

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RENATO BATISTA SANTOS

**MONITORAMENTO DE HIDRÔMETRO UTILIZANDO TECNOLOGIA
LORA PARA COMUNICAÇÃO**

CAMPO MOURÃO

2022

RENATO BATISTA SANTOS

**MONITORAMENTO DE HIDRÔMETRO UTILIZANDO TECNOLOGIA LORA PARA
COMUNICAÇÃO**

Monitoring hydrometer using LoRa technology for communication

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Inovações Tecnológicas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Inovações Tecnológicas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Giometti Bertogna

Coorientador: Prof. Dr. Marcio Rodrigues da Cunha

CAMPO MOURÃO



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



2022

**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão**



RENATO BATISTA SANTOS

MONITORAMENTO DE HIDRÔMETRO UTILIZANDO TECNOLOGIA LORA PARA COMUNICAÇÃO

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Inovações Tecnológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Inovações Tecnológicas.

Data de aprovação: 10 de
Setembro de 2022

Dr. Eduardo Giometti Bertogna, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Glaucio Pedro De Alcantara, Doutorado - Universidade Estadual de Maringá (Uem)

Dr. Marcio Rodrigues Da Cunha, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Roberto Ribeiro Neli, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 10/09/2022

Dedico este trabalho, primeiramente, à Deus, o maestro da vida, que, com habilidade perfeita, une sons, compassos e ritmos, para criar uma linda melodia que chamamos de vida.

Dedico, também, a minha esposa, àquela que me impulsiona, me suporta e me encoraja a desbravar caminhos e potencialidades que eu desconhecia em mim mesmo. Ela acredita em mim. Te amo!!

AGRADECIMENTOS

A conquista não é mérito próprio, mas, fruto de uma decisão que se suporta e se sustem nos ombros de muitas outras. Comigo não foi diferente, o que agora se manifesta como conquista pessoal só foi possível pelo suporte de pessoas que, aqui, não poderia deixar de homenagear.

Agradeço a Deus por Sua graça sempre presente. Graça que me deu disposição, proteção e sustento para empreender esta jornada.

Agradeço à minha linda esposa Luciane e filhas, Rayssa e Brenda, pois foram minhas maiores motivadoras sempre me incentivando, apoiando e suportando. Minha esposa assumiu muitas das minhas tarefas para que eu pudesse galgar mais este degrau. Elas sacrificaram tempo e investiram em minha vida para que eu pudesse chegar aqui. Amo vocês!!

Agradeço à SERCOMTEL, empresa onde trabalho, nas pessoas de meu gerente, João Antônio Casciola Filho, e meu coordenador, Marcelo dos Santos Menegazzo, que, compreendendo e incentivando a melhoria contínua do profissional e do ser humano, adequaram minha jornada de trabalho para que esta conquista se tornasse possível.

Agradeço ao meu cunhado Prof. Dr. Maurício César Menon e minha cunhada Maria Gorete por me acolherem em sua casa durante todo período do Mestrado oferecendo-me não só um lugar para me abrigar e me alimentar, mas, um lugar de alívio e amizade.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Bertogna e coorientador Prof. Dr. Marcio Rodrigues da Cunha, pela sabedoria e disponibilidade para, neste tempo de pandemia, oferecer o melhor apoio possível, ajudando-me nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala por enriquecerem minha vida com suas experiências..

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Não tenha medo de ser exêntrico em sua
opinião, toda opinião agora aceita uma vez
foi considerada exêntrica.”
(RUSSELL, Bertrand, 1969)

RESUMO

Nos recentes anos, todo tipo de dispositivo tem se conectado a alguma espécie de rede de dados buscando se integrar e interagir com sistemas mais amplos e complexos buscando oferecer ganho em inteligência e produtividade. Há, porém, dispositivos que ainda ficam impossibilitados desta integração devido às suas características construtivas. Um destes dispositivos é o hidrômetro, objeto do presente trabalho. Devido às suas características totalmente mecânicas, a leitura do hidrômetro ainda é obtida de forma manual. As empresas de saneamento de todo país consomem, a cada mês, milhões de reais na coleta do consumo e alimentação de seus sistemas de faturamento. A utilização de um mecanismo para automatização deste processo significa um grande avanço no setor, pois, alia economia e preservação dos recursos hídricos pelo diagnóstico precoce de variações no consumo. Este trabalho se dedicou a apresentar um protótipo para automatização do referido processo, utilizando-se de um microcontrolador e uma câmera para obtenção de imagens periódicas do hidrômetro. O protótipo, por meio da aplicação de técnicas computacionais de tratamento de imagem teve a capacidade para apurar e enviar o consumo do hidrômetro a um ponto de coleta de dados distante, representando um sistema de coleta de dados de uma empresa de saneamento, por meio de uma rede de comunicação sem fio de longo alcance e baixo consumo, com tecnologia LoRa (*Long Range*). Embora tenha sido possível a leitura e o envio dos dados do hidrômetro, concluiu-se, que, devido a existência de diferentes modelos de hidrômetros e do fato dos contadores serem do tipo rotacional, o que gera imagens de transição entre um número e outro, será necessária a inclusão de mecanismos computacionais mais robustos para garantir uma leitura mais assertiva, mas é seguro afirmar que o produto alcançado neste trabalho poderá servir de base para futuros desenvolvimentos.

Palavras-chave: hidrômetro; automatização; microcontrolador; LoRa.

ABSTRACT

In recent years, all types of devices have been connected to some kind of data network, seeking to integrate and interact with broader and more complex systems, seeking to offer gains in intelligence and productivity. There are, however, devices that are still unable to be integrated due to their constructive characteristics. One of these devices is the hydrometer, object of the present work. Due to its fully mechanical characteristics, the water meter's reading is still obtained manually. Sanitation companies across the country consume millions of reais each month in collecting consumption and feeding their billing systems. The use of a mechanism for automating this process means a great advance in the sector, as it combines economy and preservation of water resources through the early diagnosis of variations in consumption. This work was dedicated to presenting a prototype for automating this process, using a microcontroller and a camera to obtain periodic images of the water meter. The prototype, through the application of computer techniques of image treatment, had the ability to determine and send the water meter consumption to a distant data collection point, representing a data collection system of a sanitation company, through a long-range, low-power wireless communication network with LoRa (Long Range) technology. Although it was possible to read and send data from the hydrometer, it was concluded that, due to the existence of different models of hydrometers and the fact that the counters are of the rotational type, which generates images of transition between one number and another, it will be necessary to include more robust computational mechanisms to ensure a more assertive reading, but it is safe to say that the product achieved in this work can serve as a basis for future developments.

Keywords: hydrometer; automation; microcontroller; LoRa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Hidrômetro típico	19
Figura 2 - Mostrador típico	19
Figura 3 - Hidrômetro monojato	20
Figura 4 - Hidrômetro multijato	20
Figura 5 - Esquema de funcionamento de contadores de disco oscilante	21
Figura 6 - Êmbolo rotativo	22
Figura 7 - Hidrômetro Digital UFM280	23
Figura 8 - Hidrômetro Kamstrup Multical 21 / flowIQ 210X	24
Figura 9 - Hidrômetro Sagasonic	25
Figura 10 - Esquema de funcionamento de contadores de disco oscilante	26
Figura 11 - Solução Hydra	26
Figura 12 - Solução SDB METERING LTDA	26
Figura 13 - Solução SagaTech	27
Figura 14 - ESP32-CAM	35
Figura 15 - ESP32-CAM Pinout	36
Figura 16 - Diagrama esquemático	37
Figura 17 - Posicionamento rede LoRa	38
Figura 18 - Pilha do Protocolo LoRa	40
Figura 19 - Gráfico de comparação das classes de dispositivos	41
Figura 20 - Diagrama da Arquitetura da Rede LoRaWAN	42
Figura 21 - Diagrama geral da solução	47
Figura 22 - Fatura SANEPAR	49
Figura 23 - Lente Convexa	50
Figura 24 - Ganho de qualidade	50
Figura 25 - Negativo da imagem	51
Figura 26 - Imagem rasterizada	51
Figura 27 - Imagem dividida em MCU	52
Figura 28 - Imagem bufferizada	52
Figura 29 - Coordenada inicial	53
Figura 30 - Componentes RGB	53
Figura 31 - Dígitos binários	54

Figura 32 - Quadro para mapeamento	54
Figura 33 - Estrutura de identificação	55
Figura 34 - Módulo LoRa	56
Figura 35 - Diagrama temporal em uma comunicação SPI	57
Figura 36 - Esquema elétrico	58
Figura 37 - Ciclo de trabalho	60
Figura 38 - Sistema de alimentação	61
Figura 39 - Padrão pré-definido	63
Figura 40 - Mapa da análise	64
Figura 41 - Monitor serial da IDE Arduíno	66
Fotografia 1 - Montagem real	59
Fotografia 2 - Módulos receptor e transmissor	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Visão geral das tecnologias LPWAN: Sigfox, LoRa e NB-IoT	44
Tabela 2 - Teste de cobertura LoRa	64
Tabela 3 - Custo da solução	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AES	Advanced Encryption Standard
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BPSK	Binary Phase Shift. Keying
CNN	Convolutional neural network
CSS	Chirp spread spectrum
FPC	Flexible Printed Circuit
HQVGA	Half Quarter Video Graphics Array
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IoT	Internet of Things
IPEX	Immune dysregulation, polyendocrinopathy, enteropathy, X-linked
ISM	Industrial, Scientific and Medical
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LoRa	Long Range
LPWAN	Low-power wide-area network
LTE	Long Term Evolution
MCU	Minimum Coded Unit
MISO	Master Input Slave Output
MOSI	Master Output Slave Input
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NB-IoT	Narrowband IoT
PSRAM	Pseudostatic (Random-Access) Memory
QPSK	Quadrature phase-shift keying
RGB	Red, green and blue
RSSI	Received signal strength indication
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SCK	Serial Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
TDOA	Time Difference Of Arrival
Wi-Fi	Wireless Field

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Motivação	14
1.2 Objetivo geral	15
1.3 Objetivo específicos	15
1.4 Contribuições	16
1.5 Estrutura do documento	16
2 ESTADO DA ARTE	18
2.1 Hidrômetro	18
2.2 Análise de soluções comerciais	23
2.2.1 Hidrômetro ultrassônico digital - UFM280	23
2.2.2 Hidrômetro Kamstrup	24
2.2.3 Hidrômetro Saga	24
2.2.4 Hidrômetro com saída Pulsada	25
2.2.5 Análise comparativa das soluções encontradas	27
2.3 Análise de soluções acadêmicas	28
2.3.1 Sistema de telemetria de hidrômetro residencial	28
2.3.2 <i>Smart water meter</i> : Medidor de água inteligente	29
2.3.3 Automatização no processo de leitura de hidrômetros	30
2.3.4 Monitorização do consumo de água utilizando tecnologia SIGFOX	30
2.3.5 Análise comparativa das soluções acadêmicas	31
2.4 Análise de Iniciativas Independentes	31
2.4.1 <i>Integrating my neptune water meter with homeassistant</i>	32
2.4.2 <i>Water meter / wasserzähler - AI-on-the-edge by jomjol</i>	32
2.4.3 <i>Easy ESP32CAM LoRa tracker add on board</i>	33
2.4.4 Análise comparativa das soluções	33
2.5 Internet das coisas (IoT)	34
2.6 Plataforma ESP32-CAM	34
2.7 Redes LPWAN - LoRa	38
2.7.1 Análise comparativa de protocolos de comunicação da IoT	43
2.7.1.1 Sigfox	43
2.7.1.2 NB-IoT	44

2.7.1.3 Análise comparativa	45
3 DESENVOLVIMENTO	47
3.1 Análise de requisitos do sistema	48
3.2 Fatura de água	49
3.3 Componentes da solução	49
3.3.1 Aquisição de dados	49
3.3.2 Transmissão de dados	56
3.3.3 Alimentação e prospecção de energia	60
4 TESTES E RESULTADOS	62
4.1 Aquisição e interpretação da imagem	62
4.2 Teste de cobertura da comunicação LoRa	64
4.3 Teste do sistema	65
5 CONCLUSÃO	67
5.1 Pontos fortes da solução	67
5.2 Limitações da solução	68
5.3 Trabalhos futuros	69

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é realizada uma breve introdução ao trabalho desenvolvido.

