra uma estimativa dos números de dispositivos IoT para 2025 com base no crescimento dos anos anteriores.

Em seu trabalho, Santos *et al.* (2016) elenca e descreve algumas das principais características de algumas dessas possibilidades tecnológicas de conectividade para IoT, como por exemplo: Wi-Fi, ZigBee, *Bluetooth Low Energy* (BLE), 3G/4G, LoRaWAN e Sigfox. Como o foco deste trabalho é a implementação de um sistema baseado em IoT e por já existirem diversos trabalhos sobre tais tecnologias, decidiu-se evitar um aprofundamento sobre esse assunto. No entanto, deixa-se claro a importância de uma leitura mais aprofundada sobre tais tecnologias em trabalhos já existentes, como alguns aqui citados ou diversos outros disponíveis para consulta em fontes diversas.

Figura 6 – Dispositivos conectados de Internet das Coisas instalados em todo o mundo de 2015 a 2025 (em bilhões).



Fonte: (CARRION; QUARESMA, 2019, p. 19)

3.2.3 Hardwares de uso em IoT

Dispositivos IoT necessitam de um *hardware* para poderem funcionar da maneira como é esperado. Grandes empresas fabricam ou contratam outras empresas para a fabricação de seus *hardwares* de domínio próprio. Felizmente, no comércio eletrônico atual, encontram-se *hardwares* livres (sem restrições de uso) e com preço acessível para o público em geral. Deste modo, ninguém precisa ter conhecimentos em confecção de placas de circuito impresso e muito menos saber de eletrônica avançada para que possa criar seus próprios projetos IoT. Nas subseções a seguir, são apresentados alguns dos principais *hardwares* de fácil acesso que são utilizados em pequenos projetos e protótipos de Internet das Coisas.

3.2.3.1 Arduino

O um dos mais conhecidos de todos os projetistas, o Arduino surgiu como um grande aliado no ensino didático, na pesquisa e até mesmo como *hobby* de alguns amantes da tecnologia. A Figura 7 retrata o protótipo desenvolvido que serviu de base para o atual sucesso do *hardware* e da plataforma Arduino. Na Figura 7, também é possível observar os principais componentes,

como o microcontrolador, cristal oscilador, regulador de tensão e a porta de comunicação.

Figura 7 – O primeiro protótipo da placa Arduino feito em 2005.

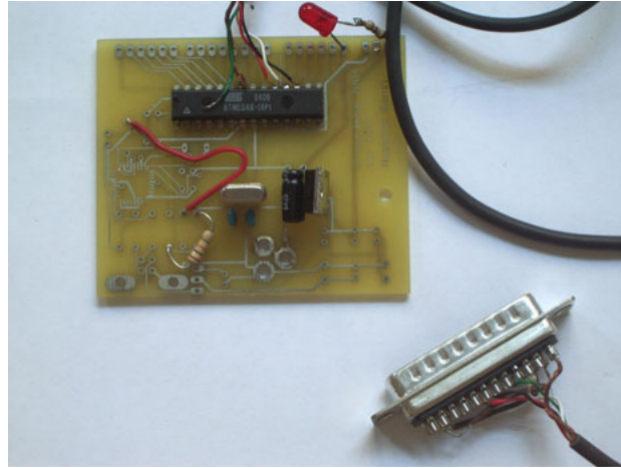


Photo: Massimo Banzi
Fonte: (KUSHNER, 2011, p. 2)

Idealizado no ano de 2005 por um grupo de cinco pesquisadores (David Cuartielles, Gianluca Martino, Tom Igoe, David Mellis e Massimo Banzi), o *hardware* que hoje é conhecido como Arduino ganhou o mundo. Atualmente pode-se encontrar projetos com Arduino em vários níveis de ensino, desde o ensino de robótica para crianças, uso no ensino médio e universitário. O motivo de apresentar a Figura 7 neste trabalho, é trazer uma abordagem básica sobre a exemplificação de um protótipo de *hardware*, assim como o próprio do dispositivo do trabalho aqui proposto.

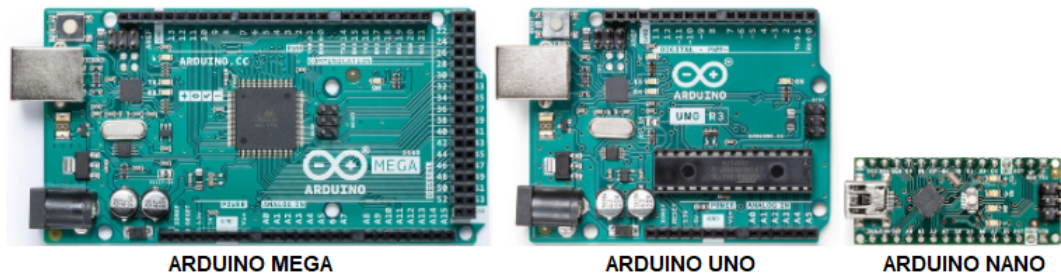
Atualmente, existem vários modelos de Arduinos, inclusive, *hardwares* similares de outros fabricantes. Por ser um hardware de código aberto, qualquer interessado pode construir sua própria placa. Inclusive, a companhia Arduino¹, disponibiliza todos os arquivos necessários para a construção da placa gratuitamente. A Figura 8 traz três modelos da família Arduino, que foram utilizados nos trabalhos relacionados e no trabalho proposto. De modo geral, esses três modelos principais de Arduino são bastante utilizados em protótipos e experimentos.

O Arduino Nano é o menor em relação aos demais aqui apresentados. É muito utilizado em projetos compactos, devido ao seu tamanho bastante reduzido, de acordo com o fabricante sua placa mede 18 x 45 milímetros. Assim como os demais aqui apresentados, o modelo Nano trabalha com 5 volts internos, após o regulador de tensão.

O outro modelo, o Arduino Uno, é bastante conhecido e muito utilizado, principal-

¹ <https://www.arduino.cc>

Figura 8 – Alguns modelos de Arduinos existentes atualmente



Fonte: Adaptado de Arduino.cc (2021, p. 1)

mente por iniciantes na área. Por ter um valor menor do que o Arduino Mega e por ser maior do que o Arduino Nano, o modelo Uno proporciona melhor manuseabilidade para os iniciantes e também possui praticamente as mesmas especificações do Arduino Nano, por ambos fazerem uso do mesmo microcontrolador (ATmega328). Conta com 8 portas analógicas, 13 portas digitais, *Static Random Access Memory* (SRAM) DE 2 KB, e uma *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory* (EEPROM) de 1 KB, diferindo basicamente no tamanho da placa, que é de 53,4 x 68,6 milímetros, conforme o fabricante.

Já o Arduino Mega, oferece bem mais recursos do que os modelos Nano e Uno. O modelo Mega possui um número maior de portas (16 analógicas e 54 digitais) e tem maior poder de processamento com o ATmega2560, memória flash de 256 KB, SRAM de 8 KB e uma memória EEPROM de 4 KB. Os três modelos apresentados trabalham com um *CLOCK* padrão de 16 MHz. Por algumas dessas características descritas o modelo Mega é geralmente utilizado em projetos um pouco mais complexos. Porém, por ter sua placa de circuito impresso um pouco maior (53,3 x 101.52 milímetros), o Arduino Mega pode ser inviabilizado em projetos compactos.

Esta análise entre os três principais modelos de Arduino, serviu para reforçar alguns pontos relevantes e importantes na hora da definição e elaboração dos componentes utilizados em um projeto ou protótipo. A partir da análise do cenário e do contexto em que o sistema proposto será inserido, bem como a análise do uso de alguns modelos nos trabalhos relacionados, que foram selecionados, percebeu-se que o modelo de Arduino Nano seria o mais ideal para a elaboração deste trabalho. Tal escolha se deu devido a algumas características do modelo Nano, por exemplo, similaridade de recursos com o modelo Uno e como fator decisivo na escolha, seu preço e o seu tamanho reduzido de sua placa (18 x 45 mm) em relação ao modelos Uno (53.4 x 68.6 mm) e Mega (53.3 x 101.52 mm).

Para maiores detalhes de cada modelo apresentado, além de algumas informações

aqui descritas, recomenda-se fontes seguras como o próprio site do fabricante. Inclusive, na loja² virtual do fabricante também é possível conhecer outros novos modelos lançados recentemente.

3.2.3.2 Módulos

Conforme o próprio nome nos sugere, os módulos são utilizados para integrar ou compor novas funcionalidades a uma coisa ou a um dispositivo qualquer. No mercado eletrônico voltado para IoT e afins, existe uma infinidade de módulos para as mais diversas necessidades de Internet das Coisas. A seguir, são apresentados os módulos SIM800L e o GY-GPS6M, que são dois módulos bastante conhecidos para IoT e que se pretende utilizar nesse trabalho.

– SIM800L

Conforme SIMCom (2019), o módulo SIM800L foi projetado para uso na rede GSM e GPRS. Devido às limitações de distância por redes *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), este módulo é bastante utilizado em projetos de telemetria IoT. Apesar de já existirem módulos mais avançados, o SIM800L destaca-se pelo preço e facilidade de ser encontrado em lojas virtuais nacionais e internacionais. Na Figura 9, é apresentado o módulo GSM/GPRS SIM800L, ao qual foi escolhido para utilização no trabalho proposto.

Figura 9 – Módulo SIM800L.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra vantagem do SIM800L apresentada por SIMCom (2019), é o baixo consumo de corrente em modo sleep. SIM800L pode ser alimentado com tensões entre 3.4 volts a 4,4 volts conforme *datasheet* disponibilizado pela empresa fabricante. Através de comandos *Attention* (AT), conforme SIMCom (2020), dentre outras funcionalidades, o módulo consegue efetuar e

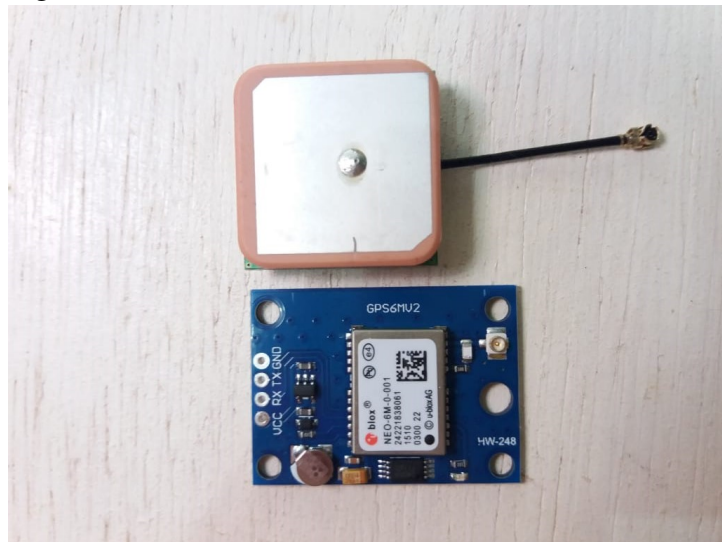
² <https://store.arduino.cc>

receber ligações, enviar e receber SMS e acessar a rede de dados GPRS. Outra possibilidade interessante é a geolocalização por meio do método de triangulação de torres de telefonia móvel (funcionalidade indisponível em algumas versões). Testes iniciais de funcionalidades realizados com o módulo, estão disponíveis na subseção 5.4.3

– GY-GPS6M

Com o módulo GPS NEO-6M, é possível obter uma precisão aproximada de 2,5 metros na localização, utilizando-se do serviço de posicionamento global via satélites. Inclusive, além da latitude e longitude, também é possível obter outros dados. Por exemplo, a velocidade de deslocamento e direção, como pode-se observar em Correa *et al.* (2019). No comércio eletrônico existem diversos modelos de módulos GPS, porém optou-se pelo modelo GY-GPS6MV2 pela popularidade, ou seja, facilidade de obtenção e preço razoável. A Figura 10 ilustra o modelo de placa GY-GPS6M, tal módulo recebe dados de satélites, por exemplo, longitude e latitude. Procedimentos iniciais de uso do módulo neste trabalho estão disponíveis na subseção 5.4.2. Como a companhia U-Blox³ é uma das principais fabricantes de tais chips e módulos de posicionamento, indica-se uma consulta no endereço⁴ eletrônico da mesma, para o conhecimento de outros produtos existentes.

Figura 10 – Módulo GPS NEO.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além de outras informações técnicas tratadas por U-Blox (2011) sobre o NEO-6M, como tensões e correntes suportadas pelo NEO-6M, ressalta-se que a alimentação de 5 V é dada

³ <https://www.u-blox.com>

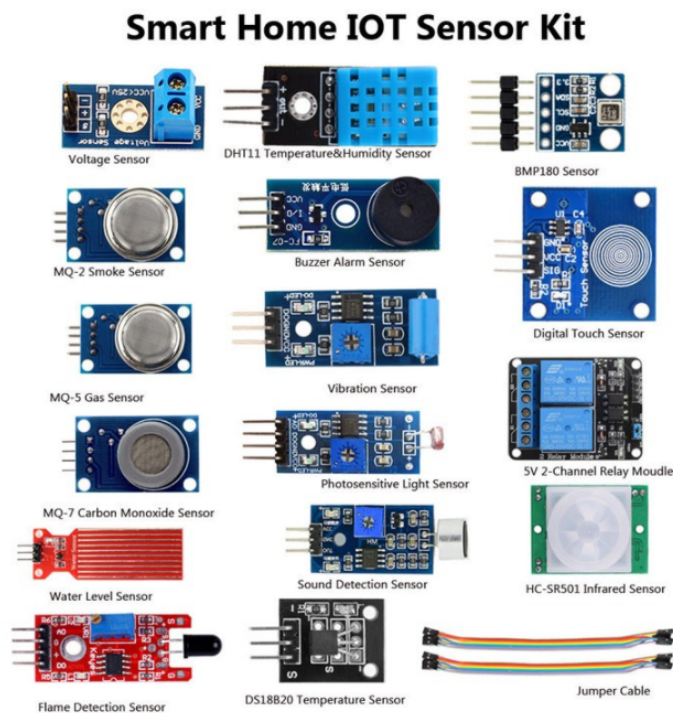
⁴ <https://www.u-blox.com/en/positioning-chips-and-modules>

pelo regulador de tensão contido na placa GY-GPS6MV2. No site da empresa, também é possível encontrar várias outras informações e produtos relacionados.

3.2.3.3 Sensores

Assim como os módulos, os sensores permitem uma infinidade de possibilidades para uso em IoT. No mercado de componentes eletrônicos nacionais e internacionais, é possível entrar com facilidade uma grande diversidade de modelos de sensores para as mais diversas possibilidades de sensoriamento. Na apicultura de precisão, por exemplo, é possível o uso de sensores de temperatura, umidade, vibração, ruído, som, peso, dentre outros. Em sistemas de segurança, é bastante comum o uso de sensores de movimentos. A Figura 11, traz alguns exemplos dos principais sensores que podem ser facilmente encontrados em sites de venda nacionais e internacionais, como exemplo temos, sensor de gás, som, vibração e outros.

Figura 11 – Alguns sensores comuns em dispositivos IoT.



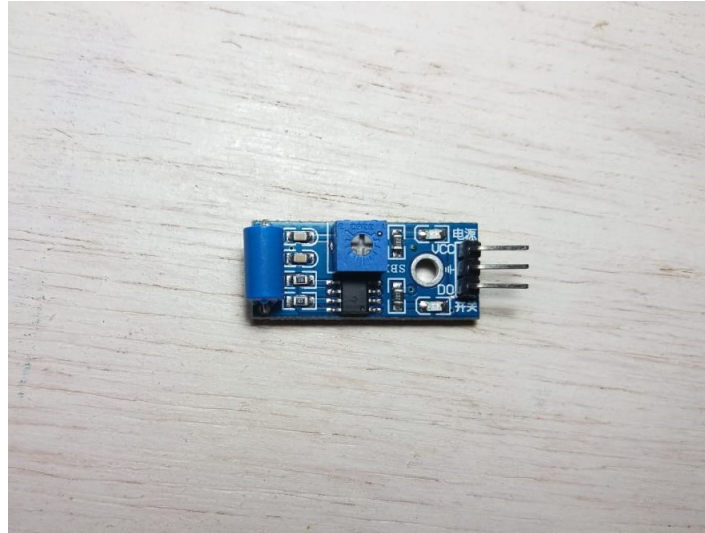
Fonte: AliExpress (2021, p. 1)

– SW-420

Para este trabalho, o sensor de vibração SW-420 destacado na Figura 12, chamou a atenção, pelo seu preço previamente consultado, pelo seu tamanho e ajuste de sensibilidade já integrado. Uma avaliação decisiva para o seu uso neste trabalho foi realizada na subseção 5.4.1.

Porém, antecipasse que o uso de um sensor de vibração para o quesito detecção, se deu pelo fato de que qualquer ação anormal, seja um tombamento, batida ou próprio furto da colmeia, resultará em uma vibração.

Figura 12 – Sensor de vibração SW-420.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4 Softwares de uso em IoT

De modo geral, a parte de *software* em IoT, abrange desde a escolha da linguagem da implementação da interface do usuário, armazenamento de dados até o modo de conectividade através de protocolos específicos. Segundo Silva *et al.* (2020), *softwares* para IoT geralmente são mais complexos do que *softwares* convencionais, pois envolvem múltiplas preocupações, por exemplo, o contexto, a rede, o *hardware*, a interface e vários outros fatores. Quando objetiva-se em desenvolver uma solução IoT, juntamente com a escolha da parte de *hardware*, é preciso pensar nos *softwares*, plataformas e protocolos que serão utilizados (CARRION; QUARESMA, 2019). Um ponto importante, é que da mesma forma em que existem *hardwares* livres, também é possível encontrar uma infinidade de *softwares* livres e plataformas de apoio e incentivo para o aprendizado e prática de programação e IoT.

3.2.4.1 Aplicação

Resumidamente, a aplicação é responsável por fazer a ponte entre o objeto conectado e o usuário ou cliente (CARRION; QUARESMA, 2019). Para aplicações de uso em IoT, é possível encontrar diversas possibilidades. Existem aplicações grátis parcialmente prontas e outras

compradas conforme a necessidade de cada projeto. Geralmente, quem tem algum conhecimento em programação, cria a sua própria aplicação IoT. Ou então, contratam programadores ou empresas voltadas para aplicações de IoT. Na Internet é possível encontrar diversas empresas que prestam serviços e soluções de desenvolvimento para IoT.

3.2.4.2 *Armazenamento de dados de dados*

De acordo com Alves *et al.* (2021) os dados coletados pelos sensores é um dos elementos mais importantes em IoT, pois podem armazenar informações imprescindíveis para as decisões das empresas em geral. Com isso, a depender da importância e valor dos dados, é preciso cuidado ao escolher o serviço de armazenamento dos dados. Conforme Costa e PINTO (2017), atualmente existem várias possibilidades para armazenamento de dados, principalmente serviços em nuvem.

3.2.4.3 *Protocolos de comunicação*

Conforme Brito *et al.* (2018) os protocolos são utilizados para a comunicação entre duas ou mais partes. E fazendo uma analogia com um idioma falado por nós humanos, percebe-se que para que tenha uma perfeita comunicação e entendimento do que é falado, é preciso que as duas partes entendam o mesmo idioma, do contrário o objetivo da comunicação pode não ser alcançado.

Mesmo não seguindo uma regra específica, de acordo com Brito *et al.* (2018), existem alguns protocolos que por suas características que são melhor relacionadas com ambiente de automação, podem ser mais indicados para o uso em Internet das Coisas. Logo a seguir, são elencados alguns dos principais protocolos para IoT mencionados por Brito *et al.* (2018) e também por Soares (2019), são eles: Bluetooth e Bluetooth Low Energy, *ZigBee*, *IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks* (6LoWPAN), *ESP-MESH*, *ESP-NOW*, *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), *Constrained Application Protocol* (CoAP) e o HTTP.

As descrições abaixo são uma síntese de algumas características de alguns dos protocolos mais utilizados para IoT com base nos trabalhos dos autores citados neste trabalho.

