

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA

ANDERSON COTTICA
VICTOR HUGO LAYNEZ

**SISTEMA RESIDENCIAL DE MONITORAMENTO DE ÁGUA
BASEADO EM TECNOLOGIA LORA™**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2019

ANDERSON COTTICA
VICTOR HUGO LAYNEZ

**SISTEMA RESIDENCIAL DE MONITORAMENTO DE ÁGUA
BASEADO EM TECNOLOGIA LORA™**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrônica como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Sens Chang

Co-orientador: Prof. Dr. Hermes I. Del Monego

CURITIBA

2019

ANDERSON COTTICA
VICTOR HUGO LAYNEZ

SISTEMA RESIDENCIAL DE MONITORAMENTO DE ÁGUA BASEADO EM TECNOLOGIA LORA™

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico, do curso de Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Curitiba, 04 de julho de 2019.

Prof. Dr. Robinson Vida Noronha
Coordenador de Curso
Engenharia Eletrônica

Prof^a. Dr^a. Carmen Caroline Rasera
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Eletrônica do DAELN

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruno Sens Chang
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Dr. Gustavo Benvenuto Borba
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Hermes I. Del Monego
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Coorientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus pela oportunidade de elaboração deste trabalho. Agradecemos em especial nossa família pelo apoio, dedicação e compreensão nos momentos de dificuldades e incertezas, pois não deixaram esses pormenores nos abater. Agradecemos também aos nossos professores orientador Bruno Sens Chang e co-orientador Hermes I. Del Monego pelas orientações, correções e sugestões que tornaram possível este trabalho. De forma geral, agradecemos a todas as pessoas que de uma maneira ou outra contribuíram de forma significativa para a apresentação deste trabalho de conclusão de curso.

“Não procures um prêmio, pois tens uma grande recompensa sobre a terra: a alegria espiritual que só o justo possui.”

Fiódor Dostoiévski

RESUMO

COTTICA, Anderson; LAYNEZ, Victor Hugo. SISTEMA RESIDENCIAL DE MONITORAMENTO DE ÁGUA BASEADO EM TECNOLOGIA LORATM. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo apresentar um sistema para monitoramento de água residencial, em especial o desenvolvimento de um sistema para detecção de vazamentos internos. O sistema conta com um sensor de fluxo de água, utilizado para medir a vazão de água durante intervalos programados; um microcontrolador, responsável pelo tratamento do dado adquirido pelo sensor de fluxo de água; um módulo LoRa, utilizado para o envio da informação tratada pelo microcontrolador até um sistema de *Gateway* implementado com um *Raspberry Pi* para fins de disponibilizar as informações na rede. O tratamento dessas informações permite analisar de forma eficiente o uso de água residencial, emitindo alertas de consumo, média mensal e possíveis vazamentos, contribuindo, desta forma para a manutenção deste tão valioso recurso.

Palavras-chave: Água, Vazamento, LoRaTM, LoRaWANTM, *Gateway*

ABSTRACT

COTTICA, Anderson; LAYNEZ, Victor Hugo. WATER MONITORING SYSTEM BASED ON LORA™. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The project aims at a water monitoring system for residences, with leak detection. The system has one water flow sensor, measuring the water flow in predetermined time intervals; one microcontroller, processing the sensor data; one Lora module, sending the microcontroller data to a Raspberry Pi gateway, in order to make the information available on the internet. The processing of all this data, allow us analyze in an efficient way the water consumption, send water consumption alerts, monthly average and leaks, contributing to the maintenance of this valuable resource.

Keywords: Water, Leak, LoRa, LoRaWAN, Gateway

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Disponibilidade de Água no Planeta	13
FIGURA 2	– Uso da Água no Brasil	14
FIGURA 3	– Esquema simplificado do funcionamento de medição de um hidrômetro velocimétrico	19
FIGURA 4	– Marcação da leitura de consumo de água realizada em hidrômetros velocimétricos	20
FIGURA 5	– Processo de modulação PWM via sensor de <i>Efeito Hall</i>	23
FIGURA 6	– Plataforma microcontrolada <i>Blue Pill</i>	24
FIGURA 7	– Estrutura básica de aplicação IoT	28
FIGURA 8	– Comparativo do Alcance de algumas redes	29
FIGURA 9	– Diagrama de blocos da arquitetura de rede LoRaWAN	34
FIGURA 10	– Comparação das classes de dispositivos LoRaWAN pelo consumo de bateria e latência de comunicação, adaptado	35
FIGURA 11	– Mapeamento do sistema	40
FIGURA 12	– Arquitetura da rede LoRa com os elementos de <i>hardware</i> em destaque	42
FIGURA 13	– Módulo de interface LoRa RFM95W	44
FIGURA 14	– <i>Gateway</i> desenvolvido para o projeto de monitoramento de água residencial	45
FIGURA 15	– Mapa de pinos do microcontrolador <i>Blue Pill</i>	47
FIGURA 16	– <i>Endpoint</i> desenvolvido no projeto	48
FIGURA 17	– Diagrama esquemático de ligação do hidrômetro com o <i>endpoint</i>	49
FIGURA 18	– Diagrama esquemático de ligação do sensor de fluxo com o <i>endpoint</i>	50
FIGURA 19	– Estrutura de Servidores do sistema LoRa	51
FIGURA 20	– Mapa de <i>gateways</i> local	53
FIGURA 21	– Criação da aplicação na TTN	54
FIGURA 22	– Configuração aplicada a um <i>device</i> no TTN	55
FIGURA 23	– Exemplo de objeto enviado do servidor de rede para o servidor de aplicação	56
FIGURA 24	– Fluxo de gravação de medidas no banco de dados pelo servidor de aplicação	57
FIGURA 25	– Fluxo do servidor de aplicação para o disparo de <i>e-mails</i>	58
FIGURA 26	– Fluxo do servidor de aplicação para o disparo de <i>e-mails</i> com alerta	58
FIGURA 27	– Diagrama simplificado de atuação do <i>endpoint</i>	60
FIGURA 28	– Diagrama simplificado de atuação do <i>gateway</i>	61
FIGURA 29	– Esquema de relacionamento entre tabelas no banco de dados	62
FIGURA 30	– Esquemático do funcionamento da aplicação WEB	64
FIGURA 31	– Esquemático da aquisição de dados do gráfico da aplicação	65
FIGURA 32	– Tela inicial da aplicação WEB	66
FIGURA 33	– Tela inicial em aplicativo <i>mobile</i>	68
FIGURA 34	– Esquema para validação de dados	69
FIGURA 35	– Protótipo de medição e validação do sistema	70
FIGURA 36	– Raio de captação de sinal do <i>gateway</i>	72
FIGURA 37	– Relação entre leituras realizadas pelo hidrômetro, sensor de vazão e massa	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Perfil do uso da água na economia doméstica brasileira	15
TABELA 2	– Conexões do módulo RFM95W com a <i>Raspberry Pi Zero W</i>	45
TABELA 3	– Conexões do módulo RFM95W com a placa STM32F103C8T6	48
TABELA 4	– Dados da tabela Cliente	63
TABELA 5	– Dados da tabela Medições	63
TABELA 6	– Validação da vazão de água do sistema	73
TABELA 7	– Custos envolvidos no projeto	75

LISTA DE SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABINC	Associação Brasileira de Internet das Coisas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABP	<i>Activation By Personalization</i>
AGEPAR	Agência Reguladora do Paraná
ANA	Agência Nacional de Águas
API	<i>Application Programming Interface</i>
CHIRP	<i>Compressed High Intensity Radar Pulse</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
HAT	<i>Hardware Attached on Top</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
OTAA	<i>Over the Air Activation</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
RSSF	Rede de Sensores Sem fio
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SAVEH	Sistema de Auto Avaliação de Eficiência Hídrica
SF	<i>Spreading Factor</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TTN	<i>The Things Network</i>
UI	<i>User Interface</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	DISPONIBILIDADE HÍDRICA	12
1.2	CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA NO BRASIL	14
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	TELEMETRIA EM HIDRÔMETROS RESIDENCIAIS	18
2.1.1	Leitura do Hidrômetro	19
2.1.2	Calibração e Confiabilidade dos Hidrômetros	21
2.2	SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA	22
2.3	SISTEMA MICROCONTROLADO	23
2.4	LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	25
2.5	REDE LORA TM E INTERNET DAS COISAS	26
2.5.1	IoT	26
2.5.2	LPWAN	29
2.5.3	LoRa TM	31
2.5.4	LoRaWAN TM	33
2.6	COMPARATIVO COM TECNOLOGIAS SIMILARES	36
3	IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL	39
3.1	MODELAMENTO DO SISTEMA	39
3.1.1	Requisitos e Funcionalidades	39
3.2	HARDWARE E ESQUEMÁTICOS DO SISTEMA	41
3.2.1	Gateway	42
3.2.2	Endpoint	46
3.2.2.1	Endpoint com Hidrômetro	49
3.2.2.2	Endpoint com Sensor de Fluxo	50
3.2.3	Servidores	51
3.2.3.1	Servidor de Rede: <i>The Things Network</i>	52
3.2.3.2	Servidor de Aplicação: <i>Node-red</i>	55
3.3	SOFTWARE E INTERFACEAMENTO DO SISTEMA	57
3.3.1	Algoritmos de implementação do <i>gateway</i> e <i>endpoint</i>	58
3.3.2	Banco de Dados	61
3.3.3	Aplicação Web	64
3.3.3.1	<i>Front-end</i>	65
3.3.3.2	<i>Back-end</i>	66
3.3.3.3	Serviço WEB	67
3.4	TESTES E INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS	67
3.4.1	Protótipo para geração de dados	68

3.4.2 Elementos Pontuais de Teste	71
3.4.2.1 Antena	71
3.4.2.2 Vazão	72
3.5 ANÁLISE DE CUSTOS	74
4 CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

A temática do uso consciente da água é cada vez mais relevante para a realidade mundial. Fatores como escassez, poluição, desperdício, mudanças climáticas e acesso à água potável são preocupações frequentes tanto de órgãos governamentais, quanto de consumidores finais desse recurso. Os próximos tópicos fundamentam a viabilidade prática e econômica de um trabalho de conclusão de curso que visa, justamente, um sistema de monitoramento de água residencial. Com o intuito de fomentar a atividade empreendedora, pretende-se também, contribuir para a manutenção deste recurso natural.

1.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Sabe-se que a água é um recurso natural renovável que ocupa aproximadamente 70% da superfície do planeta Terra. Deste total, estima-se que 97% da água disponível no mundo é salgada, formando mares e regiões hídricas salobras, portanto, imprópria para o consumo humano. Resta, assim, 3% da água doce no planeta. Destes 3%, aproximadamente 2,5% de água doce é encontrada em forma de geleiras. Em torno de 0,5% da água restantes no mundo está presa em aquíferos subterrâneos, como reserva natural com o acesso dificultado ao recurso. Estima-se que somente 0,04% da água do planeta está disponível na superfície terrestre com facilidade de acesso (SAVEH, 2018).¹ A figura 1 apresenta a disponibilidade de água no planeta, apresentando a proporção de água encontrada em cada ambiente.

Vale ressaltar que dos 0,5% de água doce disponível na superfície, uma grande proporção desta água conta com algum grau de contaminação exigindo tratamento para consumo humano, o que a torna um recurso tão valioso.

Pode-se dizer que o Brasil é um país privilegiado por possuir uma abundância significativa de água doce se comparada com o resto do mundo. Em termos globais, estima-se que o Brasil possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Mas a distribuição

¹Sistema de Auto Avaliação de Eficiência Hídrica (SAVEH): plataforma disponibilizada pela Ambev para compartilhamento do próprio sistema de gestão hídrica a fim de estimular ações para redução e melhor aproveitamento no consumo de água.

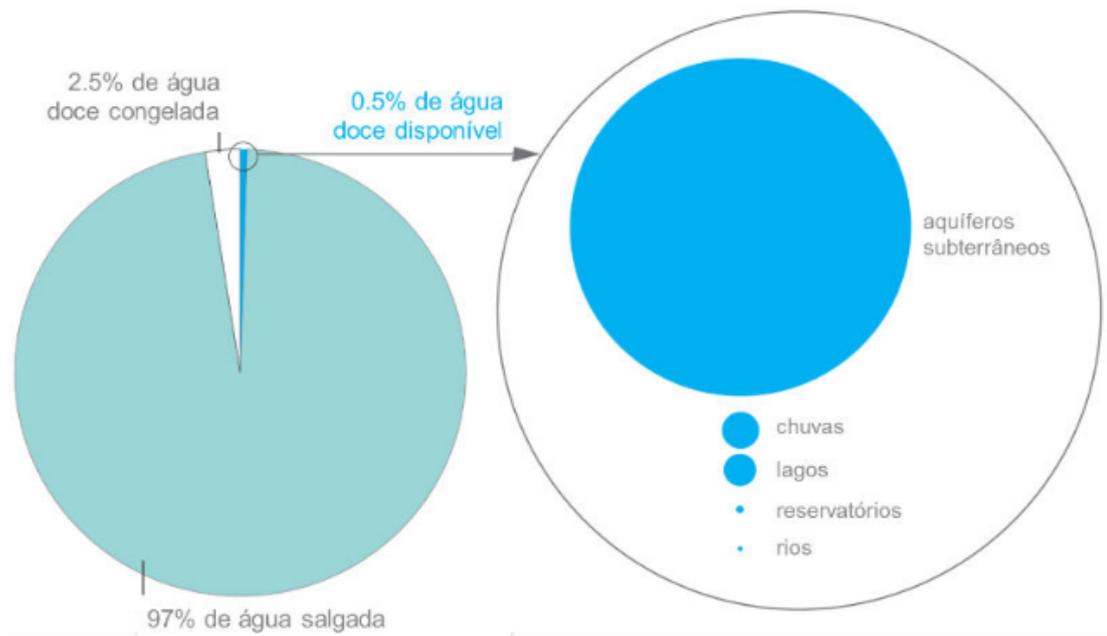


Figura 1: Disponibilidade de Água no Planeta

Fonte: (SAVEH, 2018)

natural desse recurso não é equilibrada no país. A região Norte concentra aproximadamente 80% da quantidade de água disponível, mas representa apenas 5% da população brasileira. Já as regiões costeiras do país (Sul – Sudeste) possuem mais de 45% da população, porém, menos de 3% dos recursos hídricos do país (ANA, 2018) ².

Outro fator importante que deve ser levado em consideração é quanto ao uso da água no país. Atividades como agricultura e indústria consomem um volume considerável do recurso que, por vezes, não pode ser reaproveitado. A figura 2 apresenta uma estimativa do consumo de água dentro dos principais setores da economia brasileira.

Esta análise preliminar mostra como a água doce é um recurso que merece um cuidado maior. Já existem países e até mesmo regiões do Brasil com escassez de água, sendo necessário rodízio de distribuição para que a água chegue a todas as residências da região (ONU, 2019). Nesta direção, portanto, o desenvolvimento de tecnologias que contribuam para o consumo racional da água é de fundamental importância. Qualquer fonte de desperdício deve ser detectada e corretamente tratada.

É preciso ter claro também, que grande parte do problema de desperdício de água concentra-se em perdas de distribuição. Estima-se que no Brasil a porcentagem de perdas de

²Agência Nacional de Águas (ANA): autarquia federal brasileira vinculada ao Ministério do Meio Ambiente e responsável pela implementação da gestão dos recursos hídricos brasileiros.

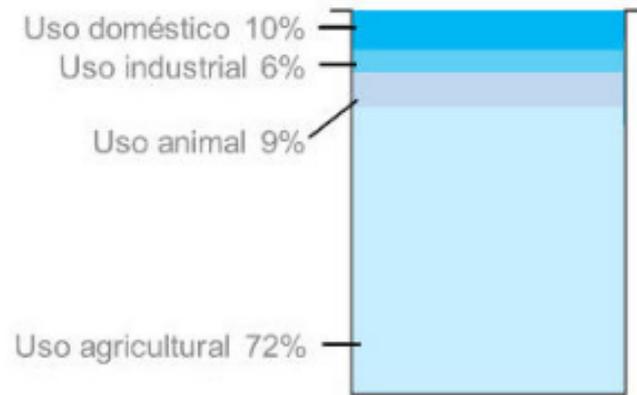


Figura 2: Uso da Água no Brasil

Fonte: (SAVEH, 2018)

água na distribuição chega aos 40% do total de água tratada (ABES, 2018)³.

Toda a água desperdiçada envolve custos de captação, tratamento e distribuição, os quais encarecem o valor pago pelo metro cúbico, além de ser um problema crônico quando pensado à luz de tantas pessoas que não dispõem do recurso. Ressalta-se assim, que o desenvolvimento de tecnologias que contribuam para a diminuição destes índices assume cada vez mais uma importância local e global. Não obstante, a conscientização para economia de água é condição para assegurar a vida das próximas gerações. A seguir são apresentados os valores médios de consumo de água no Brasil para ter acesso a um parâmetro de consumo consciente.

1.2 CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA NO BRASIL

Para estabelecer uma base de parâmetros de consumo de água em uma residência, foi considerado uma família com hábitos racionais de consumo. As informações referentes ao consumo de água dos brasileiros foram retiradas do site da SANEPAR, que ilustra o perfil do uso de água doméstico para uma família com quatro integrantes, conforme a tabela 1.

A tabela apresenta algumas informações importantes para um projeto de gestão de economia de água. Por exemplo, o banho com duração de 5 minutos, em um chuveiro elétrico, uma vez por dia, tem um gasto mensal de 2.400 litros para esta família. A descarga do sanitário também contribui significativamente para o alto consumo da residência. Acionando a válvula

³Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES): ONG brasileira, cujo objetivo é contribuir para ações relacionadas à qualidade de vida. Sua principal atuação é na área de saneamento básico, envolvendo a engenharia sanitária e ciências ambientais.

PERFIL DO USO DA ÁGUA NA ECONOMIA DOMÉSTICA PARA QUATRO PESSOAS			
Uso	Consumo para 1 mês (litros)	Consumo para 1 dia (litros)	Consumo per capita (litros)
Escovar os dentes (3 vezes por dia cada pessoa)	120	4	1
Banho de chuveiro elétrico (5 minutos, 1 vez ao dia para cada pessoa)	2.400	80	20
Descarga do sanitário (8 vezes por dia)	2.400	80	20
Lavar a louça (3 vezes por dia)	1.800	60	15
Lavar roupa/tanque (15 minutos 3 vezes por semana)	1.920	64	16
Água para ingestão	240	8	2
Preparo de alimentos	600	20	5
Limpeza de casa (1balde por dia)	600	20	5
Total	10.080	336	84

Tabela 1: Perfil do uso da água na economia doméstica brasileira

Fonte: (SANEPAR, 2018)

8 vezes por dia, são gastos aproximadamente 2.400 litros. Outros gastos menores compõem a tabela, como escovar os dentes e água para ingestão. Ao final de um mês o consumo supera os 10 mil litros de água. Considerando esses gastos em uma esfera de aproximadamente 2 milhões de habitantes da cidade de Curitiba (IBGE, 2019) pode-se ter uma ideia da quantidade de água consumida e conseqüentemente os desperdícios que estão associados a este processo.

É importante salientar que não são contabilizados nesta tabela os fatores de desperdício de água, sejam eles com vazamentos internos, de distribuição ou de consumo inconsciente. Segundo a SANEPAR, estima-se que uma torneira que fica gotejando durante um mês representa um desperdício de 2 metros cúbicos. Caso o vazando seja um filete de 1 *mm* são desperdiçados 2.000 litros por dia ou 60 *m*³ por mês. Para um filete de 6 *mm* são desperdiçados 16.500 litros por dia ou 530 *m*³ por mês (SANEPAR, 2018).

Para a ONU, a quantidade de água recomendada para atender as necessidades básicas humanas é de 110 litros por dia, por pessoa (UNESCO, 2019). O Brasil supera este consumo. Estima-se que o consumo médio por pessoa calculado no Brasil supera os 166 litros por dia. Nos estados do Rio de Janeiro e Maranhão, esse índice excede os 200 litros/dia (ONU, 2019).

A ONU estima ainda que cerca de 4 bilhões de pessoas, o que representam quase dois terços da população mundial, vivenciam uma escassez hídrica grave, durante pelo menos um mês do ano. Este cenário só tende ao agravamento porque o uso da água tem aumentado em todo o mundo em cerca de 1% por ano, desde a década de 1980. Ainda segundo a ONU, o consumo continuará aumentando até 2050, o que corresponde a um aumento entre 20% e 30% em relação ao nível atual de uso do recurso. O mais preocupante é que o uso de água *per capita* na maioria dos países em desenvolvimento permanece muito abaixo do que se vê nos

países desenvolvidos, ou seja, as pessoas vivem com valores reduzidos e até precários de água, acarretando em uma série de problemas sanitários associados (ONU, 2019).

Percebe-se, desta forma, a importância do consumo consciente de água e principalmente do desenvolvimento de estratégias para minimização dos desperdícios e controle do uso de água em todos os segmentos da economia. Vale ressaltar a importância de aplicar cada vez mais tecnologias apropriadas como recursos auxiliares na preservação da água potável no mundo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é o desenvolvimento de um sistema para monitoramento do consumo de água de uma residência empregando as tecnologias IoT emergentes no mercado. As informações coletadas por esse sistema possibilitarão um controle eficiente e diário dos gastos de água de uma residência, além de possibilitar alertas e informações referentes a vazamentos, gasto econômico e uso desregulado de água no dia-a-dia.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter a leitura de dados para um hidrômetro com saída pulsada;
- Obter a leitura de vazão para um sensor de fluxo;
- Enviar e receber dados tratados através de dispositivos de tecnologia LoRa;
- Desenvolver um *endpoint* de rede para realizar a medida de fluxo de água e leitura do hidrômetro;
- Desenvolver um *gateway* capaz de receber os dados coletados pelo transmissor LoRa e disponibilizá-los na rede;
- Integrar os elementos dos *endpoints* ao *gateway* com os servidores de rede e de aplicação;
- Armazenar as informações coletadas em um banco de dados;
- Desenvolver um sistema WEB para disponibilizar informações de consumo, alerta de vazamento e informações monetárias aos usuários do sistema;
- Realizar testes de alcance da rede projetada;

- Realizar testes e ensaios para validação das leituras coletadas e precisão das medidas;
- Discorrer sobre a viabilidade econômica do projeto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho tem uma organização em quatro capítulos, incluindo a introdução. A seguir, apresenta-se uma breve explanação dos capítulos em questão, bem como algumas especificidades que serão abordadas oportunamente, em detalhes, de acordo com cada capítulo.

No segundo capítulo é realizada a revisão da literatura utilizada no projeto. O objetivo é apresentar a fundamentação teórica e os conceitos técnicos utilizados na construção da aplicação. Este capítulo é importante para a compreensão do sistema de medição residencial como um todo, sobretudo os conceitos de transmissão de dados via rádio pelo sistema LoRa e o protocolo componente desse sistema, o LoRaWAN. É neste capítulo, também que é feito um apanhado de tecnologias do mercado semelhantes às aplicadas neste projeto elencando diferenças conceituais, econômicas e práticas das aplicações.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia do projeto. Neste capítulo é delimitado o tema e são apresentados os detalhes da arquitetura e desenvolvimento do sistema como um todo. Detalhes referentes à interface, sensoriamento, *software*, *hardware* e sistema de controle serão tratados de forma minuciosa, a fim de esclarecer quaisquer questões pendentes. Serão apresentados também os custos para desenvolvimento do projeto, possibilitando uma detalhamento para uma possível oportunidade de negócio.

Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões frente aos resultados obtidos e testes realizados. Sugestões para futuras implementações e melhorias também serão citadas neste momento. Um breve apanhado das funcionalidades necessárias para transformar o trabalho científico em uma oportunidade de negócio conclui o último capítulo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O segundo capítulo do presente trabalho de conclusão de curso apresenta os principais conceitos que norteiam este projeto. Neste capítulo serão abordados assuntos referentes à telemetria e funcionamento dos hidrômetros residenciais, os principais aspectos da tecnologia de transmissão de longo alcance LoRa, medidores de fluxo de água, *softwares* e *hardwares* utilizados.

2.1 TELEMETRIA EM HIDRÔMETROS RESIDENCIAIS

Tendo por base relatos históricos, estima-se que as primeiras medições de vazão de água datam do antigo Egito e das obras de engenharia para a captação de água em Roma no ano de 40 d.C. (MARTINS, 2019).