Primeiramente é abordada a motivação que fundamentou a proposição de um protótipo para automatização da leitura de hidrômetros, equipamento de intenso uso pelas companhias de água e saneamento.

Em segundo lugar são apresentados os objetivos que se deseja atingir com o projeto. Objetivos que servem para direcionar e definir os recursos de *hardware* e *software* necessários ao desenvolvimento da solução.

Em terceiro lugar são apresentadas as contribuições que este projeto se propõe a trazer ao conhecimento geral de forma a servir de degrau para futuras inovações.

Por fim, é apresentada a estrutura do documento com as diversas etapas seguidas para a consolidação e construção da solução proposta.

1.1 Motivação

O hidrômetro é o dispositivo utilizado pelas companhias de água e saneamento para registro do consumo de água de uma unidade habitacional, seja ela residencial ou comercial. Somente no estado do Paraná mais de 3.000.000 de estabelecimentos se conectam à concessionária de água e saneamento por meio de um hidrômetro (SANEPAR, 2020).

Atualmente, porém, todo levantamento do registro de consumo é efetuado de forma manual e presencial, o que torna este, um processo lento e dispendioso.

Por se tratar de um dispositivo totalmente mecânico, sua automação impõe um desafio significativo. Fatores como construção robusta, falta de conectividade elétrica e lógica no local de instalação, investimentos legados, necessidade de auditoria e possibilidade de fraude dificultam a implementação de soluções convencionais e exigem um esforço maior na busca por uma solução alternativa e inovadora que agregue automação, autonomia e segurança na obtenção do registro disponibilizado pelo hidrômetro.

A composição deste cenário e o desafio de vencê-lo, é, portanto, a principal motivação deste trabalho, ou seja, a de criar uma solução que dê ao processo celeridade, confiabilidade e economicidade na obtenção do registro de consumo. O que contribuirá, inclusive, para o uso racional dos recursos hídricos devido à possibilidade de determinação rápida nas distorções no consumo, que podem sinalizar fontes de vazamento, e pela redução no consumo do usuário final que sistemas com *feedback* direto tendem a proporcionar. Vários estudos apontam que o conhecimento regular do consumo tende a proporcionar uma economia por parte dos usuários (Tasic *et al.*, 2012).

1.2 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico que, acoplado ao hidrômetro residencial, possa obter o consumo de água auferido pelo instrumento e enviá-lo através de uma rede sem fio para um ponto de processamento distante.

Fazem parte do objetivo geral:

- Propor e testar um novo conceito de produto que possa ser construído e acoplado ao hidrômetro analógico, presente na maioria das residências do país, sem necessidade de alterações ou adaptações;
- Efetuar a leitura do consumo de água por técnicas de tratamento de imagem;
- Enviar a informação a algum dispositivo remoto por uma rede sem fio.

1.3 Objetivo específicos

Com base no objetivo geral e de forma a estabelecer critérios práticos no desenvolvimento da solução, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a plataforma de desenvolvimento para sistemas microcontrolados e processamento de imagem: ESP32-CAM;

- Projetar e implementar protótipo usando uma placa de desenvolvimento ESP32-CAM, capaz de efetuar ao menos uma leitura diária do consumo de água, via aquisição de imagem da leitura do hidrômetro;
- Implementar a transmissão das informações das leituras para um dispositivo remoto utilizando a rede aberta LPWAN com tecnologia LoRa;
- Implementar algoritmos de processamento de imagem para obtenção das informações de consumo disponíveis no hidrômetro;
- Especificar e implantar fonte de energia autônoma para alimentação do dispositivo.

1.4 Contribuições

As principais contribuições deste trabalho consistem em:

- Incluir no conceito de internet das coisas, a leitura de dispositivos de medida analógicos de baixa complexidade tecnológica;
- Utilizar processamento de imagem na obtenção de dados em dispositivos com mostradores analógicos;
- Contribuir com o uso racional do recurso hídrico;
- Oferecer uma solução para racionalizar os gastos das empresas de saneamento no levantamento e faturamento do consumo de água auferidos por seus clientes;
- Criar um *hardware* de baixo custo para automatização do hidrômetro;
- Demonstrar a aplicabilidade da plataforma de desenvolvimento para sistemas microcontrolados e processamento de imagem: ESP32-CAM;
- Explorar a utilização da energia solar como fonte de energia alternativa para alimentação do sistema.

1.5 Estrutura do documento

Para melhor compreensão do tema proposto, esta dissertação, apresenta o trabalho desenvolvido de forma sistemática em 5 capítulos.

- Introdução, com a apresentação do tema e seus objetivos;

- Estado da arte, abordando soluções comerciais, trabalhos acadêmicos e iniciativas independentes;
- Desenvolvimento, apresentando e fundamentando a solução proposta e suas escolhas;
- Implementação e testes, exposição dos testes de campo realizados e dos resultados esperado e obtido;
- Conclusões e trabalhos futuros, análise comparativa dos objetivos e resultados, focando a viabilidade técnica e comercial da solução, limitações e dificuldades de implementação, possibilidades de melhoria e miniaturização do hardware para melhoria energética e dimensional.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo são abordados os componentes envolvidos no projeto, as soluções já desenvolvidas e disponíveis no mercado, trabalhos acadêmicos e iniciativas independentes semelhantes, bem como, as tecnologias que serviram de base para o desenvolvimento da solução.

De forma a estabelecer um crescente conhecimento do assunto e da solução proposta, primeiramente, é apresentado o hidrômetro. É necessário, inicialmente, conhecer o dispositivo sobre o qual se aplica a solução. É necessário, ainda, analisar sua constituição e mecanismo de funcionamento, pois este conhecimento serve de auxílio ao desenvolvimento do projeto.

Em segundo lugar, são abordadas as soluções comerciais disponíveis no mercado que já permitem a automatização do hidrômetro. São analisadas suas principais características e aspectos técnicos adotados de forma a conhecer os sistemas disponíveis e verificar a relevância desta nova abordagem.

Em terceiro lugar, são apresentados trabalhos acadêmicos similares buscando ideias e contribuições para a formulação deste projeto.

Em último lugar são descritos os elementos e tecnologias, que fazem parte da solução, sendo os principais:

- Placa de desenvolvimento ESP32-CAM;
- Tecnologia de rede aberta, denominada LoRa.

2.1 Hidrômetro

Os contadores de água, comumente chamados de hidrômetros, são considerados dispositivos de precisão e servem para registrar o consumo de água de uma unidade habitacional. Através de um mecanismo interno, os hidrômetros, conseguem medir o quantitativo de água que o atravessa e, com base neste quantitativo, as companhias de saneamento têm condições de calcular e cobrar o consumo do recurso hídrico despendido por aquela unidade habitacional. A Figura 1 ilustra um hidrômetro típico utilizado nas maiorias das residências do país e a Figura 2 apresenta o mostrador do hidrômetro onde é feita a leitura do consumo de água.

Figura 1 - Hidrômetro típico



Fonte: Tribunapr (2020).

Figura 2 - Mostrador típico

ENTENDA SEU HIDRÔMETRO



Fonte: Saaegrajau (2020).

Os hidrômetros se dividem em duas categorias: residenciais e industriais. Os residenciais, amplamente conhecidos, são pequenos e de funcionamento simplificado. Os industriais, por sua vez, por serem utilizados para medição e controle de grandes fluxos de água são mais robustos e de constituição mais complexa. Por ser objetivo deste trabalho a automatização de hidrômetros residenciais, este será o foco deste capítulo.

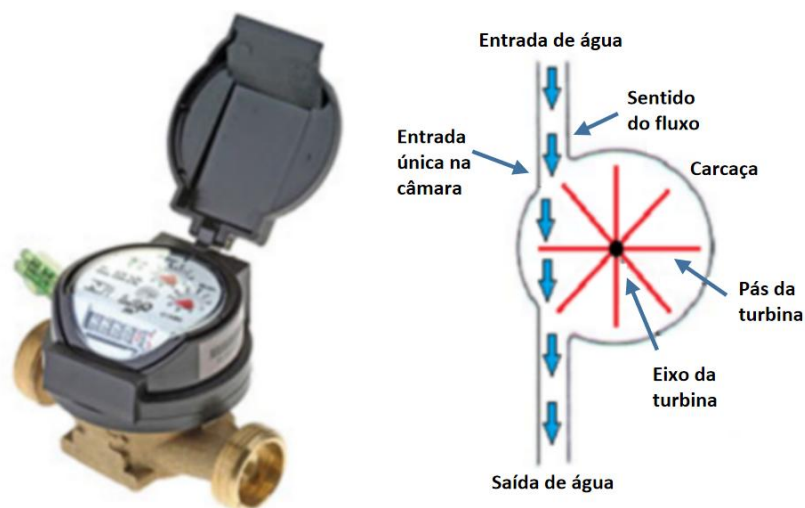
Os hidrômetros residenciais se distinguem em duas modalidades, de acordo com seu princípio de funcionamento, são elas: hidrômetro taquimétrico e hidrômetro volumétrico (SILVA, 2020).

Os hidrômetros taquimétricos, também conhecidos como de velocidade, recebem este nome, pois fazem a medição do consumo com base na velocidade do fluxo de água que o atravessa. Estes modelos possuem uma hélice em seu interior que gira devido a passagem da água. Esta mesma hélice está ligada a um sistema

de engrenagens que faz girar um contador, registrando assim o consumo. Os hidrômetros taquimétricos podem ser do tipo monojato ou multijato:

No tipo monojato apenas um fluxo de água faz girar a hélice como pode ser observado na Figura 3:

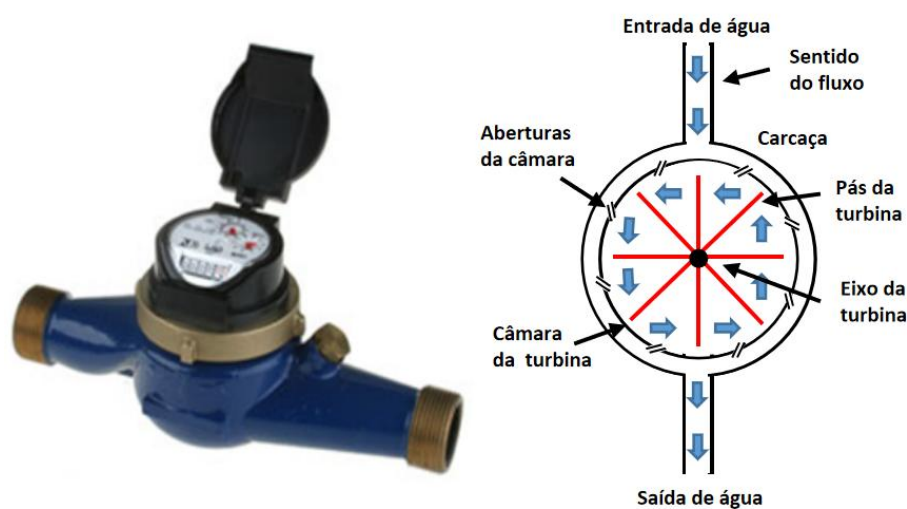
Figura 3 - Hidrômetro monojato



Fonte: Como aplicar hidrômetros individuais em edificações (2020).