- Bluetooth e Bluetooth Low Energy

Conforme SILVA *et al.* (2018), o Bluetooth é tecnologia de curto alcance que foi desenvolvida em 1994. Sua principal função é conectar dispositivos (geralmente portáteis) e trocar dados entre si sem a necessidade de cabos. Basicamente,

existem duas versões principais de Bluetooth, o convencional e o Bluetooth Low Energy(BLE). O Bluetooth Low Energy, como o próprio nome sugere, é uma melhoria do Bluetooth clássico, principalmente no quesito consumo energético. Segundo Brito *et al.* (2018), los protocolos IEEE 802.15 são específicos para redes sem fio de poucos metros de alcance e que os protocolos Bluetooth, Zig-Bee, 6LoWPAN, Wireless Hart, ISA100.11a, ESP-NOW, ESP-MESH e MQTT integram o padrão IEEE 802.15. Brito *et al.* (2018) destaca que seu alcance é limitado a 50 metros.

- ZigBee

Brito *et al.* (2018) informa que o ZigBee trabalha com outros protocolos utilizados no padrão 802.15.4 na camada de enlace e na camada física. Assim como o Bluetooth, também possui baixo consumo energético e limita-se a distância de 100 metros.

- 6LoWPAN

Basicamente trouxe a padronização do IPv6 nas redes de rádio, que possuem o padrão IEEE 802.15.4, relatam em seus trabalhos Brito *et al.* (2018) e Santos *et al.* (2016).

- ESP-MESH

O protocolo ESP-MESH, desenvolvido pela ESPRESSIF para a rede mesh, transforma cada dispositivo IoT em um nó na rede. Conforme Brito *et al.* (2018), basta que um dispositivo esteja conectado ao roteador principal.

- ESP-NOW

Brito *et al.* (2018) descreve que o ESP-NOW também definido pela empresa ESPRESSIF, não utiliza o protocolo TCP, os dados são encapsulados e transmitidos via Wi-Fi, para outro dispositivo sem a necessidade de conexão, no entanto é necessário um pareamento entre os dispositivos antes da comunicação. Segundo Brito *et al.* (2018), após o pareamento a conexão é mantida e não há a necessidade de um *handshake*, tornando o protocolo mais eficiente em questões de velocidade de comunicação entre os dispositivos.

- MQTT

Conforme Rotta *et al.* (2017), a princípio o MQTT, criado pela IBM tinha como

objetivo a comunicação entre satélites e em equipamentos nas atividades de extração de óleo. Segundo Brito *et al.* (2018), o MQTT é bastante simples, atua na camada de aplicação TCP/IP, inclusive com a porta 8883 padronizada para seu uso. Dentre outras características específicas do MQTT, Soares (2019) destaca também a possibilidade de comunicação assíncrona. Rotta *et al.* (2017) aponta que a necessidade de um componente intermediário, um *Broker*, aliado a utilização do próprio TCP, pode se tornar ponto preocupante ou até um fator de inviabilidade no uso em um dispositivo de menor poder computacional demandado por ambos, ou seja, pelo *Broker* e pelo TCP.

- CoAP

Rotta *et al.* (2017) descreve que o CoAP, foi desenvolvido exclusivamente para se tornar um protocolo para IoT. Para menor consumo de recursos energéticos e computacionais dos dispositivos, o CoAP faz uso do protocolo *User Datagram Protocol* (UDP) e também possui uma arquitetura bastante semelhante ao HTTP, inclusive pode se integrar facilmente com o protocolo HTTP.

- HTTP

De acordo com Soares (2019), o padrão HTTP foi criado em 1990, com o objetivo principal apenas a transferência de dados por meio da Internet. Já na sua versão seguinte (1.0), foi melhorado e adicionado *headers* contendo informações do que estava sendo trafegado. Mantido pela *Internet Engineering Task Force* (IETF). Outro ponto importante apontado por Soares (2019), é sua confiabilidade, visto que faz uso dos envios dos dados pela camada de transporte TCP/IP. Possui uma arquitetura cliente-servidor e implementa alguns métodos de requisições, por exemplo: GET, POST, PUT e DELETE. Conforme Rotta *et al.* (2017), por ter sido criado, principalmente para dispositivos *web*, como computadores, o HTTP demanda maior poder de processamento do que outros protocolos voltados especificamente para IoT, o que em alguns casos pode inviabilizar seu uso em dispositivos IoT com pouco poder de processamento computacional.

Em seu trabalho, Soares (2019) compara os protocolos HTTP, MQTT e CoAP e revela que o CoAP, tem melhor desempenho em uma rede de baixa qualidade, e que o HTTP obteve melhores resultados em um rede de melhor qualidade.

Dada as diversas possibilidades de protocolos de uso em IoT existentes, cada uma

com seus pontos positivos e negativos, para este trabalho optou-se pelo uso do protocolo HTTP. Mesmo diante da escolha prévia, foram realizados testes com o dispositivo para a comprovação de que tal possibilidade fosse possível no sistema proposto. Como o Arduino Nano e o próprio SIM800L, possuem uma boa capacidade de processamento, como são poucos dados enviados via rede GPRS, com uma taxa de transmissão de dados suficientes para o projeto, disponibilizada pelas operadoras de comunicação móvel celular, decidiu-se optar pelo protocolo HTTP para o envio dos dados ao servidor do sistema *web*.

3.3 Comunicações Móveis

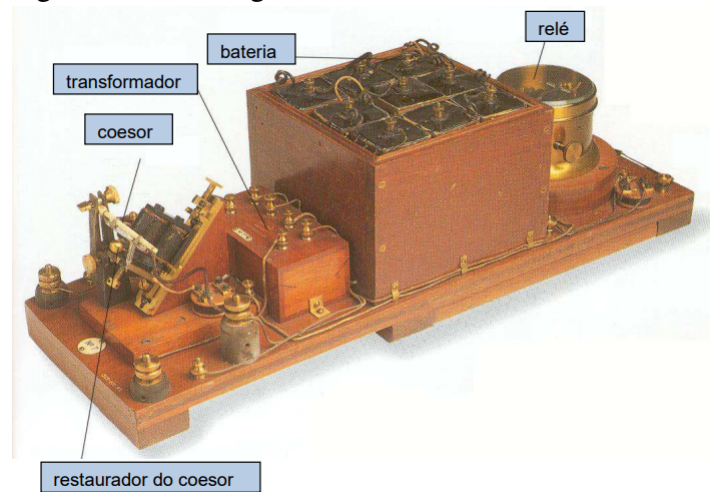
Segundo Guimarães (1998) define-se como comunicação móvel, aquela em que existe a possibilidade de mobilidade relativa entre as partes envolvidas. Dentre outros exemplos, Guimarães (1998) cita o exemplo da comunicação entre aeronaves e a base de comunicação em terra. Conforme Dias e Sadok (2001), desde os primórdios da antiguidade o ser humano manifesta desejos e necessidades em comunicar-se e criar novos meios de comunicação.

Ainda de acordo com Dias e Sadok (2001), na história temos grandes personalidades que tiveram enorme importância no surgimento e melhoramento das comunicações móveis. Dentre alguns marcos importantes mencionados Dias e Sadok (2001), temos a telegrafia óptica por Claude Chappe em 1794, possibilitou na época a comunicação sem fio em longa distância. Em 1820 Hans Christian Oersted descobre o campo magnético a partir de uma corrente elétrica. Logo depois, em 1831 Michael Faraday realizou a demonstração de indução magnética.

As descobertas e experiências sobre as ondas eletromagnéticas continuaram e avançaram. A Figura 13 retrata um modelo de telégrafo sem fio de Guglielmo Marconi, este seria o sucessor do telégrafo com fio. Conforme Consonni (2019), o telégrafo sem fio apresentado Marconi, é considerado por muitos como um dos principais marcos da comunicação sem fio, realizada por meio de ondas eletromagnéticas.

Sobre a Figura 13, assim como as ilustrações dos primeiros indícios da atividade de apicultura encontradas e apresentados na subseção 3.1.1, a ilustração do primeiro protótipo apresentado do Arduino na subseção 3.2.3.1, marco importante para *hardwares* livres e prototipagem para IoT, viu-se também para este trabalho a importância de trazer um fato que considerou-se marcante para as comunicações móveis, seja de importância científica para alguns ou de importância histórica para outros.

Figura 13 – O telégrafo sem fio.

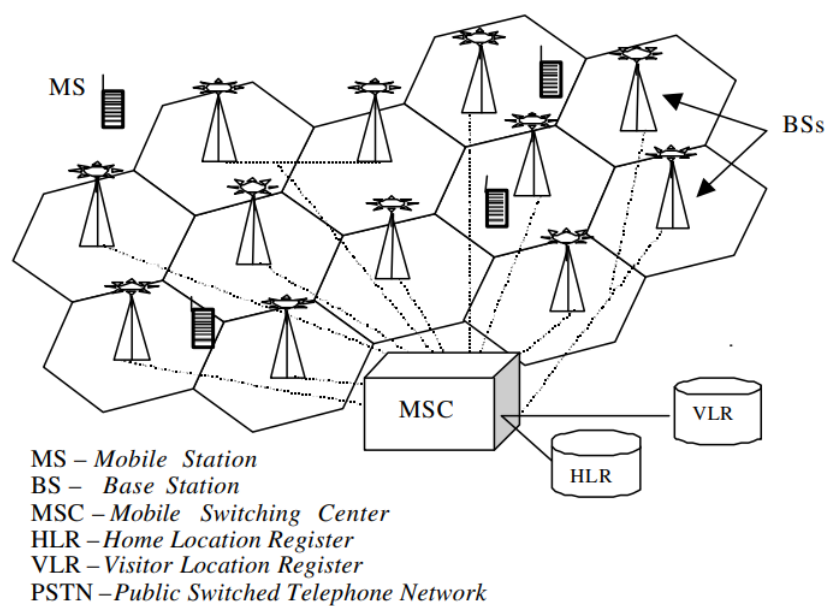


Fonte: (CONSONNI, 2019, p. 48)

3.3.1 Comunicação móvel celular via rede GSM

Antes da difusão da Internet, um dos principais meios de comunicação mundial, era o sistema de telefonia celular (DIAS; SADOK, 2001). De acordo com Pirotti e Zuccolotto (2009), o conceito de Comunicação Móvel Celular é similar ao conceito geral de comunicações móveis, porém, difere na possibilidade de comunicação ininterrupta por meio de "células" vizinhas. Na Figura 14, em formato de hexágono, é possível identificar as células que formam o conceito de Comunicações Móveis Celular.

Figura 14 – Arquitetura de uma Rede Celular.



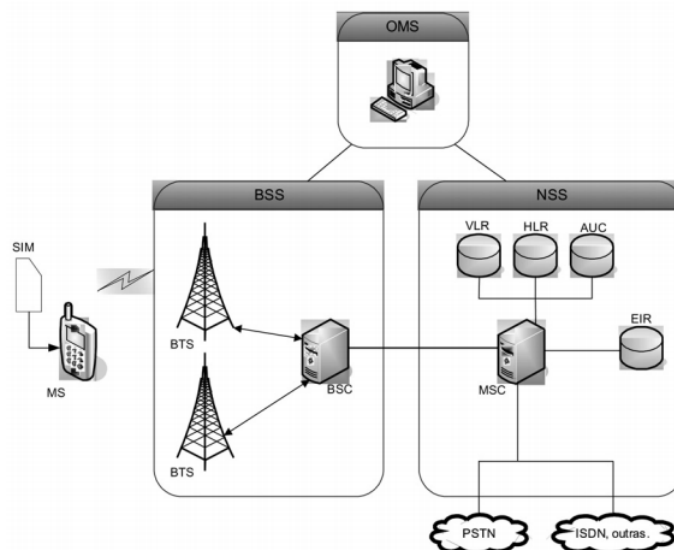
Fonte: (DIAS; SADOK, 2001, p. 13)

Conforme Pirotti e Zuccolotto (2009), em termos gerais, o padrão GSM, é o mais utilizado em todo o mundo. Surgindo inicialmente na década de 80 na Europa com o significado de *Groupe Speciale Mobile*, tinha como propósito substituir os diversos padrões existentes naquele momento. Alcançando domínio mundial, a sigla passou-se então a significar *Global System for Mobile Communications*. De acordo com Guimarães (1998) o padrão GSM atende a diversos serviços de telefonia, serviços de dados por pacotes e serviços Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI). Além disso, o modelo GSM trouxe um módulo de identificação do usuário, conhecido como *Subscriber Identity Module* (SIM) e maior segurança com criptografia para a privacidade do usuário.

3.3.1.1 Arquitetura da Rede GSM

Segundo Pirotti e Zuccolotto (2009) a arquitetura GSM pode ser considerada em 3 subsistemas principais, *Base Station Subsystem* (BSS), *Network and Switching Subsystem* (NSS) e *Operations and Maintenance System* (OMS). Na Figura 15, é apresentada a arquitetura da rede GSM e seus elementos principais.

Figura 15 – Arquitetura da rede GSM.



Fonte: (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009, p. 83)

Conforme Pirotti e Zuccolotto (2009) descrevem, o BSS é visto como o subsistema das Estações Radio Base (ERB), em inglês, *Base Transceiver Station* (BTS). o NSS é o subsistema de gerenciamento e comutação da rede, enquanto o OMS é o subsistema de suporte e operação. *Mobile Station* (MS), refere-se ao dispositivo do cliente, que faz a comunicação com a rede GSM.

Pode ser um aparelho celular ou qualquer outro dispositivo compatível com a rede. Os demais componentes são descritos logo abaixo.

- **BTS** - cumprem o papel de atingir apenas a área de cobertura referente a sua célula.
- **Home Location Register (HLR)** - trata-se de um registro local que guarda informações importantes de identificação e situação do cliente na rede quando o serviço é contratado.
- **Visitor Location Register (VLR)** - é similar ao HLR e atua em conjunto com o mesmo. É uma espécie de registro de informações do usuário conectado na rede. Mantém informações do usuário visitante por um determinado tempo.
- **Authentication Center (AuC)** - atua em conjunto com o HLR exercendo funções de autenticação e criptografia para segurança do usuário na rede.
- **Mobile Switching Center (MSC)** - é o principal componente do NSS e é o responsável pelos processos de chamadas, supervisão do sistema GSM e tarifas.
- **Equipment Identity Register (EIR)** - de modo geral, é uma base de dados contendo os números *International Mobile Equipment Identity* (IMEI) autorizados e os não autorizados a utilizar a rede.
- **SIM** - trata-se do módulo de identificação do assinante para conexão na rede.

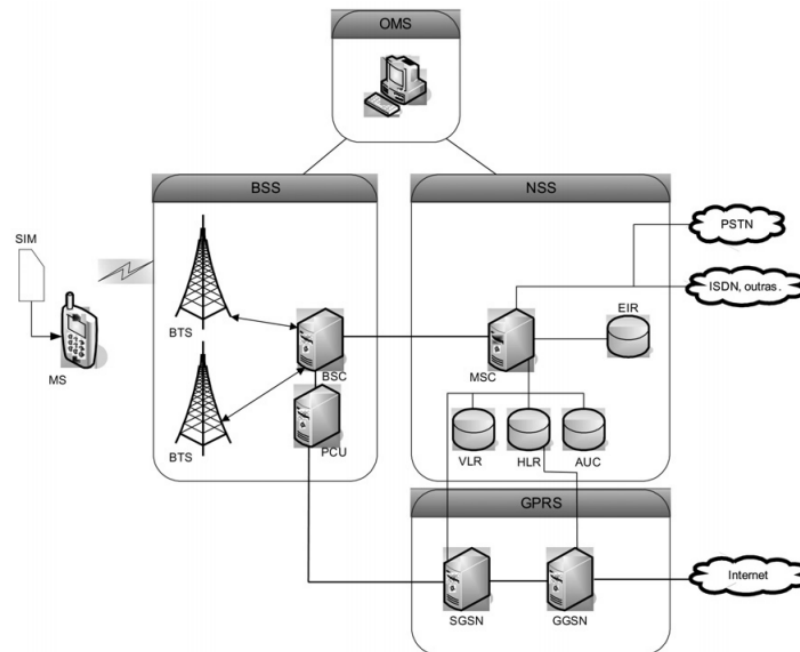
3.3.2 *Comunicação móvel celular via rede GPRS*

A rede GSM foi projetada inicialmente para ser otimizada para serviço de voz (GRUBER, 2007). Devido a sua projeção exclusiva para canais de voz, a rede GSM apresenta algumas limitações para uso de serviço de Internet. Para solução do problema foi criada uma nova tecnologia de comutação por pacote para poder suprir as necessidades do serviço de Internet. Com isso, nasceu o GPRS, que foi integrado à rede GSM (CARVALHO *et al.*, 2002). Bastante similar com a arquitetura GSM, na Figura 16 apresenta-se a arquitetura GPRS.

3.3.2.1 *Arquitetura da Rede GPRS*

Como esperado, a arquitetura precisou ter alguns novos componentes adicionais e algumas mudanças no modo de operação de alguns componentes já existentes. Conforme Pirotti e Zuccolotto (2009), foram adicionados dois novos elementos, o *Serving GPRS Support Node* (SGSN) e o *Gateway GPRS Support Node* (GGSN). O objetivo do GGSN é basicamente prover

Figura 16 – Arquitetura da rede GSM com GPRS.



Fonte: (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009, p. 86)

a conexão da rede GPRS com as redes de dados externas. Já o SGSN, tem função de prover o acesso das MSs com a rede GPRS. A Figura 17 mostra um quadro que destaca as mudanças ocorridas.

Figura 17 – Modificações na rede GSM para suportar a rede GPRS.

Elemento de rede	Modificações
MS	A MS precisa estar apta a acessar a rede GPRS.
BTS	Atualização de <i>software</i> nas BTS's existentes.
BSC	Atualização de <i>software</i> nos BSC's existentes e instalação de um novo <i>hardware</i> (PCU) para controle do tráfego de dados.
SGSN e GGSN	Dois novos elementos de rede para o serviço GPRS.
VLR, HLR, AuC, EIR	Atualização de <i>software</i> para suportar novas funções do GPRS.

Fonte: (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009, p. 86)

3.3.3 Outras tecnologias de comunicação móvel

Como um ciclo vicioso, a demanda por tecnologias de comunicação cada vez melhores está constantemente em evolução. A cada ano surgem novas necessidades de melhoramento para um determinado serviço de comunicação móvel, que visa atender às organizações ou clientes

(GUIMARÃES, 1998).

Conforme Ronchi *et al.* (2020), as ondas de RF cobrem um espectro que vai de 3 kHz a 300 GHz e grande parte das tecnologias de comunicação sem fio atuais trabalham com RF entre 300 MHz e 6 GHz. Graças às descobertas passadas, as comunicações móveis evoluíram ao nível que temos nos dias atuais. Diversos meios de transmissão, por exemplo, antes em sinal analógico, hoje em dia são realizados por meio de sinal digital, melhorando assim a qualidade da transmissão e da comunicação em si (CONSONNI, 2019).

Tais avanços tecnológicos nas comunicações móveis resultam em uma maior diversidade de opções e de uso para tais tecnologias nos mais diversos cenários. Em alguns casos, de certa forma, considerasse até desafiador acompanhar o ritmo acelerado do avanço e aperfeiçoamento de tais tecnologias de comunicações móveis (CARRION; QUARESMA, 2019). A Tabela 4 traz algumas tecnologias de comunicações móveis e algumas de suas características, por exemplo, protocolos, alcance, faixa de frequência utilizada, taxa de transferência de dados e dentre outras informações.

Tabela 4 – Comparação entre algumas tecnologias de comunicações móveis.

Protocolo	Alcance	Frequência	Taxa	IPv6	Topologia
Wi-Fi	50 m	2.4/5 GHz	1300 Mbps	Sim	Estrela
BLE	80 m	2.4 GHz	1 Mbps	Sim*	Estrela/Mesh
ZigBee	100 m	915 MHz/2.4 GHz	250 kbps	Sim	Estrela/Mesh
3G/4G	35/200 km	1900/2100/2500 MHz	1/10 Mbps	Sim	Estrela
SigFox	10/50 km	868/902 MHz	10-1000 bps	-	-
LoraWan	2/5 km	Sub-GHz	0.3-50 kbps	Sim	Estrela

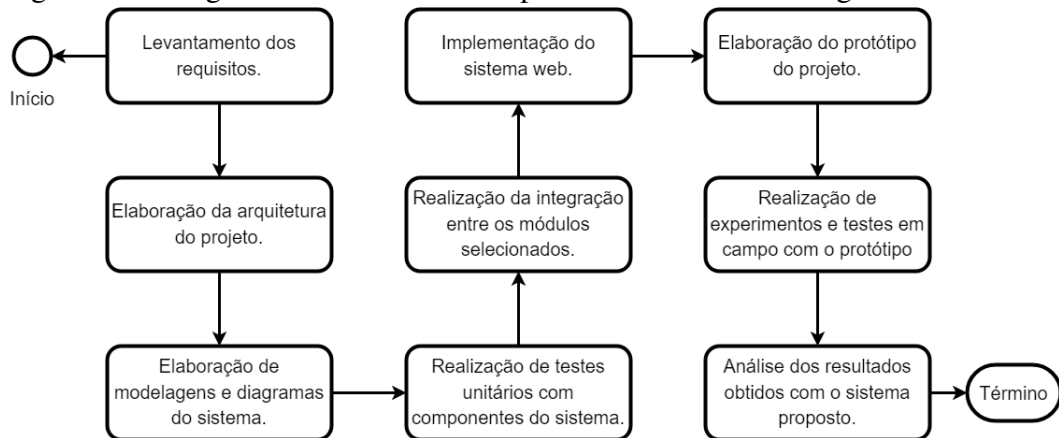
Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2016)

Conforme informações apresentadas na Tabela 4, são diversos os pontos a serem considerados em uma escolha e uso de uma das tecnologias existentes. Por exemplo: custos de implantação, operação e manutenção; usabilidade; disponibilidade de uso e de recursos; melhor adequação da tecnologia ao ambiente ou cenário e dentre vários outros quesitos a serem analisados (SANTOS *et al.*, 2016).