Segundo a SABESP, no Brasil, as primeiras medições realizadas com hidrômetros datam do século XIX. A indústria brasileira, na década de 20, produziu os primeiros protótipos de hidrômetros funcionais. Hoje, com a evolução da tecnologia, é possível realizar a leitura de vazão de água nas indústrias através de hidrômetros ultrassônicos ultraprecisos (SABESP, 2015).

Os hidrômetros são dispositivos marcadores de consumo de água utilizados tanto em ambientes residenciais quanto comerciais e industriais. É possível encontrar hidrômetros dos tipos velocimétrico e volumétrico. Os hidrômetros velocimétricos têm como princípio de funcionamento a contagem do número de revoluções da turbina encontrada no interior do dispositivo pela qual passa a água ou o líquido a ser mensurado para obtenção do volume de água. O cálculo do volume de água é feito de forma indireta (COELHO; MAYNARD, 1999). O número de revoluções da turbina é registrado em um dispositivo totalizador, o qual é calibrado para referenciar o valor condizente à passagem de água pela turbina.

A figura 3 apresenta de forma simplificada o sistema de revolução da turbina interna do hidrômetro para marcação do consumo de água.

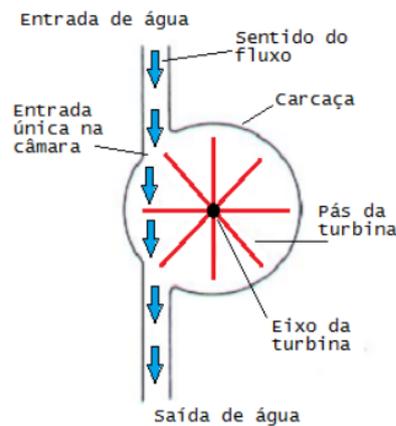


Figura 3: Esquema simplificado do funcionamento de medição de um hidrômetro velocimétrico

Fonte: (SANEAMENTO, 2014)

O hidrômetro volumétrico, por outro lado, é composto por um êmbolo ou anel. Trata-se de um recipiente que enche de acordo com a proporção de entrada do líquido. A medição se dá pelo transporte desse líquido para a saída do medidor, determinado assim, um valor de volume. O processo de transporte do líquido é dado pela diferença de pressão do recipiente. Essa diferença implica que a pressão é maior na entrada do dispositivo e menor na saída do aparelho. O êmbolo, por sua vez, aplica um movimento circular em torno do próprio eixo. Este mecanismo é responsável por acionar o totalizador. O registro de volumes é dado pelo acionamento de um sistema de engrenagens que movimenta os valores correspondentes impressos no sistema. O princípio da medição volumétrica é usado para obter maior precisão quando existe baixa vazão (COELHO; MAYNARD, 1999).

Grande parte das medições efetuadas pelas concessionárias em residências é realizada pela análise visual, feita por um técnico responsável, chamado de “leiturista”. Já existe tecnologia para realizar a leitura à distância por equipamentos eletrônicos emissores de sinal, utilizados principalmente em apartamentos e ambientes industriais. Este processo se assemelha à proposta deste trabalho e será detalhado oportunamente na abordagem de tecnologias similares.

2.1.1 LEITURA DO HIDRÔMETRO

Para compreensão do método de leitura de um hidrômetro é necessário o conhecimento da marcação apresentada pelo equipamento. A figura 4 demonstra a marcação de leitura de um hidrômetro velocimétrico. É possível observar dois mostradores de dígitos na imagem:

- **Mostrador Rolete:** o mostrador rolete do hidrômetro é dividido em duas partes. A primeira parte contabiliza o volume acumulado em metros cúbicos que passaram pelo hidrômetro. Tratam-se dos quatro dígitos mais à esquerda do mostrador. Os dígitos à direita contabilizam o consumo de dezenas de litros de água e centenas de litros de água. Alguns hidrômetros mais modernos conseguem realizar a medição de litros de água, contando, portanto, com três dígitos desenhados de cor vermelha na parte mais a direita do mostrador.
- **Mostrador Ponteiro:** os mostradores tipo ponteiro do hidrômetro são geralmente dois. O mostrador centralizado, que apresenta maior número de giros, é responsável pela contagem de décimos de litros de água. O segundo contador ponteiro faz a leitura do número de litros de água contabilizados pelo hidrômetro.

Alguns hidrômetros apresentam um mecanismo de detecção de movimento. Este mecanismo tem como finalidade a identificação de fluxo de água, desde o menor dos fluxos até a vazão máxima do aparelho. Além disso, esse mecanismo é utilizado por laboratórios para calibração do leitor ótico presente em alguns equipamento.

Existem vários modelos de mostradores de vazão nos hidrômetros. Por norma do INMETRO, todos os modelos têm indicadores de metros cúbicos na cor preta, e indicadores de litros e dezenas de litros na cor vermelha (INMETRO, 2005).



Figura 4: Marcação da leitura de consumo de água realizada em hidrômetros velocimétricos

Fonte: (WAGNER, 2015)

Medidores modernos utilizam um sistema acoplado para facilitar a leitura através da geração de informações digitais. Tratam-se de hidrômetros acoplados com contadores de pulso. Também conhecidos como medidores de saída pulsada, medem a vazão instantânea consumida.

Um dos métodos para geração da saída pulsada é a utilização de um interruptor chamado *Reed Switch*, que é ativado através de um campo magnético aplicado sobre o dispositivo (NCB, 2019).

Os *Reed Switches* funcionam como uma espécie de chaves reversíveis ou interruptor de lâminas. Esses dispositivos são formados por um bulbo de vidro e lâminas flexíveis feitas de materiais que podem sofrer flexão com a aplicação de campos magnéticos. O bulbo de vidro recobre as lâminas e possui em seu interior um gás inerte, de modo a evitar a ação corrosiva do ar sobre as lâminas, o que afetaria o contato elétrico. Em condições normais, as lâminas estão separadas, impedindo que uma corrente circule através do componente, ou seja, uma chave aberta (NCB, 2019). Aproximando um elemento magnético, como um ímã, por exemplo, a ação do campo magnético faz com que as lâminas se magnetizem e com isso se atraiam, unindo-se e fechando o contato elétrico. O *Reed Switch* abre e fecha seus contatos conforme a ação de um campo magnético externo aproximado ou afastado. É importante notar que se o campo não for orientado corretamente, as placas não se magnetizam. Outro ponto a ser observado em um *Reed Switch* é quanto à velocidade de resposta na contagem de pulsos. O *Reed Switch* deve apresentar uma velocidade de resposta alta para a correta contagem dos pulsos gerados. É comum encontrar hidrômetros de saída pulsada com a especificação do número de voltas por segundo, delimitando assim a faixa de operação.

2.1.2 CALIBRAÇÃO E CONFIABILIDADE DOS HIDRÔMETROS

A fabricação, a especificação e a instalação dos hidrômetros obedece a normas técnicas e portarias dos órgãos responsáveis. No Brasil, os órgãos responsáveis pela confiabilidade de leitura dos hidrômetros são: ABNT, através das normas NBR 8009, NBR 8194, NBR NM 212, NBR 14005 e o INMETRO pela Portaria 246/00 (INMETRO, 2000).

A Norma 017 de Novembro de 2005 (INMETRO, 2005) regulamentada pelo INMETRO fixa os procedimentos que devem ser adotados na verificação e inspeção metrológica de hidrômetros para água fria, quando utilizadas bancadas convencionais de aferição. A seguir, são apresentados brevemente os procedimentos de teste realizados para garantir a confiabilidade metrológica dos hidrômetros, segundo a Norma 017.

A verificação de confiabilidade dos hidrômetros segue, primeiramente, uma inspeção visual, a fim de determinar se foram atendidas as exigências de construção requeridas pela Portaria 246/00 quanto à numeração dos equipamentos e padrões visuais. Posteriormente é realizado um ensaio de estanqueidade, com a finalidade de detectar vazamentos internos e externos no equipamento. O terceiro passo é a determinação dos erros de indicação de leitura. Verifica-se os erros de indicação do hidrômetro nas vazões mínima, de transição e nominal de

forma que os mesmos não ultrapassem os erros máximos admissíveis estabelecidos de acordo com a classe metrológica e as vazões características (INMETRO, 2005).

Realizados esses procedimentos práticos, o INMETRO emite o aval sobre a aprovação do modelo ou reprovação. Para o caso de aprovação, são emitidos certificados de verificação e selagem da regulagem dos hidrômetros com lacres próprios. De acordo com a aprovação, o fabricante pode comercializar o produto com a confiabilidade do INMETRO.

2.2 SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA

Da mesma forma que o hidrômetro com saída pulsada, o sensor de fluxo de água é um dos elementos constituintes do projeto de monitoramento de água residencial. Seu funcionamento se aproxima do conceito de hidrômetro. O sensor de fluxo realiza a leitura do fluxo de água passante pelo interior do equipamento em um determinado período de tempo.

O funcionamento deste medidor de vazão é simples. Na estrutura do equipamento existe uma válvula em formato de hélice com um ímã acoplado. Esta válvula trabalha em conjunto com um sensor de *efeito hall* para geração de um sinal PWM - *Pulse Width Modulation*. Através da geração destes pulsos é possível mensurar a vazão de água em determinado instante. Consultando as informações do *datasheet* é possível ter acesso, também, à curva de vazão do sistema, frequência de funcionamento e largura de cada pulso (DATASHEET, 2019a). Estas informações são essenciais para o desenvolvimento do *software* que realiza a leitura deste sensor.

A figura 5 apresenta o sensor de *efeito hall* acoplado à estrutura do rotor do sensor de vazão e um elemento magnético acoplado à hélice. É importante salientar que com o aumento da vazão de água, a velocidade de giro do rotor aumenta proporcionalmente. O sensor de *efeito hall* detecta, portanto, quando o rotor completa um giro; assim o sensor *hall* envia um pulso de 5V no cabo de saída do sistema, que é captado pelo microcontrolador acoplado. De posse desta informação, o microcontrolador executa o cálculo da vazão de água naquele instante de tempo (TEACHMEMICRO, 2019).

Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento de água residencial foram considerados dois sensores de fluxo com capacidades de medição distintas. O primeiro sensor, da série *YF-S201b*, possui diâmetro de meia polegada (1/2"). Segundo especificações do equipamento, o sensor apresenta como características uma tensão de operação que pode compreender a faixa de 5V a 24V; além disso, o sensor é capaz de realizar leituras de vazão variantes de 1 a 30 litros de água por minuto, com uma taxa de erro de 10%. A pressão máxima

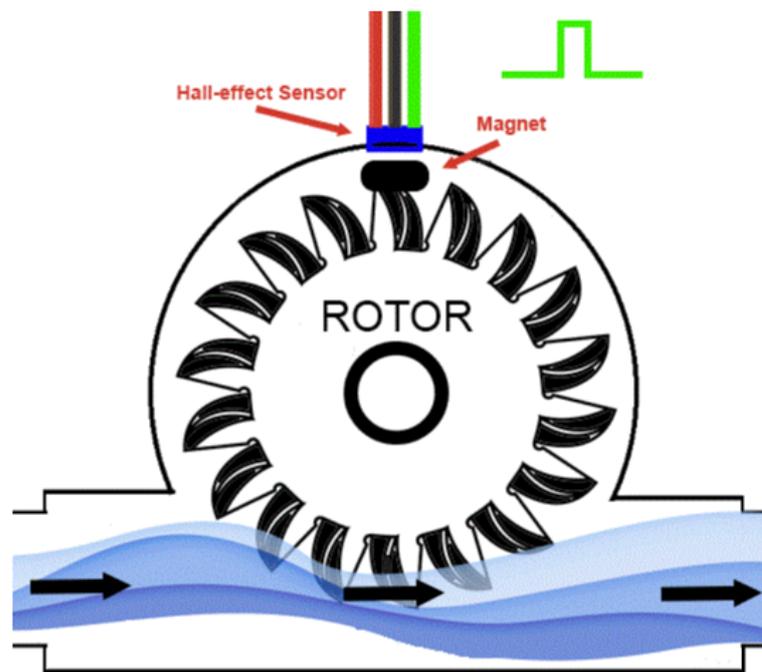


Figura 5: Processo de modulação PWM via sensor de Efeito Hall

Fonte: (TEACHMEMICRO, 2019)

suportada é 2,0 MPa (TEACHMEMICRO, 2019).

O segundo sensor considerado no sistema apresenta características semelhantes ao sensor de meia polegada, porém com uma capacidade muito maior. Segundo o *datasheet* o sensor de fluxo de água *G1" Water Flow Sensor* consegue realizar a leitura de até 60 litros de água por minuto permitindo o uso do sensor em sistemas mais robustos. O princípio de funcionamento deste sensor é igual ao citado anteriormente (DATASHEET, 2019a).

A rápida explanação sobre o sistema de medição de água de um sensor de fluxo serve para ilustrar como são captados os sinais de medição nestes tipos de sensores. Na seção referente aos *softwares* desenvolvidos para realizar a medição deste sensor serão tratadas adequadamente o processo de coleta das informações e interpretação por parte do microcontrolador.

2.3 SISTEMA MICROCONTROLADO

De uma forma geral, toda aplicação IoT necessita de um sistema microcontrolado. Além de tratar os dados coletados pelos sensores, um microcontrolador deve reunir as características combinadas de *hardware* e *software* para desempenhar o processamento de informações específicas. Em IoT os sistemas microcontrolados são caracterizados como reativos, pois as aplicações executadas são dependentes do ambiente, essencialmente dos dados

coletados por sensores e tratados pelo controlador.

Um microcontrolador associa vários elementos. Sensores, atuadores, periféricos e módulos de comunicação, além de elementos para interação com o usuário. São componentes fundamentais de qualquer sistema microcontrolado. É de fundamental importância o conhecimento dos elementos internos de um microcontrolador, bem como sua organização e arquitetura para o desenvolvimento do *software* adequado, proporcionando o máximo de ganho e otimização das funções. A figura 6 apresenta a plataforma de desenvolvimento da série STM32F103C8T6 popularmente conhecida como *Blue Pill* em referência a seu tamanho reduzido e coloração azul (WIPPLER, 2016).

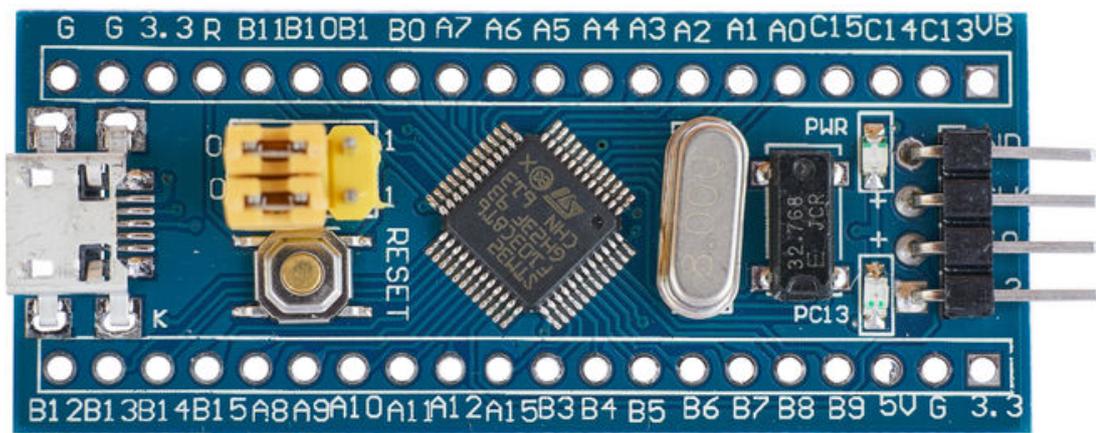


Figura 6: Plataforma microcontrolada *Blue Pill*

Fonte: (DATASHEET, 2019c)

A plataforma microcontrolada *Blue Pill* apresenta características interessantes para aplicações IoT. Um dos elementos fundamentais para a escolha deste processador de dados para o projeto é o baixo consumo de energia necessário para o sistema operar. Outros fatores contribuem favoravelmente pela escolha da placa, tais como: maior número de portas seriais para atender as necessidades da aplicação; arquitetura *ARM Cortex M3* que permite trabalhar com um sistema operacional e um processador de 32 bits, otimizando as tarefas que mais necessitam de processamento, além de contar com mais memórias *RAM* e *Flash* do que outros processadores comerciais.

A seguir são apresentadas as principais especificações e os recursos que a plataforma oferece para todo tipo de solução que necessita de processamento:

- Processador ARM Cortex M3 de 32 bits com 72MHz de clock interno;
- 64KB de memória *flash* e 20KB de memória RAM;

- USART (3);
- ADC (12bits) 10 canais (1);
- SPI (2), I2C (2), CAN BUS (2);
- *Timers* (4);
- PWM (15);
- Pinos de programação/debug;
- GPIO (33);

2.4 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

Para o desenvolvimento dos sistemas de *software* foram utilizadas as seguintes linguagens de programação:

- Linguagem de programação PHP ou *Hypertext Preprocessor*: Dentre as características relevantes dessa linguagem está sua base de estruturação que agrega elementos das linguagens *Perl*, *C* e *Java*. Outro fator interessante é a compatibilidade com os mais diversos sistemas operacionais do mercado, o que garante dinamicidade e alta performance nas aplicações. Por fim, a linguagem PHP possui compatibilidade com vários bancos de dados do mercado como *Oracle*, *Sybase*, *PostgreSQL*, *InterBase*, *MySQL* e *MSSQL*, tornando a linguagem PHP uma alternativa bem interessante para desenvolvimento de aplicações personalizadas que requerem integração com essas plataformas (COWBURN, 2019).
- Linguagem C: A linguagem C apresenta características tanto de alto quanto de baixo nível tendo sucesso, principalmente na programação de sistemas embarcados e microcontroladores (SCHILDT, 1996). Neste sentido, a programação em linguagem C permite a manipulação de bits, bytes e endereços de memória, recurso este, fundamental para o desenvolvimento do *software* do *gateway*. No que tange à internet das coisas, a própria *LoRa Alliance* possui comunidades de implementação colaborativa em Linguagem C para o aprimoramento de *softwares* em aplicações IoT.
- Linguagem de Consulta Estruturada ou SQL - *Structured Query Language*: Trata-se de uma linguagem de pesquisa declarativa para banco de dados relacional. A linguagem padrão SQL possibilita a criação de um banco de dados e toda a estrutura necessária para

seu funcionamento. A linguagem de consulta permite ao usuário interagir de forma direta com o *software* de banco de dados, a fim de executar as tarefas de processamento de informações (GOMES, 2019).

No que tange ao sistema de banco de dados em si, o MySQL foi o *software* escolhido como ferramenta para registrar e gerenciar os dados provenientes das aplicações desenvolvidas e alimentadas pelos usuários do sistema. O MySQL agrega características para aplicação como:

- Segurança: oferece mecanismos robustos para conferir e revogar autorizações através de diferentes níveis de acesso dos usuários;
- Confiabilidade: oferece *backups* dos dados disponíveis na plataforma, garantindo integridade de dados para casos de falhas do sistema.
- Desempenho: criação de índices de consulta das tabelas para otimização do tempo de busca dos dados.

2.5 REDE LORA™ E INTERNET DAS COISAS

O desenvolvimento tecnológico do mundo cresce de forma exponencial. Diariamente é possível encontrar novas aplicações tecnológicas nas mais diversas áreas do conhecimento humano, para os mais diversos fins. A própria internet, que até os anos 90 era uma grande novidade e acessível para uma pequena parcela da população, hoje praticamente chega a todos os lares. Nesta onda de crescimento tecnológico, entre outras revolucionárias aplicações encontra-se a Internet das Coisas (IoT).

Pretende-se nesta seção explanar o cenário das aplicações IoT, em especial aplicações com tecnologia LoRa, a qual configura o principal objeto de estudo deste trabalho. É importante fundamentar adequadamente os conceitos de uma estrutura LoRa para uma construção sólida do trabalho, nos capítulos posteriores.

2.5.1 IOT

O termo *Internet of Things* foi utilizado pela primeira vez em 1999 para fazer referência à tecnologia RFID - *Radio-Frequency IDentification*. Em 2012 o termo foi identificado como tecnologia emergente e com perspectiva de evolução exponencial nos anos seguintes. Hoje, existe uma estimativa de que até o ano de 2020 existam mais de 40 bilhões de dispositivos conectados à rede global, sejam eles TVs, *Laptops*, automóveis, consoles de jogos e sensores

das mais diversas funcionalidades. Aplicações em cidades inteligentes (*Smart Cities*), casas inteligentes (*Smart Home*) e áreas da saúde (*Healthcare*) aumentam significativamente com o desenvolvimento IoT. (SANTOS et al., 2019).

De uma forma prática, o conceito de internet das coisas pode ser entendido como uma extensão da internet em rede, tradicionalmente conhecida. A ideia envolvendo o conceito de IoT é conectar os elementos cotidianos à uma mesma rede ou entre si, permitindo o acesso de dados de uma forma remota, reação a eventos programados, disponibilização de serviços etc (SANTOS et al., 2019). Os avanços de áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, sensoriamento e comunicação propiciaram um cenário atrativo, tanto educacional quando comercialmente. Uma gama considerável de aplicações está sendo migrada e desenvolvida para acesso à internet das coisas, possibilitando um aumento exponencial dos dados coletados para estudo, pesquisa e descoberta de padrões.

Uma das grandes aplicações da tecnologia IoT é a Rede de Sensores Sem fio - RSSF. Trata-se de sistemas distribuídos compostos basicamente por dispositivos embarcados e sensores. Essas redes de sensores conseguem monitorar diversas variáveis de uma aplicação tornando-se atrativas, principalmente, por requererem um consumo baixo de bateria e pouco tráfego de dados. Estes fatores implicam em dispositivos baratos e de fácil interação com as diversas aplicações do mundo (SANT'ANA, 2017).

Uma aplicação IoT tem uma estrutura básica de elementos para a construção de uma aplicação. A figura 7 apresenta os elementos básicos dessa estrutura. Segue uma rápida explicação sobre cada um dos componentes:

- Identificação: trata-se da identidade única do objeto na rede a fim de evitar problemas de conflito e segurança na aplicação;
- Sensores/Atuadores: coleta de informações das variáveis e manipulação do ambiente para reagir de acordo com os dados lidos;
- Comunicação: diz respeito às diversas técnicas usadas para conectar os objetos, mas também é um fator crítico no consumo de energia da aplicação;
- Computação: inclui a unidade de processamento. Microcontroladores, processadores e FPGAs, responsáveis por executar algoritmos locais nos objetos inteligentes;
- Serviços: (1) Serviços de Identificação responsáveis por mapear entidades físicas e entidades virtuais; (2) Serviços de Agregação de Dados que coletam e resumizam dados homogêneos/heterogêneos; (3) Serviços de Colaboração e Inteligência que agem sobre

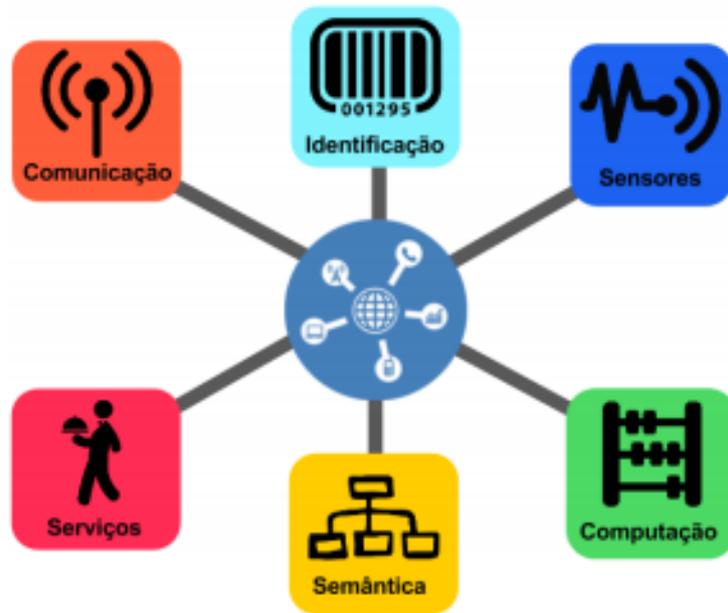


Figura 7: Estrutura básica de aplicação IoT

Fonte: (SANTOS et al., 2019)

os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de modo adequado a um determinado cenário; (4) Serviços de Ubiquidade que visam prover serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar em que eles sejam necessários;

- Semântica: refere-se à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT. Trata do uso eficiente dos recursos existentes na IoT com o objetivo de prover determinado serviço (SANTOS et al., 2019).