No tipo multijato orifícios na carcaça em torno da hélice permitem a entrada de vários fluxos de água que se responsabilizam pelo seu giro conforme ilustrado na Figura 4:

Figura 4 - Hidrômetro multijato



Fonte: Como aplicar hidrômetros individuais em edificações (2020).

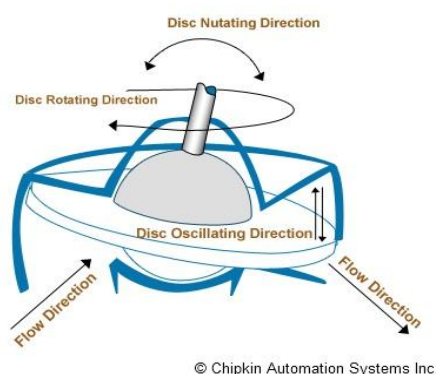
O tipo monojato é ligeiramente mais barato que o tipo multijato, porém, a durabilidade do multijato é maior, com base na Portaria 246/2000 do INMETRO

(INMETRO, 2000) fica estabelecido em 5 anos para o Unijato e de 8 a 10 anos para o Multijato.

A segunda modalidade de hidrômetros, designada por volumétrico ou de deslocamento, se baseia no deslocamento sucessivo de um volume bem conhecido.

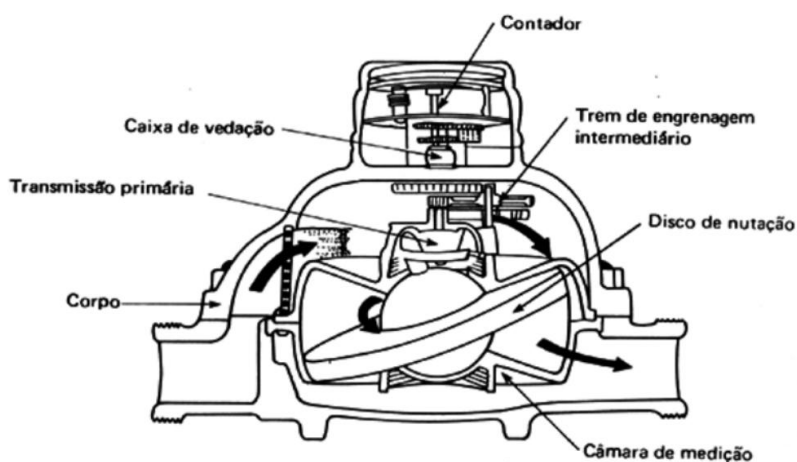
Nestes modelos, existe uma câmara de volume conhecido que, ao ser enchido pelo fluxo de água, provoca, por diferença de pressão, o giro de um êmbolo que se liga ao mecanismo de medição do hidrômetro. De posse do volume e o número de revoluções do êmbolo, é possível calcular o volume total consumido. Assim como o modelo anterior, os hidrômetros volumétricos possuem dois tipos principais: os de disco oscilante (Figura 5a e 5b) e os êmbolos rotativos (Figura 6).

Figura 5 - Esquema de funcionamento de contadores de disco oscilante
(a) Disco oscilante



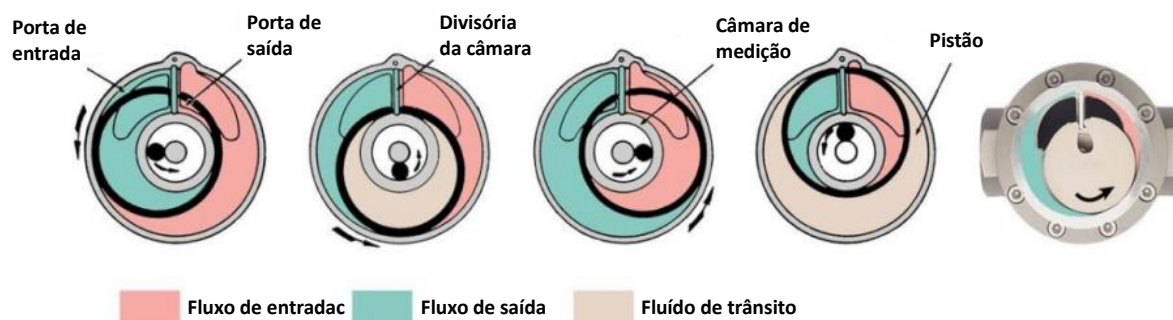
Fonte: Chipkin (2020).

(b) Esquema de montagem



Fonte: UNB (2016).

Figura 6 - Êmbolo rotativo



Fonte: Trimec-fp (2020).

A grande vantagem dos hidrômetros volumétricos sobre os taquimétricos reside em sua precisão e sensibilidade, porém, devido ao seu elevado custo e a possibilidade de travamento por acúmulo de partículas em seu interior, os mesmos não são utilizados no Brasil.

A precisão nos hidrômetros é abordada pelo INMETRO, através da Portaria 246/2000, que estabelece ser o erro aceitável dos hidrômetros brasileiros calculado com base em sua vazão, medida em m^3/h . De acordo com a portaria, é aceitável erro de $\pm 5\%$ para o intervalo entre a vazão mínima e a vazão de transição; e erro de $\pm 2\%$ para o intervalo entre a vazão de transição e a vazão máxima. As referidas vazões são definidas como (INMETRO, 2000):

- Vazão máxima (Q_{max}): Maior vazão, expressa em m^3/h , na qual o hidrômetro é exigido a funcionar por um curto período de tempo, dentro dos seus erros máximos admissíveis, mantendo seu desempenho metrológico quando posteriormente for empregado dentro de suas condições de uso;
- Vazão nominal (Q_n): Maior vazão nas condições de utilização, expressa em m^3/h , nas quais o medidor é exigido para funcionar de maneira satisfatória dentro dos erros máximos admissíveis;
- Vazão de transição (Q_t): Vazão, em escoamento uniforme, que define a separação dos campos de medição inferior e superior;
- Vazão mínima (Q_{min}): Menor vazão, na qual o hidrômetro fornece indicações que não possuam erros superiores aos erros máximos admissíveis.

Conforme apresentado, o hidrômetro é um dispositivo totalmente mecânico, contando apenas com mostradores analógicos que informam o consumo de água da unidade habitacional onde está instalado. A criação de um mecanismo para sua automatização se constitui o foco principal deste trabalho.

2.2 Análise de soluções comerciais

Nesta seção são apresentadas algumas soluções comerciais que procuram fazer a automação da leitura do consumo de água. Esta análise tem por finalidade verificar como o assunto tem sido abordado pelos fabricantes e se estas informações podem ser aproveitadas de alguma forma na formatação da solução aqui proposta.

2.2.1 Hidrômetro ultrassônico digital - UFM280

O hidrômetro UFM280, fabricado pela FMS, (Figura 7) utiliza um sofisticado sistema eletrônico associado a um *software* de processamento que permite a medição do volume de água que se desloca através do dispositivo por meio de ultrassom.

Figura 7 - Hidrômetro Digital UFM280



Fonte: Fmsmarket (2012).

O hidrômetro UFM280 é construído em bronze e selado à vácuo. Por não possuir partes mecânicas, torna-se imune à partículas suspensas no fluido. Possui um *display* que permite a visualização do total consumido, da vazão instantânea e da programação de alarmes. Sua alimentação é com corrente contínua (CC) e feita por bateria com opções de vida útil de 5, 10 e 20 anos (K & K DO BRASIL LTDA, 2021). Também, possui disponibilidade para automação através de saída por cabo ou por radiofrequência.

2.2.2 Hidrômetro Kamstrup

Tal como o anterior, o hidrômetro Kamstrup Multical 21 / flowIQ 210X (Figura 8) também se utiliza do ultrassom para efetuar a medição do consumo. Da fabricante dinamarquesa Kamstrup, este hidrômetro é construído por um composto de Sulfeto de polifenileno, composto ecológico e durável, e vedados à vácuo. Possui alta precisão e não possui partes mecânicas, o que lhe confere alta durabilidade e imunidade à partículas suspensas no líquido. A vida útil de sua bateria, dependendo das configurações efetuadas, pode chegar à 16 anos (KAMSTRUP, 2021). Possui interface para comunicação sem fio dispensando o levantamento presencial. Além de fornecer o consumo de água da unidade, os principais alarmes deste medidor permitem detectar vazamentos, tentativas de fraude, fluxos reversos, tudo de forma rápida e eficaz.

Figura 8 - Hidrômetro Kamstrup Multical 21 / flowIQ 210X



Fonte: Kamstrup (2021).

2.2.3 Hidrômetro Saga

Também ultrassônico, o hidrômetro Sagasonic (Figura 9), da empresa SAGA, possui o mesmo mecanismo de funcionamento dos demais e tem como característica sua precisão, durabilidade, transmissão sem fio para leitura remota e é destituído de partes mecânicas. Além de fornecer o consumo, o dispositivo conta

com facilidade para a configuração de diversos alertas como vazamento, sobre-vazão, tentativa de fraude, dentre outros.

Este modelo se assemelha ao protótipo desenvolvido neste trabalho por utilizar a rede LoRa para transmissão de seus dados.

Figura 9 - Hidrômetro Sagasonic



Fonte: Adaptado Saga Medição (2021).

2.2.4 Hidrômetro com saída Pulsada

Existem diversos modelos de hidrômetros que, além do marcador de consumo analógico, fornecem uma saída pulsada que pode ser utilizada para telemetria (Figura 10 a). Através de um sensor Reed Switch (Figura 10 b) esta saída pulsada pode ser lida e convertida em pulsos elétricos para processamento e determinação do consumo.

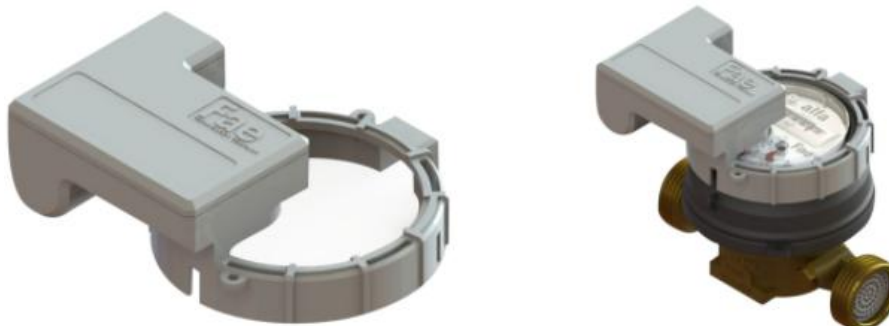
Figura 10 - Esquema de funcionamento de contadores de disco oscilante
(a) Hidrômetro Com Saída Pulsada **(b) Sensor Reed**



Fonte: Mercado Livre (2021).

Diversas empresas têm suas soluções desenvolvidas sobre esta saída pulsada e incluem, em suas soluções, um módulo para transmissão destes dados por radiofrequência, possibilitando, assim, a telemetria. Nas Figuras 11, 12 e 13 são apresentadas algumas destas soluções:

Figura 11 - Solução Hydra



Fonte: Fae (2021).

Figura 12 - Solução SDB METERING LTDA



Fonte: SDB Metering (2021).

Figura 13 - Solução SagaTech



Fonte: Sagatech (2021).

O que difere entre elas, basicamente, é a vida útil da bateria, alcance para telemetria e formato construtivo.