4 METODOLOGIA

Nesta seção são descritos os procedimentos metodológicos para a proposta de um sistema IoT relacionado com a segurança de colmeias de abelhas nos apiários. A Figura 18 mostra a sequência referente aos procedimentos metodológicos que foram realizados no decorrer do trabalho.

Figura 18 – Diagrama de atividades dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 Levantamento dos requisitos

Este primeiro procedimento tem como objetivo definir um fechamento de escopo sobre quais requisitos o projeto necessita para que cumpra seu papel principal abordado neste trabalho. Por se tratar de um protótipo, os requisitos funcionais e não funcionais foram pensados e definidos com base em conhecimentos prévios sobre desenvolvimento de *software*, *hardware* e com base em estudos e pesquisas em diversas fontes sobre apicultura.

4.2 Elaboração da arquitetura do projeto

Com os principais requisitos identificados e definidos, parte-se então para a definição da arquitetura do sistema. Um dos propósitos da elaboração da arquitetura para o sistema é ter uma referência visual principal para a implementação e execução do trabalho nas fases seguintes.

4.3 Elaboração de modelagens e diagramas do sistema

Assim como a arquitetura, a elaboração de diagramações e modelagens de processos importantes para o sistema auxiliará na documentação, mapeamento, entendimento e implementação do projeto. Por isso, será bastante útil do início ao fim do trabalho. As modelagens ou diagramações, serão elaboradas conforme as respectivas ferramentas utilizadas para cada tecnologia e notação.

4.4 Realização de testes unitários com componentes do sistema

Com a arquitetura projetada, modelagens e diagramas relevantes elaborados, torna-se possível o início da materialização do projeto. Dessa forma, o início da implementação dos componentes é importante para as fases seguintes. Esta fase tem início com os testes individuais dos módulos e término com a fase de integração. Neste procedimento, foram realizados testes de funcionamento e identificação das características dos principais componentes do projeto. Isso serviu para a devida continuação do trabalho ou reformulação na arquitetura, para que o projeto possa continuar de maneira adequada.

4.5 Realização da integração entre os módulos selecionados

Com cada módulo testado individualmente será realizado o procedimento de integração com os demais componentes do sistema, baseando-se na arquitetura ou diagramas correspondentes. Basicamente a integração entre os componentes, antes da criação do protótipo, é realizada em uma *proto board*. Também é uma das fases mais críticas do projeto, pois pode ocorrer várias incompatibilidades na integração entre os componentes do projeto, necessitando assim de reformulações na arquiteturas ou diagramações, resultando na necessidade de realização de novos testes unitários. De certa forma, esta é a última fase que antecede o protótipo final do dispositivo físico do sistema proposto.

4.6 Implementação do sistema web

Após todos os testes realizados com os módulos e a devida integração bem sucedida, inicia-se a fase de desenvolvimento da aplicação *web* do sistema. Tal aplicação tem o papel de ser uma segunda opção de acompanhamento sobre informações da colmeia em caso de suspeita

de furto ou danos à colmeia. Como trata-se de um protótipo de sistema, a hospedagem do sistema *web* ocorrerá em um serviço de hospedagem de sites gratuito.

4.7 Elaboração do protótipo do projeto

Esta fase corresponde à implementação final do dispositivo físico do projeto. Basicamente, trata-se do produto final que foi proposto neste trabalho. Após sua finalização, será iniciado o teste em campo com o mesmo. A elaboração do protótipo é realizada com base nos resultados obtidos no procedimento de integração dos módulos do sistema proposto.

4.8 Realização de experimentos e testes em campo com o protótipo

Com o protótipo finalizado, partiu-se então para testes de ambientação do dispositivo proposto. O teste de campo é importante para identificação de possíveis ajustes ou melhorias neste projeto ou em projetos futuros. Nesta fase, o dispositivo é levado até uma zona rural definida para simulação das condições necessárias para os testes. O objetivo dos testes em campo é obter maior fidelidade dos resultados coletados. Além dos testes em campo, também é relevante a realização de experimentos e testes de bancada com o dispositivo, como por exemplo, experimentos sobre o consumo de bateria do dispositivo.

4.9 Análise dos resultados obtidos com o sistema proposto

Por fim, como último procedimento formal após os testes realizados, este último procedimento compõe um breve relatório sobre como o sistema proposto se saiu nos testes, bem como, também visa descrever observações finais e possíveis melhorias futuras. Este procedimento poderá incluir pontos positivos e negativos relacionados com o sistema proposto após os experimentos realizados. A descrição dos resultados será, dentre outras características identificadas, baseada em métricas e comparações.

5 RESULTADOS

Nesta seção, aborda-se os resultados obtidos após a realização dos procedimentos metodológicos e atividades relacionados. Além de tratar os resultados referentes ao desenvolvimento do trabalho proposto, também traz algumas discussões sobre determinados assuntos aqui tratados.

5.1 Requisitos identificados

Como já mencionado, os requisitos principais foram formulados e definidos a partir de conhecimentos prévios e pesquisas realizadas nas áreas relacionadas que tratam o tema do trabalho proposto. Na Figura 19 é apresentado um quadro com os principais requisitos identificados e definidos para o sistema proposto.

Figura 19 – Requisitos do sistema.

PRINCIPAIS REQUISITOS DEFINIDOS		
DISPOSITIVO FÍSICO	REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS	• Possuir custo relativamente baixo; • Não ser prejudicial às abelhas, pelo menos, na ausência de detecção de furto; • Possibilitar uma fácil instalação; • Possuir um longo alcance remoto de operação; • Ter boa autonomia. • Ter possibilidade de alimentação por energia solar ou outra fonte externa.
	REQUISITOS FUNCIONAIS	• Sair do modo sleep somente quando acionada a interrupção externa; • Ativar módulos apenas em caso de furtos ou danos à colmeia; • Enviar notificação ao apicultor; • Enviar informações relevantes sobre o dispositivo para o sistema web; • Voltar ao modo sleep na ausência de vibrações.
SISTEMA WEB	REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS	• Compatibilidade com a maioria dos navegadores web; • Fácil implantação; • Possuir tela de autenticação de usuário; • Uso de banco de dados para armazenamento dos dados; • Ser responsivo.
	REQUISITOS FUNCIONAIS	• Realizar a autenticação do usuário; • Listar as informações relacionadas a furtos em cada colmeia; • Permitir ao usuário autorizado a exclusão de dados que julgar irrelevantes; • Enviar e-mail ao usuário a cada novo recebimento de dados; • Atualizar os dados recebidos e mostrados na tela a cada 10 segundos.

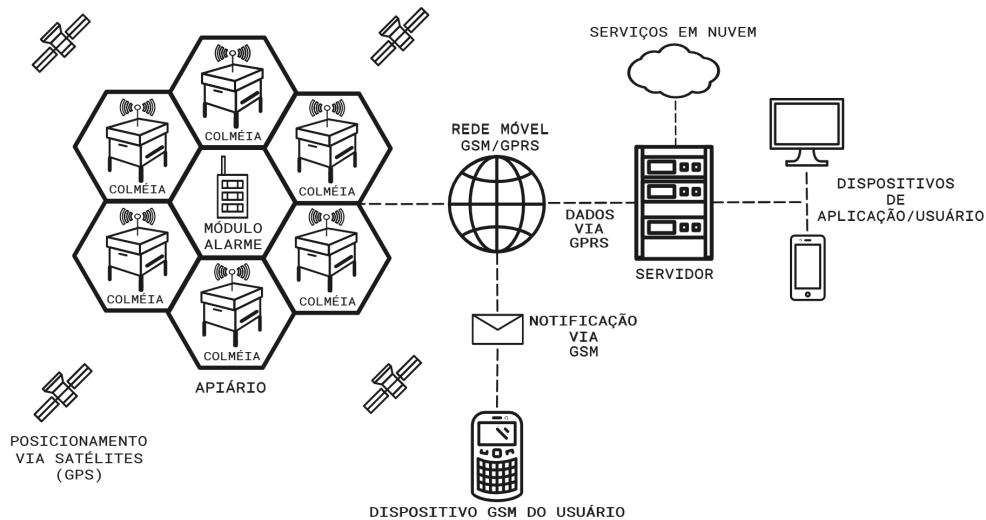
Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme alguns dos requisitos listados na Figura 19, pode-se observar que, tentou-se identificar requisitos relacionados ao cenário da apicultura, que geralmente ocorre em zona rural. Como exemplo, a questão da autonomia de bateria, a possibilidade de alimentação por energia solar e a questão do alcance. Reforça-se, porém, que tais requisitos poderão sofrer alterações, conforme uma análise a longo prazo, com o sistema desenvolvido em operação real e contínua.

5.2 A arquitetura elaborada para o sistema

Como já mencionado, a arquitetura foi elaborada conforme a problemática identificada e o embasamento dos requisitos principais. Na Figura 20 é apresentada a arquitetura que foi proposta para o sistema.

Figura 20 – Arquitetura do sistema proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme ilustra a Figura 20, em cada colmeia será implantado um dispositivo de monitoramento. O princípio básico do dispositivo instalado na colmeia é detectar por meio de um sensor de vibração uma possível anormalidade de movimentos na colmeia. Detectado o movimento incomum, o módulo GSM/GPRS é ativado e envia os dados de notificação via rede móvel celular, incluindo a localização da colmeia obtida via GPS. O apicultor poderá ser notificado por SMS, chamada telefônica ou email, conforme o número e endereço eletrônico previamente configurados. Além das notificações enviadas, o apicultor também poderá acompanhar toda a movimentação da colmeia via sistema web. Confirmado o deslocamento da colmeia, o apicultor poderá acionar as autoridades sobre a ocorrência.

Para este projeto, também foi pensado em um possível módulo alarme auxiliar opcional. Tal módulo auxiliar poderia ser instalado em um local na residência do apicultor ou em um ponto estratégico no apiário. Este módulo seria compartilhado e poderia ser acionado por qualquer um dos dispositivos instalados nas colmeias. Como função sugestiva para este módulo auxiliar, pensou-se no acionamento de uma sirene, com o intuito de intimidar a tentativa de furto ou dano às colmeias. Como o módulo de alarme extra foi citado como um item opcional do sistema, não foi implementado neste trabalho.

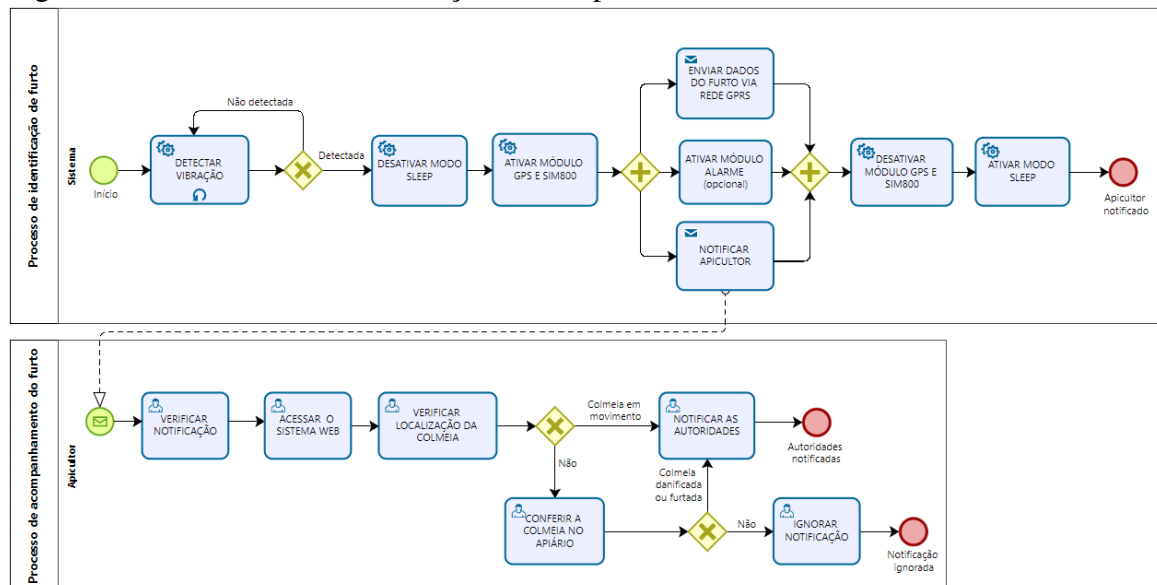
5.3 Modelagem dos principais processos do sistema proposto

Para melhor descrever o funcionamento dos componentes do sistema e os processos realizados, foram criadas modelagens dos principais processos que envolvem o sistema proposto.

5.3.1 Modelagem do processo de detecção e notificação de furto

Utilizando a ferramenta Bizagi Modeler e notação *Business Process Model and Notation* (BPMN), na Figura 21 foi realizada uma modelagem abstrata dos processos e princípio de funcionamento do sistema proposto. Com isso, pode-se observar o fluxo do sistema e do ator, neste caso, o apicultor.

Figura 21 – Processo de identificação e acompanhamento do furto de colmeias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a modelagem, o processo de identificação de furto ou dano à colmeia tem início com a detecção de uma vibração anormal detectada pelo sensor SW-420. Caso a detecção seja identificada, a interrupção externa é ativada e o Arduino “desperta” do modo *sleep*. Logo em seguida, os módulos são ativados. O apicultor é notificado via SMS e *Electronic Mail* (E-Mail) pelo sistema. As coordenadas de localização da colmeia e outras informações relevantes são enviadas para o servidor *web* e logo em seguida, caso não haja nova vibração, o sistema desativa os módulos e entra em modo de economia de energia novamente.

Lembra-se ainda que o sistema tem a opção de contar com um módulo alarme compartilhado por todas as colmeias, no qual poderá ficar localizado em um local estratégico no

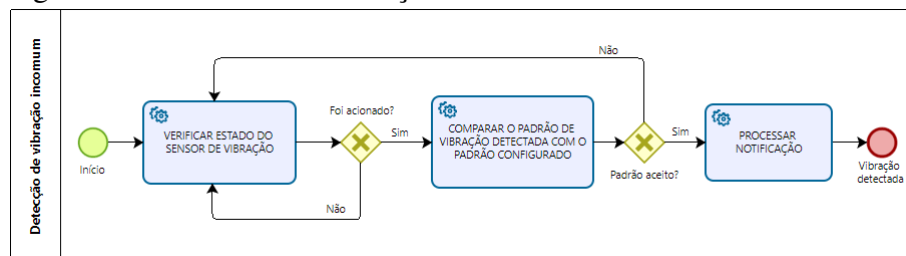
apiário ou residência do apicultor, funcionando assim, como sirene de intimidação ou de alerta sonoro de notificação de emergência.

Por sua vez, o apicultor verifica a notificação recebida, acessa o sistema e verifica demais informações salvas no servidor. Com isso, o apicultor realiza a devida tomada de decisão quanto a uma possível suspeita de dano ou furto à colmeia em questão.

5.3.2 Processo de detecção de furto

Na Figura 22 é apresentada a modelagem do processo de uma possível detecção de furto contra a colmeia. Tal papel de detecção é realizado pelo sensor SW-420.

Figura 22 – Processo de detecção de furto à colmeia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O sensor de vibração SW-420 é o componente principal deste processo. O SW-420 permanece em constante operação e o mesmo é responsável pelo acionamento da interrupção externa, que desativa o modo de economia de energia (*sleep*) do Arduino Nano.

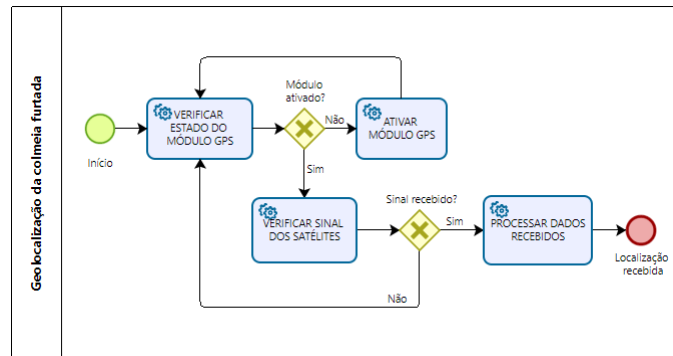
5.3.3 Processo de localização da colmeia

Na Figura 23 foi realizada a modelagem do processo de obtenção da localização da colmeia em caso de furto via GPS. Tal papel de localização foi atribuído ao módulo GPS NEO-6M.

Como o serviço GPS é disponibilizado gratuitamente e diversos dispositivos o utilizam, foi pensado em implantá-lo no sistema proposto. Com isso, o apicultor poderá ter uma chance de resgate de suas colmeias furtadas por meio do serviço, ou mesmo, a identificação dos responsáveis pelo furto ou dano às colmeias pelas autoridades competentes.

Em suma, o módulo GPS, permanecerá desativado para economia de bateria, até que seja ativado pelo sistema em caso de possível furto ou dano. Após ativado, o módulo aguarda sinal dos satélites disponíveis e em seguida envia os dados já processados por meio do módulo

Figura 23 – Modelagem do processo de obtenção da localização da colmeia.



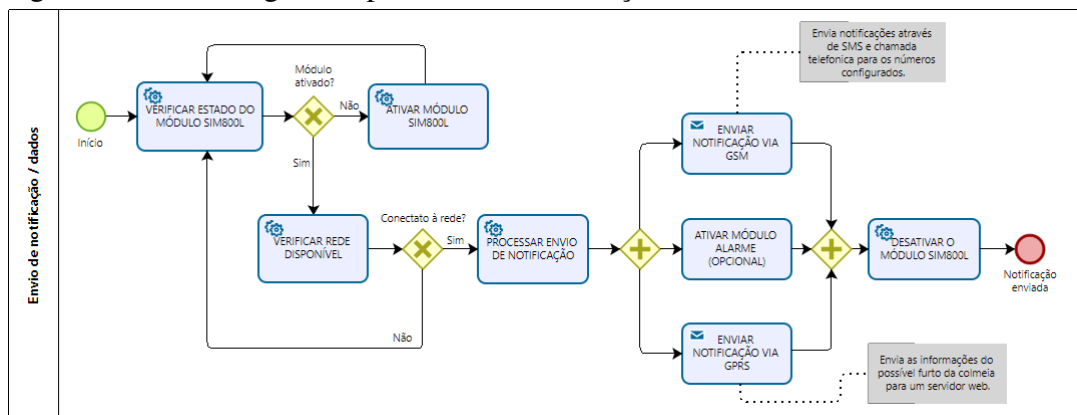
Fonte: Elaborado pelo autor.

SIM800, para recebimento e análise pelo apicultor.

5.3.4 Processo de notificação de furto

Na Figura 24 foi realizada a modelagem do processo de notificação e envio de dados via rede móvel celular GSM e GPRS.

Figura 24 – Modelagem do processo de notificação/envio de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo de notificação ao apicultor ou responsável é o mais importante. Visto que não haverá tomada de decisão caso não ocorra a devida notificação necessária. Com isso, o módulo SIM800 é o componente mais importante deste processo.

De modo geral, o processo tem início com a ativação do módulo SIM800. Logo em seguida, aguarda conexão e depois processa os dados por comandos AT e os envia via rede GSM e GPRS ao destino. Por fim, para economia de bateria, o módulo é desativado novamente.