Neste contexto de tecnologia IoT, um dos requisitos essenciais de qualquer aplicação é a necessidade de comunicação em larga escala com a otimização dos recursos disponíveis. Para atender essas necessidades críticas dos sistemas, um novo conceito de rede tomou forma. As redes LPWAN -*Low Power Wide Area Networks* surgiram com a proposta de conectar dispositivos que necessitam enviar uma pequena quantidade de dados por uma longa distância com a capacidade de manter uma bateria por um longo tempo na vida útil da aplicação (SANT'ANA, 2017).

É importante ressaltar que não serão abordados neste trabalho aspectos referentes à arquitetura de redes IoT e segurança das aplicações, de forma geral. Uma explanação sobre estes aspectos será apresentada quando forem abordadas as aplicações LoRa. A seguir serão

apresentadas as redes LPWAN, assim como suas características relevantes e importância para aplicações IoT.

2.5.2 LPWAN

Em uma solução de IoT, uma forma de realizar a conexão entre os sistemas é através da conexão direta, sem adição de um elemento intermediário (*gateway*), atendendo longas distâncias. Geralmente são utilizadas redes de celulares nas suas diversas tecnologias para conectar estas aplicações. Estas redes apresentam um custo de conexão elevado e consumo de bateria que limitam a viabilidade de sua utilização em larga escala.

As redes LPWAN, por outro lado, são frequentemente utilizada em aplicações IoT quando existe a necessidade de enviar poucos dados, em intervalos regulares, para estações bases que ficam a uma distância superior a 300 metros, por exemplo (SANTOS et al., 2019). Essa característica é fundamental para garantir maior vida útil para as baterias, além de possibilitar maior autonomia de comunicações entre os sistemas. Além disso, uma rede LPWAN deve ser capaz de conectar milhares de dispositivos de menor valor agregado a fim de ampliar o leque de soluções IoT. Dentre as principais alternativas para a utilização de redes LPWAN é possível elencar as tecnologias da Sigfox, LoRa e NB-IoT. Um comparativo dessas tecnologias será apresentado posteriormente.

No que tange às redes tradicionais de comunicação de dados, a figura 8 apresenta um comparativo do alcance das redes LAN, LPWAN e uma rede de celular para a transmissão de dados em aplicações IoT.

	Local Area Network Short Range Communication	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet of Things	Cellular Network Traditional M2M
	40%	45%	15%
	Well established standards In building	Low power consumption Low cost Positioning	Existing coverage High data rate
	Battery Live Provisioning Network cost & dependencies	High data rate Emerging standards	Autonomy Total cost of ownership
	 		  

Figura 8: Comparativo do Alcance de algumas redes

Fonte: (ALLIANCE, 2019)

As chamadas redes locais LAN - *Local Area Network* são capazes de transmitir dados com boa estabilidade e em alta taxa, porém o consumo de bateria é elevado e a área de alcance é limitada. De acordo com a (ALLIANCE, 2019), a cobertura dessa tecnologia chega a 40% do total de comunicação de dados IoT na atualidade. São exemplos de LANs o *WiFi* e o *Bluetooth*. Este tipo de rede é ideal para aplicações de curta distância. Já as tecnologias das redes de celular possuem uma considerável autonomia de transmissão. Por outro lado, elas tem um consumo significativo de bateria. Essa tecnologia representa um total de 15% da comunicação de dados IoT. São exemplos dessa tecnologia para comunicação de dados GSM, 3G, 4G.

Por fim, as redes LPWAN associam as características de transmissão a longo alcance, baixo consumo de bateria, baixo custo de instalação e operação, cobertura em grandes áreas com poucas estações base e escalabilidade atrativa para aplicações IoT. Na verdade, um dos grandes pontos fortes das redes LPWAN é a operação em bandas não licenciadas, principalmente nas bandas ISM - *Industrial, Scientific and Medical* em sub-GHz. A faixa de operação da banda sub-GHz é dividida em regiões pela ITU - *International Telecommunication Union*, cabendo ao Brasil a operação na frequência de 915 MHz, a mesma frequência dos Estados Unidos. Pelo fato de operarem em sinais de baixa frequência, um sinal transmitido nesta banda experimenta menores atenuações e menor desvanecimento de múltiplos caminhos, causados por obstáculos e superfícies densas (SANTOS et al., 2019). A camada física é projetada para ter alta sensibilidade no receptor. A alta sensibilidade do receptor é alcançada utilizando ordens de modulação reduzidas, aumentando a quantidade de energia por símbolo. Em contrapartida, ordens reduzidas de modulação implicam em baixas taxas de transmissão, fazendo com que não ultrapassem 100 kbps de modo geral. Combinando uma alta sensibilidade com a utilização de frequências abaixo da casa dos GHz, as LPWANs são capazes de atingir distâncias superiores a 10 km em áreas rurais (CENTENARO et al., 2016).

Em geral a rede LPWAN utiliza topologia em estrela. Os dispositivos integrantes da rede são conectados diretamente ao ponto de acesso, seja ele um *gateway* ou um concentrador de acesso. É possível aplicar repetidores de sinais na rede, que têm como papel suprir as necessidades de latência, área de cobertura e confiabilidade. Neste contexto nasce a tecnologia LoRa, empregando características de alta durabilidade de bateria, longo alcance e possibilidade de conexão de múltiplos pontos de acesso a um concentrador de tráfego. Essas características casam perfeitamente com as necessidades IoT.

2.5.3 LORA™

Uma das implementações mais conhecidas das redes LPWAN é a tecnologia LoRa - *Long Range* (Longo Alcance). LoRa é uma tecnologia de conectividade *wireless*, nascida na França e utilizada amplamente em aplicações IoT. A arquitetura da tecnologia LoRa envolve três camadas do modelo OSI - *Open Systems Interconnect*: Comunicação; Física e Enlace (TEIXEIRA; ALMEIDA, 2017). Os módulos LoRa geralmente são associados a sistemas embarcados e sensores coletores de uma infinidade de dados. Atualmente a propriedade da tecnologia LoRa pertence à empresa norte americana Semtech (SANT'ANA, 2017).

O circuito integrado LoRa produzido pela Semtech¹ é projetado para funcionar nas frequências 169 MHz, 433 MHz e 915 MHz nos Estados Unidos e 868 MHz na Europa (SEMTECH, 2015). A tecnologia em questão baseia-se no espalhamento espectral derivado da modulação conhecida como *chirp*, otimizada para aplicações de longo alcance, baixo consumo de energia e baixa taxa de transmissão.

A técnica de modulação de espectro conhecida *CHIRP* - *Compressed Radar High Intensity Pulse* é um sinal cuja frequência aumenta ou diminui com o tempo. Este tipo de modulação é usada em sonares e radares, devido a sua natureza robusta e capacidade de longo alcance (DEVALAL; KARTHIKEYAN, 2018).

Os sinais *chirp* tem amplitude constante e passam toda a largura de banda de forma linear ou não linear de um extremo a outro em um período de tempo. O espectro espalhado de *chirp* usa largura de banda completa para transmitir sinais. Se a frequência muda do menor para o maior, é chamada *up-chirp* e se a frequência muda do maior para o menor, chama-se *down-chirp* (SGHOSLYA, 2017).

A modulação da tecnologia LoRa aplica fatores de espalhamentos ortogonais permitindo que múltiplos sinais espalhados sejam transmitidos ao mesmo tempo e no mesmo canal com mínima degradação da sensibilidade do receptor. Os sinais com fatores de espalhamento diferentes aparecem como ruído no receptor alvo e podem ser tratados como tal (SANT'ANA, 2017). O entendimento do modo de funcionamento do espectro espalhado pode ser obtido através da análise do Teorema de Shannon. Tal teorema estabelece a capacidade de comunicação de um link em função da largura de faixa e do nível de interferência do sinal. A função 1 apresenta a capacidade de canal proposta por Shannon:

¹Para maiores informações consultar: <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>. Acesso em: 07/06/2019.

$$C = B \log \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ (bit/s)} \quad (1)$$

onde: C representa a capacidade do canal [bits/s]; B representa a largura do canal [Hz]; S representa a potência média do sinal recebido [W]; N representa a potência média do ruído ou interferência [W] e S/N é a relação sinal/ruído expressa como uma relação linear de potência.

Pela análise do teorema é possível inferir que para transmitir sinais livres de erro em um canal que tenha uma relação fixa sinal/ruído é apenas suficiente que a largura de faixa seja aumentada. Nos sistemas tradicionais de Espectro Espalhado de Sequência Direta ou DSSS - *Direct Sequence Spread Spectrum* a fase da portadora do transmissor muda conforme uma sequência de código. Este processo é feito multiplicando-se o sinal de dados desejado por um código de espalhamento, também conhecido como “*chip sequence*” (SEMTECH, 2015). A *chip sequence* ocorre em uma taxa muito mais rápida do que o sinal de dados e, portanto, espalha a largura de banda do sinal para além da largura de banda original ocupada apenas pelo sinal original. Este processo é usado para distinguir os bits codificados mais curtos dos bits não codificados, mais longos da informação (TEIXEIRA; ALMEIDA, 2017).

Por fim, é importante mencionar que a modulação de um sinal LoRa pode ser especificada por três parâmetros: a largura de banda (BW), que pode ser 125kHz, 250kHz e 500kHz, o fator de espalhamento (que pode variar de 7 a 12, dependendo da região da aplicação) e um parâmetro CR que compreende a faixa de 0 a 4 e determina a taxa do código corretor de erro. A função do *código*, denominada por C , é dada por: $C = 4/(4 + CR)$.

A taxa efetiva de dados (R_b) com carga útil é dada por:

$$R_b = SF \frac{C}{2^{\frac{SF}{BW}}} \text{ (b/s)} \quad (2)$$

Considerando o pré-âmbulo de cada pacote que permite sincronização de frequência e o tempo no receptor, as taxas de transmissão variam de 0.3 kb/s até 11 kb/s (SANT’ANA, 2017). É importante salientar que os *gateways* LoRa realizam processamento paralelo para cada fator de espalhamento, possibilitando uma taxa de transmissão maior. Neste sentido, a tecnologia LoRa permite ainda taxas de dados variáveis por utilizar um fator de espalhamento ortogonal SF - *Spreading Factor* que possibilita ao operador do sistema alterar a taxa de dados por alcance ou potência com a finalidade de otimizar a rede, de acordo com sua aplicação (TEIXEIRA; ALMEIDA, 2017).

2.5.4 LORAWAN™

Enquanto a LoRa compreende a camada física da nova tecnologia IoT, o LoRaWAN é a arquitetura de rede que compreende o protocolo de comunicação LPWAN, o qual dita as regras de como a rede se comporta e se integra ao sistema (TEIXEIRA; ALMEIDA, 2017). É importante salientar que esse protocolo, desenvolvido pela empresa *Cycleo* (propriedade da Semtech e desenvolvedora da tecnologia LoRa) é aberto e colaborativo, mantido também pela *LoRa Alliance*. Neste sentido, a especificação LoRaWAN foi projetada para criar redes de longa distância, seja em escala regional, nacional ou global, formada por dispositivos operados por bateria e com capacidade de comunicação sem fio. A proposta do protocolo é a implementação de uma comunicação segura e bidirecional.

Uma das principais características do protocolo LoRaWAN é a permissão para o controle de acesso de mídia (MAC – *Media Access Control*) dos dispositivos. Esse acesso possibilita a configuração do dispositivo para que uma grande gama de elementos periféricos se comunique com um único *gateway*. Um *endpoint*, ou dispositivo final de rede, não configura uma associação exclusiva deste elemento a um único *gateway*. Pelo contrário, possibilita a mobilidade dos elementos na rede, isto é, o *endpoint* pode acessar diferentes *gateways* dentro da faixa de operação do sinal. Além disso, os dados transmitidos por um *endpoint* poder ser recebidos por múltiplos *gateways* o que caracteriza uma rota alternativa de sinal (TEIXEIRA; ALMEIDA, 2017).

É importante mencionar neste momento que as regras que regem o protocolo LoRaWAN são especificados pela *LoRa Alliance*. A *LoRa Alliance* é um conglomerado de empresas do ramo IoT como *IBM*, *Actility*, *Semtech* e *Microchip*, que desenvolvem aplicações voltadas para internet das coisas. A entidade mantém e disponibiliza fóruns e material para as mais diversas aplicações IoT. O intuito é desenvolver o conhecimento e potencial das aplicações além de equipamentos específicos a fim de fomentar a interconexão das “coisas” via internet.

A figura 9 apresenta o diagrama de blocos da arquitetura de rede LoRaWAN:

Como citado anteriormente a LoRaWAN possui topologia de rede estrela e é formada, basicamente, por três entidades: *End Nodes*; *Concentrator/Gateway*; *Netservers* (ALLIANCE, 2019). Os *End Nodes*, também chamados de *endpoints*, são as estações finais da rede. São os *endpoints* que coletam as informações dos sensores aos quais eles estão interligados. Esses elementos se comunicam aos *gateways* por um link de salto único. Os *gateways* possuem conexão, via rede IP, a um *Netserver*. Os *gateways* atuam também como encaminhadores de mensagens decodificadas ao *Netserver* associado. Os *Netservers*, por sua vez, são capazes

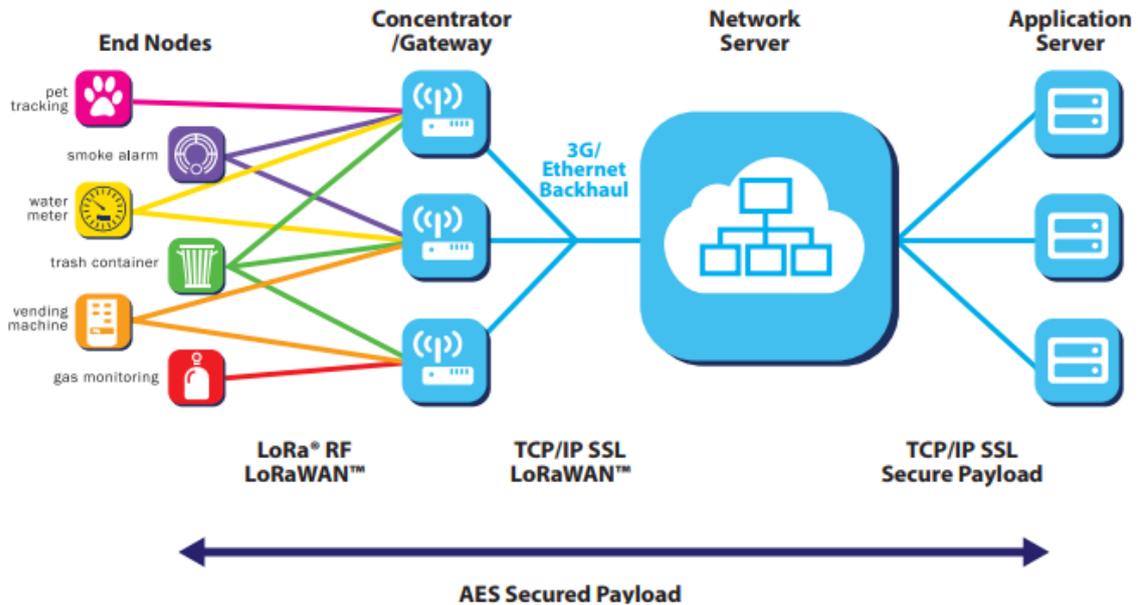


Figura 9: Diagrama de blocos da arquitetura de rede LoRaWAN

Fonte: (ALLIANCE, 2019)

de filtrar mensagens duplicadas quando, por exemplo, um *endpoint* é visto por mais de um *gateway*, além de encaminhar as informações ao servidor de aplicação (SANT'ANA, 2017).

A configuração proposta pela *LoRa Alliance* para a rede LoRaWAN move toda a complexidade dos *endpoints* para o *Netserver*. Isso proporciona a criação de dispositivos que podem se mover livremente por células atendidas por diferentes *gateways*. A abordagem minuciosa de cada um desses elementos é tratada oportunamente nos capítulos seguintes, exemplificando a atuação com a proposta deste trabalho.

No que tange aos dispositivos periféricos, ou *endpoints*, a *LoRa Alliance* estabeleceu suporte a três diferentes classes presentes no mercado. O protocolo LoRaWAN, portanto, estabelece as funcionalidades dos dispositivos de classe A, B e C. As diferentes classes de dispositivos periféricos associando o consumo de bateria e a latência de comunicação *downlink* na rede podem ser observadas na figura 10:

A classe de dispositivos dita "A" trata de dispositivos que permitem comunicações bidirecionais, de modo que a transmissão *uplink* de cada dispositivo final é seguida por duas janelas curtas de recepção de *downlink*. A operação de classe A baseia-se no método Aloha e exige potência mais baixa para aplicações que requerem apenas comunicação *downlink* a partir do servidor pouco depois de o dispositivo final ter enviado uma transmissão *uplink* (TEIXEIRA;

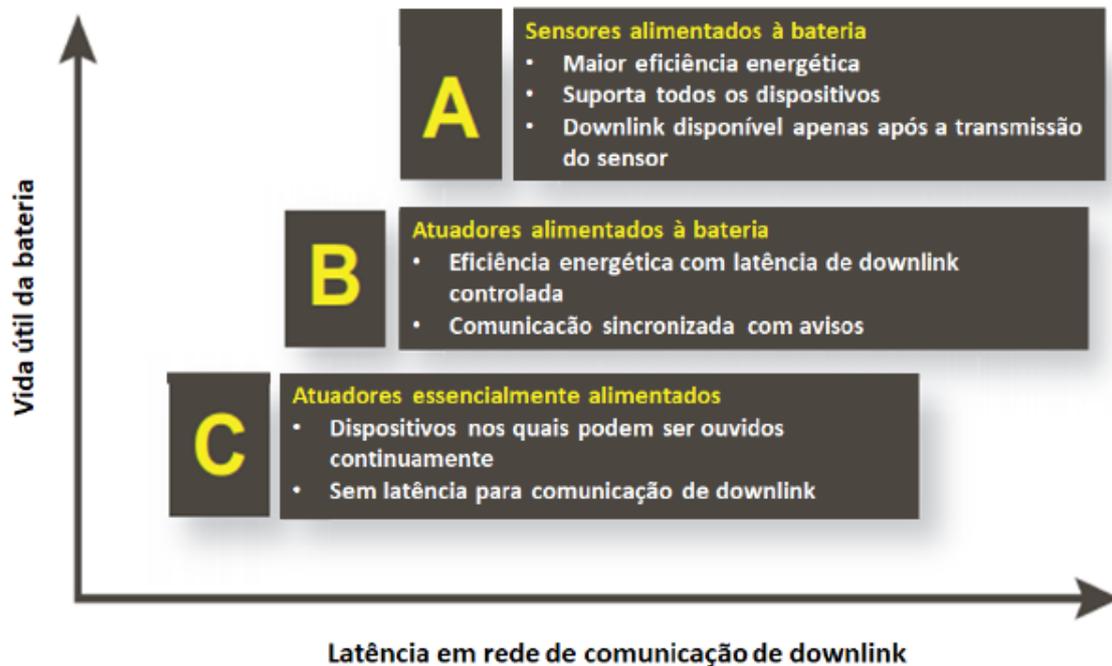


Figura 10: Comparação das classes de dispositivos LoRaWAN pelo consumo de bateria e latência de comunicação, adaptado

Fonte: (ALLIANCE, 2019)

ALMEIDA, 2017).

Os dispositivos finais de classe B são bidirecionais com *slots* de recebimento programados, ou seja, além das janelas de recebimento aleatório da classe A, os dispositivos classe B abrem janelas de recebimento extras em horários agendados. Os *gateways* são sincronizados e enviam *beacons* periódicos para manter a célula sincronizada. Após receber um *beacons*, o dispositivo abre uma janela extra, chamada de *ping-slot*. A principal ideia desta classe é ter o dispositivo disponível para uma recepção em um instante previsível (SANT'ANA, 2017).

Dispositivos classe C possuem praticamente uma janela de recepção aberta, estando fechada somente quando está transmitindo. Essa classe de operação é considerada a que mais consome energia dentre as classes citadas anteriormente. Trata-se de um dispositivo para aplicações que necessitam uma menor latência no *downlink* (SANT'ANA, 2017). Como será percebido nos capítulos seguintes, a configuração do *endpoint* do sistema de monitoramento de água residencial faz parte da classe C de dispositivos, tendo a janela de recepção sempre aberta para a coleta de dados do sensor de fluxo ou hidrômetro.

2.6 COMPARATIVO COM TECNOLOGIAS SIMILARES

Antes de adentrar propriamente na metodologia do sistema de monitoramento de água residencial é importante falar sobre os equipamentos semelhantes ao dispositivo proposto neste trabalho, encontrados no mercado. Através da análise das características, inovações e funcionalidades dos equipamentos semelhantes pode-se construir um sistema com estrutura melhorada, conectividade e acessibilidade de acordo com as características das aplicações IoT. Não é difícil encontrar projetos de telemetria residencial em uma rápida pesquisa na internet. Seja para aplicações acadêmicas ou oferta de um produto comercial, sites trazem alternativas de equipamentos para automação de leitura do hidrômetro ou detecção de vazamentos em nível molecular. A grande diferença dos equipamentos de mercado, muitas vezes, é refletida no preço do produto.

No que tange a projetos de baixo custo para detecção de vazamento de água residencial um protótipo foi desenvolvida por alunos da Escola Técnica de Eletrônica Francisco Moreira da Costa – ETE FMC, de Santa Rita do Sapucaí. O projeto tem por base a geração de energia por meio do fluxo de água na entrada de uma caixa d'água, além de permite que usuários monitorem seus gastos de consumo. Segundo os alunos, o protótipo tem custo estimado de R\$ 160,00. O sistema tem por base uma turbina localizada na entrada da caixa d'água que gera energia de acordo com a passagem de água pela mesma. Esta energia gerada é capaz de carregar equipamentos eletrônicos de pequeno porte, bem como alimentar o sistema eletrônico de medição. Na saída da caixa d'água está localizado um sensor que mede o fluxo de água e envia os dados para uma unidade de controle realizando o cálculo do consumo de água da residência. Estas informações são apresentadas em um *display* acoplado à estrutura do sistema que possibilita a consulta do consumo de água pelo usuário (ESCOLAS, 2015).

Outro invento importante que merece destaque na área é um dispositivo proposto por uma instituição norte-americana durante uma maratona de programação (*Massachusetts Cleanweb Hackathon*). Chamado de “*The Water Hero*”, o aparelho é vinculado ao medidor de água da residência, enviando informações sobre o consumo de água para um *smartphone* cadastrado. A proposta do equipamento produz imagens detalhadas das taxas de fluxo de água e, se detectar um volume de água muito elevado, no caso constataria um grande vazamento, tem a funcionalidade de desligar o sistema hidráulico da residência. O funcionamento do sistema se dá pela análise dos pulsos magnéticos do medidor de água. Estas informações são enviadas para o celular do cliente através de conexão *Wi-Fi*. O custo estimado do equipamento, em sites internacionais, é de \$649 dólares (PME, 2014).

Um equipamento profissional largamente utilizado para detecção de vazamentos ditos invisíveis em redes de abastecimento de água potável é chamado de Geofone (SONDEQ, 2018). O princípio de funcionamento deste aparelho tem por base o ruído gerado pelo vazamento de água através da tubulação. Quando líquidos pressurizados escapam por um orifício na tubulação eles criam vibrações e ruídos típicos. Estes ruídos são identificados e localizados diversos sensores do equipamento, sendo possível detectar o local exato do vazamento.

A linha profissional de equipamentos geofones é capaz de detectar moléculas de hidrogênio em excesso no ambiente, o que caracteriza a presença de um vazamento. Além dessas funcionalidades, as principais características destes equipamentos são:

- Duas tecnologias de detecção: detecção do ruído do vazamento ou de um gás marcador injetado na tubulação;
- Possui frequência de trabalho de 0 a 4.000 Hz;
- Visor gráfico LCD com até 9 posições duplas simultâneas e com iluminação para operação noturna;
- Registro gráfico em tempo real dos ruídos captados;
- Alimentação por pilhas ou bateria recarregável com durabilidade aproximada de 35 horas de uso;
- Controle de volume e sensibilidade do sensor.

A utilização de Geofones, por outro lado, requer conhecimento avançado do sistema de funcionamento, o que foge da praticidade de utilização de produto proposto neste trabalho. Além disso, seriam necessárias inspeções periódicas na residência a fim de buscar possíveis vazamentos. O custo estimado de um equipamento de detecção de vazamento de Geofone gira em torno de R\$ 2.000,00 (SONDEQ, 2018). É preciso mencionar que o equipamento é de uso profissional; portanto, existe a necessidade de um operador especializado realizar a operação com o equipamento, o que acrescenta valores ao custo final da detecção de vazamentos usando o Geofone.