2.2.5 Análise comparativa das soluções encontradas

As soluções encontradas, apesar de não serem as únicas, apresentam as abordagens que o mercado tem dado ao assunto de automação dos hidrômetros. Os três primeiros modelos apresentados têm o mesmo princípio de funcionamento e possuem uma durabilidade maior pelo fato de não terem partes mecânicas, além de uma melhor precisão por fazerem a medida pela passagem efetiva do líquido. Importante, nestes modelos, é a facilidade de implantação da telemetria por radiofrequência em diferentes modalidades que, basicamente, se diferem em alcance. Por necessitarem de alimentação é importante observar que estes modelos possuem baterias que permitem uma longa vida útil, de 5 a 16 anos. Vale ressaltar, também, que estes modelos disponibilizam uma série de informações e permitem a configuração de alarmes que ajudam na administração do recurso hídrico. Pesa contra elas, porém, seu elevado custo de implantação. De acordo com o catálogo da Kamstrup, o modelo disponibilizado e homologado para o Brasil possui seu valor aproximado em R\$ 1.610,00 (KAMSTRUP, 2016).

A segunda modalidade apresentada, hidrômetros com saída pulsada, possui a vantagem de permitir o aproveitamento de muitos hidrômetros já instalados, porém, ainda possuem custos razoáveis devido à necessidade de implantação dos sensores de leitura e do sistema de rádio necessário para o envio das informações à base de processamento. Nesta modalidade, basicamente, temos a informação apenas de

consumo o que é suficiente, inclusive, para a programação de alarmes por *software* nos sistemas das companhias de água. É importante salientar que neste tipo de solução deve-se ter especial cuidado para que a contagem dos pulsos enviados não seja interrompida. Caso contrário, haverá diferenças de contagens entre os valores contabilizados à distância e os valores totalizados no registrador mecânico do medidor. Este tipo de solução serviu de inspiração ao desenvolvimento do projeto descrito nesta dissertação por proporcionar o aproveitamento dos investimentos já efetuados com os atuais hidrômetros.

2.3 Análise de soluções acadêmicas

Nesta seção são apresentadas soluções acadêmicas que abordam a automatização da leitura de consumo de água. Estas proposições, embora se utilizando de métodos diferentes, representam mais uma fonte de inspiração para análise e orientação da criação proposta. Cada subseção tem como título o nome do artigo abordado. Para finalizar esta seção, as soluções descritas são comparadas dentro do que é pertinente.

2.3.1 Sistema de telemetria de hidrômetro residencial (AVEIRO et al., 2015)

Este artigo apresenta uma proposta de automatização composta de quatro partes:

Sistema Embarcado Acoplado ao Hidrômetro: *hardware* desenvolvido com o microcontrolador STM32 para efetuar a leitura e contagem dos pulsos gerados pelo sensor *Reed Switch* em hidrômetros com saída pulsada, calcular o volume de água consumido e enviá-lo, por meio de uma rede sem fio ZigBee, ao sistema móvel de coleta de dados. O sensor *Reed Switch* é um interruptor elétrico normalmente aberto que, na presença de um campo magnético tem seu estado alterado para fechado, gerando um pulso elétrico em sua saída. Hidrômetros com saída pulsada possuem um pequeno ímã em seu interior que rotaciona de acordo com fluxo de água. Estes hidrômetros, quando associados aos sensores *Reed Switch*, permitem a

leitura indireta do consumo de água através da contagem dos pulsos gerados pelo sensor magnético.

Sistema Embarcado Móvel: utilizado pelo leiturista para receber as informações enviadas pelo sistema acoplado ao hidrômetro e armazená-las em uma unidade de memória. Este sistema é composto de um microcontrolador STM32 e de um sistema sem fio ZigBee, uma tela digital para interface com o leiturista e uma unidade de memória para armazenamento das informações obtidas em campo. Este sistema possui a capacidade de gerar uma requisição de informação para o sistema acoplado ao hidrômetro quando dentro de sua área de alcance.

Servidor Base: responsável por receber e armazenar em um banco de dados toda informação lida pelo Sistema Embarcado Móvel utilizado pelo leiturista. Este sistema permite que todos os registros possam ser auditados e consultados posteriormente.

Servidor Web: responsável por disponibilizar as informações de consumo ao cliente da companhia de água.

Interessante observar que o autor deste artigo, apresentou uma solução completa que engloba todo o processo de obtenção, processamento e apresentação dos dados.

2.3.2 *Smart water meter*: Medidor de água inteligente (RUIZ et al., 2015)

Nesta proposição, os autores optaram por substituir o hidrômetro por um sensor de vazão que fornece pulsos elétricos correspondente ao consumo. Para computação dos dados foi utilizado o microcontrolador Arduíno UNO que fazia a leitura dos pulsos, o processamento e a transmissão dos resultados, através de uma rede Wi-Fi a um servidor que mostrava a evolução do consumo.

Devido a proposição ser a substituição do hidrômetro, o dispositivo foi submetido a um teste de eficiência, tendo como comparativo um hidrômetro classe A. Os testes revelaram que o dispositivo não pode ser homologado ou inserido em qualquer classe devido a não atender aos padrões estipulados pelo INMETRO.

2.3.3 Automatização no processo de leitura de hidrômetros (MINUCCI et al., 2013)

Assim como a proposição anterior, este trabalho buscou efetuar a leitura do consumo utilizando um sensor de vazão, porém, sem a substituição do hidrômetro.

Neste trabalho o sensor foi inserido em série com o hidrômetro, permitindo, desta forma, efetuar uma comparação sobre sua eficiência. Pelos resultados apresentados, a leitura com base no sensor, ficou 1,85% superior a leitura apresentada no hidrômetro.

Aqui, também, as informações do consumo são enviadas para o banco de dados por meio de uma rede sem fio. Foi utilizado a rede com protocolo ZigBee que oferece um alcance razoável.

2.3.4 Monitorização do consumo de água utilizando tecnologia SIGFOX (BARBOSA, 2017)

A abordagem desenvolvida neste trabalho foi uma das mais completas soluções encontradas e serviu como forte fonte de inspiração. O trabalho desenvolvido englobou desde a criação de um mecanismo passivo para a leitura do volume de água consumida, a utilização de um microcontrolador associado a um módulo para transmissão das informações, o desenvolvimento de uma fonte autônoma de energia para o sistema e a disponibilização de um aplicativo para dispositivos eletrônicos móveis que efetua a apresentação das informações ao usuário final.

Embora sendo uma solução bastante completa, a abordagem seguiu as demais, no sentido em que se utilizou de um mecanismo paralelo para obtenção do consumo de água, ao invés da leitura do próprio hidrômetro. A utilização deste mecanismo paralelo, embora muito eficiente, acaba por gerar dúvidas no caso de ocorrerem divergências com a leitura apresentada diretamente no hidrômetro.

Vale ressaltar que a rede sem fio utilizada neste trabalho, Sigfox, é uma modalidade de rede LPWAN, também proposta para utilização na atual proposição, porém, na modalidade LoRa. As diferenças residem no alcance, capacidade de transmissão e no tipo de protocolo que a mesma utiliza. Enquanto a rede Sigfox utiliza um protocolo fechado e, portanto, com custo para utilização, a rede LoRa

possui um protocolo aberto o que permite uma maior flexibilidade em seu desenvolvimento.

2.3.5 Análise comparativa das soluções acadêmicas

É interessante observar que todos os trabalhos analisados buscaram obter o consumo através da utilização de um sistema paralelo de medição utilizando sensores magnéticos ou de vazão. Estes sensores comunicavam suas informações através de um microcontrolador que, por sua vez, se encarregava do processamento, armazenamento e comunicação com o destinatário final da informação através de algum módulo de rede sem fio de captura local ou utilizando-se da estrutura desta rede.

Os projetos se utilizaram de diferente tipos de redes para efetuar a comunicação. A grande diferença entre elas cabe à área de cobertura, capacidade de transmissão e consumo energético. Com relação a este último item, vale ressaltar que o último trabalho analisado propôs uma forma de geração própria de energia para ampliar a autonomia do sistema utilizando o sensor de Wiegand, sensor magnético passivo com capacidade de gerar impulsos elétricos quando da inversão do campo magnético que atua sobre o sensor.

Vale salientar que, em todas as abordagens, o uso de um sistema paralelo de obtenção de consumo pode gerar dúvidas quanto à fidelidade dos dados diante dos valores apresentados pelo hidrômetro, que é um instrumento de medição com o selo do INMETRO.

2.4 Análise de Iniciativas Independentes

Tendo em vista ser o tema “Internet das Coisas” um assunto de grande relevância e de ampla discussão nos dias atuais, diversas iniciativas independentes têm sido empreendidas por desenvolvedores da área de eletrônica, informática e automação que têm, no desafio da proposição, se aventurado na busca de soluções inovadoras nos mais diferentes segmentos.

Sendo assim, foram analisadas algumas proposições encontradas muito semelhantes ao trabalho proposto e que são apresentadas resumidamente a seguir.

2.4.1 *Integrating my neptune water meter with homeassistant* (BICKAR, 2019)

Neste trabalho o autor, através da utilização de um microcontrolador associado a uma câmera, obtêm uma imagem do *display* do hidrômetro, faz o reconhecimento dos dígitos apresentados, utilizando-se de ferramentas computacionais de processamento de imagem, e efetua a disponibilização da informação transmitindo a leitura por uma rede WiFi com protocolo MQTT.

A principal vantagem deste tipo de obtenção da informação é a não divergência de dados com relação ao consumo apresentado pelo hidrômetro. Esta abordagem se assemelha ao presente trabalho por se utilizar do mesmo procedimento para determinação dos algarismos apresentados no *display* do hidrômetro.

2.4.2 *Water meter / wasserzähler - AI-on-the-edge by jomjol* (MULLER, 2020)

O alemão Josef Muller, de forma semelhante à anterior, desenvolveu seu trabalho processando imagens do hidrômetro. O microcontrolador utilizado é o mesmo adotado para o atual trabalho e a abordagem consiste na captura da imagem do contador e no processamento desta imagem por uma rede neural que se responsabilizava em obter os dígitos pertinentes ao consumo. A disponibilização da informação fica a cargo de uma rede Wi-Fi com protocolo MQTT.

Além da fidelidade entre a leitura obtida e a leitura disponível, este trabalho inovou na utilização de uma rede neural para o processamento da imagem. Este processo traz ao sistema uma maior exatidão na interpretação das informações da imagem e uma menor taxa de erro de leitura.

2.4.3 *Easy ESP32CAM LoRa tracker add on board* (ROBINSON, 2021)

Embora não se tratando de uma abordagem para leitura de hidrômetro, este trabalho aborda a disponibilização de informações remotas através da utilização de microcontrolador associado a um módulo de transmissão sem fio LoRa.

A solução é acoplada a um balão meteorológico para registrar imagens e leituras atmosféricas periódicas enviando-as, na sequência, para uma estação de monitoramento terrestre.

2.4.4 Análise comparativa das soluções

As duas primeiras abordagens analisadas, diferentes das abordagens acadêmicas, buscaram obter a leitura do consumo a partir do instrumento instalado pelas companhias de abastecimento. A eliminação de sistemas paralelos de medição, praticamente, eliminam possíveis divergências de leitura e trazem confiabilidade ao mecanismo. Por outro lado, um elemento importante e desafiador é inserido no contexto, ou seja, a necessidade de recursos computacionais superiores para se determinar o consumo apresentado no hidrômetro.

A utilização, de processamento de imagem impõe, ao desenvolvedor, a busca por mecanismos e algoritmos eficientes que permitam obter precisão na leitura e economia de energia à solução, visando a viabilidade do projeto. Sendo assim, as soluções analisadas se utilizaram-se de uma classe superior de microcontroladores e se aprofundaram-se nos mecanismos computacionais necessários na obtenção das informações.