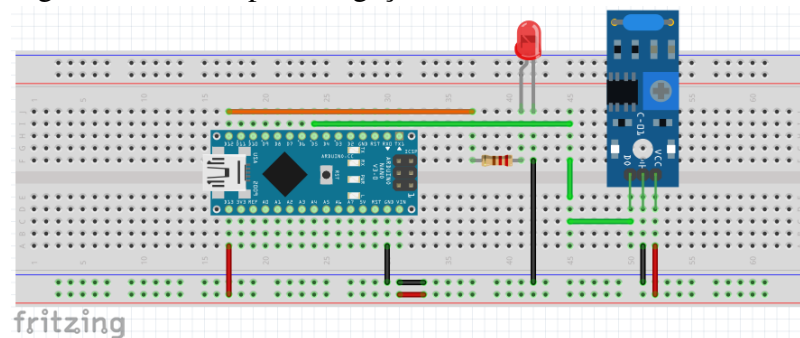
5.4 Testes com módulos do sistema

Conforme já explicado anteriormente, os testes individuais com os módulos do sistema proposto, tem como objetivo testar o funcionamento de cada módulo e identificar características que possam oferecer um melhor desempenho dos mesmos.

5.4.1 Testes com o módulo de detecção de vibração

Neste procedimento foi realizado teste de funcionalidade e de simulação de um padrão para detecção de um possível furto. Na Figura 25 apresenta-se uma visão geral das ligações via Fritzing¹. Na Figura 26 registra-se um experimento inicial realizado com o sensor SW-420 e o Arduino Nano. A princípio, o experimento serviu para avaliar o sensor e sua sensibilidade de detecção. Nos testes realizados, o sensor apresentou resultados satisfatórios para ser integrado ao projeto.

Figura 25 – Exemplo de ligação do SW-420.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a execução de testes de detecção de vibração com o SW-420, foi utilizada a *Integrated Development Environment* (IDE) oficial do Arduino, disponível no site oficial do Arduino². Utilizou-se também um cabo *Universal Serial Bus* (USB) compatível, uma *protoboard*, um *Light Emitting Diode* (LED) vermelho de 5 milímetros, um resistor para limitação da corrente no *led* e alguns *jumpers* para as conexões dos componentes.

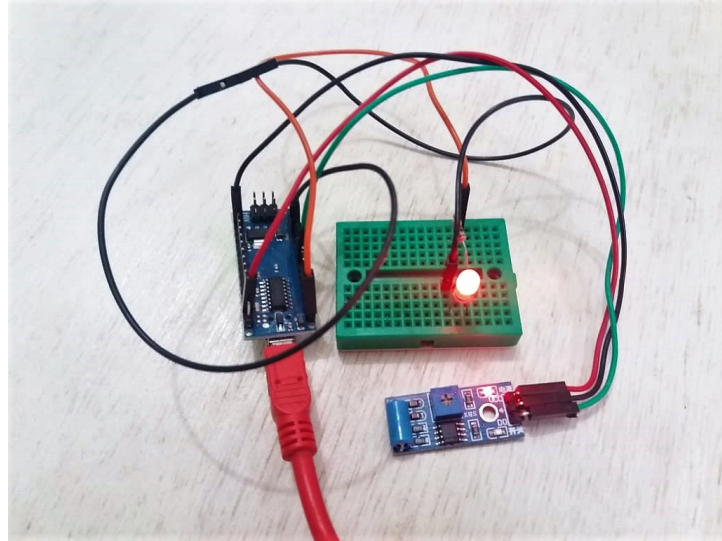
Como simulação, foi implementada uma função que detecta um certo padrão incomum de vibração na colmeia. Na Figura 27 observa-se a função que reconhece o padrão especificado e aciona o módulo SIM800 para o devido processo de notificação ao apicultor.

Conforme Figura 27, ao ser acionado, o SW-420 emite sinal lógico alto, que é

¹ <https://fritzing.org>

² <https://www.arduino.cc>

Figura 26 – Experimento inicial com o SW-420.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 – Função que determina o padrão de vibração aceito.

```
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
test-sensor-vibracao-sw420
14 void padraoVibra() {
15   if(digitalRead(pinoSensor) == HIGH) {
16     vibracoes++;
17     delay(3000);
18   }
19   if(vibracoes == 3) {
20     flagFurto = 1;
21     vibracoes = 0;
22   }
23   if(flagFurto == 1) {
24     Serial.println("Suspeita de furto detectada!");
25     Serial.println("Ativando sim800L...");
26     delay(10000);
27     flagFurto = 0;
28   }
29 }
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

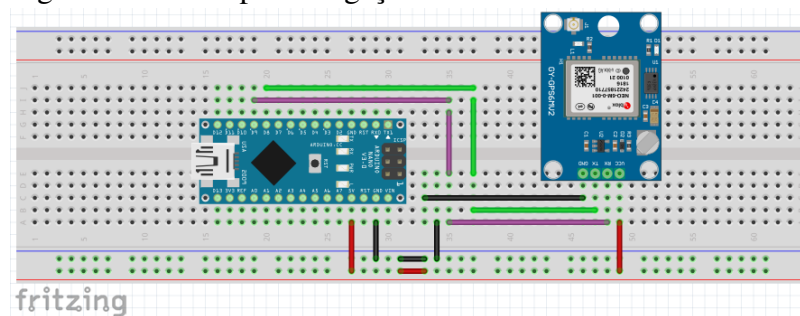
reconhecido pelo Arduino Nano. Logo em seguida a função de reconhecimento de padrão é chamada e estabelece se a ação pode ter relação com um possível furto ou não. Para este experimento, foi determinada a ocorrência de três vibrações consecutivas, com um intervalo mínimo de três segundos entre cada uma, para que o módulo GSM/GPRS seja acionado para envio da notificação sobre a ação suspeita na colmeia. A função de detecção definitiva está disponível no código-fonte 1, do apêndice A deste documento.

Com os testes iniciais realizados na bancada, com o módulo de detecção de vibração SW-420, concluiu-se que foram obtidos resultados de detecção satisfatórios diante dos testes práticos realizados. Basicamente, os testes na bancada envolveram a possibilidade de ajuste de sensibilidade, no trimpot de ajuste do SW-420 e na função que implementa a detecção no código. Outra característica interessante do SW-420 analisada nos testes, é que o SW-420 também consegue detectar inclinações além de vibrações ou choques.

5.4.2 Testes com o módulo GPS

Outro componente bastante importante para o sistema é o módulo GPS, nesse caso foi utilizado o NEO-6M. Com ele, através dos dados recebidos de satélites em órbita é possível obter informações como latitude, longitude, velocidade de deslocamento e outras. Visto que até o presente momento, a localização por GPS ainda é serviço gratuito e que já está disponível a bastante tempo, inclusive com diversos dispositivos que também já fazem o uso desse serviço, identificou-se como um requisito importante para o sistema, a possibilidade de rastreamento da colmeia em casos de furtos. Com isso, em caso de ocorrência de um possível furto, o apicultor poderá consultar a localização ou movimentação precisa da colmeia roubada e notificar as autoridades competentes para o caso. A Figura 28 mostra um exemplo de ligação do módulo GPS NEO-6M com o Arduino Nano, que foi elaborado via software *Fritzing*.

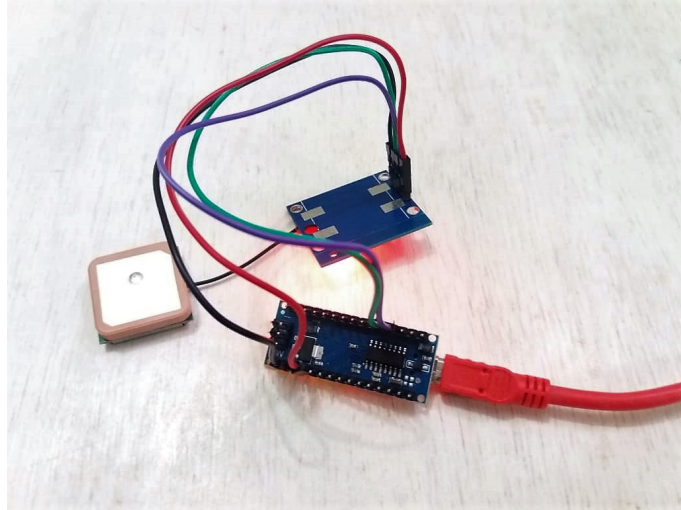
Figura 28 – Exemplo de ligação do GPS NEO-6M.



Fonte: Elaborado pelo autor.

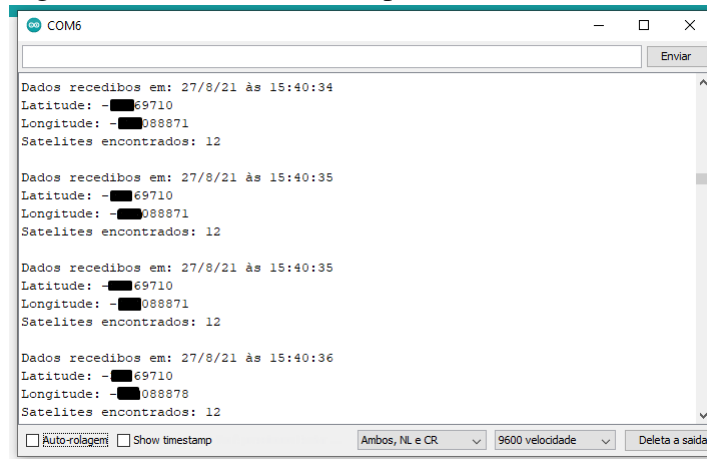
Neste primeiro teste realizado com o módulo NEO-6M, objetivou-se identificar na prática suas características, funcionalidades e analisar se realmente corresponde às necessidades e objetivos do sistema proposto. Um teste bastante importante, foi a verificação de sua precisão. A Figura 29 retrata o teste realizado com o módulo NEO-6M e o Arduino Nano com alimentação de 5 volts via porta USB.

Figura 29 – Experimento inicial com o GPS NEO-6M.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 – Dados recebidos pelo módulo NEO-6M.

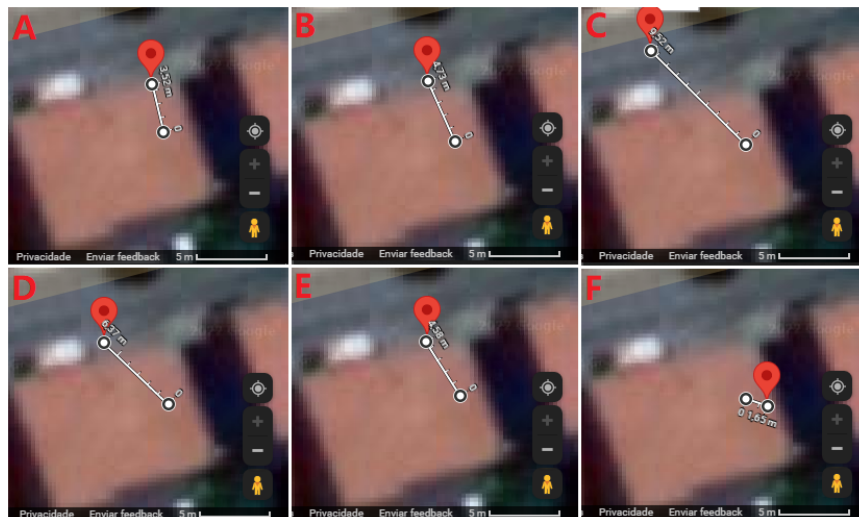


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os testes preliminares com o referido módulo GPS, foram utilizados a IDE do Arduino, bem como a visualização das informações via monitor serial, o módulo GPS NEO-6M com antena, um Arduino Nano e conectores para as ligações. A Figura 30 detalha os dados recebidos e exibidos via monitor serial. Por questões de privacidade, parte das coordenadas foram omitidas. Utilizando o serviço de medição de distâncias disponibilizado no Google Maps,

a precisão entre as coordenadas obtidas pelo módulo GPS e o ponto de posição real estipulado do dispositivo nos testes realizados, conforme Figura 31, correspondeu a uma diferença média próxima dos 5 metros. Ainda conforme Figura 31, identificou-se a distância de 1,65 metros, letra F na Figura 31, como uma das menores obtidas e 9,52 metros, letra C na Figura 31, como a maior distância obtida das que foram analisadas no teste com o módulo. Lembrando que tal resultado foi estipulado com base no Google Maps e que possam existir fatores que influenciam na métrica obtida. Em todo caso, considera-se que o posicionamento via GPS é um serviço disponibilizado gratuitamente, bastante utilizado e confiável até então.

Figura 31 – Coordenadas obtidas pelo módulo GPS NEO-6M.



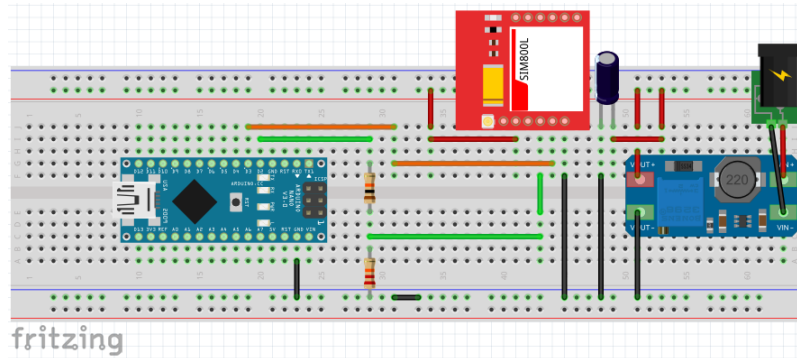
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4.3 Testes com o módulo de rede GSM/GPRS

O SIM800L, é uma das partes mais importantes do sistema, pois o mesmo é o responsável por notificar o apicultor via rede GSM e enviar os dados ao servidor do sistema *web* via rede GPRS, também conhecida como Rede Móvel de Segunda Geração (2G). Sendo assim, os experimentos iniciais realizados com o módulo SIM800L, serviram de reforço para a viabilidade em continuar com a implementação do mesmo no protótipo deste trabalho. A Figura 32 exemplifica um modo de ligação com o Arduino Nano e o SIM800L.

Além de alguns materiais utilizados no experimento com o SW-420, também foram utilizados uma fonte externa de corrente contínua de 12 volts, um módulo regulador de tensão ajustável LM2596, um capacitor de filtro de 1000uF de 16 volts um conector de corrente contínua e um multímetro digital para verificação da tensão de alimentação do módulo SIM800L. A Figura

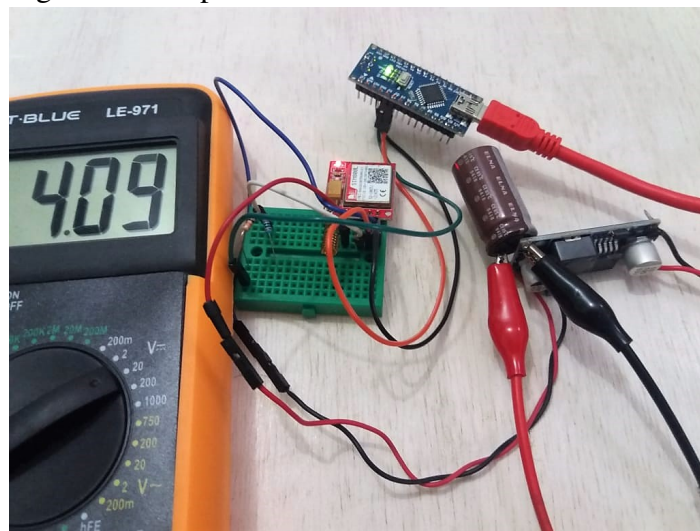
Figura 32 – Exemplo de ligação do SIM800L.



Fonte: Elaborado pelo autor.

33 mostra um registro dos experimentos realizado com o módulo GSM/GPRS SIM800L.

Figura 33 – Experimento inicial com o SIM800L.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma consulta no *datasheet* dos comandos ATs e do SIM800L, foram realizados testes básicos de suas principais funções, com o intuito de aprender um pouco mais sobre o módulo na prática. Além de experimentos básicos (SMS e chamada telefônica) com a rede GSM via comandos ATs enviados para o SIM800L, também foi experimentado a funcionalidade de envio de dados através da rede GPRS. Para isso, foi utilizado um chip da operadora, foi criada uma conta na plataforma online *ThingSpeak*³, que é uma plataforma de apoio ao desenvolvimento com IoT, e a criação de um canal gratuito para a obtenção da chave de acesso. A Figura 34, mostra os comandos ATs, enviados para o módulo SIM800L, para envio do valor 5, através do monitor serial disponível na IDE do Arduino.

Foram feitos em sequência o envio em 6 valores (0, 3, 0, 4, 11 e 5) numéricos via rede

³ <https://thingspeak.com>

Figura 34 – Comandos AT para envio de dados via GPRS.