Na linha de economia e sustentabilidade existem empresas especializadas em equipamentos para individualização da conta de água. A empresa Laager - Soluções em Tecnologias Sustentáveis apresenta uma alternativa interessante para autogestão hídrica.

Em virtude da confidencialidade de operação da empresa, não foram apresentados maiores detalhes do sistema de gestão hídrica, mas fundamentalmente, o sistema conta com um

hidrômetro com saída pulsada acoplado a um sistema de transmissão por rádio frequência. As informações são coletadas por concentradores de dados responsáveis por subir as informações na nuvem. A empresa se responsabiliza em gerar um relatório do consumo de água residencial e entregar a uma administradora ou operadora do sistema hídrico (LAAGER, 2019). Em relação ao preço da solução completa apresentada, a empresa trabalha com um orçamento por demanda. O custo individual do equipamento é de R\$ 1.000,00. Para o caso da realização de compra de várias unidades, para o atendimento de um condomínio, por exemplo, o valor tende a ser mais atrativo, dependendo de uma análise orçamentária para estimativa de custos.

Outra alternativa interessante para economia de água é a solução proposta pela empresa EcoMonitor². A empresa apresenta uma solução completa para automação residencial no tocante à economia de água, gás e energia elétrica. O sistema desenvolvido pela empresa acopla essas funcionalidades a uma central instalada na residência do consumidor prometendo economia de até 50% nas despesas citadas. O monitoramento é feito através de um hidrômetro de sensor pulsado, no caso do monitoramento hídrico da residência, e as informações são enviadas via *Wi-Fi* para o cliente. A grande desvantagem deste produto em relação ao projeto de monitoramento de água residencial é a necessidade de alimentação elétrica direta no equipamento. Além disso, para o caso de falta de energia, sem um sistema de bateria que sustente o monitoramento o produto se torna inviável, uma vez que nenhuma das variáveis poderá ser monitorada. A solução da empresa se estende ao ambiente virtual, com a elaboração de relatórios mensais do consumo das variáveis monitoradas e alertas de vazamentos. O valor do equipamento para o consumidor final não foi informado pela empresa sem a solicitação formal de um pedido de orçamento; isto é, como foi contatado a empresa mediante solicitação de informações acadêmicas, o fornecedor do equipamento não apresentou os dados do valor final do produto.

²Para maiores informações, acessar: <http://ecomonitor.com.br>. Acesso em: 06/07/2019.

3 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL

Cientes dos principais conceitos norteadores deste trabalho apresentados nos capítulos anteriores, a tarefa agora é detalhar os elementos constituintes do sistema de monitoramento de água residencial baseado em tecnologia LoRa. Neste capítulo serão abordados os componentes de *hardware*, *software*, *firmware* e banco de dados, além das aplicações de integração e disponibilidade do sistema na rede. Por fim, serão apresentados os resultados dos testes de validação do sistema para comprovar a eficácia e eficiência da aplicação.

3.1 MODELAMENTO DO SISTEMA

Nas seguintes seções, pretende-se apresentar o modelamento pensado e executado para o desenvolvimento do presente trabalho. Através da análise dos requisitos do projeto e das funcionalidades projetadas, um sistema de monitoramento de água deve aliar as necessidades de detecção de vazamentos do sistema hidráulico e proporcionar mecanismos de consumo consciente de água. É importante, neste momento, apresentar uma explanação esquemática de como os principais componentes físicos da aplicação se interligam. Da mesma forma, apresentar o fluxo de coleta e tratamento de dados por parte dos *softwares* da aplicação para o funcionamento do sistema. Por fim, discorrer sobre os detalhes que possibilitam a utilização da tecnologia LoRa para a aplicação IoT apresentada.

3.1.1 REQUISITOS E FUNCIONALIDADES

O problema a ser resolvido no desenvolvimento da aplicação IoT é o monitoramento do consumo de água residencial utilizando uma tecnologia emergente no mercado. Este monitoramento implica no controle de variáveis do sistema hídrico de uma residência. Para este controle surge, primeiramente, a necessidade de leitura de vazão de água da residência, seja ela realizada via hidrômetro ou com o auxílio de um sensor de fluxo de água. Uma vez realizada essa leitura, outra necessidade é o tratamento das informações coletadas para, posteriormente,

disponibilizá-las em algum ambiente de armazenamento, um banco de dados, por exemplo. O processo de transmissão de dados via LoRa é o ponto crucial da explanação. Trata-se do principal aspecto tecnológico do trabalho. Além disso, existe a necessidade de disponibilizar a informação ao usuário através de uma aplicação interfaceada, fechando assim o ciclo de geração e apresentação do monitoramento do consumo de água residencial.

A figura 11 apresenta, de forma básica, os principais componentes do sistema em questão e o ciclo que percorrem os dados até chegar ao usuário do sistema.

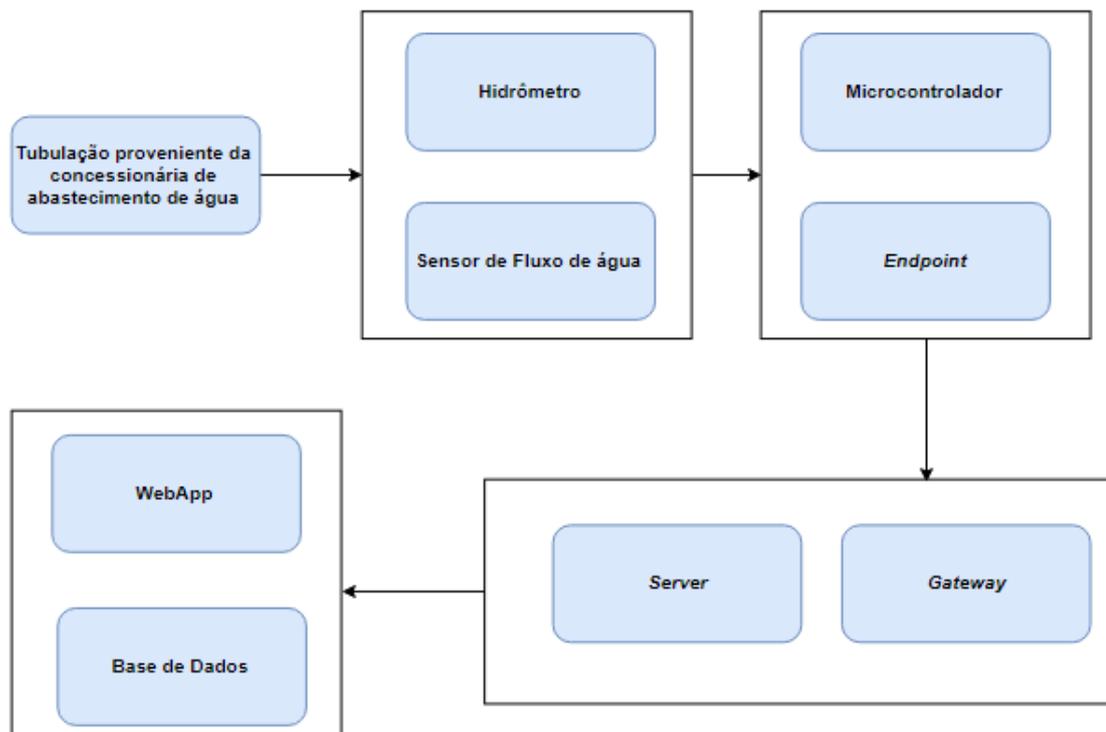


Figura 11: Mapeamento do sistema

Fonte: Autoria Própria

Basicamente o sistema é composto por quatro grandes blocos. O primeiro bloco compreende os equipamentos físicos do hidrômetro e/ou sensor de fluxo de água. Este bloco tem como elemento alimentador a tubulação de água proveniente da concessionária de abastecimento da região. Tal bloco, por sua vez, é conectado ao segundo bloco composto pelo microcontrolador, que realiza o tratamento dos dados colhidos no bloco 1, e o elemento da rede conhecido como *Endpoint*, o qual possui o primeiro elemento de tecnologia LoRa para realizar a transmissão de dados do sistema. Já o terceiro bloco é composto pelo *gateway*, constituído pelo segundo elemento de tecnologia LoRa associado ao *Raspberry Pi* e o servidor da aplicação que tem como função o recebimento dos dados enviados pelo *endpoint*. Este bloco é ligado

ao bloco final do sistema. O quarto bloco disponibiliza os dados da aplicação na rede para o usuário, além de possuir a estrutura para armazenamento das informações. Informações armazenadas possibilitam a consulta de um histórico de consumo, realizando o comparativo com meses anteriores; além disso, é possível estimar gastos para meses subsequentes e um plano de gestão hídrica residencial com o intuito de economia de água.

Cada um desses blocos será especificado com detalhes nas seções seguintes. Serão abordados os aspectos relevantes sobre *hardware* e *software* para a constituição do projeto. Elementos importantes da tecnologia LoRa no relacionamento do projeto também serão discutidos para integração do conhecimento e viabilidade do projeto.

3.2 HARDWARE E ESQUEMÁTICOS DO SISTEMA

Com o objetivo de implementar uma aplicação IoT para monitoramento de água residencial, o primeiro ponto a ser considerado foi o desenvolvimento de um sistema físico para receber as variáveis coletadas pelos sensores de fluxo e pelo hidrômetro, devidamente detalhados na seção 2.1 e seção 2.2. Portanto, neste momento, serão abordados os elementos de *hardware* do sistema. A constituição do *gateway* pelo *Raspberry Pi* e pelo módulo LoRa, bem como o tratamento de dados pelo *Blue Pill* são os pontos em destaque da seção. É importante deixar claro, também, os projetos esquemáticos desenvolvidos para os protótipos em questão e as conectividades necessárias para seu funcionamento.

A arquitetura geral do projeto, pensada para o desenvolvimento do presente trabalho, pode ser observada na figura 12. O quadrante descrito como *hardware* é a primeira constituição dos elementos físico da aplicação. Neste quadrante é possível observar que os elementos coletores de dados que constituem o *endpoint* são o sensor de fluxo e o hidrômetro de saída pulsada. Este elementos estão conetados com o processador de dados do projeto, a plataforma *Blue Pill* associada ao módulo LoRa. Os dados enviados pelo *endpoint* chegam ao *gateway* do sistema desenvolvidos com os componentes *Raspberry Pi* em associação com outro módulo LoRa receptor de dados.

Para a *LoRa Alliance* todo o equipamento que constitui um elemento capaz de colher dados de um ambiente, no caso os sensores, é chamado de *Endpoint* (ALLIANCE, 2019). Um *Gateway*, por sua vez, constitui um concentrador dos dados provenientes dos sensores, disponibilizando tais informações para os servidores de rede associados. Os *Servers* são compostos por servidor de rede e servidor de aplicação e são responsáveis por disponibilizar os dados em nuvem para as mais diversas aplicações e para os mais diversos dispositivos. A

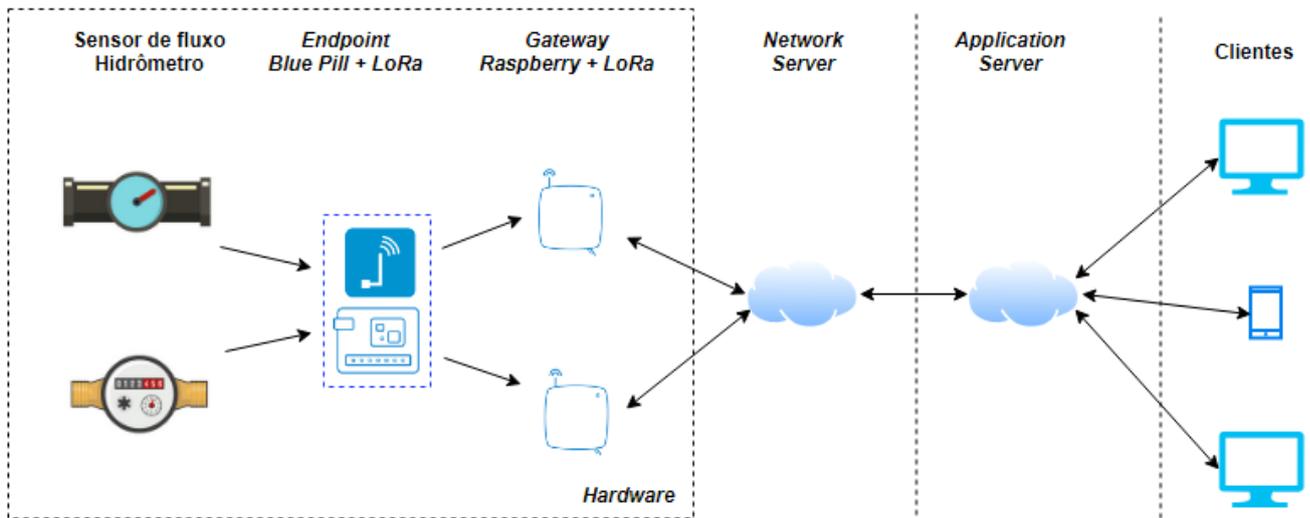


Figura 12: Arquitetura da rede LoRa com os elementos de *hardware* em destaque

Fonte: Autoria Própria

seguir, são detalhados cada um dos elementos constituintes dessa. O primeiro elemento de *hardware* a ser detalhado, portanto, é o *gateway*.

3.2.1 GATEWAY

Um dos elementos fundamentais de *hardware* de qualquer sistema LoRa é o *gateway*. Trata-se de um dos elementos mais complexos da rede, uma vez que deve ser capaz de processar, paralelamente até 13 canais na banda de 900 MHz (LORA, 2012). Assumindo que cada canal recebe informações de *endpoints* diferentes e com frequência, a gestão de dados no *gateway* torna-se uma tarefa árdua. No mercado, já existem *hardwares* de *gateways* prontos sejam eles produzido pela própria Semtech, sejam produzidos por terceiros com tecnologia LoRa embarcada ¹.

Os *gateways* são os componentes de conexão entre os módulos coletores de dado, os sensores e os servidores da rede LoRa. De forma geral os *gateways* possuem sistema embarcado Linux em conexão com uma antena de comunicação externa. O elemento antena é um fator decisivo no quesito distância de comunicação. Antenas devidamente adequadas proporcionam maior cobertura da aplicação, juntamente com o fator de espalhamento ortogonal *SF - Spreading Factor*, apresentado anteriormente.

É possível desenvolver o *software* do *gateway* de forma própria, onde o dispositivo

¹Uma lista completa de *gateways* comerciais pode ser encontrada no link: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/start/list.html>. Acesso em: 09/06/2019

envia e recebe informações de comunicação por rádio. Trata-se de uma modalidade com maior flexibilidade de configuração entre os dispositivos. Por outro lado, a LoRa possibilita usar a configuração da rede LoRaWAN nas aplicações. Neste caso, configurações de segurança, qualidade de serviço, parâmetros de transmissão e eficiência energética são implementados tanto no dispositivo responsável pelo sensoriamento como no *gateway*. A intervenção no sistema é mínima.

Com a missão de reduzir custos e aprofundar o conhecimento na tecnologia LoRa, optou-se pela construção de um *gateway* simplificado, operando em um único canal. A operação de um *gateway* em apenas um canal é denominado pela *LoRa Alliance* como *Single Channel Gateway*. Vale ressaltar que a operação em um único canal não compromete as funcionalidades do sistema, mas apresenta algumas limitações de funcionalidades como a inoperância da taxa de transmissão adaptativa, mensagens de *downlink* e capacidade de multicanais (SANT'ANA, 2017).

Uma vez que o próprio *software* disponível para a construção do *gateway* está disponível em sistema Linux, a utilização de uma plataforma *Raspberry* parece bem promissora. Desta forma, a plataforma escolhida para o desenvolvimento do *gateway* LoRa foi a *Raspberry Pi*, modelo Zero W ². Devido ao seu tamanho compacto e menor custo em relação aos outros modelos da plataforma, o *Raspberry* se mostrou a melhor escolha para o desenvolvimento do projeto do *gateway* LoRa.

Como observado, para a construção de um *gateway* LoRa é necessário um módulo de interfaceamento compatível com a tecnologia. Portanto, o módulo escolhido para o desenvolvimento do *gateway* LoRa foi o modelo de interface LoRa da HopeRF - RFM95W. O módulo em questão, integra o *transceiver* SX1276 da Semtech com um *front-end* RF para a faixa de 915MHz. A plataforma possui 16 mm, com terminação de 50Ω para conexão de antena e interfaces digitais. De acordo com testes, o módulo pode chegar a 148dBm de sensibilidade (SANT'ANA, 2017).

Na figura 13 é possível ver o módulo RFM95W com a disposição dos pinos da interface. É importante mencionar que o módulo apresenta 16 pinos, sendo 5 pinos para entrada e saída digital com configuração via *software*, sistema SPI³, 4 pinos de *ground*, *reset* e sinal de saída e entrada RF. O tamanho reduzido do módulo é um diferencial atrativo para o desenvolvimento de aplicações IoT; além disso, existe maior popularização deste módulo em

²Maiores informações disponíveis em: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero>. Acesso em: 06/07/2019

³*Serial Peripheral Interface* (SPI): protocolo de informação que permite a comunicação de um microcontrolador com diversos outros componentes usando uma arquitetura *master-slave* com um único mestre.

relação aos concorrentes, por isso é encontrado com facilidade para compra.



Figura 13: Módulo de interface LoRa RFM95W

Fonte: (DATASHEET, 2019b)

Além do módulo de interface LoRa para construção do *gateway* é necessária uma plataforma *Raspberry* para gerenciamento do sistema. A placa *Raspberry Pi Zero W* mostrou-se uma alternativa interessante para a construção do *gateway*, não só pelo tamanho reduzido, mas por contar com bons recursos de *hardware* para suporte da aplicação. A plataforma conta com as seguintes especificações:

- Processador Broadcom BCM2385 1GHz, *single-core* CPU;
- 512MB RAM;
- Mini HDMI e USB *On-The-Go* ports;
- HAT-compatible 40-pin header;
- 802.11 b/g/n *wireless* LAN;
- *Bluetooth* 4.1 e *Bluetooth Low Energy* (BLE);

Na tabela 2 são apresentadas as conexões realizadas entre o módulo de interface LoRa RFM95W e a plataforma *Raspberry Pi Zero W*. É importante mencionar que, além das conexões físicas de alimentação, de comunicação SPI, *reset* e portas digitais do módulo RFM95W com o *Raspberry Pi Zero W*, é necessária uma configuração de comunicação entre os elementos via *software*, a qual será tratada oportunamente. Assim, a composição entre as duas plataformas constituem o primeiro elemento de *hardware* do sistema IoT desenvolvido.

Tabela 2: Conexões do módulo RFM95W com a Raspberry Pi Zero W

RFM95W	Raspberry Pi Zero W
DIO0	GPIO 4
RST	GPIO 17
NSS	GPIO 27
SCK	GPIO 11
MOSI	GPIO 10
MISO	GPIO 9
3V3	3V3
GND	GND

Fonte: Aatoria Própria.

De acordo com as conexões descritas na tabela 2, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso no estilo HAT - *Hardware Attached on Top*, de modo a evitar erros de conexões, bem como diminuir a interferência de elementos externos no circuito. A figura 14 apresenta a imagem do *gateway* montado para a aplicação do sistema.

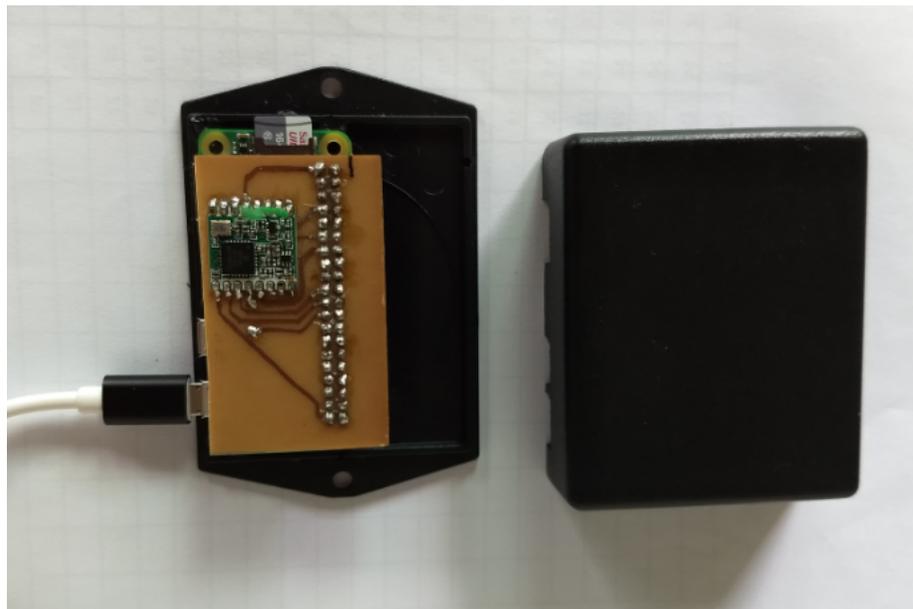


Figura 14: Gateway desenvolvido para o projeto de monitoramento de água residencial

Fonte: Aatoria Própria

Um elemento que merece atenção no desenvolvimento do *gateway* é a antena de recepção de sinal. Como mencionado, a antena é um fator crítico para determinação da distância de operação do *gateway*. Uma antena mal dimensionada pode afetar o raio de atuação do componente. A avaliação do sinal de recepção de um *gateway* pode ser medido pela intensidade do RSSI - *Received Signal Strength Indication*. O RSSI indica o nível de potência recebido por uma antena. Quanto maior o valor RSSI, maior é a intensidade do sinal. Para a aplicação,

a antena do tipo quarto de onda externa foi escolhida devido à sua facilidade de confecção, tamanho reduzido e maior eficiência em comparação com as antenas meia onda (PHAM et al., 2017). Para o cálculo do comprimento de onda (λ), foi utilizada a equação 3, onde f é a frequência de operação do sistema [Hz] e c a velocidade da luz no vácuo [m/s].

$$\lambda = \frac{f}{c} \quad (3)$$

De posse do comprimento de onda do sistema, é possível dividir este valor por quatro a fim de obter o comprimento da antena quarto de onda (PHAM et al., 2017). De acordo com os cálculos desenvolvidos, chegou-se a um comprimento de antena no valor de 8,2 cm.

$$l = \frac{\lambda}{4} \quad (4)$$

Foram realizados alguns testes no tocante ao dimensionamento da antena, de acordo com os cálculos apresentados acima. Pela facilidade de implementação e resposta positiva na recepção de dados, optou-se pela *antenna wire* - antena composta por um segmento de aproximadamente 8 cm. Além disso, não foram percebidas diferenças na compactação da antena dentro da caixa protetora dos módulos. O raio de atuação do *gateway* foi praticamente o mesmo, sem perdas de pacotes dentro desse raio.

3.2.2 ENDPOINT

Outro elemento do quadrante de *hardware* apresentado na figura 12 é o *endpoint*. Trata-se da constituição de um microcontrolador associado com uma interface transmissora LoRa. A interface de transmissão LoRa utilizada para a constituição do *endpoint* foi o mesmo modelo da construção do *gateway*, a placa RFM95W, pelos motivos citados acima: tamanho reduzido, disponibilidade no mercado e versatilidade da plataforma. No que diz respeito ao microcontrolador, optou-se pela utilização da placa STM32F103C8T6, também conhecido como *Blue Pill*. A figura 15 apresenta a o mapa de pinos do microcontrolador.