O formato de transmissão se assemelha aos encontrados nas abordagens acadêmicas. Aqui tem-se a utilização de diferentes tipos de rede sem fio de acordo com a preferência do desenvolvedor para se ter as informações do consumo disponíveis em uma base de dados para posterior integração e utilização em um sistema corporativo seja integrando por meio de servidores *web* ou por meio de gateways das empresas fornecedoras da rede sem fio.

2.5 Internet das coisas (IoT)

Internet das Coisas é o conceito de conectar à Internet qualquer dispositivo de forma a permitir-lhe informar ou interagir com a rede e com aqueles a ela conectados. É a transcendência da interação apenas humana para interações das coisas, ou seja, dos diversos dispositivos que se tenham em mente com o intuito de facilitar e agilizar o dia a dia.

Por exemplo, um eletrodoméstico conectado à internet permite ao seu usuário interagir com o mesmo podendo colocá-lo em funcionamento ou conhecer as informações disponibilizadas por este de forma remota. Algumas geladeiras, por exemplo, já permitem conexão à internet e possuem a facilidade de comunicar ao usuário a falta de algum produto ou a possibilidade de interação com a rede mundial de forma a adquirir o mesmo (ALVES, 2020). Sistemas de climatização, monitoramento, medição e tantos outros têm se conectado à internet e permitido uma melhor utilização dos recursos ou mesmo uma comodidade maior de seus usuários.

Este novo nicho tem puxado o crescimento de diversas áreas do conhecimento. As áreas de programação e eletrônica têm experimentado um forte crescimento com o aumento da demanda por equipamentos mais inteligentes e com poder de processamento ampliado com o intuito de gerir as informações e interações necessárias dos projetos. Dentre tantas opções disponíveis e em desenvolvimento no mercado, nas seções seguintes são apresentadas àquelas escolhidas para utilização na atual proposição.

2.6 Plataforma ESP32-CAM

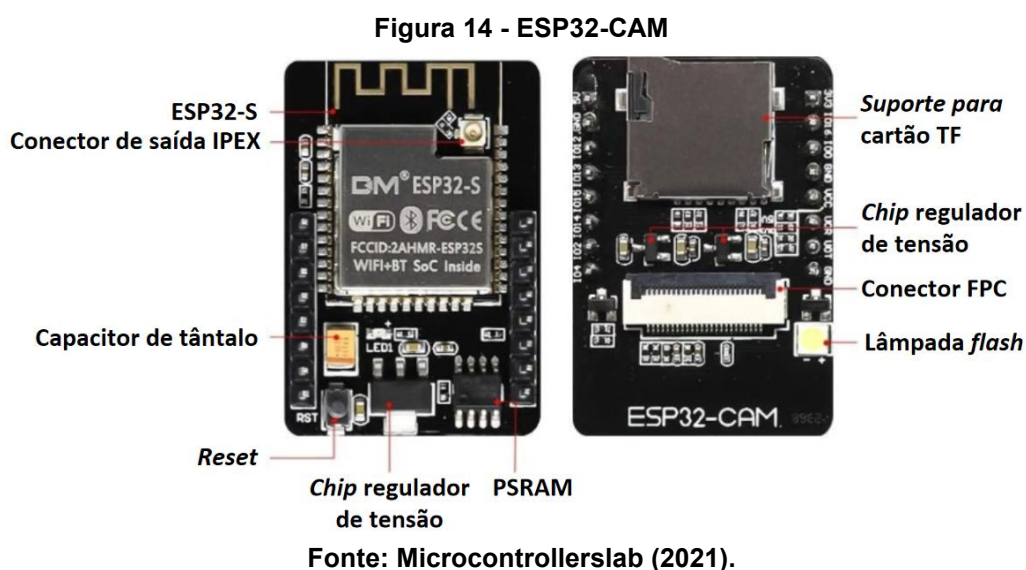
Com o intuito de suprir a demanda deste novo segmento, diversos fabricantes têm desenvolvido microcontroladores que buscam oferecer razoável poder de processamento, baixo consumo de energia, alta disponibilidade de entradas e saídas de modo a fazer a interação com diversos sensores e equipamentos e um custo adequado que viabilize sua utilização. Dentre as diversas

iniciativas, a série de chips ESP32, da Espressif, é uma das mais populares e inteligentes opções disponíveis (MICROCONTROLLERSLAB, 2021).

O ESP32 é um *chip* ultra pequeno, com baixíssimo consumo de energia que possui duas unidades de processamento de 32 bits, módulo Wi-Fi e Bluetooth incorporados ao chip o que o torna uma solução versátil para uma lista interminável de aplicativos, como automação residencial, dispositivos inteligentes, sistemas de posicionamento, sistemas de segurança e diversos outros aplicativos IoT.

Com base neste chip, diversas plataformas são oferecidas ao mercado. A plataforma ESP32-CAM, utilizada neste projeto (baseada no ESP32), oferece ainda, de forma integrada um *slot* para inserção de câmera de foto ou vídeo o que amplia as aplicações possíveis com a plataforma.

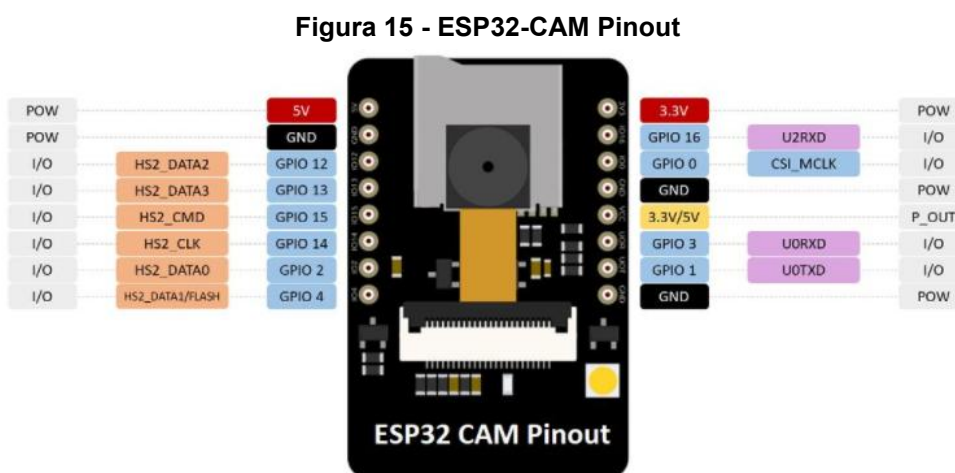
A fim de melhorar a compreensão, a Figura 14 ilustra ambos os lados dos componentes desta plataforma de ambos os lados para melhor compreensão e oferece uma descrição sucinta de suas diferentes áreas:



- *Chip* ESP32-S: Módulo principal que contém duas CPUs LX6 de 32 bits de alto desempenho com uma arquitetura de *pipeline* de 7 estágios e usado para todo o processamento e funcionamento do *chip*;
- IPEX *block output*: Interface para conexão de antenas GSM para transmissão de sinais;
- *Tantalum capacitor*: Capacitor eletrolítico de tântalo usado em módulos de tamanho reduzido. São capacitores duráveis e fornecem uma excelente filtragem de sinais para a fonte de alimentação;

- *Reset*: O botão *Reset* reinicia o código executado no módulo;
- *Voltage regulator Chip*: *Chip* regulador de tensão responsável por manter a tensão de saída apesar das flutuações na alimentação de entrada. Ele regula a tensão para 3,3 volts;
- *PSRAM*: Memória de acesso pseudo-aleatório de baixo consumo com 4 MB incorporada ao módulo para processamento rápido das instruções o que contribui para a câmera funcionar sem problemas;
- *TF Card holder*: Suporte para cartão micro-SD;
- *FPC connector*: Conector para inserção de câmera;
- *Flash lamp*: Flash incorporado à placa que possibilita uma captura de imagens mais nítidas.

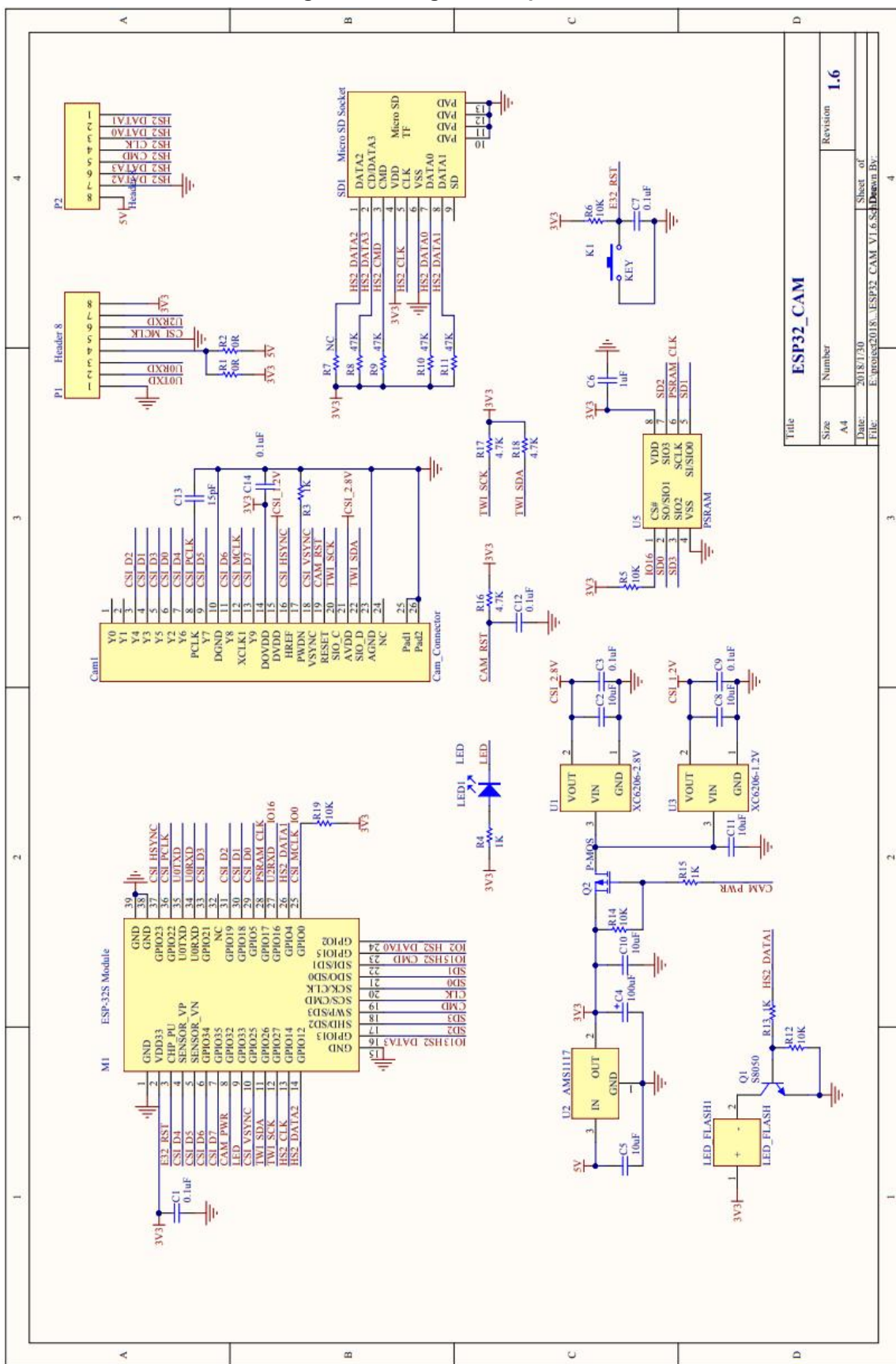
O ESP32-CAM possui 34 pinos, dos quais 16 estão expostos. A Figura 15 apresenta os diversos pinos de entrada e saída disponíveis na plataforma ESP32-CAM:



Fonte: Microcontrollerslab (2021).