```

COM6
|
|
|
AT
OK
AT+CIPSTART="TCP","api.thingspeak.com","80"
OK

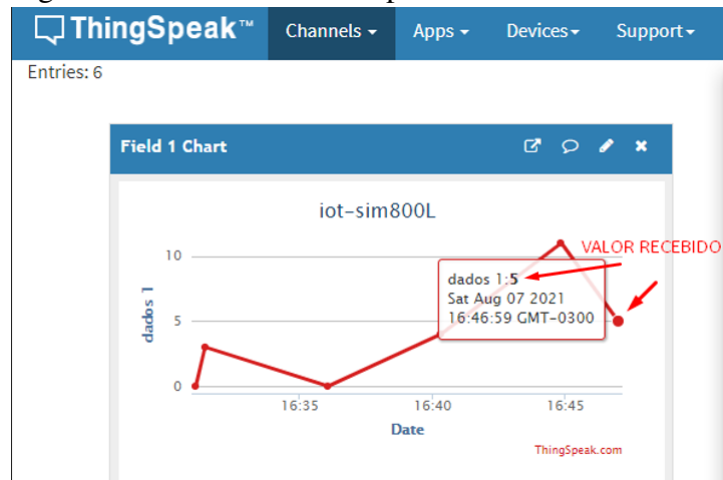
CONNECT OK
AT+CIPSEND=47
> GET /update?api_key=KYJNKBE[REDACTED]P91Y&field1=5
SEND OK ← STATUS DO ENVIO
6
CLOSED
  
```

↑ VALOR ENVIADO

Fonte: Elaborado pelo autor.

GPRS através do SIM800L. O último valor enviado foi o valor 5. A Figura 35 mostra o gráfico plotado com o valor 5 (último ponto marcado em vermelho no gráfico) e os demais valores enviados anteriormente pelo SIM800L e que foram recebidos na *Application Programming Interface* (API) da plataforma *ThingSpeak*.

Figura 35 – Dados recebidos pela API.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse experimento foi realizado uma única vez. Como já mencionado, o propósito principal foi entender na prática como os comandos ATs descritos por SIMCom (2020) funcionavam no SIM800L e se o módulo realmente conseguiria se conectar na rede GSM e GPRS, para enviar notificações por SMS ou chamadas e enviar dados via GPRS. Sanada tais dúvidas sobre o módulo, conclui-se que seu uso seria mantido nas fazes seguintes deste trabalho.

Como linguagem de programação do sistema, foi utilizado o PHP, justamente pelo fato do serviço de hospedagem gratuita já oferecer tal recurso e também por ser uma linguagem com uma boa documentação consolidada. Os dados dos usuários e das colmeias são armazenados em um banco de dados MySQL, também oferecido pelo serviço de hospedagem da 000Webhost⁴ em parceria com a Hostinger⁵. Para o projeto proposto, pensou-se em algo simples e intuitivo. O sistema dispõe de duas telas principais. Para dar maior segurança e confidencialidade, a tela de autenticação conforme Figura 37, impede que usuários não autorizados tenham acesso ao sistema. Após autenticação bem sucedida, o usuário tem acessos aos dados referentes às cada colmeia registrada no sistema.

Figura 37 – Tela de autenticação de usuário.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 38, tem-se uma visão do sistema com o usuário logado e com os respectivos dados referentes à simulação de furto da colmeia 01, que foram enviados pelo dispositivo de detecção e notificação de furto ou danos à colmeia. Para o protótipo do sistema, considerou-se interessante a apresentação de informações sobre a data e hora do momento da detecção suspeita na colméia, um link para um serviço de geolocalização com as coordenadas de onde a detecção foi identificada, o número de satélites disponíveis naquele momento, a tensão que o SIM800L está recebendo e a qualidade do sinal na antena do dispositivo *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Neste projeto, tais dados são enviados pelo dispositivo ao servidor *web* via protocolo IoT HTTP.

⁴ <https://000webhost.com>

⁵ <https://www.hostinger.com>

Figura 38 – Tela de dados recebidos da colmeia 01.



Data e Hora	Localização	Nº de Satélites	Tensão da Bateria	Sinal RSSI
10/09/2021 18:05:58	Google Maps	9	4 V	18
10/09/2021 17:46:46	Google Maps	8	4 V	17
10/09/2021 17:13:19	Google Maps	14	3.9 V	17
10/09/2021 17:04:04	Google Maps	12	4 V	15
10/09/2021 17:02:39	Google Maps	11	4.1 V	16
10/09/2021 16:50:44	Google Maps	7	4 V	14
10/09/2021 16:27:36	Google Maps	14	4 V	17
10/09/2021 16:26:50	Google Maps	12	4.1 V	15
10/09/2021 16:25:43	Google Maps	14	4 V	18

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.7 Protótipo do dispositivo físico do sistema

Após a integração dos módulos ter sido bem sucedida, iniciou-se a criação do protótipo final do sistema proposto. A elaboração do protótipo, foi uma das atividades que mais demandou tempo para conclusão. Dentre outros, um dos fatores que influenciaram no tempo de desenvolvimento do protótipo foi a espera por alguns dos componentes, além dos módulos principais, comprados em lojas virtuais, que compõem o dispositivo físico e que possuem um prazo de entrega consideravelmente demorado, em alguns casos.

5.7.1 Componentes utilizados no protótipo

Para a materialização do protótipo do dispositivo físico, além dos módulos já citados, foram utilizados alguns componentes extras. Na Tabela 5 foram listados os componentes utilizados na elaboração do protótipo do dispositivo proposto. A listagem inclui, uma descrição do componente utilizado, quantidade utilizada e valores nacionais e internacionais aproximados dos componentes.

O objetivo da Tabela 5 com a lista dos componentes utilizados e seus respectivos valores aproximados de mercado nacional e internacional, é trazer uma noção de possíveis custos com a elaboração do protótipo que foi idealizado neste projeto. Salienta-se ainda que os valores apresentados foram pesquisados de acordo com algumas lojas e plataformas de *e-commerce* no Brasil e China em 25/09/2021. Sendo assim, é possível que tais valores sofram alterações de acordo com fatores econômicos diversos.

Tabela 5 – Lista de componentes utilizados.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	VALOR APROX. BRASIL	VALOR APROX. INTER.
Módulo SIM800L	1	R\$ 40,00	R\$ 22,00
Módulo GPS NEO-6M	1	R\$ 55,00	R\$ 30,00
Antena GSM com conector	1	R\$ 10,00	R\$ 5,99
Arduino Nano ou similar	1	R\$ 35,00	R\$ 25,00
Sensor SW-420	1	R\$ 8,00	R\$ 3,99
Mosfet IRF630 ou similar	2	R\$ 4,90	R\$ 2,00
Barra de pinos fêmea	2	R\$ 2,00	R\$ 1,50
Barra de pinos macho 90 graus	1	R\$ 1,80	R\$ 1,00
Módulo 5V TP 4056	1	R\$ 10,00	R\$ 3,50
Bateria 18650 3.7v (4.2)	1	R\$ 18,99	R\$ 20,00
Suporte bateria conector 18650	1	R\$ 9,00	R\$ 3,90
1 mt de cabinho flexível 20 AWG	1	R\$ 1,60	R\$ 4,90
Jumper fêmea p/ fêmea 20 cm	3	R\$ 0,30	R\$ 0,15
Conector P4 DC 2,1 mm fêmea	1	R\$ 2,90	R\$ 1,90
Placa ilhada 5 cm x 7 cm	1	R\$ 4,90	R\$ 2,90
Mini chave gangorra ON-OFF	1	R\$ 1,90	R\$ 1,30
Capacitor 1000uf 16v	2	R\$ 1,20	R\$ 0,90
Resistor 10k	2	R\$ 0,25	R\$ 0,03
Resistor 1k	1	R\$ 0,25	R\$ 0,03
Caixa 125 mm x 80 mm x 33 mm	1	R\$ 23,00	R\$ 18,99
Chip GSM da operadora	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
TOTAL	27	249,94	164,71

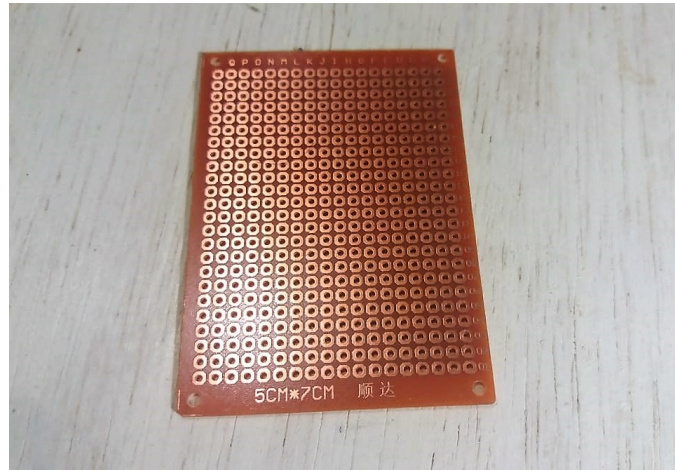
Fonte: Elaborado pelo autor

5.7.2 Montagem do protótipo

A montagem foi realizada de forma incremental e sequencial. Após a obtenção dos componentes, materiais e ferramentas necessários, a montagem foi iniciada. O ponto de partida ocorreu com a escolha da placa *Printed Circuit Board* (PCB) para o projeto. Um dos requisitos do projeto, foi seu tamanho reduzido. Com isso, conforme ilustra a Figura 39, foi utilizada uma placa universal ilhada com dimensões de 5 centímetros por 7 centímetros. Tal placa utilizada possui tamanho relativamente reduzido. Além disso, a placa escolhida possibilitou uma disposição dos componentes e módulos satisfatória para uma possível manutenção no dispositivo e também contribuiu no requisito de tamanho reduzido para o dispositivo físico do projeto.

Com a escolha da placa realizada, partiu-se para a análise e disposição dos componentes na placa. No quesito disposição dos componentes, objetivou-se aproveitar toda a área da placa utilizada e que ao mesmo tempo, também fosse possível um fácil acesso e manutenção dos mesmos. Para garantia do fácil acesso e manutenção dos componentes utilizados, a placa foi montada de forma modulável. Ou seja, cada módulo que compõem o dispositivo pode ser facilmente encaixado e desencaixado da placa principal sem a necessidade de retrabalho com soldagens de seus terminais. A Figura 40 demonstra a preocupação que foi tida em deixar a placa

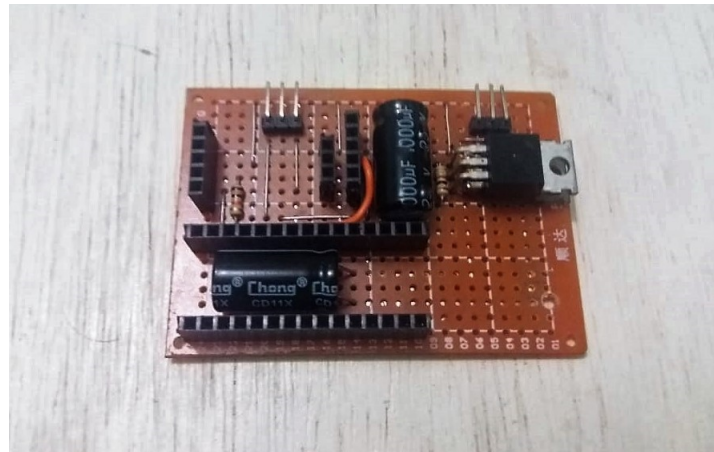
Figura 39 – Placa universal utilizada no protótipo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

dispositivo modulável, para manutenção e possível substituição de componentes defeituosos.

Figura 40 – Placa principal pronta sem os módulos encaixados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a montagem dos componentes na placa finalizada, passou-se então para a instalação da placa principal em uma caixa plástica, que comporte e proteja todos os componentes internos do dispositivo. Lembrando que a caixa plástica pode ser encontrada no mercado em diversas dimensões e modelos. A dimensão final de um projeto pode ser impactada pela escolha do projetista e disponibilidade a caixa escolhida para abrigar os componentes. Com isso, conforme Figura 41, por questões de disponibilidade, para o protótipo foi utilizada uma caixa plástica com as seguintes dimensões: 125 mm de comprimento, 80 mm, de largura e 33 mm de altura.

Com a caixa plástica de instalação da placa principal do dispositivo em mãos, iniciou-se a finalização do protótipo proposto. Como um outro requisito identificado foi a possibilidade

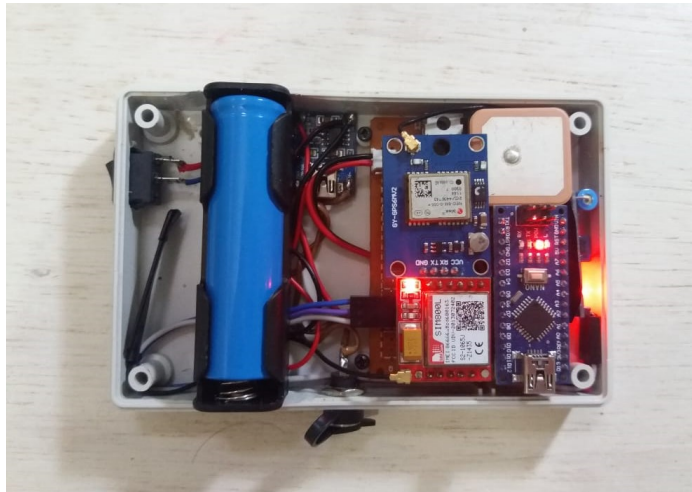
Figura 41 – Caixa plástica utilizada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

de alimentação por energia solar, o dispositivo conta com uma entrada 5 volts para a possibilidade de alimentação ou recarga da bateria interna, seja por energia solar ou qualquer outra fonte externa. Conforme Figura 42, o protótipo do dispositivo também conta externamente com uma chave externa de liga e desliga, possibilitando a ativação e desativação sem ter que abrir a caixa do dispositivo.

Figura 42 – Protótipo finalizado.



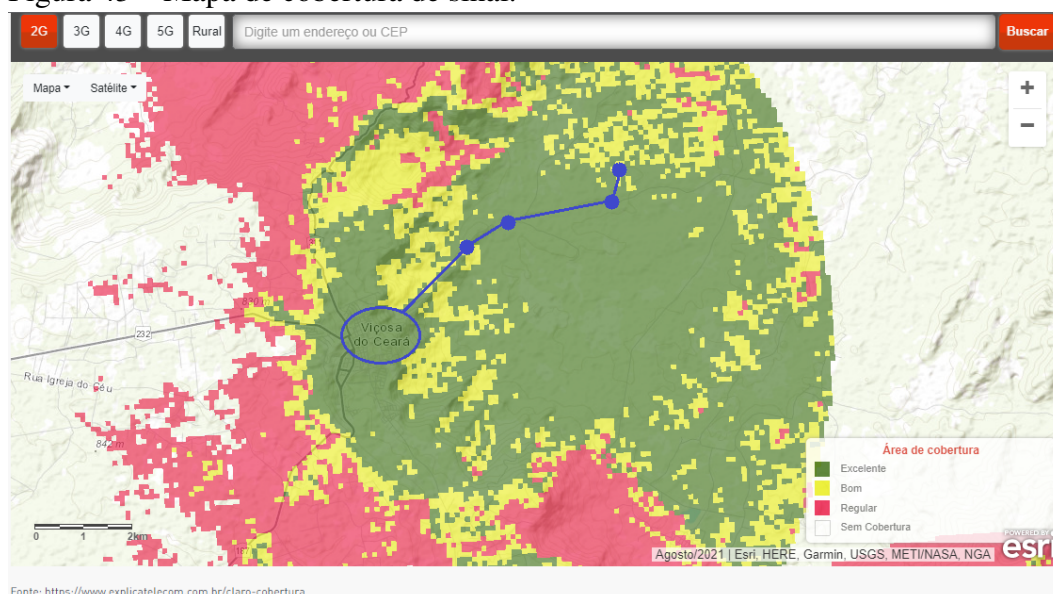
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.8 Realização de experimentos e testes em campo com o protótipo

Com o protótipo finalizado, partiu-se então para testes de ambientação do dispositivo proposto. O teste de campo é importante para identificação de possíveis ajustes ou melhorias no projeto neste projeto ou em projetos futuros.

Antes de partir para a zona rural, foi realizada uma consulta no mapa⁶ de cobertura 2G da Claro na região de Viçosa do Ceará. A Figura 43 demonstra uma visão geral do sinal disponível da operadora que foi utilizada para os testes, no caso a empresa de telefonia celular Claro. Segundo a legenda do mapa disponibilizado, toda a área em verde representa uma cobertura com sinal excelente. Em amarelo, seria a cobertura com sinal bom. Em vermelho, considera-se uma cobertura de sinal regular. Por fim, em branco seria áreas sem cobertura pelo sinal da prestadora do serviço.

Figura 43 – Mapa de cobertura de sinal.



Fonte: Adaptado de Claro (2021)

Ainda conforme Figura 43, foram realizadas marcações em cor azul para indicar o trajeto e as áreas em que o dispositivo foi testado. Para traçar tal marcação, foi comparada cada coordenada enviada pelo dispositivo para o sistema *web* com uma análise visual do Google Maps em modo de visualização por satélites, identificando pontos semelhantes entre os mapas de onde o dispositivo foi acionado. Com isso, cada ponto em azul, representa o local de onde o dispositivo realizou o envio das notificações SMS e os dados de localização, sinal e estado da bateria da para o sistema via GPRS conforme a simulação de furto que foi realizada.

Os experimentos em campo foram realizados em uma propriedade rural privada, distante 6,5 Km do centro de Viçosa do Ceará, cedida para os testes com o dispositivo, e entre o trajeto de Viçosa do Ceará até a propriedade em questão. Na indisponibilidade de realização de experimentos em uma colmeia real, foi utilizada uma caixa de madeira similar ao padrão de

⁶ <https://www.claro.com.br/mapa-de-cobertura>

colmeia *Langstroth*, simulando assim, o mais próximo possível o cenário de um apiário e de uma colmeia real. Na Figura 44, é possível ver o cenário da simulação para testes com o dispositivo proposto.

Figura 44 – Colmeia de teste.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a instalação do dispositivo em uma colmeia real, a princípio, pensou-se em duas possibilidades. Um seria a simplesmente a introdução do dispositivo abaixo das melgueiras, visto que é uma das partes da colmeia de maior dificuldade de acesso por intrusos, inclusive, pela própria característica defensiva das abelhas, contudo, para garantir o espaço abelha alterações nas especificações internas nos quadros é veementemente desaconselhável. A outra possibilidade pensada foi a ocultação do dispositivo através de um compartimento estrategicamente oculto, como exemplo, um fundo falso na colmeia. Como vantagem, esse compartimento oculto traria maior segurança, visto que seria mais difícil localizá-lo na colmeia monitorada. Tal opção de instalação, também possibilitaria a conexão extra a uma bateria externa de maior capacidade, aumentando assim sua autonomia nos processos de detecção, notificação e rastreamento da colmeia em casos de possíveis furtos ou danos causados às colmeias do apiário.

5.9 Análise dos resultados obtidos com o sistema proposto.

Esta seção traz alguns dos principais resultados, conclusões e considerações a respeito dos experimentos realizados com as partes fundamentais que compõem a arquitetura do trabalho proposto.

5.9.1 A rede móvel celular GSM/GPRS

Apesar de grande cobertura, conforme Figura 43, ainda existem certos pontos com sinal de cobertura críticos, principalmente em zona rural mais afastada das torres de transmissão dos sinais de telefonia móvel. Como o dispositivo faz uso da rede móvel celular, ele se comporta como um aparelho celular convencional. Por isso, é altamente recomendável que antes de sua possível implantação em determinada região, seja feita a análise e verificação da disponibilidade do sinal de cobertura. Considerando o fator de disponibilidade de cobertura, o dispositivo operou conforme o que era esperado de acordo com os testes realizados nas fases iniciais do projeto. Ou seja, na presença de sinal da rede GSM/GPRS o dispositivo conseguiu identificar e notificar nas simulações de furto que foram realizadas.

5.9.2 A localização via GPS

Quanto à obtenção das coordenadas de localização, a princípio nos testes realizados em ambiente residencial fechado, o módulo de GPS do dispositivo demorava algo em torno de de 1 a 3 minutos para conseguir obter dados de localização via satélite. Felizmente, na zona rural em que foram feitos os testes, o tempo de obtenção das coordenadas, ficou em torno de 5 segundos a 15 segundos, quando o módulo é acionado.

Figura 45 – Experimento com o GPS do dispositivo em zona rural.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o registro da Figura 45, foi realizado um outro experimento com a localização do dispositivo em um trecho da CE-232 no município de Viçosa do Ceará. Através

do dispositivo, foram emitidos três coordenadas de localização. A primeira consistiu em fixar o ponto inicial de referência para os outros pontos de coordenadas seguintes. Para a segunda coordenada, foi utilizado o distanciamento de 20 metros do ponto inicial, medido localmente com uma fita métrica. Da mesma forma, a terceira e última coordenada emitida pelo dispositivo foi a uma distância de 30 metros do ponto inicial, ou seja, 10 metros após a marca dos 20 metros da segunda coordenada enviada pelo dispositivo. Dessa forma, a fita métrica utilizada proporciona uma precisão maior na medição real do dispositivo com a medição passada pelo GPS do dispositivo e comparada posteriormente via Google Maps.

Nesse experimento foi encontrada uma diferença aproximada de apenas 0,80 metros, entre o ponto inicial e segundo ponto. Já com o ponto inicial e o terceiro, obteve-se uma diferença aproximada de 6,90 metros. Vale ressaltar que mesmo com o grande esforço de tornar tal experimento o mais preciso e confiável possível com os recursos disponíveis, acredita-se que vários fatores podem influenciar em tais resultados obtidos. Por exemplo, possíveis limitações do serviço do Google Maps, como o zoom ou mesmo a manipulação do front-end do mapa para gerar a visualização, ou mesmo, fatores no próprio módulo do dispositivo ou também possíveis restrições nos satélites, por questões de segurança ou uso militar (MICHALSKI; CZAJEWSKI, 2004). De qualquer forma, acredita-se, que tal precisão obtida pelo dispositivo possa contribuir com investigações para a localização ou recuperação da colmeia.

5.9.3 A detecção de danos ou furto

O dispositivo foi previamente configurado na bancada para uma simulação de possíveis tentativas de furtos por possibilidades humanas, que resultem no acionamento do dispositivo. Por exemplo: (i) a abertura da tampa da colmeia, em que primeiro retira-se a cobertura de proteção de chuva e sol, resultado em uma vibração, (ii) o levantamento ou deslocamento da colmeia de sua base, resultando em inclinação ou vibração da colmeia e (iii) uma possível trepidação da colmeia, quando a mesma é transportada por um veículo qualquer. Observou-se, porém, que alguns fatores que possam levar a vibrações ou inclinações semelhantes às atividades humanas, que também podem incutir com o acionamento do dispositivo mesmo sem a ocorrência de uma real tentativa de furto, recorrendo assim, em falso positivo para o caso de furto, não descartando o caso de dano à colmeia. Algumas possibilidades para a ocorrência de falsos positivos para o caso de furto identificadas foram: (i) fatores naturais, como fortes ventanias e tempestades e (ii) tombamento da colmeia por animais de grande porte, por exemplo, o gado no pasto. De

qualquer forma, em caso de notificação enviada pelo dispositivo da ocorrência de um possível furto ou dano em determinada colmeia no apiário, é recomendável, mesmo que na dúvida de uma notificação ser considerada como falso positivo para furto ou dano, é aconselhável sempre que possível realizar a averiguação presencialmente do estado da colmeia no apiário.