Dentre as características do microcontrolador que foram levadas em consideração na escolha para o desenvolvimento da aplicação, está o fato de a placa apresentar, além de alto poder de processamento, dimensões reduzidas e baixo consumo de energia. Além desses fatores o microcontrolador apresenta outras características interessantes para a aplicação. É importante destacar o poder de processamento do sistema que conta com:

- *Flash* de 128 KB;

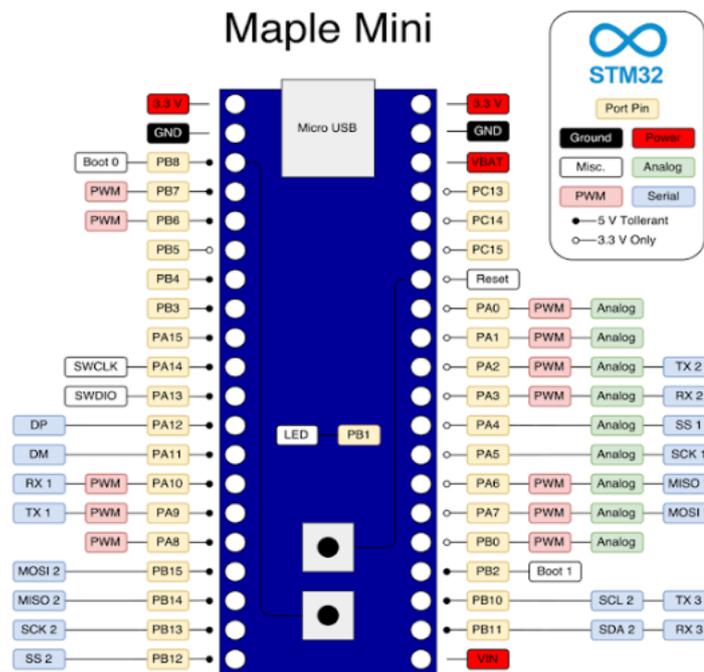


Figura 15: Mapa de pinos do microcontrolador *Blue Pill*

Fonte: (DATASHEET, 2019c)

- RAM de 20 KB;
- Clock de 72 MHz;
- 34 GPIOs;
- 12 PWM (16 Bits);
- 9 Entradas Analógicas (12 Bits).

A constituição do *endpoint*, portanto, implica nas conexões apresentadas na tabela 3. Da mesma forma que o *gateway*, é possível notar a presença das conexões de alimentação, comunicação SPI e portas digitais. Um detalhe das conexões realizadas no *endpoint* é a adição da porta digital 1 (DIO1) do transceptor, que foi utilizada para informar ao microcontrolador um *status* de erro, como *timeout* por exemplo.

Para a montagem dos *endpoints* foi utilizado um segundo módulo RFM95W, idêntico ao apresentado na seção 3.2.1. A construção do *endpoint* implica, da mesma forma, no desenvolvimento de um *software* para configuração e funcionamento. Baseado em bibliotecas compartilhadas pela comunidade de *software* livre da própria *LoRa Alliance*, o código fonte deste elemento da aplicação foi modificado para atender as necessidade do projeto. Maiores detalhes serão apresentados na seção equivalente à especificação de *softwares*.

Tabela 3: Conexões do módulo RFM95W com a placa STM32F103C8T6

RFM95W	STM32F103C8T6
DIO0	PA1
DIO1	PA2
RST	PA3
NSS	PA4
SCK	PA5
MOSI	PA7
MISO	PA6
3V3	3V3
GND	GND

Fonte: Autoria Própria.

Pelos mesmos motivos da confecção do circuito impresso para o *gateway*, foi desenvolvida uma placa para a constituição do *endpoint*. Conforme as conexões descritas na tabela 2, a plataforma RFM95W foi conectada ao microcontrolador STM32F103C8T6. A figura 16 apresenta a imagem do *endpoint* montado para a aplicação do sistema. É importante notar a versatilidade da plataforma *Blue Pill*, uma vez que toda a configuração para construção do *endpoint* necessitou basicamente das portas analógicas do microcontrolador, além da compatibilidade de alimentação em nível 3V3.

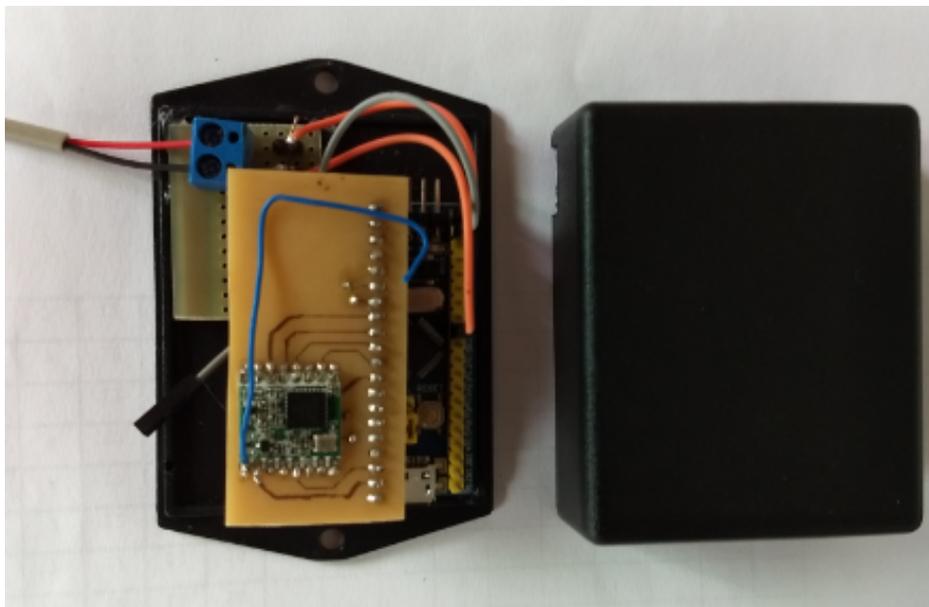


Figura 16: Endpoint desenvolvido no projeto

Fonte: Autoria Própria

3.2.2.1 ENDPOINT COM HIDRÔMETRO

Uma das configurações possíveis para a modelagem do *endpoint* é a associação com um hidrômetro de saída pulsada. Salienta-se que sem o fator de pulso gerado por esse tipo de hidrômetro, não seria possível o sistema de monitoramento residencial construído com base em um hidrômetro.

O hidrômetro utilizado é da marca SAGA, modelo US3. Como se trata de um hidrômetro com saída pulsada, o equipamento possui um canal de dados, conforme especificado na seção 2.1.1. Este canal de dados foi acoplado a placa do microcontrolador fornecendo os dados para tratamento. O objetivo é fazer a leitura dos pulsos gerados pelo *Reed Switch* durante a passagem da água e estimar o consumo de água no período de tempo da análise. O pino de dados do hidrômetro foi conectado à porta PB4 juntamente com um resistor de *pull-down* e um capacitor para *debouncing*, conforme pode ser observado na figura 17.

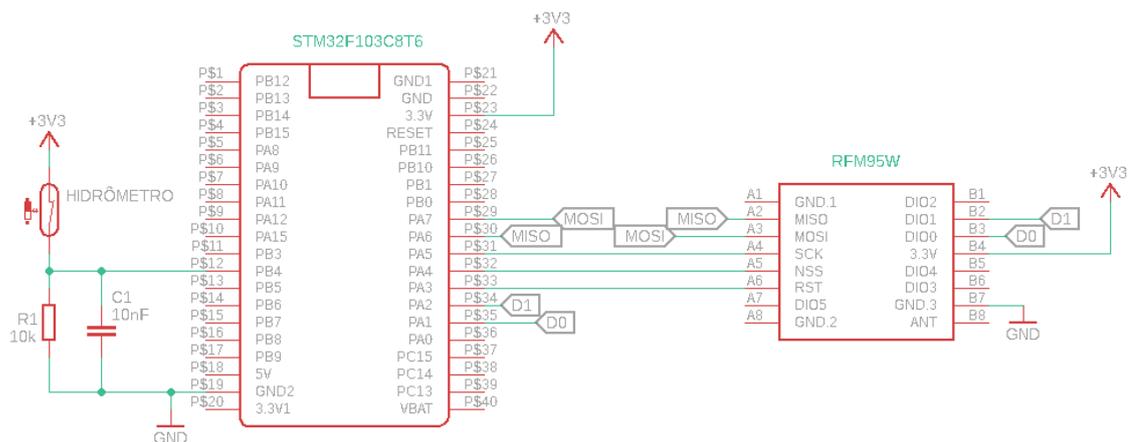


Figura 17: Diagrama esquemático de ligação do hidrômetro com o *endpoint*

Fonte: Autoria Própria

Para estimar o consumo de energia do equipamento em funcionamento monitorou-se a corrente consumida na alimentação do microcontrolador. O resultado foi um consumo de corrente médio de 10,4 mA. Considerando a utilização de uma bateria de lítio de 2600 mAh, alimentando o sistema em caso de queda de energia, a autonomia do conjunto seria de aproximadamente 10 dias, mantendo a integridade de medição do sistema durante o período. É importante mencionar que foram realizados ensaios tanto de bancada quanto com conexão à rede geral de distribuição de água. Esses ensaios foram essenciais para estimar o consumo de bateria do equipamento e estimar medições de vazão reais do sistema. Oportunamente serão tratados esses ensaios com mais detalhes.

3.2.2.2 ENDPOINT COM SENSOR DE FLUXO

Da mesma forma que o hidrômetro com saída pulsada, é possível compor o *endpoint* com um sensor de fluxo de água para monitorar o consumo de água residencial de forma alternativa. O sensor de fluxo utilizado é do modelo YS-F01 1/2. O procedimento para configuração das conexões deste elemento se iguala ao descrito na seção anterior. O sensor conta com um pino de dados que disponibiliza as informações conforme descrito na seção 2.2. Este pino é conectado à porta digital PB4 da placa de desenvolvimento STM32F103C8T6. Esses dados são coletados conforme a passagem de água gera o sinal PWM. Este sinal, por sua vez, é enviado ao microcontrolador para realizar a leitura da passagem de água no instante solicitado. Com a conexão de alimentação do sistema, o diagrama esquemático de ligação pode ser observado na figura 18.

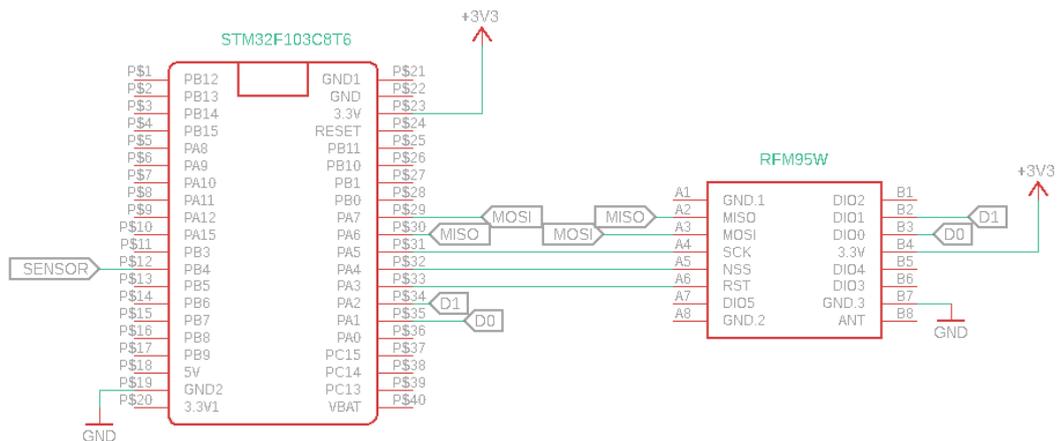


Figura 18: Diagrama esquemático de ligação do sensor de fluxo com o *endpoint*

Fonte: Autoria Própria

A utilização do sensor de fluxo é tratada neste trabalho como um elemento adicional do sistema para possibilitar a versatilidade no desenvolvimento do projeto. Sabe-se que muitas concessionárias de abastecimento de água mantêm um protocolo rígido no que diz respeito a inserção de qualquer elemento eletrônico ou não no cavalete de medição. Para concessionárias atualizadas, com hidrômetros com leitura de saída pulsada, o projeto não exige modificações de infraestrutura. Já um residência que tenha um hidrômetro antigo, sem saída pulsada, o sensor de fluxo de água colocado após o relógio de medição seria uma saída interessante para a aplicação, uma vez que não implica em modificações no sistema de cavalete da concessionária. Pode-se dizer que esta característica é um dos grandes diferenciais do projeto de monitoramento de água residencial em relação aos projetos comerciais do mercado. A agilidade na instalação de um sistema equipado com sensor de fluxo, garante uma vantagem em relação ao processo

burocrático de troca de hidrômetros necessário em outras aplicações comerciais. Além disso, em sistemas coletivos de distribuição de água a instalação do sensor de fluxo é um grande diferencial, por possibilitar um controle preciso na gestão hídrica da residência, particularizando o consumo de água no combate ao desperdício e na detecção de vazamentos.

3.2.3 SERVIDORES

Para uma aplicação LoRa são utilizados dois tipos de servidores: *Network Server* - servidor de rede e *Application Server* - servidor de aplicação. O primeiro é responsável pelo gerenciamento das informações enviadas pelo *gateway*, enquanto o segundo recebe os pacotes do servidor de rede e executa ações programadas para interação com as aplicações como por exemplo, estabelecer uma ligação com o banco de dados e enviar notificações ao usuário, por *node* de disparo de *e-mail*. Foi optado por utilizar os projetos *open source* TTN - *The Things Network* e *Node-RED* como servidor de rede e aplicação, respectivamente. A figura 19 apresenta a organização dos servidores supracitados.

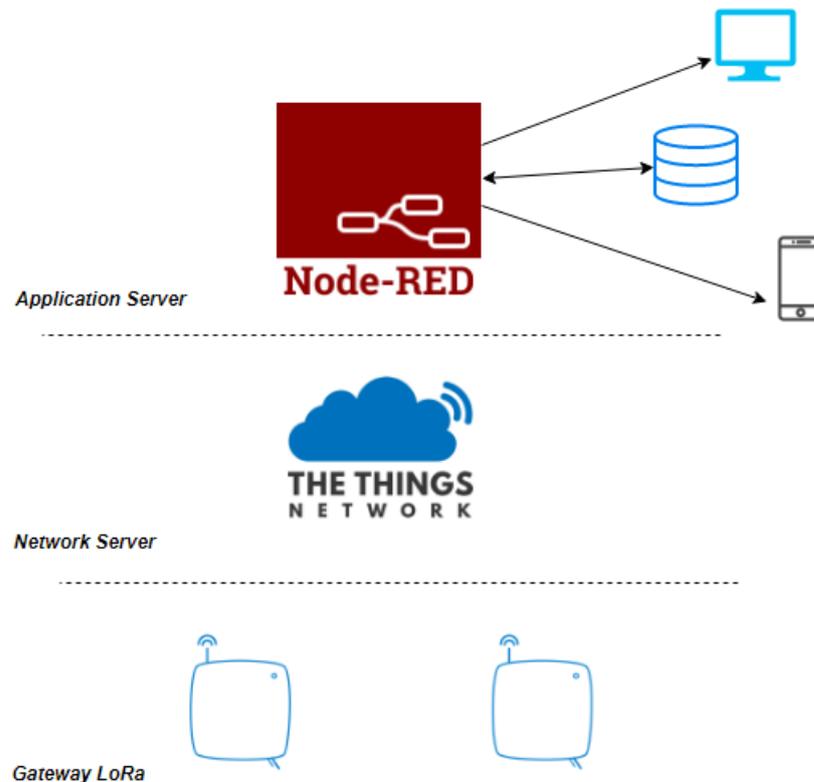


Figura 19: Estrutura de Servidores do sistema LoRa

Fonte: Autoria Própria

Como visto anteriormente, o *gateway* é responsável pelo fornecimento de dados para

o servidor de rede. Os dados são coletados dos sensores que monitoram a variável de ambiente. O servidor de rede disponibilizado pela *The Things Network* foi desenvolvido para realizar a ligação da base de sensores com a aplicação do sistema de forma facilitada (TTN, 2019). Através do endereço *WEB* da plataforma *The Things Network* é possível realizar todos os trâmites para registro da aplicação, autenticação e manipulação das informações adquiridas. O servidor de aplicação por outro lado, é responsável por cuidar de todos os registros dos *endpoints* cadastrados na rede e suas respectivas seções. O *Node-RED*, escolhido como servidor de aplicação, possui controle em tempo real dos dados recebidos via pacote e realiza o processo de identificação da aplicação e salvamento no banco de dados cadastrado (NODE, 2019). É através dessa aplicação que o servidor realiza o disparo de alertas de consumo e possíveis vazamentos ao consumidor. A seguir são detalhados cada um desses servidores, elencando a importância dos mesmos no processo da construção do projeto IoT.

3.2.3.1 SERVIDOR DE REDE: *THE THINGS NETWORK*

A *The Things Network* é uma plataforma gratuita, *open source* e colaborativa baseada em servidores na nuvem que conecta *gateways* LoRa ao redor do mundo. A rede utiliza o protocolo LoRaWAN com o objetivo de uma cobertura em longo alcance para os dispositivos da rede, caracterizando-a assim como uma WAN - *Wide Area Network*. Quanto maior o número de usuários que instalar e configurar um *gateway* a partir da aplicação, maior será o alcance da rede baseada neste servidor. Um servidor da TTN é responsável por fazer o gerenciamento do recebimento e envio de dados dos dispositivos por meio dos *gateways*, organizar e armazenar os dados, gerenciar usuários, checar chaves criptográficas e gerenciar as solicitações da camada de aplicações (MEIRELES et al., 2018).

A rede TTN foi lançada em Amsterdã no ano de 2015 e chegou ao Brasil em parceria com a ABINC - Associação Brasileira de Internet das Coisas com a proposta de modelamento para cidades inteligentes e constituição de uma rede pública, aberta e voltada para a inovação (ABINC, 2019). Estima-se que no Brasil, no ano de 2019, a plataforma TTN possui registro de mais de mais de 80 *gateways* cadastrados nas diversas regiões do país ⁴. A figura 20 apresenta a distribuição de *gateways* na região de Curitiba e entornos, vista pela plataforma TTN. Cada região circular em destaque, com os valores sinalizados (2 ou 3) simboliza o número de *gateways* compreendido dentro daquele raio. Tratam-se de *gateways* ativos na plataforma TTN que estão disponíveis para o envio de dados até um servidor de rede, de acordo com a configuração. As duas antenas diferenciadas da figura demarcam *gateways* inativos na região,

⁴Para maiores informações, consultar <https://www.thethingsnetwork.org/country/brazil>. Acesso em: 05/05/2019.

tratam-se de *gateways* apenas registrados na plataforma com as coordenadas definidas, porém incapazes de receber dados.

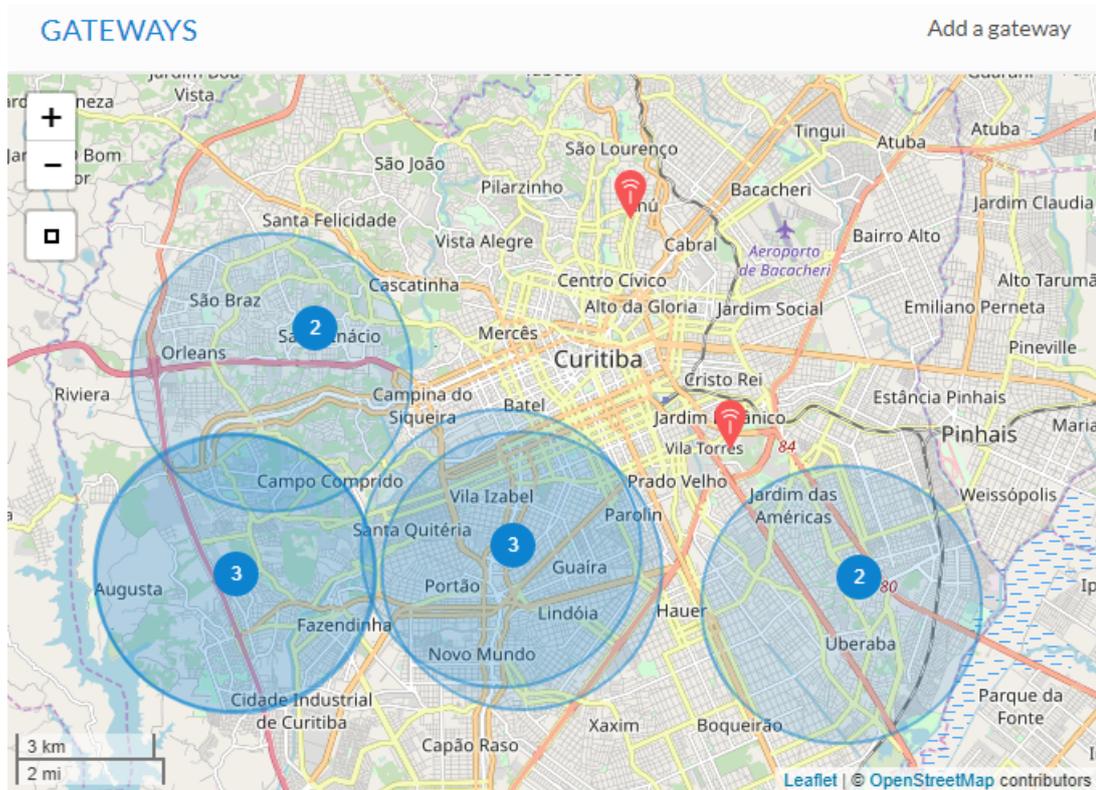


Figura 20: Mapa de gateways local

Fonte: (TTN, 2019)

O procedimento para cadastro e utilização da aplicação é simples. Uma vez realizado todo o processo de construção e implementação do *hardware* do *gateway* via sistema embarcado LoRa é necessário realizar o cadastro na plataforma TTN. O cadastro é a primeira forma de registro na plataforma. Após o cadastro, é necessário criar a aplicação na qual serão registrados os *endpoints* da nova rede de sensores. Uma série de dados é solicitada para vincular as informações do novo *gateway* à plataforma, porém todo processo é intuitivo.

A figura 21 apresenta a tela da aplicação criada. É importante assinalar que de acordo com a TTN a escolha do *Handler* deve ser a mais próxima possível dos *gateways*. É possível escolher qualquer um dos *clusters* espalhados pelo mundo, mas escolher o *cluster* mais próximo da aplicação minimiza a latência da rede. Os *clusters* com prefixos “tnn” são operados pela *The Things Network Foundation*, outros *clusters* são operados por parceiros (MEIRELES et al., 2018).

Realizado o processo de cadastro da nova aplicação, o passo seguinte é registrar o

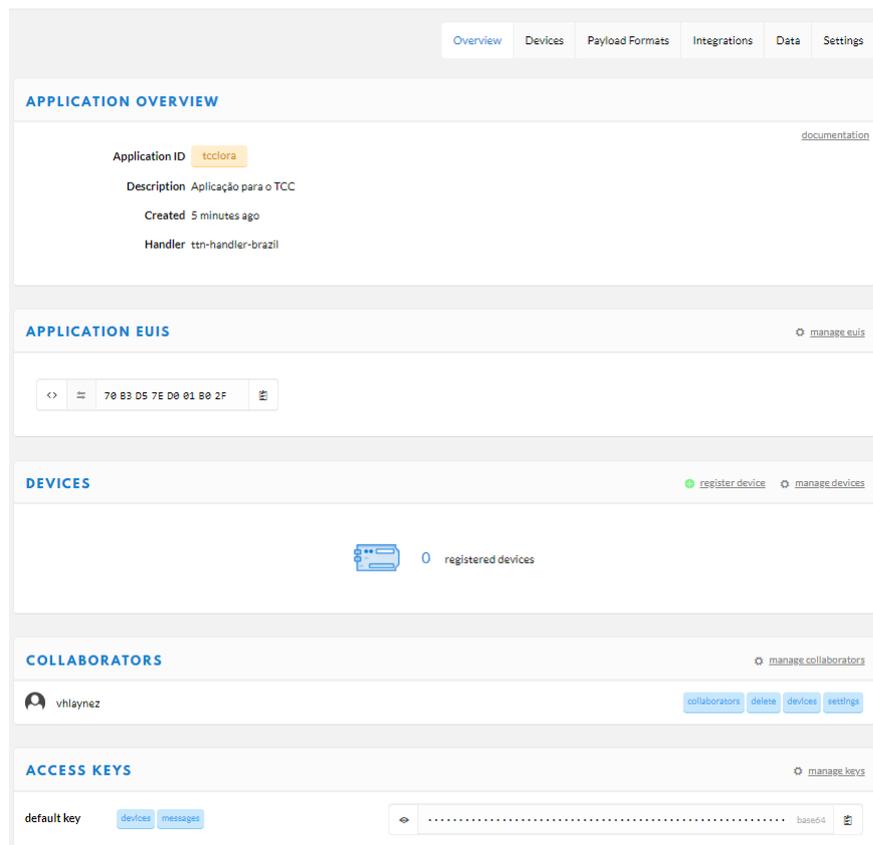


Figura 21: Criação da aplicação na TTN

Fonte: Autoria Própria

gateway na plataforma TTN. Neste registro dos “*devices*”, como são chamadas as aplicações da plataforma, são informados os parâmetros fundamentais para o funcionamento da comunicação entre os elementos. São parâmetros de localização, descrição, identificação. Um dos principais parâmetros de identificação do *gateway* é *Device EUI*. Trata-se de um identificador de 8 *bytes* atribuído a um único dispositivo dentro da rede. É a identidade do dispositivo na rede.