Na Figura 16 é apresentado o diagrama esquemático da placa de desenvolvimento ESP32-CAM:

Figura 16 - Diagrama esquemático

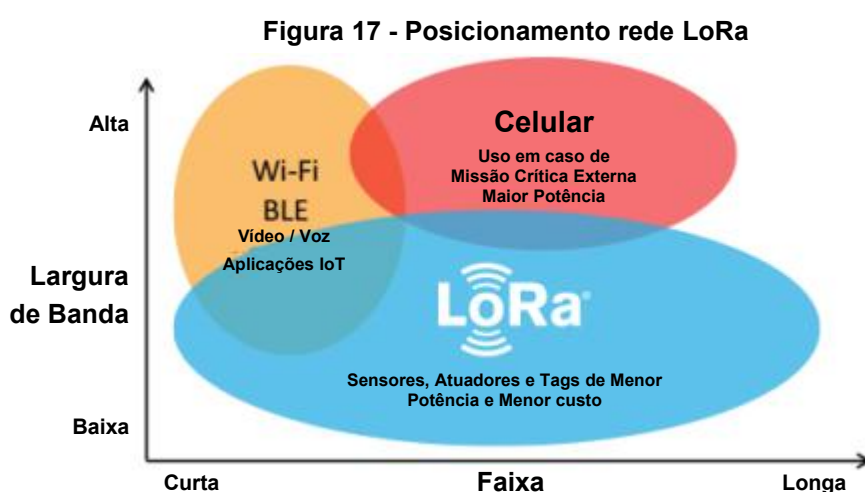


Fonte: Microcontrollerslab (2021).

2.7 Redes LPWAN - LoRa

No cenário atual, os diversos dispositivos conectados à Internet efetuam sua comunicação sem fio através das mesmas redes e protocolos disponíveis para uso geral, como, rede celular, Wi-Fi e *Bluetooth*. É importante observar que neste novo cenário os sensores incorporados e dispositivos que fazem parte do conceito da Internet das Coisas têm requisitos de rede diferentes daqueles dos computadores, telefones ou *tablets*. A demanda de dados das comunicações humanas e a dos sensores, dispositivos e máquinas são bem diferentes. Enquanto aquelas se caracterizam pela irregularidade e alto consumo de dados, estas se caracterizam, em grande medida, pela regularidade e baixa taxa de dados necessária. Importante, também, é observar que a Internet das Coisas se propõe a interligar múltiplos dispositivos instalados em áreas distantes da infraestrutura tradicional e sem uma fonte de alimentação conveniente.

Diversas tecnologias têm sido desenvolvidas com o intuito de atender às necessidades exclusivas dos dispositivos IoT e, diante de cada projeto, é importante efetuar uma análise consistente quanto as redes disponíveis, os *chips* e plataformas oferecidas no mercado e os requisitos de banda necessária e consumo energético disponível para que se possa escolher a rede mais adequada. A Figura 17 oferece uma visão geral sobre o posicionamento da rede LPWAN - LoRa:



Fonte: Adaptado Semtech (2021).

O nome LPWAN significa rede de longa distância e baixa potência e tem como principais benefícios:

- Uso de espectro não licenciado;
- Alcance: alguns quilômetros em áreas urbanas densas e acima de 10 km em áreas rurais;
- Energia: duração de vida útil da bateria superior à 10 anos (a energia consumida pelo dispositivo não pode exceder 10-25 mW);
- Custo do *chipset*: R\$ 11,00 ou menos.

Destaques Adicionais:

- Redes LPWAN são mais adequadas para aplicações com necessidade de poucas mensagens por hora;
- Necessidade de 5 a 10 vezes menos estações base do que 3G / 4G.

LPWAN - LoRa é, portanto, uma tecnologia de comunicação sem fio destinada a atender projetos de comunicações com longo alcance, baixas taxas de transmissão e consumo energético mínimo. Dependendo das condições de instalação, *chip* utilizado, topografia do local e densidade de construções, a rede oferece cobertura de 5 km em áreas urbanas e de até 20 km em áreas rurais. Se comparado ao modelo OSI, o LoRa seria equivalente a camada física da comunicação.

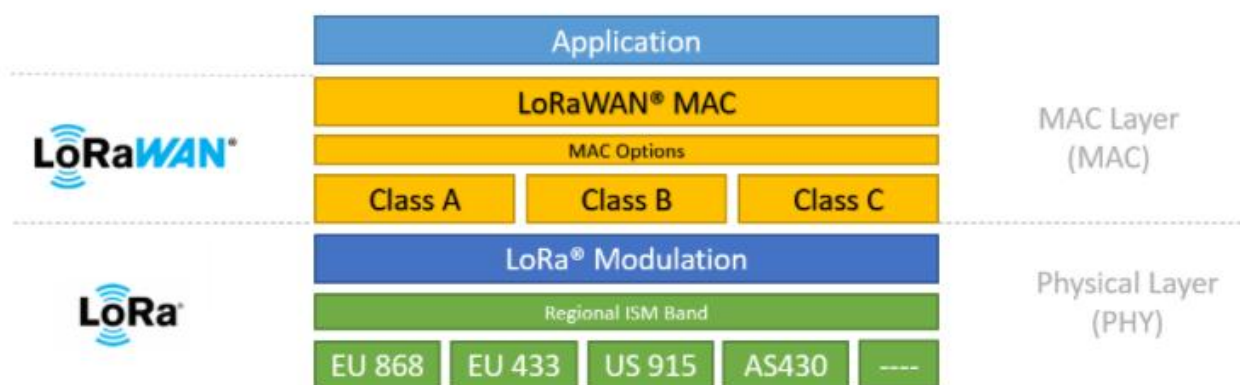
A topologia da rede se assemelha a rede celular, topologia em estrela, na qual os módulos remotos enviam informações para *gateways* específicos distribuídos na área de cobertura e estes, por sua vez, se encarregam de encaminhar as informações aos servidores que processam ou interagem com o destinatário final da informação.

LoRa é uma rede que utiliza a técnica de modulação por espalhamento espectral (*chirp spread spectrum modulation*) de pulsos do tipo senoidal, com frequências variante ao longo do tempo, modulados em frequência para codificar informações. Esta técnica já é utilizada, há tempos, em sistemas militares e em radares por possibilitar longo alcance e alta imunidade a ruídos (JUNIOR, 2021). Pesava contra esta solução, o fato da mesma ser extremamente custosa. Com o avanço tecnológico e a queda de preço dos dispositivos eletrônicos, foi possível utilizar a mesma técnica com cristais e outros componentes mais baratos o que deu origem a rede LoRa que se consolidou como a primeira rede desta modalidade

desenvolvida para aplicação comercial. As taxas de dados do LoRa variam de 0,3 kbps a 50 kbps para maximizar a vida útil da bateria dos dispositivos finais e da capacidade geral da rede. Esta rede foi patenteada, originalmente pela empresa Cycleo entre os anos de 2008 e 2013. Em 2012, porém, a empresa foi adquirida pela Semtech que licenciou outras empresas para produção da tecnologia. A Semtech, também, se tornou o membro fundador da LoRa Alliance, que é uma associação aberta e sem fins lucrativos dedicada à padronização de redes de longa distância de baixa potência (LPWAN) e à promoção global do padrão aberto LoRaWAN®. Conforme site da associação, a missão da LoRa Alliance é “apoiar e promover a adoção global do padrão LoRaWAN, garantindo a interoperabilidade de todos os produtos e tecnologias LoRaWAN, permitindo que a Internet das Coisas (IoT) forneça um futuro sustentável” (<https://www.semtech.com/lora/ecosystem/lora-alliance>. Acesso em: 24 out.2021).

Complementar à rede LoRa, tem-se o protocolo aberto LoRaWAN, responsável por definir parâmetros da comunicação, segurança, qualidade, potência necessária e aplicações tanto do dispositivo quanto dos servidores da rede. Este protocolo, se comparado ao modelo OSI, equivale à camada de rede, como demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Pilha do Protocolo LoRa

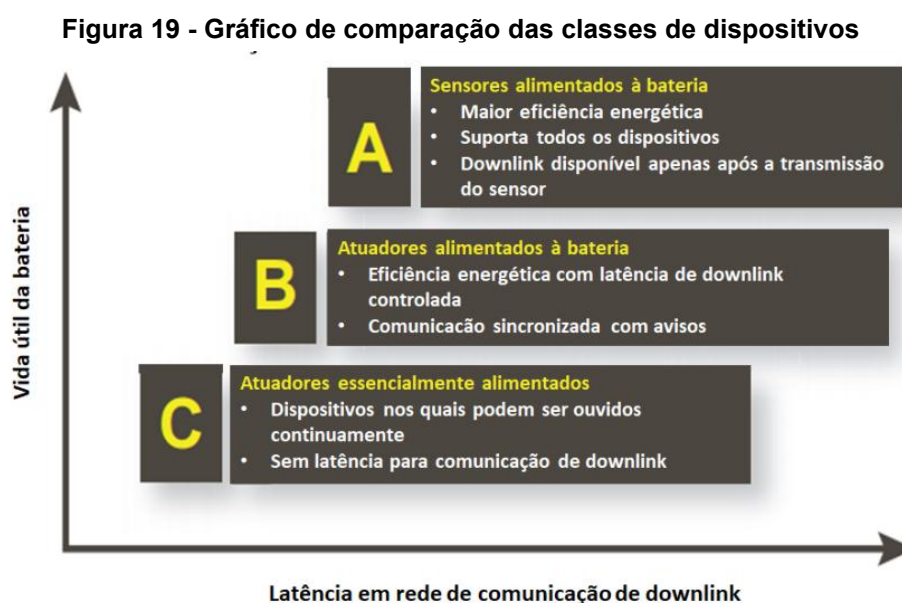


Fonte: LoRa Developer Portal (2021).

O protocolo LoRaWAN, diferentemente da rede celular, funciona de forma assíncrona, ou seja, a comunicação ocorre apenas quando programada ou quando os participantes estejam prontos para trocar informações. Este método é chamado de Aloha. Nas redes síncronas, como a celular, o sincronismo precisa ser mantido

mesmo não tendo informações para transmitir. Esta necessidade, de sempre estar conectado, consome uma grande quantidade de energia.