5.9.4 As informações sobre os dados enviados

Quanto à precisão dos dados enviados ao sistema *web*, tais dados foram contrastados com outras opções de medições e averiguações descritas a seguir. A Figura 46, por exemplo, mostra os dados enviados pelo dispositivo ao sistema *web*. Os dados mostrados na data 10/10/2021 correspondem aos testes realizados e aos pontos marcados em azul na Figura 43.

Figura 46 – Dados recebidos no sistema.



Data e Hora	Localização	Nº de Satélites	Tensão da Bateria	Sinal RSSI
10/10/2021 17:13:51	Google Maps	10	3.9 V	8
10/10/2021 17:08:19	Google Maps	8	3.8 V	17
10/10/2021 17:01:08	Google Maps	6	3.9 V	13
10/10/2021 16:32:26	Google Maps	12	3.9 V	14
08/10/2021 14:27:15	Google Maps	6	3.9 V	16
08/10/2021 14:25:07	Google Maps	5	3.9 V	14

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tensão da bateria que o dispositivo envia para o sistema foi comparada com a medição direta no dispositivo. A medição foi realizada com um multímetro digital, de precisão julgada considerável para este trabalho, conforme algumas descrições apresentadas do mesmo na subseção 5.9.5. Com isso, em três repetições, obteve-se algo em torno de 0,5 V a 0,8 V de diferença. Tal conclusão se deu tomando como base a tensão medida após a ativação do SIM800L e do módulo GPS pelos *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors* (MOSFETs).

A qualidade de sinal nos locais de testes e os valores enviados pelos dispositivo ao sistema *web*, foram comparados com o mapa de cobertura indicado na Figura 43 e, de certa forma, coincidem com a legenda de qualidade de sinal disponibilizada no mapa e os valores em cada ponto que foram enviados pelo dispositivo.

Por último e não menos importante, conforme subseção 5.9.2, foram comparadas

a precisão das coordenadas enviadas pelo dispositivo e o serviço Google Maps⁷, com base nos pontos de referências memorizados nos locais de testes, para uma posterior navegação exploratória pelo Google Maps. Com base nas subseções 5.4.2 e 5.9.2, identificados os pontos onde o dispositivo foi acionado, constatou-se que a precisão entre as coordenadas analisadas foram bastante semelhantes entre si (visualmente), isso é claro, dentro das limitações de zoom disponível pelo Google Maps para a comparação. Com isso, de fato, o dispositivo pode ter grande contribuição em uma localização precisa e confiável da colmeia supostamente furtada.

5.9.5 A autonomia de bateria e os recursos utilizados

Antes de começar com a descrição dos resultados e considerações a respeito de consumo de bateria pelo dispositivo, achou-se relevante para o trabalho descrever informações técnicas ou características dos componentes utilizados nos experimentos e na obtenção dos resultados informados neste trabalho.

O primeiro componente a ser descrito é a bateria utilizada. O modelo utilizado, trata-se de uma bateria LGDAS31865, da empresa LG Chem⁸. Esse modelo apresenta 2200 mA de corrente nominal, porém, gerou uma certa dúvida quanto a sua tensão nominal. Ao realizar a busca na *web*, por informações técnicas do produto, observou-se que em grande parte das fontes consultadas, que comercializam a mesma, a sua tensão nominal constava como 3,7 volts. No entanto, buscando os *datasheet* do fabricante, encontrou-se dois para uma referência supostamente correspondente à LGDAS31865, que é ICR18650S3 e ambos apresentam tensão nominal de 3,6 volts. Salienta-se que apesar da suposta tensão nominal de 3,6 volts, conforme LG (2011), a mesma admite tensão de carga de 4,2 volts.

O segundo componente utilizado para as medições foi um multímetro IT-Blue⁹ LE-971. Apesar de não ser uma ferramenta de alta precisão laboratorial, o modelo foi utilizado pelo seu custo, disponibilidade e principalmente pela simplicidade do trabalho proposto, em que valores não tão precisos não afetariam a prototipação e resultados simplificados com algumas medições de corrente e voltagem. Conforme manual disponibilizado com o produto, o modelo apresenta para tensão *Direct Current* (DC) e *Alternating Current* (AC) precisão de 1.2 % em escala de 200 mV, 0.5 % para escala de 2 V, 20 V, 200 V e 1.0 % para a escala de 1000 V. Para medição de corrente, em escala *Direct Current Amperage* (DCA) de 200 uA apresenta precisão

⁷ <https://www.google.com.br/maps/preview>

⁸ www.lgchem.com

⁹ www.it-blue.com.cn

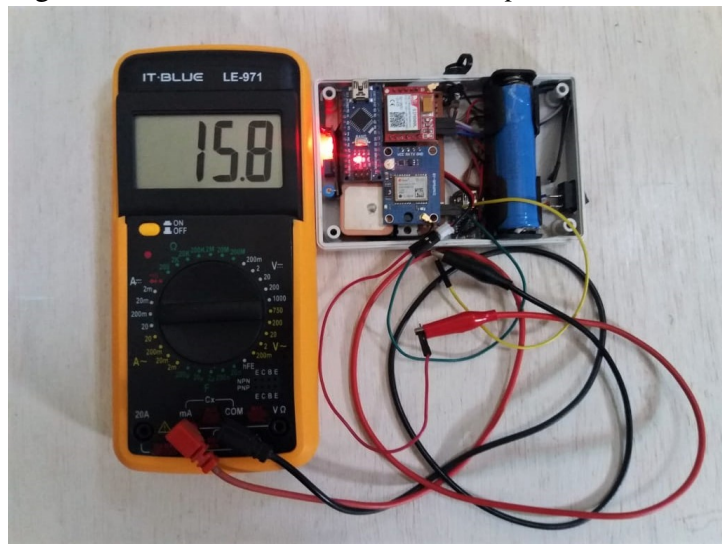
de 2 %, em 2 mA e 20 mA, apresenta 1 %. Em escala DCA de 200 mA, apresenta 1.5 %. Em escala DCA de 20 A, apresenta precisão de 2.5 %. Como a escala de corrente alternada do aparelho não foi utilizada, não viu-se necessidade de informá-la neste trabalho.

5.9.5.1 As estratégias para economia de bateria adotadas

Referente ao objetivo de melhorar a autonomia do dispositivo, como já mencionado, adotou-se duas estratégias principais. Uma estratégia utiliza recursos de economia de energia com ênfase em manipulações via *software* e a outra estratégia utiliza recursos de economia com ênfase no *hardware* do dispositivo.

A primeira estratégia de diminuir o consumo consiste em aproveitar a funcionalidade do modo *sleep*. Com o uso de tal função implementada no código, o microcontrolador desativa grande parte de suas funcionalidades em execução, até então desnecessárias, ficando disponível o acionamento por interrupção externa. Neste projeto, usou-se o pino 2 para "despertar" o microcontrolador. Com isso, observou-se que o consumo de energia do dispositivo cai para um nível bastante animador. Na Figura 47, com o multímetro em escala DCA de 200 mA, tem-se o consumo aproximado do dispositivo sem o uso do modo *sleep*.

Figura 47 – Consumo sem o modo *sleep*.

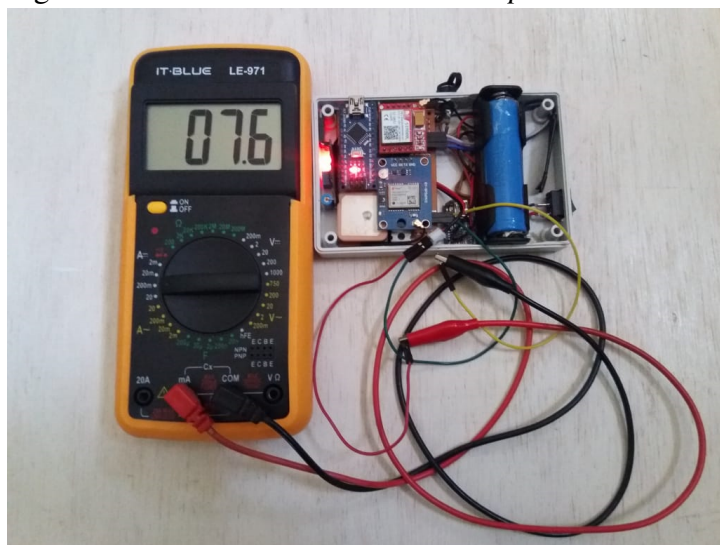


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em contraste com a Figura 47, na Figura 48, com o multímetro também em escala DCA de 200 mA, tem-se o consumo aproximado de energia pelo dispositivo fazendo o uso do modo *sleep*.

Com isso, comprova-se que de fato, o modo *sleep* é altamente útil quando tem-se

Figura 48 – Consumo com o modo *sleep*.



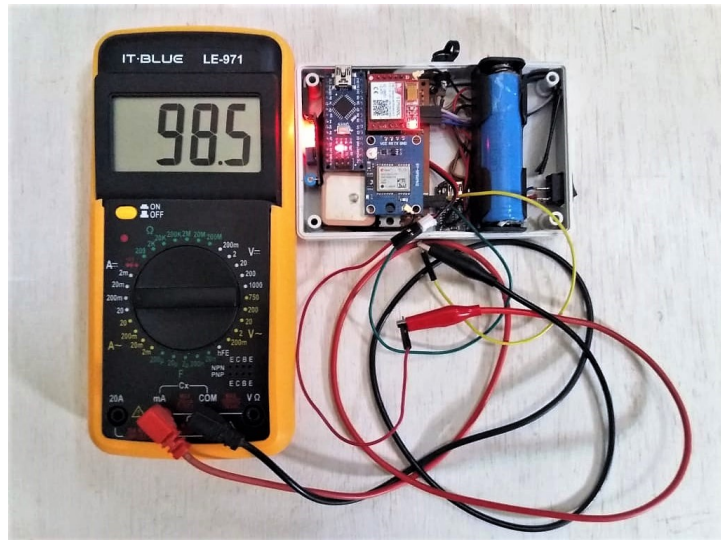
Fonte: Elaborado pelo autor.

a necessidade de otimização de energia consumida pelo microcontrolador. No experimento realizado, observou-se que o consumo de corrente reduziu-se praticamente pela metade.

A segunda estratégia de economia baseada no *hardware*, consiste basicamente em manter os módulos sem alimentação, na ausência de anormalidades na colmeia. Para acionamento dos módulos, tem-se basicamente duas opções. A primeira seria com uso de relé e a segunda com uso de semicondutores. Tecnicamente, sabe-se que o relé, tem como vantagem sua baixa resistência de comutação e geralmente consegue trabalhar com correntes elevadas. Como algumas das desvantagens, tem-se o tamanho que é proporcional a sua capacidade de controle de tensão e corrente. O consumo da bobina interna e o desgaste do mecanismo de contato físico também são fatores que devem ser considerados. Já os semicondutores, como os MOSFETs, apresentam tamanho reduzido, não possuem bobina e por não possuírem partes mecânicas internas não apresentam desgaste na comutação. Conforme, Alexandru e Zhu (2019), como principal desvantagem do uso de um MOSFET, é que os mesmos, em sua maioria, apresentam resistência de comutação bem maior do que os relés. Com isso, neste trabalho, optou-se pelo uso de acionamento via MOSFET. Para isso, utilizou-se dois transistores MOSFET para a execução do chaveamento. Atualmente existem uma grande variedade de transistores para comutação ou chaveamento, por isso, deve-se consultar o *datasheet* do componente a ser escolhido para uso em cada projeto. Por questão de disponibilidade, o IRF630 foi utilizado neste trabalho. Conforme informações técnicas do componente apresentadas em STMicroelectronics (2021), o IRF630 consegue controlar cargas de até 9 amperes, o que é mais que suficiente para o dispositivo do trabalho proposto. A princípio, pensou-se na utilização de um MOSFET para cada módulo a ser

acionado. Porém, devido a resistência de comutação interna do IRF630, isso não foi possível. A resistência interna oferecida pelo IRF630, impossibilitou o módulo SIM800L a realizar a devida conexão na rede móvel, por perda de corrente. Como solução para o problema, resolveu-se utilizar em vez de um MOSFET para cada módulo, dois MOSFET em paralelo para controle simultâneo do módulo GPS e do módulo GSM/GPRS. Como de acordo com Lopes *et al.* (2020), a resistência em paralelo tende a diminuir sua oposição à corrente circulante em um circuito, passou-se então a circular maior corrente e o módulo SIM800L conseguiu realizar sua conexão na rede móvel GSM/GPRS. Na Figura 49, em escala DCA de 200 mA, tem-se o consumo dos módulos acionados. Consumo esse, que seria constante, caso a estratégia de mantê-los desativados eletronicamente não fosse implementada.

Figura 49 – Consumo com os módulos ligados.



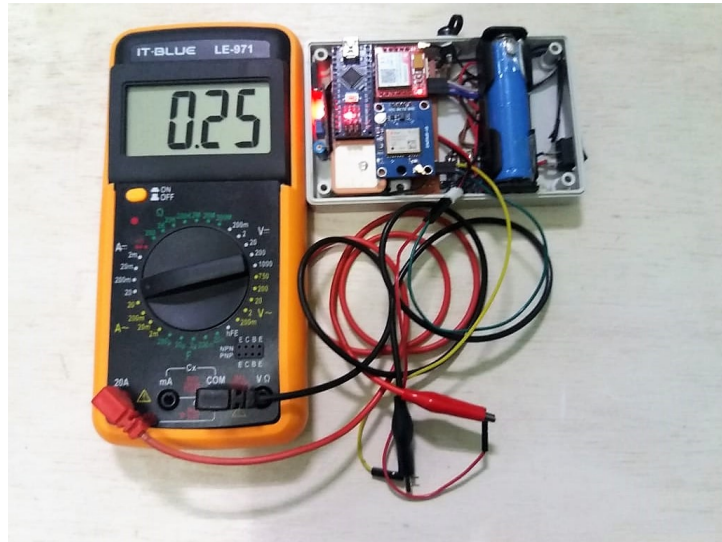
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para fim de análise sobre o consumo de corrente do dispositivo em determinadas situações e configurações, na Figura 50 registou-se o consumo aproximado de corrente do momento de envio de dados pelo dispositivo. Como a exigência de corrente pelo módulo SIM800L é alta, foi necessária a troca de escala de corrente no multímetro utilizado, para que o módulo conseguisse a conexão na rede. Para a medição de 0.25A obtida, o multímetro utilizado ficou em escala DCA de 20A com precisão de 2.5 %, como já mencionado.

5.9.5.2 Os experimentos práticos sobre a autonomia do dispositivo.

Com o intuito de obter uma estimativa mais próxima da realidade em nível prático, realizou-se experimentos temporais com os principais estados de operação possíveis do disposi-

Figura 50 – Consumo aproximado no envio de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

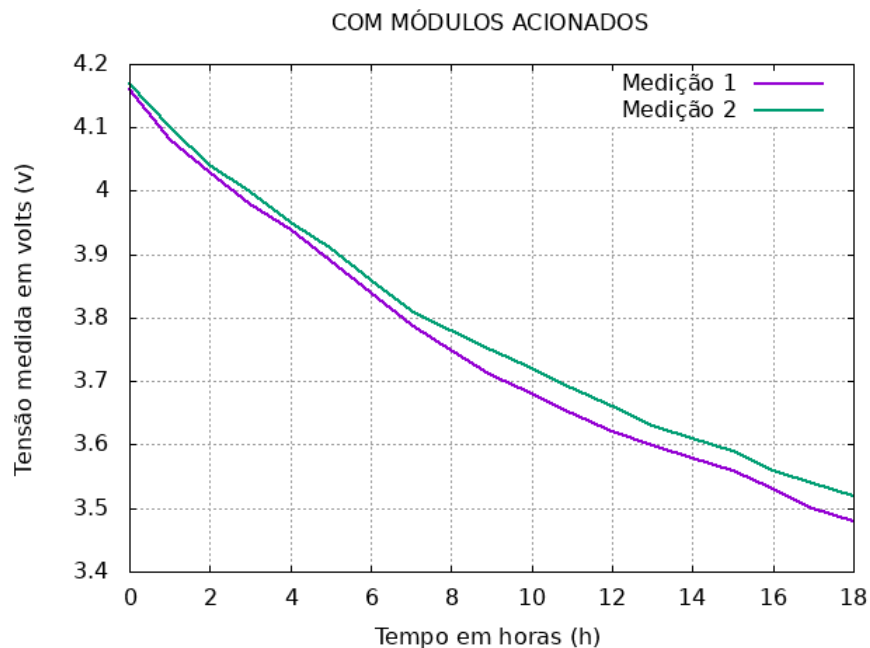
tivo do trabalho proposto. Devido ao custo de tempo de tais experimentos, foram feitas apenas duas sequências de medições para os principais estados de atuação do dispositivo proposto. É sabido que diante da obtenção de consumo de corrente pelo dispositivo, tais experimentos práticos poderiam ser descartados, visto que existem fórmulas matemáticas para o cálculo de autonomia de um dispositivo eletrônico. Em todo caso, os experimentos realizados, podem ser contrastados com tais fórmulas, levando-se em consideração, é claro, os fatores envolvidos em cada possibilidade de obtenção dos resultados. Com isso, foram realizadas algumas sequências de medições para posterior plotagem gráfica dos resultados obtidos, comparando-se a queda de tensão da bateria relativo ao tempo de funcionamento do dispositivo em um determinado intervalo de tempo.

Para a tensão inicial da bateria tentou-se obter valores próximos de 4.2 V, que corresponde ao seu valor de carga completa (LG, 2011). Já para o valor final de tensão da bateria nos testes, tentou-se finalizar em valores entre 3.4 V e 3.5 V, conforme valor de tensão mínima de trabalho do SIM800 de 3.4 V informado por SIMCom (2019) em sua folha de dados técnica.

A primeira sequência de medições consistiu em coletar os dados para a elaboração do gráfico apresentado na Figura 51. Com uma sequência de duas medições consecutivas com o dispositivo sem o modo *sleep* e com os módulos acionados ao longo de todo o experimento. Tentou-se iniciar e finalizar cada sequência com o valor de tensão de carga inicial e descarga final o mais próximo possível. Na primeira primeira medição, conforme legenda, a tensão inicial da bateria foi de 4.16 V e finalizou-se com 3.48 V. Com isso, o intervalo mensurado correspondeu a 18 horas no total. Na segunda medição, conforme legenda, a tensão inicial da bateria foi de 4.17

V e finalizou-se com 3.52 V. Obtendo com o intervalo de tensão informado as respectivas 18 horas.

Figura 51 – Autonomia com módulos acionados.

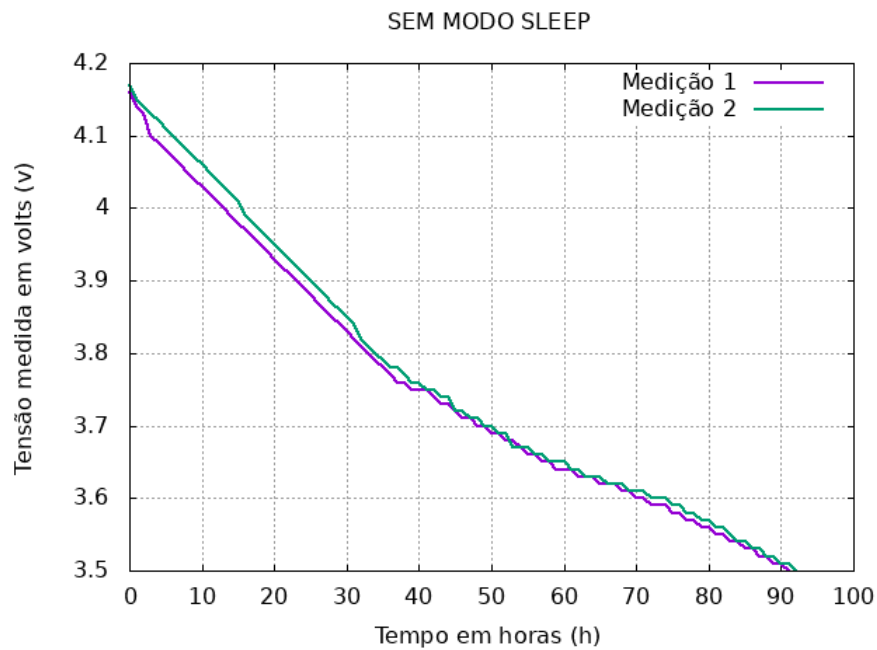


Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda sequência consistiu em coletar os dados para a elaboração do gráfico apresentado na Figura 52. Também com uma sequência de duas medições consecutivas com o dispositivo sem o modo *sleep* e com os módulos de GPS e GSM/GPRS desativados ao longo de todo o experimento. Da mesma forma, também tentou-se iniciar e finalizar cada sequência com o valor de tensão de carga inicial e descarga final o mais próximo possível. Na primeira primeira medição, conforme legenda, a tensão inicial da bateria foi também de 4.16 V e finalizou-se com 3.50 V. Com isso, o intervalo mensurado correspondeu a 91 horas no total, para a primeira medição. Na segunda medição, conforme legenda, a tensão inicial da bateria foi de 4.17 V e finalizou-se com 3.50 V. Obtendo com o intervalo de tensão informado 92 horas.

A terceira e última sequência de medições, consistiu em coletar os dados para a elaboração do gráfico apresentado na Figura 53. Também foi realizada com uma sequência de duas medições consecutivas com o dispositivo, dessa vez, em modo *sleep*. Como nas sequências anteriores, também tentou-se iniciar e finalizar cada sequência com o valor de tensão de carga inicial e descarga final o mais próximo possível. Na primeira primeira medição, conforme legenda, a tensão inicial da bateria foi de 4.18 V e finalizou-se com 3.49 V. Com isso, o intervalo mensurado correspondeu a 192 horas no total, para a primeira medição. Na segunda medição,

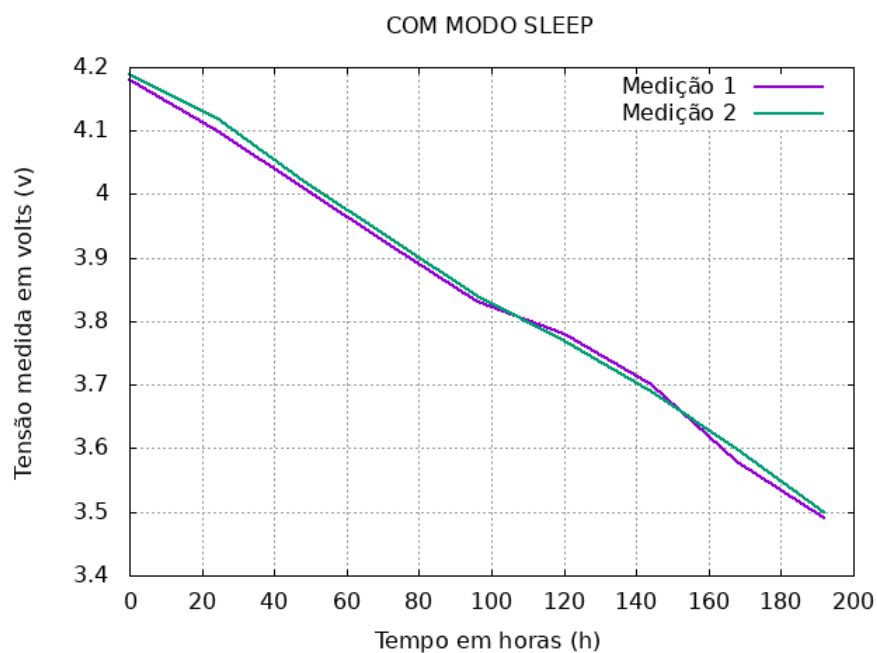
Figura 52 – Autonomia sem o modo Sleep.



Fonte: Elaborado pelo autor.

conforme legenda, a tensão inicial da bateria foi de 4.19 V e finalizou-se com 3.50 V. Obtendo com o intervalo de tensão informado 192 horas. Nesta sequência, devido a baixa queda de tensão oferecida em modo *sleep*, a coleta da tensão mensurada na bateria ocorreu a cada 24 horas.

Figura 53 – Autonomia em modo *sleep*.

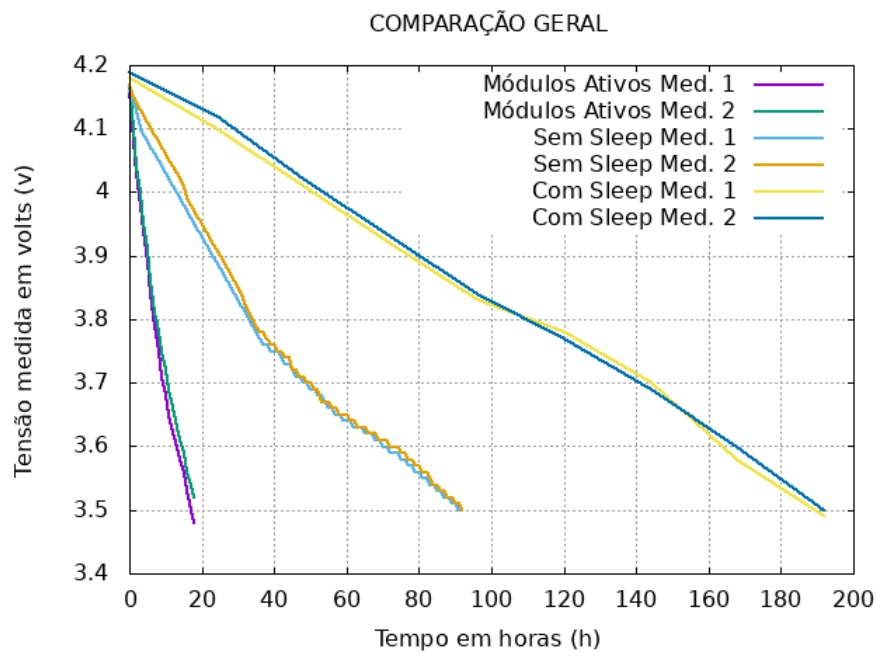


Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o resultado obtido nas medições anteriores, elaborou-se um quarto gráfico

contendo todas as sequências de medições realizadas. Conforme Figura 54, é possível ter uma visão geral de cada estado de autonomia de bateria do dispositivo do trabalho proposto. Salienta-se novamente que tais resultados obtidos, trata-se de uma estimativa obtida a partir dos testes realizados com a bateria, protótipo e instrumento de medição informados anteriormente. Por isso, deve-se levar em consideração que para uma maior confiabilidade, seria necessário repetir o processo por um número maior de vezes, inclusive, identificando possíveis fatores que possam causar grandes ou pequenas variações nos resultados obtidos.

Figura 54 – Comparação geral das medições.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gráficos apresentados foram criados utilizando a ferramenta GNUPLOT, e os dados utilizados na plotagem estão disponíveis no apêndice C deste trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma proposta de um sistema simplificado de detecção e notificação, com possibilidade de rastreamento, para casos de furtos de colmeias de abelhas. Um dos propósitos principais do sistema desenvolvido é oferecer uma possível solução de baixo custo e de fácil implantação para uma problemática enfrentada pelos apicultores que é o furto de colmeias. Para isso, foram selecionados componentes de uso livre, de baixo custo e tecnologias que facilitam o desenvolvimento e implantação do dispositivo no cenário ao qual foi planejado, que é o cenário da apicultura. Para que os objetivos fossem alcançados, foi necessária uma série de pesquisas aprofundadas sobre Apicultura, Internet das Coisas e Rede Móvel Celular, que foram a base da fundamentação teórica deste trabalho.

Para evitar repetição do que já foi tratado anteriormente, cada seção e subseção aqui referenciada, trata de procedimentos ou observações importantes já mencionadas na mesma.

Conforme seção 5.1, dada a simplicidade do sistema proposto e por se tratar de um protótipo inicial, conforme já mencionado, é possível ou até mesmo esperado, que ao longo de seu uso ocorram novas mudanças nos requisitos. Mudanças essas que podem ser influenciadas pelo surgimento de novas tecnologias, custos, viabilidades ou qualquer outra possibilidade identificada futuramente. Os requisitos principais identificados neste trabalho, resultaram em uma fatoração dos objetivos específicos e de uma síntese de questões identificadas no momento de pesquisa da fundamentação teórica, principalmente sobre apicultura.

Partindo das pesquisas realizadas previamente, projetou-se a arquitetura do sistema proposto. Conforme seção 5.2, a arquitetura elaborada, resultou de um compilado a partir de todo o processo de pesquisa inicial. Além de descrever previamente o funcionamento de todo o sistema, a arquitetura elaborada reflete os objetivos do trabalho proposto, que resumidamente abrange: simplicidade, custo reduzido e possibilidade de novas mudanças. Ou seja, uma arquitetura de início simples e mutável conforme necessidades futuras. Dessa forma, alcançou-se o primeiro objetivo específico deste trabalho, que foi definir uma arquitetura flexível às necessidades e recursos dos apicultores.