O campo *Activation Method* possibilita a escolha da chave de programação do dispositivo, disponível nas opções: OTAA - *Over the Air Activation* ou ABP - *Activation By Personalisation*. Esses parâmetros dizem respeito à forma como o dispositivo foi programado. No caso da aplicação optou-se pelo padrão ABP, cujas chaves para ativação são fixas. As chaves para a ativação ABP (*Network Session Key* e *App Session Key*), juntamente com o *Device Address*, são fundamentais para a aplicação. Esses elementos devem ser inseridos no *software* do microprocessador na composição do *endpoint*. Essas chaves direcionam corretamente os dados coletados referenciando qual *endpoint* e qual *gateway* foram os geradores das informações. A figura 22 apresenta a tela de configuração da composição do *device* identificado como “sensor1” do projeto desenvolvido. Todos os parâmetros de configuração

estão presentes nesta tela.

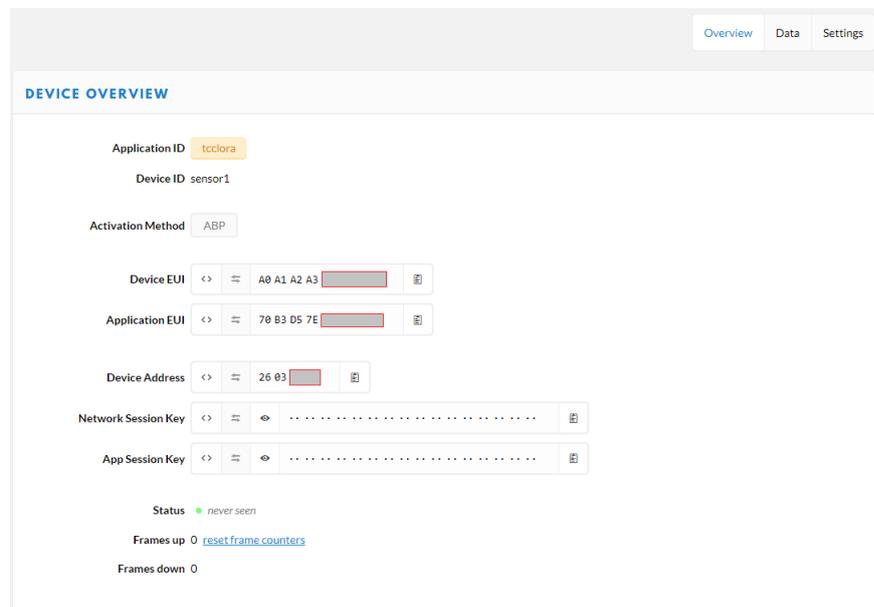


Figura 22: Configuração aplicada a um *device* no TTN

Fonte: Autoria Própria

Realizado este processo inicial de configuração do servidor de rede, a comunicação entre os elementos *endpoint*, *gateway* e TTN está concluída. Vale ressaltar que os servidores disponibilizados pela TTN são colaborativos, abertos e gratuitos até a presente realização deste trabalho. A tarefa agora é realizar os procedimentos de configuração do servidor de aplicação para disponibilizar os dados aos usuários, bem como manter atualizadas as informações encaminhadas ao banco de dados para tratamento das informações.

3.2.3.2 SERVIDOR DE APLICAÇÃO: *NODE-RED*

Desenvolvido em 2013 nos laboratórios da IBM e doado à *JS Foundation* em outubro de 2016, o *Node-RED* é uma ferramenta de programação visual baseado em fluxo. A ferramenta conta com uma infinidade de APIs e serviços *online* que facilitam o desenvolvimento e conexões de diversas aplicações através de “*nodes*” pré configurados.

Com foco em IoT, a ferramenta possibilita a união dos mais diversos tipos de *hardwares* e serviços *online* em um único ambiente, como por exemplo, o servidor de rede *The Things Network* e o banco de dados MySQL, utilizados no projeto. Outra característica interessante para o *Node-RED* é sua versatilidade. É possível embarcá-lo em um *hardware*, como o *Raspberry Pi*, por exemplo, e desenvolver as mais diversas aplicação no formato de “*nodes*”. O desenvolvimento de um servidor, portanto, requer conhecimento básico do

funcionamento do sistema. Além de desenvolver o conhecimento, a ferramenta proporciona um meio de economia, quando comparado à utilização de servidores comerciais. A aplicação possibilita ainda várias ferramentas para *debug*. O *debug* da plataforma especifica cada passo da aplicação de forma facilitada e intuitiva.

No tocante ao projeto de monitoramento de água residencial foi desenvolvido um fluxo de dados na plataforma *Node-RED* conforme pode ser observado na figura 24. Cada pacote recebido pelo servidor de rede, provindos dos *endpoints* através do *node TTN*, é tratado e referenciado no mesmo instante pela inclusão do parâmetro *Timestamp*. O servidor de aplicação acessa as informações do dado no formato JSON⁵. Na figura 23 é possível ver o objeto enviado pelo servidor de rede. Os valores a serem usados pelo servidor de aplicação, para destinação correta dos dados, são “*dev_id*” e “*hardware_serial*”. Nestes elementos estão identificados o *endpoint*, que enviou o dado, e a variável “*Fluxo*”, que se trata da medida do fluxo de água coletado naquele instante.

```
26/05/2019 12:06:20 node: uplink
msg : Object
  ▼ object
    app_id: "tccvictortest1"
    dev_id: "no1"
    hardware_serial: "A0A1A2A3A4A5A6A7"
    port: 1
    counter: 1
    ▶ payload_raw: buffer[6]
    ▶ payload_fields: object
    ▶ metadata: object
    ▼ payload: object
      Fluxo: "187."
      _msgid: "c8986f6d.b5def"
```

Figura 23: Exemplo de objeto enviado do servidor de rede para o servidor de aplicação

Fonte: Autoria Própria

De posse desse objeto é possível destinar seus valores utilizando os diversos *nodes* disponíveis na ferramenta. No servidor de aplicação criado, os dados chegam do servidor de rede e passam pela função *Timestamp*, para adicionar o horário da medição ao objeto. Em seguida, a função *Query* monta a consulta MySQL que é usada no *node* “*db*”, para gravação no banco de dados. Como citado, a figura 24 denota o fluxo organizado dos dados, bem como todos os *nodes* utilizados na aquisição e posterior gravação de medições no banco de dados.

⁵ *JavaScript Object Notation* (JSON): formatação leve de troca de dados, independente de linguagem de programação.

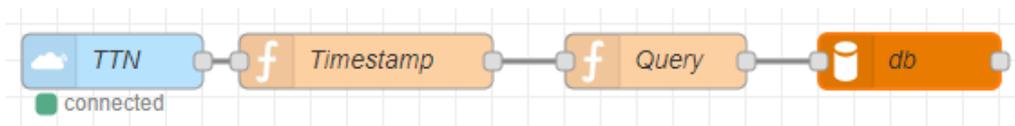


Figura 24: Fluxo de gravação de medidas no banco de dados pelo servidor de aplicação

Fonte: Autoria Própria

Além de salvar no banco de dados os valores provenientes do servidor de rede, o *Node-RED* possibilita a comunicação com outras mídias digitais. Para o sistema de monitoramento de água em questão, um fluxo específico para o disparo de *e-mails* foi desenvolvido. Esse fluxo é realizado em duas situações. A primeira refere-se ao envio de *e-mails* ao cliente informando os valores estimados do consumo de água e o valor pago referente à esse consumo. Vale ressaltar que a frequência para este envio de *e-mail* é facilmente configurável, podendo ser diário, semanal ou mensal. A segunda situação refere-se a informações para o alerta de detecção de vazamento. Foram estimados horários alternativos em que não pode haver medidas de fluxo de água. Entende-se a situação de não existência de fluxo de água como um horário estipulado durante a madrugada, por exemplo, supondo que a configuração do sistema para a residência não tenha nenhum consumo de água. Monitorando esses horários é possível inferir que algum vazamento pode estar ocasionando esse fluxo mínimo de água, portanto, disparando um *e-mail* de alerta ao cliente. Vale ressaltar que este alerta não implica necessariamente em um vazamento, mas serve como um alerta para o usuário monitorar adequadamente as saídas de água prevenindo qualquer desperdício. A figura 25 apresenta o fluxo desenvolvido para realizar o disparo de *e-mails* ao usuário informando dados de consumo. Já a figura 26 apresenta um *flow* (fluxo) para o disparo de *e-mail* em caso de erro na aplicação ou não recebimento de dados por parte do servidor de aplicação.

É importante notar que o fluxo segue um lógica de algoritmo. Cada um dos *nodes* possui funções específicas que realizam a consulta no banco, estimam o consumo de água do cliente enquanto, em paralelo, realizam a identificação do *endpoint* associado e montam a estrutura para disparo de e-mail de acordo com o endereço cadastrado do usuário.

3.3 SOFTWARE E INTERFACEAMENTO DO SISTEMA

Diante da breve introdução de um sistema de *software* apresentado na seção anterior, pretende-se agora apontar os elementos de *softwares* propriamente ditos, que em conjunto com toda a estrutura de *hardware* apresentada, constituem o sistema de monitoramento de água residencial. Inicialmente é feita uma abordagem geral sobre a estrutura dos algoritmos utilizada

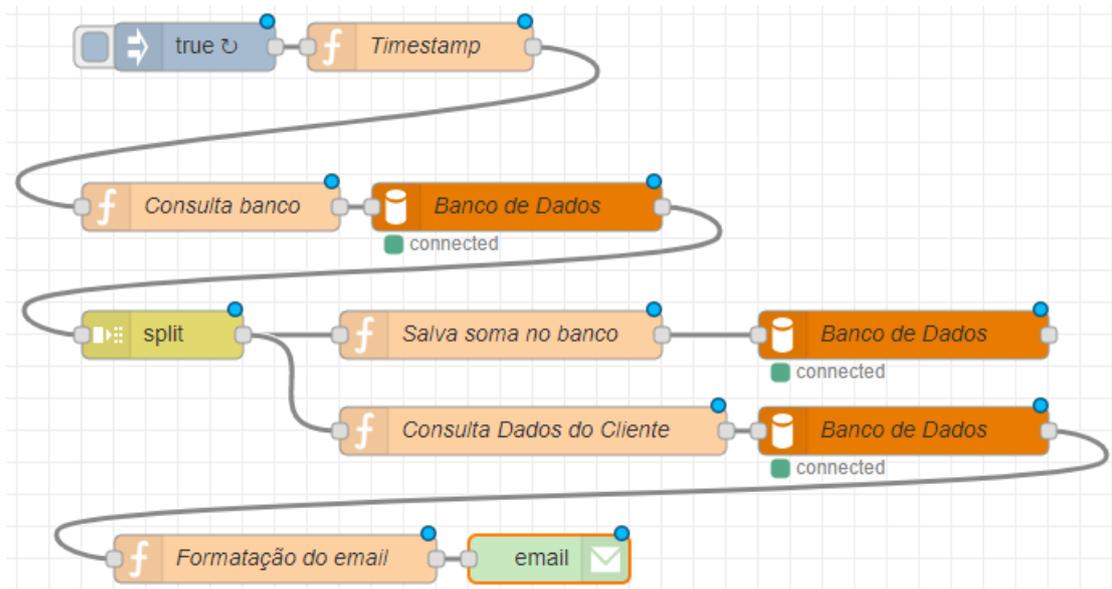


Figura 25: Fluxo do servidor de aplicação para o disparo de e-mails

Fonte: Autoria Própria

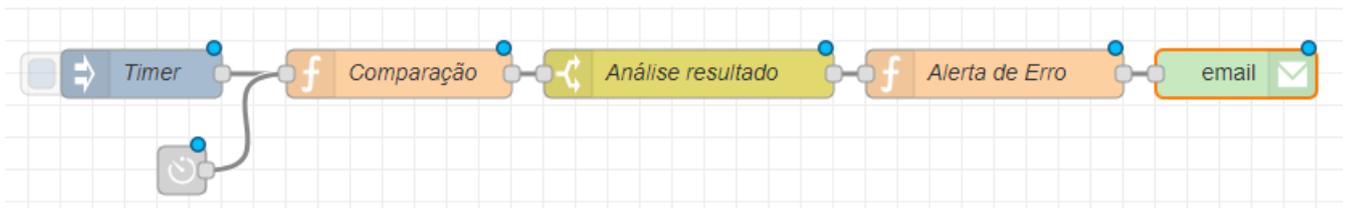


Figura 26: Fluxo do servidor de aplicação para o disparo de e-mails com alerta

Fonte: Autoria Própria

para implementar a aplicação. Em seguida, é apresentada a estrutura de banco de dados utilizada para salvar as informações da coleta de dados. Posteriormente é realizada uma explanação do desenvolvimento da aplicação WEB e da construção do *firmware* em questão.

3.3.1 ALGORITMOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO GATEWAY E ENDPOINT

Para o correto funcionamento da aplicação é necessário o desenvolvimento de uma estrutura lógica de transporte e processamento de dados por meio do sistema LoRa. Tanto *gateway* quanto *endpoint* apresentam uma composição de algoritmo própria, tendo por base o protocolo LoRaWAN com modificações implantadas para o funcionamento da aplicação. É importante ter ciência que não serão abordados de forma aprofundada as bibliotecas do protocolo LoRaWAN utilizadas na programação de cada elemento da rede, mas elucidar quanto ao processo de aquisição das variáveis monitoradas, bem como pontuar as alterações

e adaptações realizadas no protocolo.

No que tange à estrutura de *software* do *endpoint*, o primeiro passo é a definição dos parâmetros do sistema. Nesta etapa de definições são apontados os elementos de segurança do sistema, frequência de operação, pinos de *input/output* além de outros parâmetros. A seguir são apresentadas as variáveis alteradas no *software*, em relação ao protocolo LoRaWAN, caracterizando a aplicação:

- Definição da *Network Key*;
- Definição de *Application Key*;
- Definição de *Device Address*;
- Definição do *array* da variável de controle do sistema;
- Definição do intervalo de envio de informações;
- Definição de pinos I/O.

Ainda na etapa de definições, são configurados os valores da frequência de operação para o módulo RFM95W e o fator de espalhamento ortogonal SF. É importante ressaltar que o LoRa utiliza uma banda de transmissão não licenciada. Como apresentado na seção 2, a faixa de operação de banda da tecnologia LoRa é dividida em regiões pela ITU - *International Telecommunication Union*. Cabe ao Brasil a operação na faixa dos 915 MHz.

Dando continuidade ao algoritmo de *software*, o processo seguinte é a parametrização de um tempo de *setup* da aplicação. Este tempo é fundamental para realização de processos internos da aplicação, como verificação se existem pacotes para envio ou recepção, *reset* para garantir limpeza de *buffer* e que não há pendência de dados. Realizados esses processos o *gateway* coleta os dados do *endpoint*, já processados pelo microcontrolador presente na aplicação. Para a transmissão, existe a necessidade de empacotamento dos dados com as informações do *gateway*, *endpoint*, aplicação e valor da medida realizada. O próximo passo, portanto, é o envio destas informações para o servidor de rede associado. Neste processo, é realizada uma confirmação interna de envio do pacote para reinício do processo de coleta de novos pacotes. A figura 27 apresenta um diagrama simplificado do processo de programação implementado para um *endpoint*.

O processo de programação do *gateway* segue a mesma lógica do *endpoint*. Inicialmente são definidas a frequência de operação e o fator de espalhamento ortogonal do

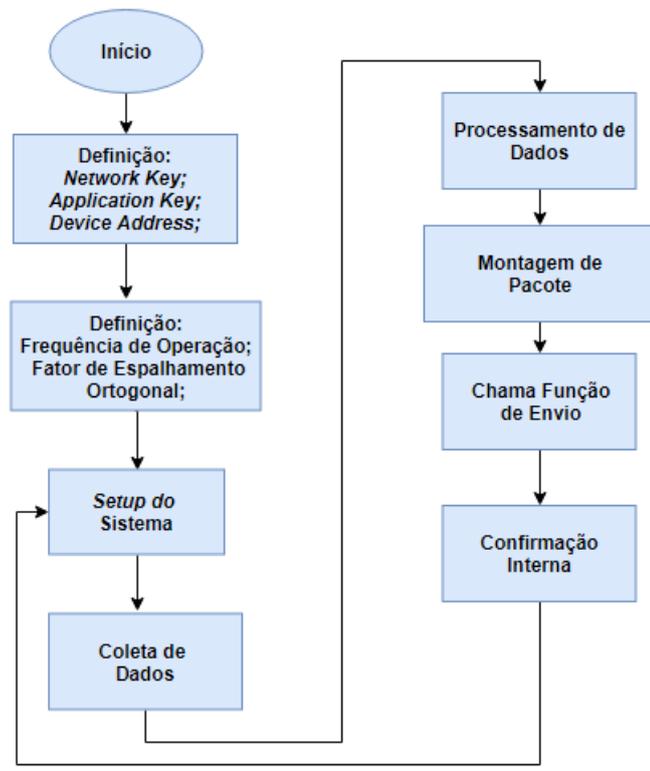


Figura 27: Diagrama simplificado de atuação do *endpoint*

Fonte: Autoria Própria

sistema. Posteriormente, para um *gateway* multicanal, é necessário realizar a seleção do canal de envio e verificação dos componentes de segurança da aplicação (*Network Key*, *Application Key*, *Device Address*). Vale ressaltar que o *gateway* desenvolvido é composto de apenas um canal, mas o fluxo do algoritmo realiza esta etapa de verificação do mesmo modo. O próximo passo é a realização do tempo de *setup* para aquisição do pacote de dados, limpeza de *buffer* e procedimentos internos. Recebido um pacote, é feita a verificação e identificação do *endpoint* que enviou pacote em questão. O pacote então é encaminhado para o servidor de aplicação. O último passo é a realização de um *reset* no contador de recepção do *endpoint* para que o *gateway* possa atender outros *endpoints* de forma igualitária, reiniciando o sistema de aguardo de pacotes pelo *gateway*. A figura 28 apresenta um diagrama simplificado do processo de programação implementado para um *gateway*.

A apresentação simplificada dos diagramas de funcionamento do *endpoint* e do *gateway* objetivam dar uma noção geral de processo de aquisição e fluxo de dados dentro da tecnologia LoRa. Cada componente apresenta uma estrutura bem mais complexa no que tange ao relacionamento das bibliotecas do protocolo LoRaWAN. Por fim, deve-se mencionar que as bibliotecas utilizadas no presente trabalho fazem parte de uma iniciativa colaborativa de

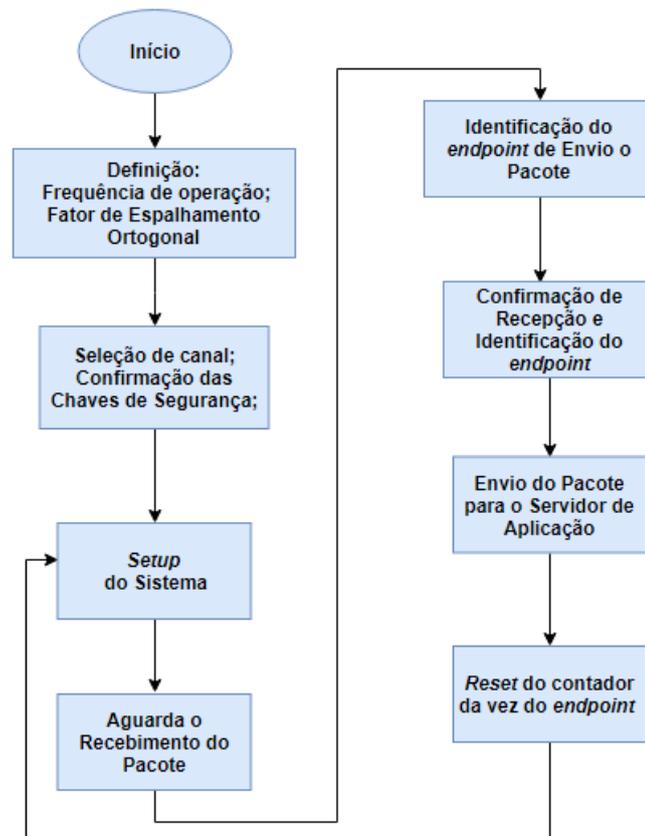


Figura 28: Diagrama simplificado de atuação do gateway

Fonte: Autoria Própria

desenvolvimento iniciada pela *IBM Zurich Research Laboratory* e a comunidade *LoRa Alliance*, que promove o desenvolvimento da tecnologia IoT⁶.

3.3.2 BANCO DE DADOS

Em sistemas IoT é importante, se não fundamental, uma estrutura de banco de dados adequada para guardar as informações geradas durante a coleta de dados dos sensores LoRa. Nos capítulos iniciais foram apresentados os conceitos básicos e relevantes sobre bancos de dados. Pretende-se, nesta seção, descrever as particularidades envolvendo a responsabilidade do banco de dados no projeto de monitoramento de água residencial.

Como mencionado em seções anteriores, optou-se pela plataforma MySQL como sistema gerenciador de dados da aplicação. O banco de dados MySQL pertence à empresa norte americana Oracle⁷. Trata-se de um banco de dados relacional *Open Source* funcionado

⁶Para maiores informações, consultar: <https://os.mbed.com/teams/Semtech/code/LMiC>. Acesso em: 10/06/2019.

⁷*Oracle Corporation* é uma empresa multinacional do ramo de tecnologia e informática dos Estados Unidos.

sob as licenças de *software* livre e comercial. Um dos grandes fatores de decisão para a escolha do MySQL como banco de dados da aplicação é a facilidade de integração com a linguagem PHP, utilizada para o interfaceamento da aplicação. Para fins de validação do trabalho foi criado um sistema simplificado para banco de dados na plataforma MySQL com o objetivo de guardar as informações geradas durante a coleta de dados. A figura 29 apresenta o modelo de relacionamento das entidades do banco.

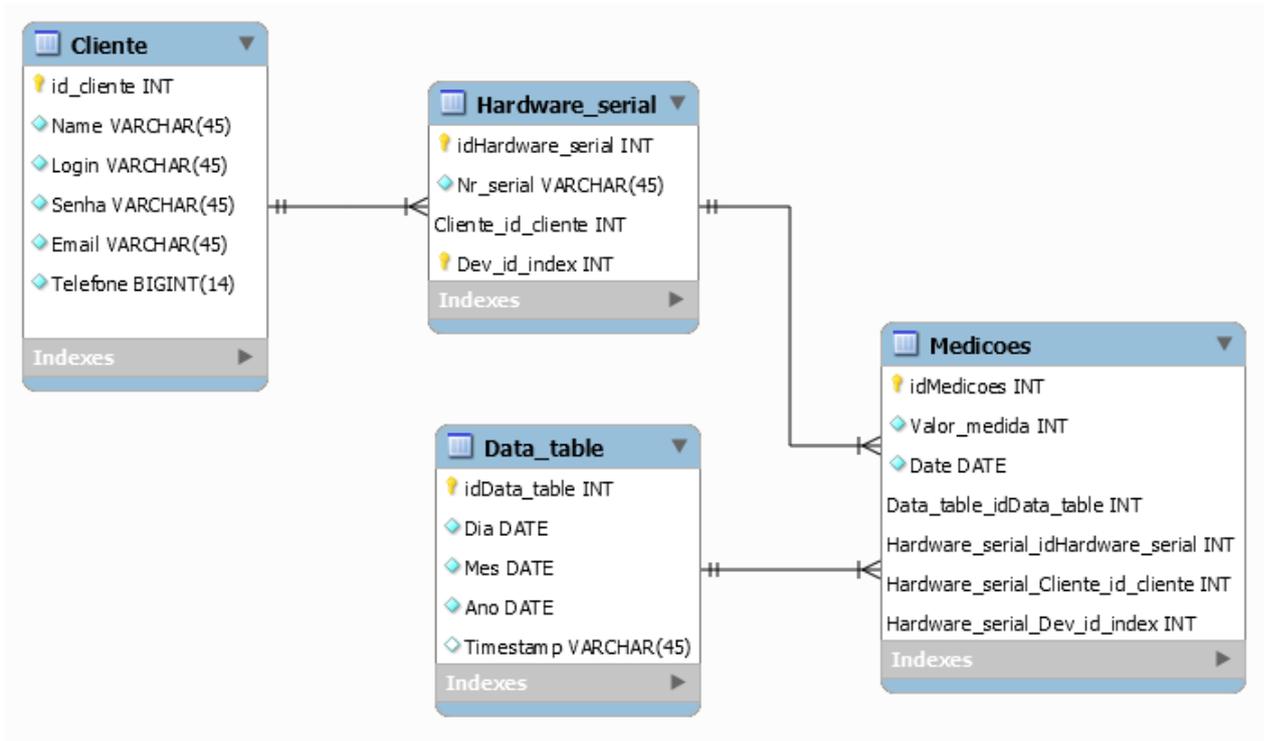


Figura 29: Esquema de relacionamento entre tabelas no banco de dados

Fonte: Autoria Própria

O modelo relacional apresentado descreve os dados da aplicação como entidades, atributos e relacionamentos entre tabelas. Entidades são objetos ou conceitos do mundo real. Os atributos são propriedades que caracterizam as entidades e os relacionamentos representam as interações entre duas ou mais entidades. Para a tabela de clientes as entidades mapeadas são: *id_cliente*, *Name*, *Login*, *Senha*, *Email* e *Telefone*. A tabela 4 apresenta a relação dos dados de cada cliente e o tipo de variável guardada no banco, bem como uma breve descrição da funcionalidade associada.