É importante observar, ainda, que para suportar a grande variedade de dispositivos existentes, o protocolo divide os dispositivos conectados em três classes, conforme demonstrado na Figura 19:



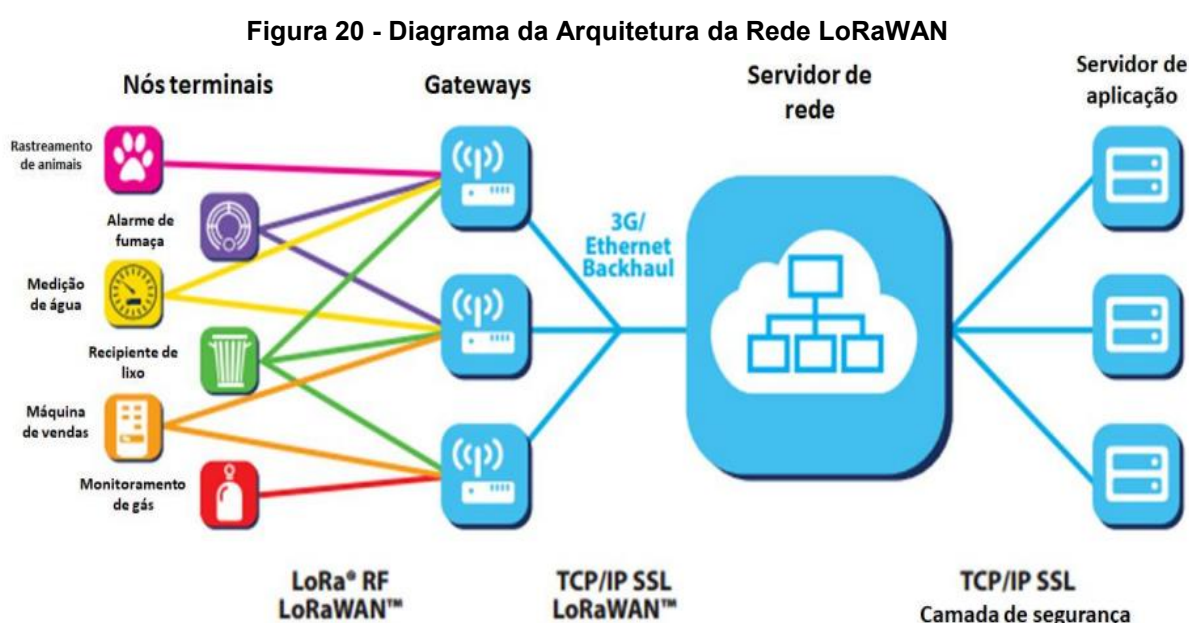
Fonte: Adaptado Lora Alliance (2015).

- Classe A: permite comunicações bidirecionais, recepção após transmissão. O *uplink* de cada dispositivo final é seguido por duas janelas curtas de recebimento de *downlink*. Esta característica define que o módulo só poderá receber dados em janelas pré-definidas e imediatamente após realizarem uma transmissão. A janela de transmissão é programada pelo dispositivo final de acordo com suas necessidades de comunicação, ou seja, baseada em uma base de tempo aleatório (tipo de protocolo ALOHA – precursor do Ethernet). Essa operação garante ao sistema um menor consumo de energia para aplicativos que exigem apenas comunicação de *downlink* do servidor logo após o dispositivo final efetuar uma transmissão de *uplink*. Comunicações de *downlink* do servidor em qualquer outro momento terão que esperar até o próximo *uplink* agendado;
- Classe B: permite comunicações bidirecionais com janelas de recepção programadas. Nesta classe os dispositivos permitem mais janelas de recepção do que a Classe A, porém, as mesmas precisam estar programadas para que

ocorram. Para que o dispositivo final abra sua janela de recebimento no horário agendado, ele recebe um sinalizador sincronizado de hora do *gateway*;

- Classe C: permite comunicações bidirecionais com janelas de recepção abertas por quase todo tempo. Os dispositivos finais da Classe C podem receber dados praticamente sem atraso, possuem, desta forma, a menor latência para comunicação entre o servidor e o dispositivo remoto. Nesta modalidade o dispositivo só deixa de receber durante a transmissão. O dispositivo de Classe C usa mais energia para operar do que a Classe A ou Classe B.

A Figura 20 oferece uma visão geral da rede LoRaWAN com seus diferentes elementos e a relação entre eles:



Fonte: Adaptado Lora Alliance (2015).

Os nós terminais são os elementos básicos da rede. São os diversos módulos de baixo consumo de energia que se comunicam com os receptores de informação chamados de *gateways*. Um só *gateway* pode receber dados de milhares de módulos espalhados por sua área de cobertura a depender da topologia do local. Na sequência os *gateways* encaminham as informações para o servidor de rede através de uma interface *backhaul* (*backhaul* são links de comunicação entre a rede principal e a rede mais próxima aos dispositivos periféricos com uma taxa de transferência maior), utilizando redes *Ethernet*, 3G ou outra disponível. O servidor de rede é o responsável pelo gerenciamento das informações enviadas pelos dispositivos remotos. Como existe a possibilidade de dois ou mais *gateways*

receberem o mesmo pacote de um certo módulo e encaminharem para o servidor de rede, o mesmo elimina pacotes duplicados, gerencia os tempos para retorno de reconhecimento (*acknowledgement* - ACK), e faz os ajustes para adaptar as taxas de dados (*Data Rate* - DR) de forma a controlar os tempos entre as comunicações e o consumo de energia. Por fim, têm-se os servidores de aplicações que são as aplicações específicas que recebem (via requisição ou de forma automática) os pacotes dos servidores de rede e, de acordo com a informação e sua programação, executam uma ou mais ações específicas. No caso de medidores de energia, por exemplo, enviam os dados de consumo para a companhia contratante do serviço. Se for um sistema de monitoramento de enchentes ou terremoto, as aplicações enviam o alerta do perigo para os órgãos de defesa civil e bombeiros.

No Brasil a regulamentação atual estabelece as condições para utilização de radiofrequência por equipamentos de radiação restrita na forma do anexo a resolução nº 506, de 1º de julho de 2008 (ANATEL, 2017). Como dito anteriormente, a frequência utilizada na rede LoRa é uma frequência não licenciada, porém, pode-se utilizar frequências que exijam licença. Para se utilizar o protocolo aberto LoRaWAN, no entanto, faz-se necessário utilizar a faixa de frequência da banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que no Brasil é permitida nas frequências entre 902 e 907,5 MHz e entre 915 a 928 MHz.

2.7.1 Análise comparativa de protocolos de comunicação da IoT

Além da rede LoRa, muitas tecnologias têm sido desenvolvidas, as quais desempenham funções semelhantes. Nesta seção é apresentada uma breve introdução às redes Sigfox e NB-IoT, sendo, também, é oferecido um resumo comparativo entre as três tecnologias de rede LPWAN.

2.7.1.1 Sigfox

Tecnologia proprietária desenvolvida pela empresa francesa que leva o mesmo nome, a Sigfox utiliza a técnica de modulação de banda ultra estreita (*Ultranarrow*) em frequência não licenciada para suportar o atendimento de alta densidade. Cada *gateway* da rede pode atender até um milhão de dispositivos. A

tecnologia foi projetada para consumir o mínimo de energia e fornecer uma ampla área de cobertura podendo cobrir de 30 a 50 km em áreas rurais e de 3 a 10 km em áreas urbanas, no entanto, a utilização da técnica de modulação ultra estreita acaba por sacrificar a capacidade de transmissão. A tecnologia utiliza largura de banda inferior a 1 kHz para o canal e transporta apenas 12 bytes no *uplink* por mensagem no limite de 140 envios por dia e 8 bytes de *dowlink* limitados a 4 retornos por dia em uma baixa taxa de dados, de até 100 bps (MEKKI, K. *et al*, 2019). A principal vantagem da Sigfox é oferecer uma conexão confiável entre dispositivos à longa distância, mesmo com ruídos e interferências a baixíssimo custo energético. Esta confiabilidade deve-se ao fato de os dispositivos conectados enviarem duas réplicas da mensagem em diferentes frequências e tempo. Esse “*backup* de mensagem” aumenta a tolerância à interferências e permite que o dado chegue ao destinatário por diferentes caminhos. Por ser uma rede proprietária, uma desvantagem da tecnologia é seu custo de implantação. Os receptores Sigfox necessitam de sensores específicos para transmitir dados através dessa rede e, portanto, onde não tiver cobertura, não é possível criar uma aplicação de IoT usando a rede Sigfox.

2.7.1.2NB-IoT

Narrow Band IoT (NB-IoT) é um novo padrão de comunicação sem fio apresentado ao mercado em junho de 2016 através do *release* 13 do 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), órgão responsável pela padronização dos sistemas celulares. Este padrão faz parte das especificações da tecnologia 5G, na verdade, o NB-IoT é baseado no protocolo LTE (*Long Term Evolution*) e foi criado como uma alternativa para atender à demanda crescente do segmento de IoT, ou seja, atender dispositivos que precisam enviar e receber uma pequena quantidade de dados. O NB-IoT permite a conectividade de até 100 mil dispositivos por célula e pode ter sua capacidade aumentada apenas adicionando mais portadoras NB-IoT. A taxa de dados é limitada a 200 kbps para o *downlink* e a 20 kbps para o *uplink*. A carga útil máxima para cada mensagem é 1600 bytes. A principal vantagem da tecnologia NB-IoT é o seu custo de implementação, por já estar incorporada à rede celular, a tecnologia utiliza a rede já instalada das operadoras de celular e estará disponível em qualquer lugar com cobertura celular. Assim, devido à topologia das redes

celulares, o NB-IoT funciona muito bem em áreas urbanas densas. Outra vantagem é quanto aos dispositivos Nb-IoT, pois utilizam rádios mais simples e mais baratos, pela baixa velocidade de comunicação e quantidade de dados que trocam, como telemetria e controles simples o que também favorece o consumo de energia, podendo atingir 10 anos de vida útil da bateria com um perfil de transmissão de 200 bytes por dia em média. Uma desvantagem, significativa, são os custos de operação para o usuário contratante da rede. Por ser uma frequência licenciada, para implantação e uso da rede, existe a necessidade de aquisição e manutenção da licença ou do pagamento a um fornecedor que tenha a licença de operar. Este fator submete o usuário da rede aos planos e modalidades de atendimentos oferecidos.

2.7.1.3 Análise comparativa

A Tabela 1 oferece uma visão geral dos protocolos Sigfox, LoRa e NB-IoT, analisados anteriormente, apresentando, de forma resumida, seus principais aspectos técnicos buscando, assim, contribuir no entendimento de cada uma delas. Vale ressaltar que as três modalidades compartilham o conceito de redes de baixo consumo LPWAN e competem entre si em diversas situações. Assim, faz-se necessário uma análise criteriosa dos requisitos de cada projeto para que se possa fazer uma escolha assertiva quanto à rede a ser utilizada.

Tabela 1 - Visão geral das tecnologias LPWAN: Sigfox, LoRa e NB-IoT

Protocolo	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Modulação	BPSK	CSS	QPSK
Frequência	Bandas ISM não licenciadas (902 MHz no Brasil)	Bandas ISM não licenciadas (902 e 907,5 MHz e entre 915 a 928 MHz no Brasil)	Bandas de frequência LTE licenciadas
Largura de banda	100 Hz	250 kHz e 125 kHz	200 kHz
Taxa máxima de dados	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidirecional	Limitada / Half-duplex	Sim / Half-duplex	Sim / Half-duplex
Máximo de mensagens / dia	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado	Ilimitado
Carga útil máxima	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	243 bytes	1600 bytes
Cobertura	10 km (urbano), 40 km (rural)	5 km (urbano), 20 km (rural)	1 km (urbano), 10 km (rural)

Duração da Bateria	Até 20 anos	Até 9 anos	Até 10 anos
Imunidade a interferências	Muito alto	Muito alto	Baixo
Autenticação e criptografia	Não suportado	Sim (AES 128b)	Sim (criptografia LTE)
Taxa de dados adaptável	Não	sim	Não
Entregar	Os dispositivos finais não se unem a uma única estação base	Os dispositivos finais não se unem a uma única estação base	Os dispositivos finais unem-se a uma única estação base
Localização	Sim (RSSI)	Sim (TDOA)	Não (sob especificação)
Permitir rede privada	Não	sim	Não
Padronizador	A empresa Sigfox está colaborando com a ETSI na padronização da rede baseada em Sigfox	LoRa-Alliance	3GPP
Custo do espectro de frequência	Gratuito	Gratuito	> 2,71 bilhões de reais por MHz
Custo de implantação	> R\$ 21.680,00 por estação rádio base	> R\$ 542,00 por gateway > R\$ 5.420,00 por estação rádio base	> R\$ 81.300,00 por estação rádio base
Custo do dispositivo	< R\$ 10,84	de R\$ 16,26 a R\$ 27,1	> R\$ 108,40

Fonte: K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel et al. / ICT Express 5 (2019) e Teleco (2021).