Referente aos testes iniciais com os módulos e a fase da prototipação, para a parte dos testes realizados com cada módulo, antes da prototipação, as informações descritas na seção 5.3 foram fundamentais para mitigar a complexidade dos processos de pré e pós testes e já vislumbrar a prototipação do dispositivo final. Apesar de uma pesquisa prévia, os testes individuais e em conjunto com os módulos, foi uma parte do trabalho que gerou certa tensão,

visto que tinha-se até então, pouco conhecimento prático sobre os mesmos. Passada a fase bem sucedida de testes de integração com os módulos, a fase da prototipação foi relativamente rápida, dados os conhecimentos básicos em eletrônica já previamente adquiridos antes da fase de prototipação deste trabalho. Dentre as principais expectativas sobre a viabilidade do dispositivo para uso, a seção 5.8 que trata de testes em campos com o sistema proposto, trouxe resultados iniciais, até certo ponto, satisfatórios mesmo com o uso de *hardwares* livres como o Arduino Nado. Com isso, a partir uso de tais tecnologias de uso livre utilizadas na implementação do sistema proposto, identifica-se que o segundo objetivo definido na subseção 1.1.2 também foi atendido.

Nos resultados obtidos com seu alcance territorial, o dispositivo trouxe resultados favoráveis, visto que utiliza a rede móvel celular, que tem grande abrangência, inclusive mundial. É óbvio, que por se tratar de um dispositivo com um módulo de rede celular, também traz consigo as limitações da rede móvel celular, como exemplo, a deficiência de uma boa cobertura de sinal em algumas regiões pouco habitadas e consequentemente fora das áreas de coberturas das operadoras de prestação de serviços da rede móvel celular. Já a parte da localização, por GPS, tem uma certa vantagem em regiões rurais em relação à rede móvel celular. Enquanto a o sinal das operadoras possui maior qualidade em zonas urbanas, por estarem próximas das estações de transmissão, com o sinal recebido recebido pelo módulo GPS ocorre praticamente o oposto, visto que em ambiente rural os sinais vindos dos satélites são recebidos pelo módulo GPS com maior facilidade, sem obstruções ou reflexão do sinal por edificações urbanas. O uso do GPS, teve papel principal para atender ao quarto objetivo, que é localizar a colmeia remotamente, para uma possível recuperação ou identificação dos responsáveis pelo dano ou furto.

Sobre a parte de detecção de uma possível tentativa de furto, conforme o que trata-se na subseção 5.9.3, o módulo SW-420 teve bons resultados no quesito detecção de vibrações. Por ser um módulo ativo, com possibilidades de ajuste de sensibilidade, sua escolha até então para o projeto, continua sendo mantida. Sobre o propósito de atender ao terceiro objetivo deste trabalho que é a emissão de alerta de dano ou furto da colmeia, o sistema contou com três possibilidades além do módulo alarme opcional descrito na arquitetura. As possibilidades implementadas e utilizadas de notificação foram via SMS, chamada de voz e correio eletrônico. Ou seja, o apicultor é notificado de duas formas distintas: via rede GSM e via Internet.

A proposta deste trabalho também contou com um protótipo de um sistema *web* simples e de rápida implantação utilizando tecnologias e serviços gratuitos. Conforme 5.6, para

obtenção dos resultados com o sistema, foi utilizado um serviço de hospedagem gratuita para utilização e testes temporários. Até então, trata-se de um sistema bem simples, com autenticação de usuário, base de dados e design responsivo para dispositivos mobile. Como melhorias futuras para o sistema, pensa-se em torná-lo bem mais seguro, incluir novas funcionalidades e disponibilizar uma versão em aplicativo.

Tratando-se dos resultados com os testes da autonomia do dispositivo, na subseção 5.9.5, descreve-se uma série de procedimentos que foram realizados com o dispositivo. Com a decisão de realizar alguns procedimentos práticos, foi uma fase um tanto quanto demorada. Com os resultados obtidos nos experimentos de consumo e respectivamente autonomia do dispositivo, chegou-se a conclusão que, de fato, conseguiu-se chegar ao quinto e último objetivo específico definido neste trabalho, que foi a otimização do consumo consideravelmente utilizando técnicas de economia, baseadas em *software* e *hardware*.

Como considerações finais, é notório que o sistema, bem como o dispositivo físico proposto possam sim passar por melhorias e acertos futuros, seja a curto, médio e longo prazo. Porém, neste trabalho, objetivou-se o desenvolvimento de um sistema baseado em IoT de baixo custo, de simples implantação e que possuisse longo alcance de monitoramento. Com isso, para conseguir alcançar tais requisitos e objetivos, foram utilizados componentes de custos reduzidos e de uso livre, arquiteturas e tecnologias já com uma boa infraestrutura em uso, como é o caso das redes de telefonia móvel celular GSM/GPRS bem como o GPS, que ainda encontra-se disponível e de forma gratuita.

6.1 Trabalhos futuros e melhorias

Como trabalhos futuros, pretende-se, principalmente, realizar uma série de novos experimentos em cima do protótipo atual, que resultem em melhorias que sejam realmente significativas para o projeto. Como exemplo, a possibilidade de adição de mais um módulo de percepção, caso uma análise, a médio ou longo prazo identifique tal necessidade, testes de ganho de sinal com outros modelos de antenas GSM/GPRS, adição de mais uma célula de bateria e dentre outras possibilidades. Além disso, para suprir áreas onde o alcance do sinal das operadoras é irregular ou inexistente, cogita-se a possibilidade de elaboração de um dispositivo específico para tal necessidade. No entanto, observa-se que essas e outras possibilidades de melhorias devem ser bem estudadas, visto que a adição de novos recursos e componentes podem impactar no propósito do dispositivo, no consumo de bateria, no custo final do projeto e na sua viabilidade

de implantação e uso.

Portanto, cada ideia de melhoria futura deverá ser bem estudada, visando principalmente, seu custo de implantação e viabilidade de modo geral. Como este trabalho visava atender a objetivos específicos, de flexibilidade na arquitetura, simplicidade na implantação e custos reduzidos, manteve-se tais características até então.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRU, C. A.; ZHU, D. Comparisons of mosfet and relay switches in impedance matching networks for wireless power transfer. In: IEEE. **2019 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC)**. [S. l.], 2019. p. 269–273.
- ALIEXPRESS. **Smart Home IoT Sensor Kit**. 2021. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/32824392032.html>. Acesso em: 07 jun. 2021.
- ALMEIDA, J. M. F. **Breve história da Internet**. Braga: Universidade do Minho. Departamento de Sistemas de Informação (DSI), 2005.
- ALVES, D.; PEIXOTO, M.; ROSA, T. **Internet Das Coisas (IoT): Segurança e privacidade dos dados pessoais**. [S. l.]: Alta Books, 2021.
- ALVES, E. M. **Identificação da flora e caracterização do mel orgânico de abelhas africanizadas das ilhas Floresta e Laranjeira, do alto rio Paraná**. Maringá (PR): Universidade Estadual de Maringá, 2008.
- ARDUINO.CC. **Featured products**. 2021. Disponível em: <https://store-usa.arduino.cc>. Acesso em: 07 jun. 2021.
- AZEVEDO, A. R. d. *et al.* **Produção de alimentos e mudanças climáticas: a importância da agroecologia e da apicultura como alternativas para mitigação de impactos**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.
- BRAGA, A. R.; GOMES, D. G.; ROGERS, R.; HASSLER, E. E.; FREITAS, B. M.; CAZIER, J. A. A method for mining combined data from in-hive sensors, weather and apiary inspections to forecast the health status of honey bee colonies. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 169, p. 105161, 2020.
- BRITO, L. L. F.; MIRANDA NETO, M.; OLIVEIRA, M. R. F.; MORAES, I. A.; MUNIZ, V. A. D. O. Protocolos de comunicação para internet of things (iot). **Intercursos Revista Científica**, [S. l.], v. 17, n. 1, 2018.
- BURHAN, M.; REHMAN, R. A.; KHAN, B.; KIM, B.-S. Iot elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey. **Sensors, Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, [S. l.], v. 18, n. 9, p. 2796, 2018.
- CARRION, P.; QUARESMA, M. Internet da coisas (iot): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. **Human Factors in Design**, [S. l.], v. 8, n. 15, p. 049–066, 2019.
- CARVALHO, A. A. D.; ANTUNES, F. O. C. S. **Sistema remoto de detecção e prevenção de incêndios multi-sensor em ambiente residencial**. Dissertação (B.S. thesis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- CARVALHO, G.; SANTOS, M.; COSTA, J. Analise de desempenho da rede gsm/gprs. In: SBMO. **X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica (SBMO)**. [S. l.], 2002.
- CETINKAYA, T. S.; TUNA, K. C.; OKATAN, A. Hive tracking and early warning system by using embedded system technology. **Computational Intelligence & Wireless Sensor Networks**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2019.

CLARO. **Mapa de cobertura**. 2021. Disponível em: <https://www.claro.com.br/mapa-de-cobertura>. Acesso em: 22 dez. 2021.

CONSONNI, D. **História da engenharia das comunicações: personagens e fatos**. [S. l.: s. n.], 2019.

CORREA, J. A. C.; MORA, S. B. S.; DELGADO, B. M.; IBARRA, D. G.; LÓPEZ-BUSTAMANTE, O. Sistema de geolocalización de vehículos a través de la red gsm/gprs y tecnología arduino. **Revista EIA**, Escuela de ingeniería de Antioquia, v. 16, n. 31, p. 145–157, 2019.

COSTA, I. R.; PINTO, L. F. C. **A evolução dos dispositivos de armazenamento de dados na perspectiva da história**. São Luís: Universidade Federal do Maranhão, 2017.

DIAS, K. L.; SADOK, D. F. H. Internet móvel: tecnologias, aplicações e qos. In: MACÊDO, R. J. A., FARINES, J.M. **Livro texto dos minicursos**. Salvador: SBC, LARC, 2001. p. 137–185.

FREITAS, D. G. F. **Nível tecnológico e competitividade da produção de mel de abelha (*Apis mellifera*) no Ceará**. [S. l.: s. n.], 2003.

G1. **Para evitar furtos de colmeias e mel, apicultor coloca cadeados em caixas de abelhas**. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/para-evitar-furtos-de-colmeias-e-mel-apicultor-coloca-cadeado-em-caixas-de-abelhas.ghtml>. Acesso em: 03 julho 2021.

GRUBER, V. **Sistema de monitoramento remoto baseado em rede de celular GSM/GPRS para gerenciamento de desgaste de pastilha de freio e vibração da torre em aerogeradores**. [S. l.: s. n.], 2007.

GUIMARÃES, D. A. Introdução às comunicações móveis. **Revista INATEL Telecomunicações**, [S. l.], v. 1, n. 01, 1998.

KUSHNER, D. The making of arduino. **IEEE spectrum**, [S. l.], v. 26, 2011.

LAUTHARTE, D. M.; VALENTIM, T. T. de M.; MEIRELLES, R. N. *et al.* Furto na atividade de apicultura e meliponicultura. In: **IX SIEPEX-IX Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão**. [S. l.: s. n.], 2019.

LG. **Rechargeable Lithium Ion Battery Model: Icr18650 s3 2200mah**. 2011. Disponível em: <http://www.batteryspace.com/prod-specs/4869.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

LOPES, W. B. S. *et al.* **Estudo de resistores ôhmicos e não-ôhmicos com uso de materiais de baixo custo**. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2020.

MACIEL, F. A. O.; BRAGA, A. R.; SILVA, T. L. C. da; FREITAS, B. M.; GOMES, D. G. Reconhecimento de padrões sazonais em colônias de abelhas *apis mellifera* via clusterização. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 74–88, 2018.

MADAKAM, S.; LAKE, V.; LAKE, V.; LAKE, V. *et al.* Internet of things (iot): A literature review. **Journal of Computer and Communications**, Scientific Research Publishing, [S. l.], v. 3, n. 05, p. 164, 2015.

- MAIA, G.; GOMES, L. **O papel dos polinizadores na agricultura brasileira**. 2021. Disponível em: <https://pp.nexojournal.com.br/Dados/2021/04/06/O-papel-dos-polinizadores-na-agricultura-brasileira>. Acesso em: 03 jun. 2021.
- MARTINS, L. B. **Sistema Antifurto Integrado ao Monitoramento de Presença de Crianças no interior de veículos utilizando GPRS**. [S. l.: s. n.], 2010.
- MEIKLE, W.; HOLST, N. Application of continuous monitoring of honeybee colonies. **Apidologie**, Springer, [S. l.], v. 46, n. 1, p. 10–22, 2015.
- MEIRELLES, R. N.; PIRES, P. R. S.; LIMA, A. G. B.; VALENTIM, T. T. de M.; SILVA, D. de O. O furto como um fator limitante na criação de abelhas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, [S. l.], v. 26, n. 1, p. 82–91, 2020.
- MENDES, C. d. G.; SILVA, J. B. A. d.; MESQUITA, L. X. d.; MARACAJÁ, P. B. As análises de mel: revisão. **Revista Caatinga**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 7–14, 2009.
- MICHALSKI, A.; CZAJEWSKI, J. The accuracy of the global positioning systems. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, IEEE, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 56–60, 2004.
- MOJARAVSCKI, D. F. *et al.* **Apicultura digital**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2018.
- MUTSAERS, M.; BLITTERSWIJK, H. v.; LEVEN, L.; KERKVLIT, J.; WAERDT, J. Produtos apícolas: propriedades, processamento e comercialização. **Agromisa/CTA**, [S. l.], 2006.
- PEGORARO, A.; FERRAZ, M. M.; PFAW, E.; MOURA, M. E. K. d.; NUNES, T. d. M. D.; NIENOW, V. V.; BORIO, C. L.; KRÜGER, E.; TEIXEIRA, R. d. A.; LIMA, M. d. A. O. d. *et al.* **Aspectos práticos e técnicos da apicultura no Sul do Brasil**. [S. l.: s. n.], 2017.
- PIROTTI, R.; ZUCCOLOTTO, M. Transmissão de dados através de telefonia celular: arquitetura das redes gsm e gprs. **Revista Liberato**, [S. l.], v. 10, n. 13, p. 81–90, 2009.
- RONCHI, E. L. *et al.* **Análise de redes de comunicação sem fio para aplicações industriais**. Florianópolis: [S. n.], 2020.
- ROTTA, G.; CHARÃO, A.; DANTAS, M. Um estudo sobre protocolos de comunicação para ambientes de internet das coisas. In: SBC. **Anais da XVII Escola Regional de Alto Desempenho do Estado do Rio Grande do Sul**. [S. l.], 2017.
- SANTOS, B. P.; SILVA, L. A.; CELES, C. S.; NETO, J. B. B.; PERES, B. S.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. A. **Internet das coisas: da teoria à prática**. [S. l.: s. n.], 2016.
- SANTOS, J. O. d. *et al.* **Um estudo sobre a evolução histórica da apicultura**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2015.
- SCHMITZ, M. S.; GRIEBELER, A.; SILVA, V. H. L. da. A importância das abelhas para a humanidade e o meio ambiente. In: EDIURCAMP. **ANAIS CONGREGA MIC**. [S. l.], 2017. p. 9. ISBN: 978-91-637-4473-0.
- SILVA, A. d. L. **Monitoramento não invasivo de colmeias através da IOT**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2017.

SILVA, D. V. da; SOUZA, B. P. de; GONÇALVES, T. G.; TRAVASSOS, G. Uma tecnologia para apoiar a engenharia de requisitos de sistemas de software iot. In: **23rd Iberoamerican Conference on Software Engineering**. [S. l.: s. n.], 2020.

SILVA, M. M. B. d. *et al.* **Projeto e desenvolvimento de um protocolo de comunicação para dispositivo vestível utilizando Bluetooth Low-Energy**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

SILVEIRA, D. C. d. *et al.* **Avaliação da agressividade de abelhas *Apis mellifera* L. africanizadas no sertão da Paraíba**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

SIMCOM. **SIM800 Hardware Design V1.10**. 2019. Disponível em: <https://www.simcom.com/product/SIM800.html>. Acesso em: 12 ago. 2021.

SIMCOM. **SIM800 Series AT Command Manual V1.12**. 2020. Disponível em: <https://www.simcom.com/product/SIM800.html>. Acesso em: 29 jun. 2021.

SOARES NETO, J. *et al.* **Indicador de Desempenho Apícola para Qualificação da Apicultura no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011.

SOARES, R. F. R. D. B.S. thesis. **Comparação entre protocolos da camada de aplicação para IoT**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019.

STMICROELECTRONICS. **IRF630 Datasheet**. 2021. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/irf630.pdf>. Acesso em: 11 out. 2021.

U-BLOX. **NEO-6 u-blox 6 GPS Modules**. 2011. Disponível em: <https://www.u-blox.com>. Acesso em: 12 jul. 2021.

VIDAL, M. d. F. **Evolução da Produção de Mel na área de atuação do BNB**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2020.

WOLFF, L. F.; LOPES, M. d. R.; PEREIRA, F. d. M.; CAMARGO, R. C. R. de; VIEIRA NETO, J. **Localização do apiário e instalação das colméias**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.

WOLOWSKI, M.; AGOSTINI, K.; RECH, A.; VARASSIN, I.; MAUÉS, M.; FREITAS, L.; CARNEIRO, L.; BUENO, R. d. O.; CONSOLARO, H.; CARVALHEIRO, L. *et al.* **Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil**. São Carlos: Cubo, 2019.

APÊNDICE A – CÓDIGOS-FONTES UTILIZADOS NO DISPOSITIVO FÍSICO

O código-fonte 1 é o responsável pela execução das ações a serem executadas no dispositivo físico. Tal código implementa o modo *sleep*, a detecção de uma possível tentativa de furto, a obtenção das coordenadas de localização atual, o envio de notificação pela rede móvel celular GSM ao apicultor e o envio dos dados ao servidor do sistema *web* via rede GPRS.

Código-fonte 1 – Código utilizado no micro microcontrolador