A tabela de “clientes” está relacionada ao “*Hardware_serial*”. Esta tabela possui como atributos um “*idHardware_serial*” para indexação da tabela e um “*Nr_serial*” que se trata do número serial do *gateway*, uma vez que o banco de dados deve receber dados de mais de uma

Tabela 4: Dados da tabela Cliente

Dado	Tipo	Descrição
id_cliente	INT	Número de identificação do cliente
Name	VARCHAR(45)	Nome completo do cliente
Login	VARCHAR(45)	Nome de usuário para o sistema
Senha	VARCHAR(45)	Senha de ao sistema
Email	VARCHAR(45)	<i>E-mail</i> para comunicação com cliente
Telefone	BIGINT(14)	Telefone de cadastro do cliente

Fonte: Autoria Própria.

gateway cadastrado. Já a tabela de medições (Medicoes) corresponde aos dados coletados pelos sensores dispostos nos clientes do sistema. As informações coletadas estão listadas na tabela 5.

Tabela 5: Dados da tabela Medições

Dado	Tipo	Descrição
idMedicoes	INT	Número de indexação do cliente
Valor_medida	INT	Valor da medida coletada
date	DATE	Data da coleta de dado da medida

Fonte: Autoria Própria.

Por fim, a tabela “Data_table” possui os atributos para referenciar as medidas às datas e tempos de coleta, para que se saiba exatamente o tempo em que o dado foi gerado e processado.

O relacionamento entre as tabelas se dá, da seguinte forma: um cliente pode cadastrar vários dispositivos com “Hardware_serial” único; isto é, um cliente pode possuir múltiplos *endpoints*. O “Hardware_serial” é capaz de coletar diversos valores de medição por dia. Estes valores estão associados a uma tabela de data e horários específicos, por isso, podem ser realizadas diversas medições, por diferentes *Hardware Serials*. O servidor de aplicação, portanto, salva essas informações nas tabelas específicas para, posteriormente, realizar a consulta dos dados de acordo com a solicitação do usuário. Vale ressaltar que a tabela Data_table corresponde a um recurso para facilitar a integração com o sistema desenvolvido em linguagem PHP. Esta tabela compreende a mesma informação “Date” da tabela de Medições, porém mantém dia, mês e ano em elementos separados, evitando conversões desnecessárias e otimizando o tempo de busca e processamento do banco de dados.

Todos os elementos citados acima são fundamentais para o desenvolvimento da página WEB. Esses elementos são os responsáveis por popular os dados da interface, dados estes, que relacionam consumo, histórico, gastos e informações pessoais para acesso do sistema. Na seção a seguir são apresentados estes elementos de forma gráfica: a interface que o usuário utiliza para informações do sistema.

3.3.3 APLICAÇÃO WEB

Toda a estrutura realizada e descrita na seção anterior precisa estar acessível em forma de interface ao usuário. Visando criar um ambiente gráfico, simplificado e intuitivo que possibilite a visualização das informações de histórico de consumo e demais dados, foi desenvolvida uma aplicação WEB. Tal aplicação pode ser acessada por um computador, um *smartphone* ou qualquer outro equipamento que possui conexão com a internet.

A aplicação WEB funciona da seguinte forma: quando o usuário acessa a página da aplicação, uma requisição ao *web server* é realizada. O *Heroku*, *web server* utilizado, por sua vez, chama um interpretador para rodar os *scripts* PHP desenvolvidos. Após o interpretador receber todos os dados solicitados do banco, ele monta o arquivo HTML e devolve para o *web server*, que por fim, envia para o navegador do usuário os dados referentes à construção da página e informações de consulta do cliente. Todo esse processo é esquematizado na figura 30.

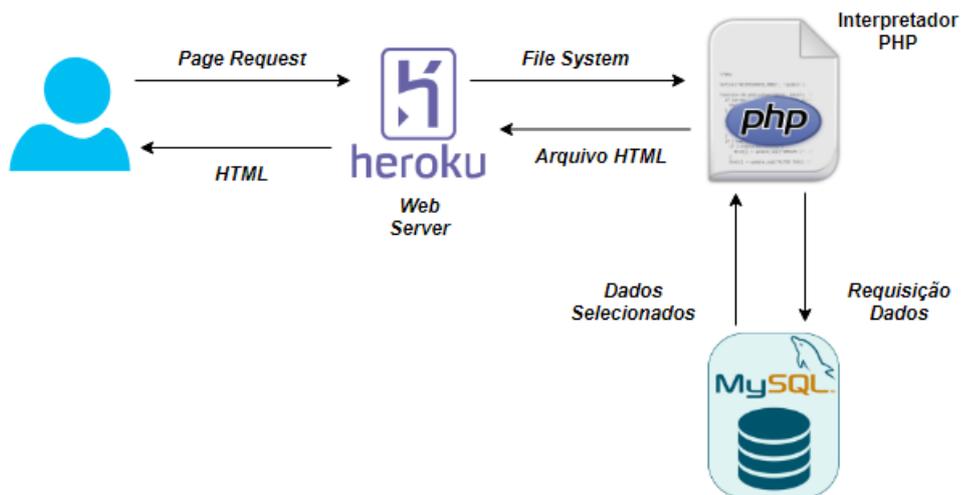


Figura 30: Esquemático do funcionamento da aplicação WEB

Fonte: Autoria Própria

A estrutura apresentada na figura 30 pode ser dividida em duas partes, para melhor compreensão: *front-end* e *back-end*. Nos tópicos seguintes estão detalhados o funcionamento da interface de usuário (*front-end*), servidor (*back-end*) e o serviço WEB utilizado para a hospedagem e banco de dados. É importante salientar que no presente trabalho não foram implementados mecanismos de segurança de dados da aplicação no que tange ao funcionamento WEB, uma vez que se trata de um desenvolvimento acadêmico. Fica portanto, como sugestão para trabalhos futuros um enfoque especial neste quesito, pois se trata de uma funcionalidade essencial no tocante a uma aplicação comercial.

3.3.3.1 FRONT-END

Os conceitos envolvendo a parte *front-end* de uma aplicação dizem respeito à interação direta do usuário com a interface do sistema. Neste quesito, uma das maiores características do sistema desenvolvido, para realizar essa comunicação com o usuário, é a tela responsiva. Para desenvolvimento da tela responsiva, isto é, que se adéqua à qualquer dispositivo com navegabilidade com a internet, foi utilizado a versão 5 do HTML, juntamente com o *Bootstrap*, um *framework* WEB para criação de interfaces. Assim, foi possível controlar a disposição dos elementos na tela de acordo com a resolução do dispositivo utilizado no acesso.

Outro elemento importante de UI - *User Interface*, é a ferramenta *ChartJs*. Essa ferramenta é responsável pela plotagem do gráfico na página inicial da aplicação a partir dos dados advindos do banco. Utilizando a biblioteca *jQuery*⁸ é realizada uma requisição assíncrona, ao arquivo “data.php”. Ao utilizar o método POST⁹ da aplicação, um “id” de usuário é buscado na base. De posse dessa informação, os valores das medições do período solicitado são retornados para a aplicação realizando a composição da tela. A figura 31 apresenta o processo de aquisição de dados de um gráfico da aplicação.



Figura 31: Esquemático da aquisição de dados do gráfico da aplicação

Fonte: Autoria Própria

A tela inicial da aplicação WEB é mostrada na figura 32. Na parte superior estão o menu de navegação e os 3 painéis de informações, todos criados no *Bootstrap*. Por fim, temos o gráfico plotado utilizando o *ChartJs*.

Os menus de navegação são compostos pela “Visão Geral” da aplicação, onde é possível encontrar o consumo de água do dia anterior, consumo de água do dia atual, até o momento da navegação no sistema e o saldo disponível para consumo diário. Se o saldo for positivo, o painel ficará vermelho, caso contrário, permanecerá azul. Ainda é possível navegar

⁸Biblioteca *Javascript* criada com objetivo de facilitar, entre outras coisas, animações e requisições assíncronas.

⁹Um dos métodos de requisição do protocolo HTTP.

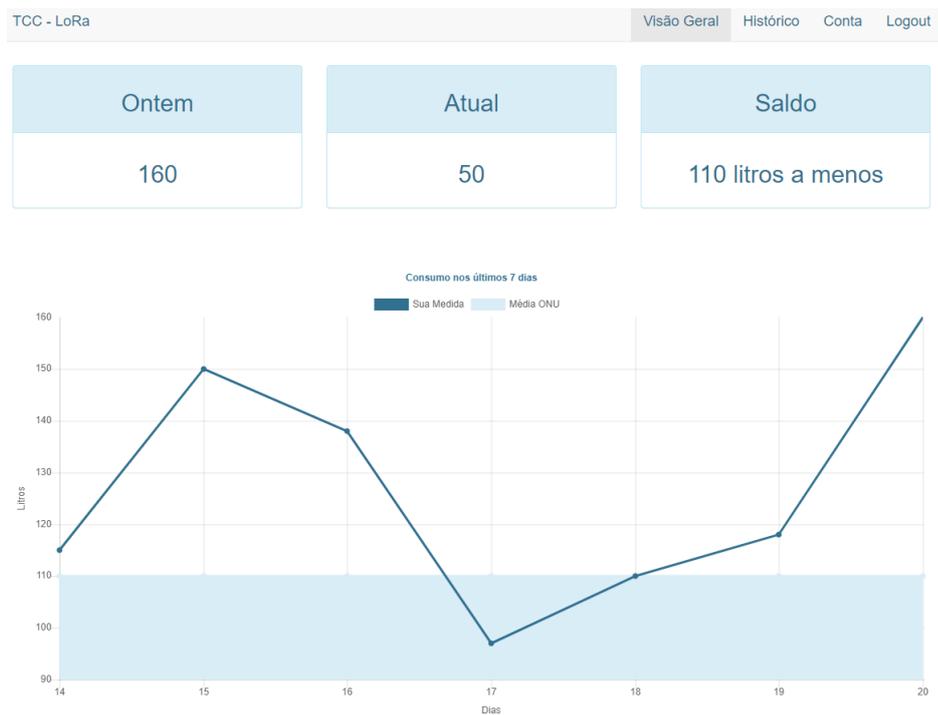


Figura 32: Tela inicial da aplicação WEB

Fonte: Autoria Própria

pelo menu de “Histórico” com informações semanais e mensais, o valor da “Conta”, onde são informados os valores referentes ao consumo de água e esgoto e por fim realizar o “Logout” do sistema. Como informado anteriormente, a tela é responsiva, podendo ser acessada por qualquer dispositivo que tenha acesso à internet. A faixa gráfica azul delimita o nível de consumo de água diário estipulado pela ONU. Os valores referentes à essa discussão foram abordados na seção 1.2.

3.3.3.2 BACK-END

O *back-end* foi desenvolvido em PHP. Trata-se da regra de funcionamento da aplicação com os processos que são acionados sem a percepção do usuário, como por exemplo a validação de *login* do sistema, a busca pelas informações do usuário etc. Quando um usuário acessa a página de consulta do sistema, primeiramente é realizado o processo de autenticação do usuário. O nome de usuário e senha digitados são pesquisados na tabela “cliente”. Se encontrados, o cliente é autenticado e é criada uma variável de sessão com seu identificador único, chamado de “id_cliente”. Com esse identificador, é possível estabelecer uma relação entre o *hardware serial* do usuário e suas medições, conforme foi descrito na figura 29.

Na página seguinte, chamada *overview*, é solicitado ao servidor o dia e hora atuais.

Este processo é um parâmetro de referência para consultar as medições do dia atual e do dia anterior na construção do consumo diário de água do usuário. Ainda nessa página, o arquivo "data.php" aguarda uma requisição de consulta ao banco de dados na tabela "medida_data", as medições dos últimos 7 dias são, então, recuperadas e enviadas no formato JSON ao *frontend*. Na aba "histórico" são mostradas as últimas 10 medições do cliente, provenientes da tabela "medicoes2". Para estimativa de conta, são somadas as medições dos últimos 30 dias e calculado o preço de água e esgoto conforme descrito na resolução homologatória 005 da AGEPAR - Agência Reguladora do Paraná (AGEPAR, 2019). Por fim, ao clicar em *Logout*, a variável de sessão do usuário é destruída e o sistema é desconectado, sendo necessário realizar a autenticação novamente para acesso. A figura 33 apresenta a página do sistema em um aplicativo *mobile*.

É importante ressaltar que não foram utilizados *tokens* de *logins* e técnicas de criptografia, como MD5 por exemplo, pois, tal abordagem está fora do escopo do presente trabalho. Entretanto, essas ferramentas poderiam ser implementadas no projeto, utilizando toda a infraestrutura já criada.

3.3.3.3 SERVIÇO WEB

O serviço WEB utilizado para hospedagem da aplicação WEB foi o *Heroku*. A plataforma WEB foi escolhida devido ao suporte oficial ao PHP, possibilidade de hospedagem da aplicação e banco de dados, além de ser um serviço gratuito. É importante salientar que o plano grátis utilizado tem algumas restrições, como limite de banda e domínio customizado. Entretanto, nenhuma dessas características interferiu no desenvolvimento do projeto. Para aplicações comerciais seriam necessárias outras alternativas de serviço WEB com maior versatilidade de aplicações, sendo assim, o *Heroku* se mostrou uma solução escalável e perfeita para a validação do sistema desenvolvido.

3.4 TESTES E INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS

Nesta seção pretende-se apresentar o procedimento de testes realizado para validação do sistema de monitoramento de água residencial, bem como apresentar o processo de gerenciamento da aplicação integrando, por fim, todos os elementos constituintes do projeto. Serão apresentados os detalhes de cada sistema, desde a aquisição do dado do *endpoint* até a apresentação final ao cliente. Descrever o procedimento de testes adotados é fundamental para corroborar o trabalho como um todo e apresentar um protótipo funcional com todos os



Figura 33: Tela inicial em aplicativo *mobile*

Fonte: Autoria Própria

requisitos de um possível produto comercial.

3.4.1 PROTÓTIPO PARA GERAÇÃO DE DADOS

Como uma das grandes questões envolvendo este trabalho é o uso consciente de água, evitando de toda forma o desperdício deste recurso vital, foi elaborado um sistema para aquisição das medições e validação dos resultados. De outra forma, seria necessário acoplar o equipamento em uma saída de água da rede de distribuição local para alimentar o banco de dados com valores reais e validar o sistema. A solução adotada, portanto, foi a construção de um protótipo para geração de massa de dados. A figura 34 apresenta os componentes do sistema desenvolvido para a validação dos dados.

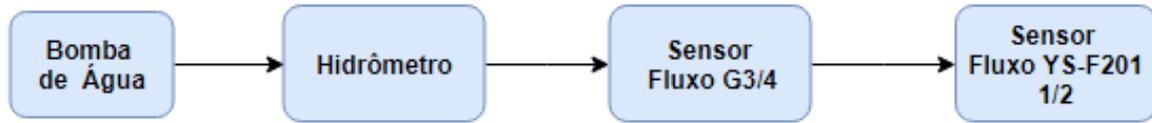


Figura 34: Esquema para validação de dados

Fonte: Autoria Própria

O sistema apresentado conta com um bomba que injeta água constantemente nos equipamentos de leitura. Esta bomba possui regulagem de transmissão de água, portanto foi possível realizar testes com vazão mínima e máxima. Segundo o manual do equipamento, a bomba possui vazão máxima de 360L/Hora e consegue bombear água a uma altura de 60 cm. A vazão mínima da bomba verificada no sistema foi de 1L/minuto, portanto, atendendo a resoluções apresentadas do hidrômetro e do sensor de fluxo. A bomba está conectada com um hidrômetro comercial. Este equipamento foi o primeiro elemento do sistema de medição inserido a fim de evitar qualquer perturbação na leitura de vazão de água, sejam possíveis bolhas geradas pela bomba, ar no sistema ou elementos que afetariam a medição.

O segundo elemento do sistema de medição é um sensor de fluxo de água de alta capacidade. Como apresentado na seção 2.2, a faixa de vazão pode variar de 1L/min a 60L/min com um erro percentual de 1%, portanto, a precisão mínima considerada do equipamento é de 1L/minuto. Como o equipamento é dotado de um *Reed Switch*, a capacidade de contagem de pulsos é de 330 pulsos/litro, isto é, para cada litro que passa pelo equipamento, 330 pulsos são gerados pelo sensor. Através desses valores é possível calcular com precisão a vazão de água pelo intervalo de tempo. Este sensor apresenta uma limitação quando considerado valores mínimos de vazão (inferior a 3L/minuto). Por mais que o *datasheet* especifique uma resolução mínima de 1L/minuto, o sensor não respondia quando aplicada esta condição mínima. Esta deficiência exigiu a instalação de um sensor de vazão com capacidade de leitura mínima calibrada. Para tal foi acoplado um segundo sensor de vazão no esquema. Trata-se do sensor de fluxo YS-F01 1/2, que é utilizado para medição de pequenas vazões de água apresentando boa precisão de leitura. Segundo o (DATASHEET, 2018) este sensor *Hall* consegue realizar a leitura na faixa de 1L/min a 30L/min, enviando pulsos PWM para serem tratados por um microcontrolador e realizar a leitura correta de vazão de água. Com a presente configuração foi possível realizar a leitura de valor mínimo na vazão do sistema estipulado em 1L/min segundo

o *datasheet* do equipamento.

O sistema completo conta ainda com dois recipientes descartáveis. Estes recipientes tem uma conexão na parte inferior de modo que toda a água bombeada do recipiente 1 passa pelo sistema de medição, cai no recipiente 2 e volta, por meio da ligação inferior entre os recipientes. Este processo cíclico possibilitou o ajuste do sistema para realizar a coleta de dados de forma constante e correta. A ideia por trás deste protótipo é exemplificar a aplicação do sistema em um caso real, onde o monitoramento de água de uma residência deve estar ativo por todo o tempo a fim de ser um projeto eficiente.

Além da estrutura hidráulica montada para o projeto, existem também os elementos de comunicação de dados do processo. Como apresentado anteriormente, o sistema de leitura pulsada do hidrômetro conta com um cabo de alimentação e dados. Este cabo é conectado ao *endpoint* para realizar a leitura dos pulsos gerados e tratamento da informação pelo *Blue Pill*. Conforme estipulado no *software*, cada pulso gera uma interrupção no sistema. O valor todas da contagem de pulsos é acumulado em uma variável e, de acordo com o tempo programado, é realizada a conversão do número de pulsos em litros/tempo. Este dado é então enviado pelo módulo de interface LoRa do sistema pra chegar até o *gateway*. Para os sensores de fluxo presentes no sistema, o processamento de coleta, conversão e envio de dados se assemelha ao descrito para o hidrômetro. A grande diferença está no processamento do sinal PWM gerado pelo pino de dados do sensor de fluxo. A imagem 35 apresenta a constituição hidráulica completa do sistema montado para realizar a validação dos dados.



Figura 35: Protótipo de medição e validação do sistema

Fonte: Autoria Própria

3.4.2 ELEMENTOS PONTUAIS DE TESTE

Dando continuidade com a apresentação dos testes realizados no projeto, dois elementos merecem especial atenção nesta abordagem, pois são tratados como pontos crítico da aplicação e merecem uma explanação pontual para a correta realização da aquisição de leitura e escalabilidade do sistema. Tratam-se do sistema de antenas para transmissão e recepção de pacotes e do sistema de vazão que coleta as variáveis do sistema. As considerações desses dois elementos são apresentadas a seguir.

3.4.2.1 ANTENA

Como apresentado em seções anteriores, com a finalidade de desenvolver um produto de baixo custo e aprimorar o conhecimento sobre a tecnologia IoT optou-se pelo desenvolvimento de cada elemento constituinte no projeto. Um desses elementos foi o *gateway*. O *gateway single channel* foi elaborado a partir de um *Raspberry Pi* e de um módulo de interface LoRa. Este módulo apresenta a necessidade de uma antena para aquisição dos pacotes de dados. A antena em questão foi especificada na seção 3.2.1. Para esta antena, foram realizados alguns testes importantes para dimensionamento de área de captação do *gateway* e intensidade de sinal. A figura 36 apresenta a dimensão aproximada do raio de capacidade de captação de sinal do *gateway* desenvolvido.

De acordo com as medidas realizadas, a intensidade do sinal LoRa foi satisfatória dentro da área circundada da imagem 36. O raio do círculo foi exatamente 113 metros. Fora deste raio a perda de pacotes e a baixa intensidade do sinal são fatores críticos, que impossibilitam qualquer medição confiável para o sistema. É importante destacar que inúmeros fatores contribuem para a redução do raio de atuação do *gateway*. A região de teste é uma área residencial com obstáculos circundando o equipamento, o que diminui consideravelmente a intensidade do sinal de captação. No que tange à antena do sistema, buscou-se a melhor configuração de antena possível para a recepção de sinal para produção de um equipamento simples e funcional. Existem opções específicas de antenas para sistemas LoRa no mercado porém, estes equipamentos configuram um custo adicional e elevado ao projeto. Optou-se portanto, pela confecção própria da antena. Algumas variáveis que configuram problemas quanto ao curto alcance da antena foram analisadas. Pode-se citar que foram investigadas algumas causas prováveis, tais como: obstáculos entre *gateway* e *endpoint*; altura apropriada dos módulos em relação ao solo; existência de objetos metálicos próximos à antena; configuração de potência e velocidade de transmissão adequados; tensão de alimentação adequada. Posicionar o *gateway* em uma região mais alta com a adaptação de uma antena de

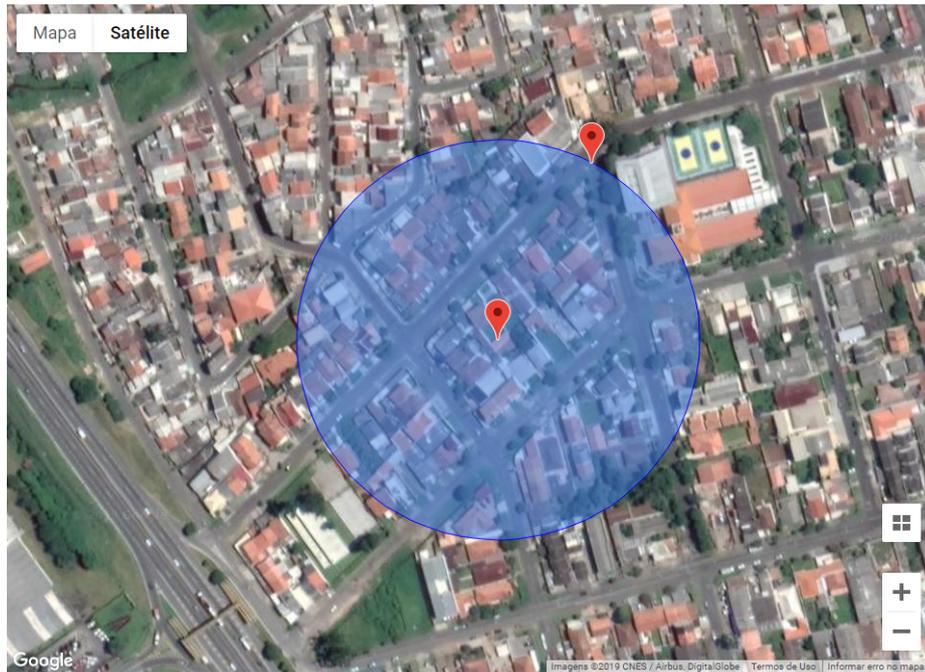


Figura 36: Raio de captação de sinal do gateway

Fonte: Autoria Própria

alta capacidade de recepção produziria um raio maior para atuação do sistema. Por fim, deve-se considerar que a aplicação atende com tranquilidade um condomínio residencial, por exemplo, onde as distâncias entre as unidade de captação são pequenas e a concentração de moradores facilita a manutenção do equipamento para atendimento geral.

3.4.2.2 VAZÃO

No que tange ao testes de vazão de água realizados para validação do sistema é preciso considerar alguns aspectos. Como apresentado anteriormente, o sistema é composto pelo hidrômetro comercial e sensores de fluxo de água. O hidrômetro, por si só, já possui todas as validações de um produto comercial aprovado pelo INMETRO, de forma que os valores de medidas captados pelo hidrômetro já representam o consumo real do sistema. Neste sentido, o *software* desenvolvido para captação e transmissão do valor de consumo de água já tinha como referência os valores mostrados no relógio do equipamento. Com base no *datasheet* do equipamento, os valores calculados na base de tempo de leitura foram transmitidos corretamente pelo sistema, a partir do *endoint* e salvos no banco de dados. Por outro lado, os sensores de fluxo necessitaram de um procedimento para comprovação do real valor de vazão de água.

O procedimento para o teste de validação do sensor de fluxo seguiu os seguintes passos:

- Estabilização do sistema;
- Definição do tempo de coleta;
- Coleta de dados no intervalo estipulado;
- Medição e anotação do valor coletado;
- Plotagem do gráfico.

Detalhando o processo: ao ligar o sistema para aquisição das medidas, foi aguardado um tempo para estabilização do mesmo, a fim de eliminar qualquer instabilidade de leitura provocado por ar interno no sistema ou outros elementos. O passo seguinte foi a definição do tempo de leitura do sistema. Este tempo de leitura refere-se ao tempo correte de coleta de dados para definição da vazão do sistema. Iniciou-se a aquisição de medidas com o tempo mínimo de um minuto. Durante este tempo, o sistema ficou ligado ininterruptamente realizando a leitura de vazão de água e captação de dados. A vazão média no decorrer do tempo foi de 10 litros de água por minuto. É importante destacar que, para a realização deste teste não foi usado o protótipo descrito na seção 3.4.1, pelo fato da bomba de água não ter a capacidade de vazão estipulada. O sistema com o hidrômetro e os sensores foi ligado diretamente na rede de água de distribuição local. Conforme findava o tempo de captação de água em um recipiente externo foi realizado um processo de pesagem da água, sabendo que 1 litro de água corresponde aproximadamente a 1 quilograma da mesma substância, uma vez que a densidade da água se aproxima de 1 kg/l. O processo foi repetido por 10 vezes e os resultados dessas medições são apresentados na tabela 6:

Tabela 6: Validação da vazão de água do sistema

N. medida	Massa (kg)	Hidrômetro(l)	Sensor Vazão(l)
01	9,90	10	09
02	9,96	11	10
03	9,91	09	09
04	10,01	10	09
05	9,91	10	10
06	9,95	11	10
07	9,90	09	09
08	9,95	10	10
09	9,96	10	10
10	9,94	11	10

Fonte: Autoria Própria

Os valores apresentados na tabela 6 já possuem o desconto da tara do recipiente. Nesta tabela são apresentadas as medidas realizadas no intervalo de tempo de um minuto, a massa em

quilogramas do peso da água obtido após a coleta de cada amostra, o valor de leitura em litros no mostrador do hidrômetro e o valor de leitura em litros obtidos pelo *software* para o sensor de vazão.

Para a calibração do sensor de vazão foram realizadas diversas alterações no *software* de cálculo de vazão, a fim de chegar ao valor mais próximo possível da realidade. Foram testados diversas variações de vazão e por diferentes tempos de aquisição de dados do sistema. Todos os valores coletados aproximaram a leitura realizada pelo hidrômetro do valor de vazão captado no sistema, comprovando assim a fidelidade da leitura de vazão de água do protótipo. É importante comentar quanto a oscilação das medidas na comparação entre os valores coletados pelo hidrômetro e os valores coletados pelo sensor de fluxo de água. A ocorrência desta oscilação se deve à resolução dos sistemas de medição e a forma de tratamento dos dados via *software*. Como as aquisições são obtidas em um tempo fixo, delimitado o número de interrupções naquele intervalo, pode ocorrer que a contagem de interrupções não alcançou ainda uma resolução completa do valor de um litro de água. Em outras palavras, supondo que foram contabilizados 900 mililitros, via contagem das interrupções por *software* dentro de um minuto, por exemplo, este valor não compõe a totalização de litros do intervalo, pois a resolução do equipamento não comporta esta medida sendo, portanto, contabilizado no período posterior e compondo o valor total do litro de água apenas no ciclo seguinte.

A figura 37 apresenta o gráfico relacionando o valor de massa coletado no procedimento, a leitura em litros observada no hidrômetro e a leitura em litros do sensor de vazão. Deve-se salientar que toda a água utilizada no procedimento foi reutilizada posteriormente.

3.5 ANÁLISE DE CUSTOS

A fim de manter um paralelo de comparação com as tecnologias existentes no mercado, no que diz respeito a sistemas de monitoramento hídrico, apresenta-se agora os custos envolvidos no projeto. Antes de mais nada é necessário mencionar que o hidrômetro comercial utilizado na confecção do protótipo, bem como o sensor de fluxo de maior vazão foram adquiridos por empréstimo, não entrando no cálculo dos custos envolvidos no projeto. A tabela 7 apresenta os gastos envolvidos na confecção do protótipo de monitoramento de água residencial.

De acordo com os elementos utilizados para a montagem do *endpoint*, *gateway* e do sistema de medição projetado, o custo real do projeto foi de R\$ 263,70. Além deste valor é

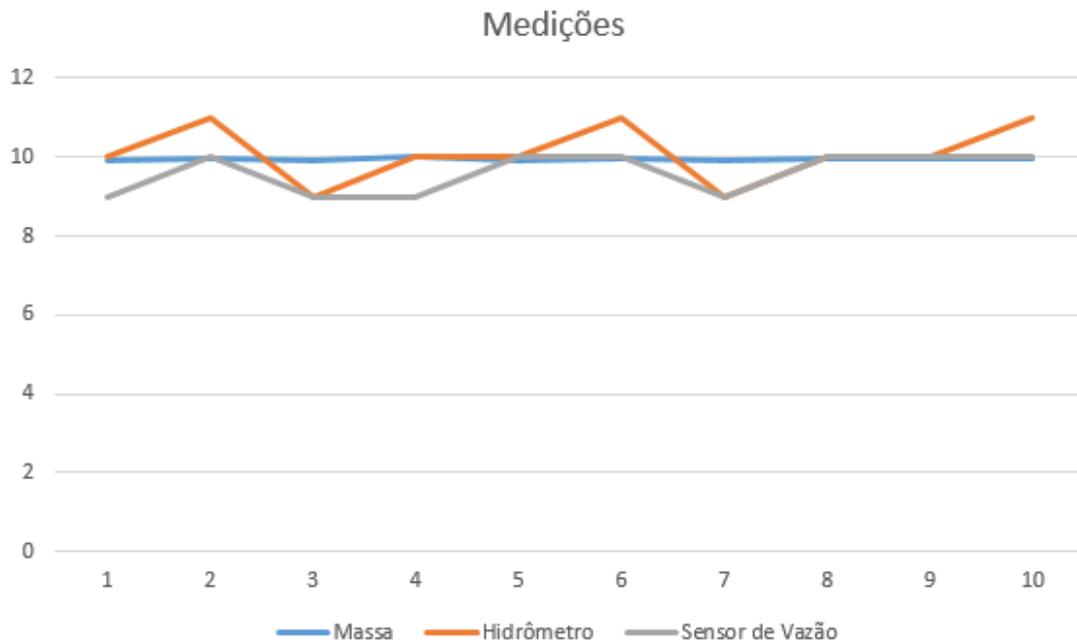


Figura 37: Relação entre leituras realizadas pelo hidrômetro, sensor de vazão e massa

Fonte: Autoria Própria

Tabela 7: Custos envolvidos no projeto

Descrição do Produto	Quantidade	Valor Total
LoRa RFM95W	02	R\$ 70,00
Raspberry Pi Zero W	01	R\$ 90,90
Sensor de Fluxo 1/2" YF-S201	01	R\$ 27,90
Memória Micro SD 16GB CL A	01	R\$ 25,00
Microcontrolador STM32F103C8T6	01	R\$ 21,90
Elementos para conexões	05	R\$ 20,00
Caixa protetora	02	R\$ 8,00

Fonte: Autoria Própria

importante citar que foram utilizados equipamentos reciclados para a confecção do tanque de medição a fim de evitar desperdícios desnecessários com energia e água. Analisando a tabela de gastos fica visível que o elemento que mais consumiu recursos foi o *gateway*, devido à necessidade da plataforma *Raspberry* para confecção. Por outro lado, a compra de um *gateway* comercial pronto superaria o valor total do projeto, em média, em uma vez e meia. Da mesma forma, os módulos LoRa apresentam um percentual grande do gasto, mas comparando o projeto desenvolvido com as soluções apresentadas do mercado percebe-se a viabilidade do projeto. Além disso é necessário pensar o projeto à luz da economia de água, detecção de vazamentos e praticidade de instalação.

É certo que o projeto de monitoramento de água residencial desenvolvido possui limitações. Existem muito mais funcionalidades no equipamento EcoMonitor, apresentado na seção 2.6, porém o custo do equipamento é consideravelmente maior por agregar os elementos adicionais de monitoramento de gás e eletricidade. A precisão do Geofone também não se compara com este projeto e da mesma forma, além de um custo elevado é necessário conhecimento técnico para operar o sistema. O sistema que mais se assemelha a este projeto, portanto, é o produto da empresa Lager descrito na seção 2.6, mas não apresenta a versatilidade de instalação do projeto proposto. Desde o desenvolvimento do conceito de um sistema de monitoramento de água residencial, a ideia central foi propor um produto versátil, de baixo custo, de fácil instalação e que pudesse atingir o maior número de pessoas possíveis dentro dos princípios das aplicações IoT. A instalação em condomínios que ainda não possuem sistema de medição de água individualizado é, portanto, um dos focos do projeto. Aliado a esse nicho de mercado, o sistema satisfaz a necessidade de gestão hídrica de qualquer casa, evitando desperdício e alertando quanto a possíveis vazamentos ocultos.

4 CONCLUSÃO

A primeira vista um sistema de monitoramento de água residencial pode parecer uma ideia simples e com pouco potencial comercial quando pensado a luz da velocidade de inovação tecnológica. De fato, as concessionárias de abastecimento hídrico realizam não só a distribuição, mas também a leitura e o faturamento da conta de água e esgoto das residências, ou seja, um sistema completo. A ideia do desenvolvimento de um sistema para monitoramento residencial de água começa a torna-se interessante com uma abordagem econômica do projeto nos quesitos de economia de água e recursos financeiros. Não limitando-se a isso, o trabalho toma estrutura com a possibilidade de monitorar cada litro de água gasto em uma residência. Acrescentando ao projeto uma das tecnologias de comunicação de dados emergentes no mundo, a tecnologia LoRa, é possível desenvolver um sistema estruturado, interconectado e com infinitas possibilidades no ambiente IoT. Neste cenário, portanto, percebeu-se a oportunidade de desenvolvimento de um sistema de monitoramento de água residencial que tem por base a tecnologia LoRa.

Como apresentado nas seções iniciais, a abordagem do trabalho visa essencialmente um sistema de gestão hídrica residencial e também um mecanismo para detecção de vazamentos de água. Muitas vezes esses vazamentos são indetectáveis à primeira vista, principalmente em edifícios ou casas antigas que possuem uma estrutura hídrica precária, sendo percebidos somente ao final do mês com a chegada da conta ou, a longo prazo, com os problemas estruturais provocados por vazamentos internos. A ideia fundamental do trabalho é prevenir o usuário quanto a esses transtornos. Na seção 1.2 foi apontado que com um simples gotejamento de água durante o período de um mês ocorre o desperdício de 2000 litros de água. Estimando que uma casa tenha várias saídas de água com esse gotejamento, é possível reduzir esse desperdício de forma eficiente com o equipamento, proporcionando uma redução no valor final da conta, característica essa que torna o projeto, por si só, bem interessante economicamente.

O custo reduzido do sistema quando comparado com as soluções de mercado, torna o equipamento de monitoramento de água residencial bem atrativo. Conforme apresentado na seção 3.5, o equipamento desenvolvido neste projeto representa o valor médio de um quarto

das demais soluções do mercado. Outro grande diferencial do equipamento em relação às alternativas de mercado é a facilidade de instalação. É possível ter a versatilidade de usar a estrutura de um hidrômetro com saída pulsada, quando este está disponível na residência, ou adaptar o sistema com a colocação de um sensor de vazão, após o relógio de leitura da concessionária. Evita-se assim, burocracias desnecessárias de instalação no tocante à autorizações das concessionárias de água, agilizando o processo de maneira geral. É preciso salientar também a conectividade do sistema na rede. Dados são disponibilizados em tempo real para o usuário. Os consumidores podem ter total controle do consumo de água residencial com uma simples consulta em uma página WEB de forma eficiente e prática. No tocante à vazamentos, o sistema envia alertas quando é detectada algum consumo irregular como uma vazão constante, por um longo tempo, ou um consumo frequente na madrugada, por exemplo. Todas essas características desenvolvidas e implementadas para um sistema de monitoramento de água residencial imprimem ao projeto uma importância maior do que um trabalho de conclusão de curso, mas uma oportunidade inovadora comercial.

Pensando por um viés comercial, o trabalho pode representar uma boa proposta de produto. As opções de produtos similares no mercado apresentam limitações quando comparadas com o sistema deste trabalho. Limitações econômicas, de acessibilidade ou burocráticas. Porém, é claro que para o desenvolvimento de um produto para o mercado existem inúmeros elementos a serem considerados e que necessitariam de algum tipo de reformulação a fim de garantir a melhor qualidade e funcionalidade do equipamento. O processo de maturação de um produto deve passar por diversas fases de validação e englobar diversos aspectos. Um destes aspectos é quanto à melhorias a serem realizadas no *gateway*. O aumento do raio de atuação do *gateway* é essencial para o atendimento em larga escala necessário para um produto. O posicionamento estratégico do *gateway* em pontos de elevação, bem como, a utilização de uma antena otimizada proporcionaria um raio de captação condizente com a apresentação da tecnologia LoRa. Outro ponto de melhoria para o *gateway* é a implementação de um sistema multicanal para o atendimento de um número maior de *endpoints*. Aliando um raio maior de atuação do *gateway* com uma maior capacidade de atendimento, via multicanais, estabelece-se uma competitividade real com equipamentos de mercado.

No tocante à segurança da aplicação é necessário a implementação de mecanismos para garantir ainda mais a criptografia dos dados dos clientes. Mesmo com as opções de segurança oferecidas pelo protocolo LoRaWAN é necessário assegurar as informações salvas na base com criptografia adequada. Guardar da melhor forma possível os dados dos cliente, dados este, não apenas pessoais, mas informações de consumo e tendências, que podem ser utilizadas para desenvolvimento de algoritmo inteligente de redução de consumo, propicia confiabilidade no

produto e na aplicação.

Em relação aos servidores IoT, a melhor opção comercial é desenvolver uma estrutura própria de servidores de rede e aplicação. Esta estratégia é essencial para reduzir custos desse serviço em larga escala, além de possibilitar uma estrutura redundante para a conexão. Isto evita a concentração de todas as informações em um único servidor e minimiza possíveis impactos da perda desse servidor, caso aconteça. Também é necessário citar os elementos de conectividade do usuário com o sistema. O desenvolvimento de um aplicativo para integração de todas as funcionalidade agrega valor à aplicação. A otimização do aplicativo implica, além das informações gerais de consumo e monitoramento de água, no desenvolvimento da versatilidade de realizar uma programação de alertas de banhos demorados, por exemplo, ou um sistema de gestão otimizado para cada residência de acordo com os integrantes da casa. Outra funcionalidade do aplicativo seria realizar integração com outros aplicativos e dispositivos ou até mesmo como a concessionária da região para facilitar e agilizar o processo de leitura de dados da empresa, agregando valor ao dispositivo.

Por fim, pode-se considerar melhorias no tocante ao sistema coletor de dados, o *endpoint*. Além da possibilidade de monitoramento dos níveis de bateria do sistema, as melhorias poderiam compor a otimização desse consumo com a diminuição do *clock* do processador do microcontrolador. Este procedimento confere uma vida útil maior ao sistema alimentador da aplicação. Além disso, pode-se agregar maior precisão no sistema de coleta de dados com sensores de fluxo de água de maior resolução capazes de captar décimos de litros de água.

Diante dos apontamentos apresentados e tendo em vista a funcionalidade do equipamento, um sistema de monitoramento de água residencial baseado em uma tecnologia de comunicação de dados a longa distância concretiza não só uma produto acadêmico, mas a possibilidade de uma implementação comercial. Os desafios são grandes na transformação de um trabalho científico em um produto comercial. Fundamentalmente as bases do equipamento foram lançadas diante da pesquisa e implementação do sistema; basta agora, aperfeiçoar a aplicação e agregar valor ao produto.

REFERÊNCIAS

- ABES. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água**. 2018. Disponível em: <<http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2019.
- ABINC. **Projeto TTN - *The Things Network***. 2019. Disponível em: <<https://abinc.org.br/projeto-ttn-the-things-network/>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.
- AGEPAR. **Resolução Homologatória nº 005**. 2019. Disponível em: <<http://www.agepar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=95>>. Acesso em: 15 de março de 2019.
- ALLIANCE, L. ***What is LoRaWAN™***. 2019. Disponível em: <<https://loralliance.org/resource-hub/what-lorawantm>>. Acesso em: 13 de abril de 2019.
- ANA. **Agência Nacional de Águas – Quantidade de Água**. 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 25 de agosto de 2018.
- CENTENARO, M. et al. ***Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the iot and smart city scenarios*** — IEEE Wireless Communications, Coimbatore, India, v. 23, p. 20–25, 2016. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1510.00620>>.
- COELHO, A. C.; MAYNARD, J. C. de B. **Medição Individualizada de Água em Apartamentos**. 1. ed. Recife: Editora Comunicarte, 1999.
- COWBURN, P. ***1997-2019 the PHP Documentation Group***. 2019. Disponível em: <https://www.php.net/manual/pt_BR/>. Acesso em: 20 de abril de 2018.
- DATASHEET. ***YF-S201 Hall Effect Water Flow Meter / Sensor***. 2018. Disponível em: <<http://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>>. Acesso em: 19 de maio de 2019.
- DATASHEET. ***G1” Water Flow Sensor***. 2019. Disponível em: <https://www.openhacks.com/uploadsproductos/g1_water_flow_sensor_-_wiki.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2019.
- DATASHEET. ***RFM95/96/97/98(W) - Low Power Long Range Transceiver Module V1.0***. 2019. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/8/0/4/RFM95_96_97_98W.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2019.
- DATASHEET. ***STM32F103CBT6***. 2019. Disponível em: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

DEVALAL, S.; KARTHIKEYAN, A. *LoRa Technology - An Overview* — IEEE Xplore Digital Library - 2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), Coimbatore, India, p. 284–290, 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8474715&tag=1>>.

ESCOLAS, D. **Projeto de estudantes da ETE FMC permite monitorar gasto com água e ainda gerar energia.** 2015. Disponível em: <<https://direcionalescolas.com.br/projeto-de-estudantes-da-ete-fmc-permite-monitorar-gasto-com-agua-e-ainda-gerar-energia>>. Acesso em: 06 de julho de 2018.

GOMES, E. H. **Linguagem SQL - Linguagem de Manipulação, Consulta e Controle de Dados.** 2019. Disponível em: <<http://ehgomes.com.br/disciplinas/bdd/sql.php>>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

IBGE. **Panorama - Curitiba.** 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>>. Acesso em: 06 de maio de 2019.

INMETRO. **Portaria 246/00.** 2000. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/RTAC000667.pdf>>. Acesso em: 16 de março de 2019.

INMETRO. **NIE-DIMEL- 017.** 2005. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/ftp_hp/kits/NIE-Dimel-017_Rev02.pdf>. Acesso em: 16 de março de 2019.

LAAGER. **Produtos e Sistemas para individualização (Água e Gás).** 2019. Disponível em: <<http://www.laager.com.br/solucoes-individualizacao-no-modelo-agua-e-gas-para-condominios.html>>. Acesso em: 05 de maio de 2019.

LORA, C. *LoRa Channels list — Table of LoRa Frequency Channels.* 2012. Disponível em: <<http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LoRa-channels-list.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

MARTINS, J. C. **História da Medição de Vazão.** 2019. Disponível em: <<https://www.smartinstec.com.br/historia-da-medicao-de-vazao>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2019.

MEIRELES, L.; SEGUNDO, A. K. R.; UZEDA, L. G. **Coisas para se saber sobre a Internet das Coisas - Um Guia Prático.** 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/329702228_Coisas_para_se_saber_sobre_a_Internet_das_Coisas_-_Um_Guia_Pratico>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

NCB, I. **Como funciona o Reed-Switches (MEC089).** 2019. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3860-mec089>>. Acesso em: 13 de março de 2019.

NODE. *Node-RED: Documentation.* 2019. Disponível em: <<https://nodered.org/docs/>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

ONU. **A ONU e a Água.** 2019. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/agua/>>. Acesso em: 08 de março de 2019.

PHAM, C. et al. **Low-cost antenna technology for LPWAN IoT in rural applications**. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7974231>>. Acesso em: 09 de junho de 2019.

PME, E. **Aparelho se conecta ao medidor de água e pode detectar vazamentos**. 2014. Disponível em: <<https://pme.estadao.com.br/noticias/geral,aparelho-se-conecta-ao-medidor-de-agua-e-pode-detectar-vazamentos,5067p>>. Acesso em: 06 de julho de 2018.

SABESP. **Museu do hidrômetro: história e tecnologia a serviço da precisão**. 2015. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalhe.aspx?secaoId=65&id=6741>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2019.

SANEAMENTO, C. **Micromedicação - Espécies de Funcionamento dos Medidores**. 2014. Disponível em: <<http://saneamentocomercial.blogspot.com/2014/10/micromedicao-especies-de-funcionamento.html>>. Acesso em: 06 de maio de 2019.

SANEPAR. **Consumo Racional de Água**. 2018. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/informacoes/economia>>. Acesso em: 25 de agosto de 2018.

SANTOS, B. P. et al. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. 2019. Disponível em: <<https://homepages.dcc.ufmg.br/mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

SANT'ANA, J. M. de S. **Redes LoRaWAN: implantação e desenvolvimento de aplicações**. 67 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, São José, 2017. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/a/ac/TCC290_Jean_Michel_de_Souza_Sant%27Ana.pdf>. Acesso em: 08 de março de 2019.

SAVEH. **Sistema de Auto avaliação de Eficiência Hídrica**. 2018. Disponível em: <<https://saveh.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil/>>. Acesso em: 25 de agosto de 2018.

SCHILDT, H. C, **Completo e Total**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

SEMTECH. **AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics**. 2015. Disponível em: <<https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

SEMTECH. **AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics**. 2015. Disponível em: <<https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>>. Acesso em: 13 de abril de 2019.

SGHOSLYA. **All About LoRa and LoRaWAN**. 2017. Disponível em: <<https://www.sghoslya.com/p/lora-is-chirp-spread-spectrum.html>>. Acesso em: 14 de abril de 2019.

SONDEQ. **Geofone Eletrônico**. 2018. Disponível em: <http://www.sondeq.com.br/pt/nd_controle_geofone.php>. Acesso em: 06 de julho de 2018.

TEACHMEMICRO. *Building an Arduino Water Flow Meter*. 2019. Disponível em: <<https://www.teachmemicro.com/arduino-water-flow-meter/>>. Acesso em: 17 de março de 2019.

TEIXEIRA, G. B.; ALMEIDA, J. V. P. de. **Rede LoRa e protocolo LoRaWAN aplicados na agricultura de precisão no Brasil**. 77 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8436/1/PG_COELE_2017_2_01.pdf>. Acesso em: 14 de abril de 2019.

TTN. *The Things Network - Curitiba*. 2019. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org/community/curitiba/>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019**. 2019. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276>>. Acesso em: 08 de março de 2019.

WAGNER, F. **Como fazer a leitura do Hidrômetro**. 2015. Disponível em: <<http://www.rwengenharia.eng.br/como-fazer-a-leitura-do-hidrometro/>>. Acesso em: 08 de março de 2019.

WIPLER, J. C. *Let's start with a Blue Pill*. 2016. Disponível em: <<https://jeelabs.org/article/1649a/>>. Acesso em: 06 de julho de 2019.