```

1 // #####
2 // #           By: Tiago A. Fontenele           #
3 // #           Date: 29/09/2021                 #
4 // #           Github: github.com/71460-4-F      #
5 // #####
6
7 #include <SoftwareSerial.h>
8 #include <avr/sleep.h>
9 #include <TinyGPS.h>
10
11 #define GPS_RX 3
12 #define GPS_TX 4
13 #define GSM_RX 11
14 #define GSM_TX 10
15 #define SW_IN 2
16 #define SW_VCC 6
17 #define ATV_MODS 5
18
19 TinyGPS gps;
20 SoftwareSerial sim800(GSM_RX, GSM_TX);
21 SoftwareSerial gpsSerial(GPS_RX, GPS_TX);
22 int vibracoes = 0;
23 int sats = 0;
24 boolean flagFurto = false;
25 boolean notifi = false;

```

```
26 float flat, flon;
27 bool newData = false;
28 int tente = 30;
29 String url;
30
31 void setup() {
32     Serial.begin(9600);
33     while (!Serial);
34     sim800.begin(9600);
35     delay(1000);
36     gpsSerial.begin(9600);
37     delay(1000);
38     pinMode(SW_IN, INPUT);
39     pinMode(SW_VCC, OUTPUT);
40     pinMode(ATV_MODS, OUTPUT);
41     digitalWrite(ATV_MODS, LOW);
42     digitalWrite(SW_IN, LOW);
43     digitalWrite(SW_VCC, HIGH);
44 }
45
46 void chamaGPS() {
47     flat = 0;
48     flon = 0;
49     newData = false;
50     unsigned long chars;
51     for (unsigned long start = millis(); millis() - start <
52         1000;) {
53         while (gpsSerial.available()) {
54             char c = gpsSerial.read();
55             if (gps.encode(c)) {
56                 newData = true;
57             }
58         }
59     }
60 }
```

```

57         }
58     }
59     if (newData) {
60         gps.f_get_position(&flat, &flon);
61         sats = (gps.satellites() == TinyGPS::
62             GPS_INVALID_SATELLITES || gps.satellites() ==
63             255 ? 0 : gps.satellites());
64         if (sats > 999) {
65             sats = 999;
66         }
67     }
68 }
69
70 void padraoVibra() {
71     if (digitalRead(SW_IN) == HIGH) {
72         vibracoes++;
73     }
74     if (vibracoes == 2) {
75         flagFurto = true;
76         vibracoes = 0;
77     }
78     if (flagFurto) {
79         digitalWrite(ATV_MODS, HIGH);
80         notifi = false;
81         delay(1000);
82         formaUrls();
83         delay(1000);
84     }
85 }
86
87 void sms() {
88     testSim800();

```

```

87     delay(2000);
88     sim800.write("AT+CMGF=1\r\n");
89     delay(2000);
90     sim800.write("AT+CMGS=\"<num-fone>\"\r\n");
91     delay(1000);
92     sim800.println("COLMEIA 01");
93     delay(1000);
94     sim800.print(url);
95     delay(1000);
96     sim800.write((char)26);
97     delay(1000);
98     url = "";
99     leSerialSim();
100    delay(4000);
101    sim800.println("ATD+ <num-fone>;");
102    leSerialSim();
103    delay(10000);
104    sim800.println("ATH");
105    leSerialSim();
106    delay(2000);
107 }
108
109 void gprs() {
110     sim800.println("AT+SAPBR=3,1,\"CTYPE\",\"GPRS\");
111     leSerialSim();
112     delay(2000);
113     sim800.println("AT+SAPBR=3,1,\"APN\",\"<apn-operadora  

>\");
114     leSerialSim();
115     delay(2000);
116     sim800.println("AT+SAPBR=2,1");
117     leSerialSim();

```

```

118     delay(2000);
119     sim800.println("AT+SAPBR=1,1");
120     leSerialSim();
121     delay(3000);
122     sim800.println("AT+SAPBR=2,1");
123     leSerialSim();
124     delay(1000);
125     sim800.println("AT+HTTPINIT");
126     leSerialSim();
127     delay(2000);
128     sim800.println("AT+HTTPPARA=\"URL\", \"" + url + "\"");
129     leSerialSim();
130     delay(3000);
131     enviaURL();
132     for (int i = 0; i < 3 && httpResp() == false; i++) {
133         sim800.println("AT+HTTPPARA=\"URL\", \"" + url +
134             "\"");
135         leSerialSim();
136         delay(2000);
137         enviaURL();
138     }
139     sim800.println("AT+HTTPTERM");
140     leSerialSim();
141     delay(3000);
142     sim800.println("AT+SAPBR=0,1");
143     leSerialSim();
144     delay(3000);
145     delay(2000);
146     url = "";
147     notifi = true;
148     flagFurto = false;
149     delay(3000);

```

```

149 }
150
151 void formaUrls() {
152     chamaGPS();
153     delay(1000);
154     for (int i = 0; i < tente && flat == 0.0; i++) {
155         gpsSerial.listen();
156         delay(1000);
157         chamaGPS();
158     }
159     delay(1000);
160     url = "https://maps.google.com/?q=" + String(flat, 6) +
161         "," + String(flon, 6) + "&t=h";
162     sms();
163     sim800.flush();
164     url = "";
165     delay(1000);
166     sim800.begin(9600);
167     delay(1000);
168     testSim800();
169     url = "<host>/<dir>/1.php?k=01&p=" + String(flat, 6) +
170         "," + String(flon, 6) + "&s=" + String(sats) + "&t="
171         + nivelBat() + "&a=" + sinalRede();
172     delay(2000);
173     gprs();
174     delay(1000);
175 }
176
177 String sinalRede() {
178     sim800.println("AT+CSQ");
179     delay(200);
180     String result = "";

```

```
178 while (sim800.available()) {
179     char c = sim800.read();
180     result += c;
181 }
182 char res[result.length()];
183 result.toCharArray(res, result.length());
184 String sinal = "";
185 for (auto i : res) {
186     if (isdigit(i)) {
187         sinal += i;
188     }
189     if (i == ',') {
190         break;
191     }
192 }
193 if (sinal == "") {
194     sinal = "0";
195 }
196 return sinal;
197 }
198
199 String nivelBat() {
200     sim800.println("AT+CBC");
201     delay(1000);
202     String result = "";
203     while (sim800.available()) {
204         char c = sim800.read();
205         result += c;
206     }
207     char res[result.length()];
208     result.toCharArray(res, result.length());
209     result = "";
```

```
210     for (auto i : res) {
211         if (isdigit(i)) {
212             result += i;
213             result += '.';
214         }
215         if (i == ',') {
216             result = "";
217         }
218     }
219     result = String(result.toFloat(), 1);
220     return result;
221 }
222
223 boolean httpResp() {
224     sim800.println("AT+HTTPREAD");
225     delay(500);
226     String resp = "";
227     char c;
228     while (sim800.available()) {
229         c = sim800.read();
230         resp += c;
231     }
232     delay(1000);
233     if (resp.indexOf("ok") > -1 && resp.length() < 70) {
234         return true;
235     }
236     else {
237         return false;
238     }
239     resp = "";
240 }
241
```



```
242 void enviaURL() {
243     sim800.println("AT+HTTPACTION=0");
244     delay(500);
245     while (sim800.available()) {
246         if (sim800.available()) {
247             Serial.write(sim800.read());
248         }
249     }
250     delay(10000);
251 }
252
253 boolean testSim800() {
254     int i;
255     for (i = 0; i <= tente && sinalRede() == "0"; i++) {
256         sim800.listen();
257         delay(2000);
258     }
259     if (i == tente) {
260         return false;
261     }
262     return true;
263 }
264
265 void leSerialSim() {
266     delay(500);
267     while (sim800.available()) {
268         if (sim800.available()) {
269             Serial.write(sim800.read());
270         }
271     }
272 }
273
```

```
274 void dorme() {
275     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SW_IN), acorda,
276                     RISING);
277     set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
278     sleep_enable();
279     delay(1000);
280     sleep_cpu();
281 }
282 void acorda() {
283     sleep_disable();
284 }
285
286 void loop() {
287     dorme();
288     if (digitalRead(SW_IN) == HIGH) {
289         padraoVibra();
290     }
291     if (flagFurto == false && notifi == true) {
292         digitalWrite(ATV_MODS, LOW);
293     }
294     delay(100);
295 }
```

APÊNDICE B – CÓDIGOS-FONTES UTILIZADOS NO SISTEMA WEB

O código-fonte 2 é responsável pelo recebimento dos dados via HTTP vindos do dispositivo físico, pelo armazenamento no banco de dados e envio de uma segunda notificação via E-Mail ao apicultor.

Código-fonte 2 – Código utilizado no sistema

```

1
2 <?php
3 // #####
4 // #          By: Tiago A. Fontenele          #
5 // #          Date: 29/09/2021                #
6 // #          Github: github.com/71460-4-F      #
7 // #####
8
9 // add all dependences for e-mail (PHPMailer)
10 // PHPMailer GitHub project: https://github.com/PHPMailer/
    PHPMailer
11
12 include("connect.php");
13
14 $date = date("Y-m-d G:i:s");
15 $key = $_GET["k"];
16 $url = "https://maps.google.com/?q=" . $_GET["p"] . "&t=h";
17 $n_sat = $_GET["s"];
18 $volt = $_GET["t"];
19 $sinal = $_GET["a"];
20
21 if ($key == '<key>') {
22     $query = "INSERT INTO `data_base`.`table` (`timeStamp`
        `, `link_maps`, `n_sat`, `volt_bat`, `sinal`)
23     VALUES ('$date', '" . $url . "', '" . $n_sat . "', '" .
        $volt . "', '" . $sinal . "')";

```

```
24     mysqli_query($conexao, $query);
25     mysqli_close($conexao);
26
27     try {
28         $mail->isSMTP();
29         $mail->Host = 'smtp.service';
30         $mail->SMTPAuth = true;
31         $mail->Username = '<user>';
32         $mail->Password = '<pass>';
33         $mail->Port = '<port>';
34         $mail->setFrom('from', '');
35         $mail->addAddress('mail');
36         $mail->isHTML(true);
37         $mail->Subject = '<Subject>';
38         $mail->Body = 'text';
39     } catch (Exception $e) {
40         $erroLog = "Erro ao enviar mensagem: {$mail->
41             ErrorInfo}";
42     }
```

APÊNDICE C – DADOS COLETADOS NOS TESTES DE AUTONOMIA

As informações contidas neste apêndice, correspondem aos registros dos dados obtidos nos testes práticos de autonomia de bateria do dispositivo. E que foram utilizados na plotagem dos gráficos apresentados neste trabalho. Tais registros foram realizados com o intuito principal de se chegar a uma conclusão a respeito de uma possível estimativa da autonomia do dispositivo nos seguintes cenários: sem o modo *sleep*; com o modo *sleep*; com o módulo SIM800L e o módulo GPS acionados ininterruptamente.

REGISTRO DOS DADOS DE TESTES DE AUTONOMIA DO DISPOSITIVO											
Sem Modo Sleep (Med. 1)		Sem Modo Sleep (Med. 2)		Com Modo Sleep (Med. 1)		Com Modo Sleep (Med. 2)		Com Módulos Acionados (Med.1)		Com Módulos Acionados (Med. 2)	
Horas	Tensão	Horas	Tensão	Horas	Tensão	Horas	Tensão	Horas	Tensão	Horas	Tensão
0	4.16	0	4.17	0	4.18	0	4.19	0	4.16	0	4.17
1	4.14	1	4.15	24	4.10	24	4.12	1	4.08	1	4.10
2	4.13	2	4.14	48	4.01	48	4.02	2	4.03	2	4.04
3	4.10	3	4.13	72	3.92	72	3.93	3	3.98	3	4.00
4	4.09	4	4.12	96	3.83	96	3.84	4	3.94	4	3.95
5	4.08	5	4.11	120	3.78	120	3.77	5	3.89	5	3.91
6	4.07	6	4.10	144	3.70	144	3.69	6	3.84	6	3.86
7	4.06	7	4.09	168	3.58	168	3.60	7	3.79	7	3.81
8	4.05	8	4.08	192	3.49	192	3.50	8	3.75	8	3.78
9	4.04	9	4.07					9	3.71	9	3.75
10	4.03	10	4.06					10	3.68	10	3.72
11	4.02	11	4.05					11	3.65	11	3.69
12	4.01	12	4.04					12	3.62	12	3.66
13	4.00	13	4.03					13	3.60	13	3.63
14	3.99	14	4.02					14	3.58	14	3.61
15	3.98	15	4.01					15	3.56	15	3.59
16	3.97	16	3.99					16	3.53	16	3.56
17	3.96	17	3.98					17	3.50	17	3.54
18	3.95	18	3.97					18	3.48	18	3.52
19	3.94	19	3.96								
20	3.93	20	3.95								
21	3.92	21	3.94								
22	3.91	22	3.93								
23	3.90	23	3.92								
24	3.89	24	3.91								
25	3.88	25	3.90								
26	3.87	26	3.89								
27	3.86	27	3.88								
28	3.85	28	3.87								
29	3.84	29	3.86								
30	3.83	30	3.85								
31	3.82	31	3.84								
32	3.81	32	3.82								
33	3.80	33	3.81								
34	3.79	34	3.80								
35	3.78	35	3.79								
36	3.77	36	3.78								
37	3.76	37	3.78								
38	3.76	38	3.77								
39	3.75	39	3.76								
40	3.75	40	3.76								
41	3.75	41	3.75								
42	3.74	42	3.75								
43	3.73	43	3.74								
44	3.73	44	3.74								
45	3.72	45	3.72								
46	3.71	46	3.72								
47	3.71	47	3.71								
48	3.70	48	3.71								
49	3.70	49	3.70								
50	3.69	50	3.70								
51	3.69	51	3.69								
52	3.68	52	3.69								
53	3.68	53	3.67								
54	3.67	54	3.67								
55	3.66	55	3.67								
56	3.66	56	3.66								
57	3.65	57	3.66								
58	3.65	58	3.65								
59	3.64	59	3.65								
60	3.64	60	3.65								
61	3.64	61	3.64								
62	3.63	62	3.64								
63	3.63	63	3.63								
64	3.63	64	3.63								
65	3.62	65	3.63								
66	3.62	66	3.62								
67	3.62	67	3.62								
68	3.61	68	3.62								
69	3.61	69	3.61								
70	3.60	70	3.61								
71	3.60	71	3.61								
72	3.59	72	3.60								
73	3.59	73	3.60								
74	3.59	74	3.60								
75	3.58	75	3.59								
76	3.58	76	3.59								
77	3.57	77	3.58								
78	3.57	78	3.58								
79	3.56	79	3.57								

80	3.56	80	3.57								
81	3.55	81	3.56								
82	3.55	82	3.56								
83	3.54	83	3.55								
84	3.54	84	3.54								
85	3.53	85	3.54								
86	3.53	86	3.53								
87	3.52	87	3.53								
88	3.52	88	3.52								
89	3.51	89	3.52								
90	3.51	90	3.51								
91	3.50	91	3.51								
		92	3.50								