Dentre os diversos fatores a serem considerados na escolha da rede LPWAN apropriada, análises quanto à qualidade de serviço, duração da bateria, latência, escalabilidade, carga útil do pacote a ser transmitido, cobertura e custos são de importância fundamental para a assertividade na escolha da rede e para o sucesso do projeto.

3 DESENVOLVIMENTO

Como base nos objetivos propostos nos tópicos 1.2 e 1.3, neste capítulo são abordados os componentes envolvidos na solução. Pode-se dividir o projeto em três tópicos principais e complementares, os quais são apresentados abaixo:

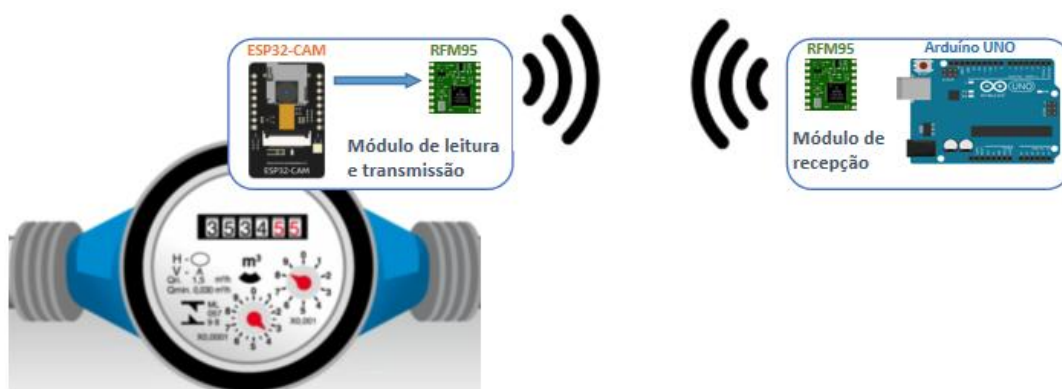
- Aquisição de dados: acesso às informações de consumo disponibilizadas através da leitura do hidrômetro;
- Envio dos dados da leitura: transmissão dos dados coletados a uma estação remota para verificação do alcance da solução;
- Fornecimento de energia: fornecimento de energia, em modo autônomo, adequado para se atingir um conceito de sustentabilidade da solução.

Esta divisão facilita o entendimento do projeto dando uma melhor visão sobre a proposição. Cada um destes tópicos se apoia em tecnologias recentes de baixo custo.

Por se tratar de uma prova de conceito, a solução foi pensada para cumprir os objetivos e servir de base para futuras inovações que visem transformar a solução em um produto comercial.

A topologia proposta para esse projeto é apresentada na Figura 21:

Figura 21 - Diagrama geral da solução



Fonte: Autoria própria (2021).

3.1 Análise de requisitos do sistema

Todo desenvolvimento de solução parte do pressuposto de requisitos desejáveis de se atender. No atual trabalho foram estabelecidos os seguintes:

- 1) Permitir uma leitura diária do consumo de água registrado no hidrômetro. Este é o ponto principal do projeto, ou seja, possibilitar o conhecimento diário da evolução do consumo em um estabelecimento a todos os envolvidos. O acesso fácil à informação permitirá que o consumidor efetue uma correspondência e um melhor controle entre seus hábitos e o consumo de água. Para a companhia de abastecimento, além de agilizar o sistema de faturamento, permitirá a identificação de variações fora da normalidade.
- 2) Utilizar mecanismos de tratamento de imagem. Ao se utilizar o próprio hidrômetro como fornecedor de informação do consumo de água, a solução se torna confiável e econômica, visto que, não existe divergência na leitura e porque não existe a necessidade de substituição ou inclusão de mecanismos paralelos de medição. O programa armazenado no microcontrolador, através de algoritmos específicos, processa a imagem e efetua a interpretação dos algarismos referentes ao consumo para posterior transmissão.
- 3) Utilizar tecnologia LoRa para transmissão das informações. A utilização da tecnologia LoRa é um dos principais objetivos deste trabalho. Tornar acessível a informação gerada pela solução de uma forma simples e com o menor custo possível é de fundamental importância para o sucesso desta iniciativa. Nada adianta obter a informação, mas, não ter a capacidade de disponibilizá-la a quem tem interesse. A utilização da tecnologia LoRa permitirá esta disponibilização pelo seu longo alcance e baixo consumo energético. Desta forma, com pouca infraestrutura de transmissão consegue-se um excelente raio de atuação.
- 4) Minimizar o consumo energético maximizando a autonomia. A utilização de mecanismos de sono profundo no sistema, associada à captação de energia solar para abastecimento da bateria, buscam permitir a operação do sistema, de forma autônoma, por alguns anos. Mecanismo de sono profundo é a técnica utilizada para minimizar o consumo de energia do sistema através do desligamento da energia de alimentação do máximo de componentes possíveis, deixando energizado apenas o que é realmente essencial.

3.2 Fatura de água

A companhia de saneamento do Paraná é a empresa SANEPAR e sua forma de tarifação atual é uma das premissas deste trabalho. A SANEPAR efetua a cobrança de seus clientes com base na variação do volume de água consumida em metros cúbicos. Além do valor consumido, a SANEPAR identifica seus clientes por uma matrícula, conforme demonstrado na Figura 22 a e 22 b:

Figura 22 - Fatura SANEPAR
(a) Frente (b) Verso

Fonte: SANEPAR (2022).

Conforme apontado no tópico 2.1, Figura 2, o volume em metros cúbicos consumido no hidrômetro é representado pelos quatro algarismos mais significativos do mostrador. Consiste em premissa deste trabalho a correta leitura destes algarismos.

Uma vez determinado o consumo, o mesmo será enviado à entidade de interesse, em um pacote de dados contendo matrícula do cliente, data da leitura, consumo e carga da bateria, ou seja, as informações necessárias para a correta identificação e destinação das informações.

3.3 Componentes da solução

3.3.1 Aquisição de dados

Para obtenção dos dados a serem processados e transmitidos pelo sistema proposto, o primeiro desafio é a geração de uma imagem com qualidade suficiente para ser trabalhada.

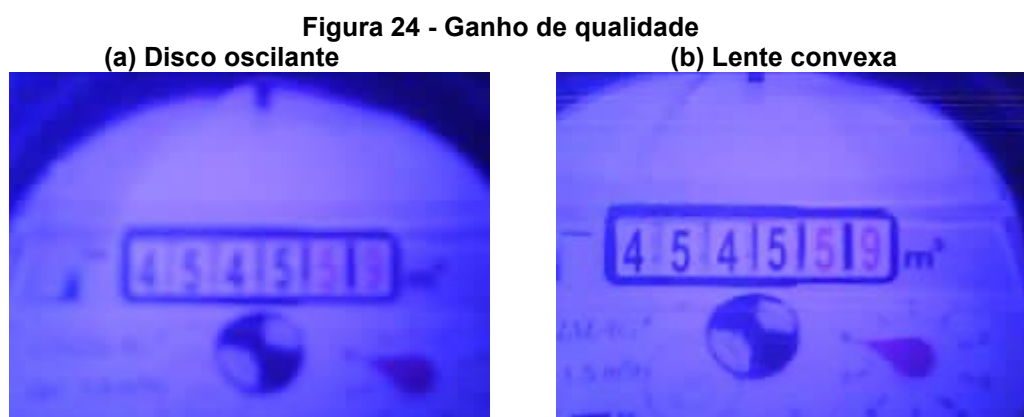
O microcontrolador ESP32- CAM utiliza a câmera OV2640 para obtenção da imagem, este modelo de câmera possui uma distância focal mínima de 60 cm (MPJA, 2022) conforme documentação do fabricante. Estas características possibilitam que se trabalhe com uma distância mínima do hidrômetro à câmera de, aproximadamente, 40 cm, o que se torna um desafio para a construção de um dispositivo compacto a ser fixado no hidrômetro. Para contornar esta limitação física

imposta pelas dimensões construtivas da lente da câmera OV2640, foi utilizada uma lente convexa de 3,5x de aumento entre a câmera e o mostrador do hidrômetro, demonstrado na Figura 23.



Fonte: Imagem adaptada (2022).

A lente convexa tem como característica deslocar a imagem para um ponto mais distante do que o que realmente se encontra. Permitindo, desta forma, que a imagem se torne nítida, mesmo a uma distância inferior a distância focal suportada pela câmera. Para este trabalho foi utilizada uma distância de 7 cm entre a câmera e o hidrômetro, ou seja, 1/4 da distância focal da câmera, resolução HQVGA de 240x176 pixels e formato de arquivo JPEG. As Figuras 24 a e 24 b demonstram o resultado obtido na qualidade da imagem com a aplicação desta técnica:



Fonte: Aatoria própria (2022).

É possível notar um ganho significativo na qualidade da imagem, porém, para o trabalho de processamento é de grande importância a evidência dos contrastes entre as diversas informações apresentadas no hidrômetro. Desta forma, buscou-se acentuar estas diferenças com recursos disponíveis no microcontrolador para inverter as cores da imagem, recurso denominado de negativo da imagem. Aplicando este recurso foi possível a obtenção da imagem apresentada através da Figura 25 com ótima qualidade para facilitar o processamento computacional e identificação dos números apresentados no mostrador.

Figura 25 - Negativo da imagem



Fonte: Aatoria própria (2022).

Dando prosseguimento ao trabalho, para processamento da imagem utilizou-se a biblioteca computacional JPGEDecoder para tratamento da imagem JPEG. O formato JPEG, um dos formatos mais utilizados na computação, é do tipo rasterizado, ou seja, uma representação da imagem através de grande de pixels que, quando colocadas lado a lado, formam a imagem como pode ser visto na Figura 26 (KINSTA, 2022).

Figura 26 - Imagem rasterizada

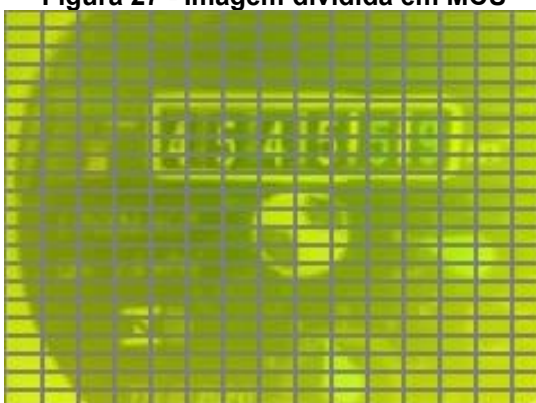
Fonte: Kinsta(2022).

A biblioteca computacional JPGEDecoder permite a manipulação deste formato de imagem limitando-se, porém, a manipulação de MCUs (Unidade Mínima Codificada). O MCU é o menor conjunto de pixels que se pode referenciar. A imagem JPEG produzida neste trabalho, bem como, os dados referentes ao MCU estão listados a seguir e demonstrados na Figura 27:

- Resolução HQVGA (240 pixels de largura x 176 pixels de altura);

- MCU por linha: 15;
- MCU por coluna: 22;
- Largura do MCU : 16 pixels;
- Altura do MCU : 8 pixels.

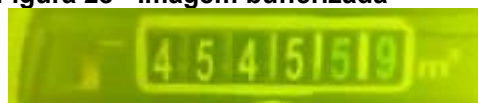
Figura 27 - Imagem dividida em MCU



Fonte: Autoria própria (2022).

Considerando que a imagem de interesse se encontra próxima a região central, foram desprezadas as primeiras 32 linhas ou os 60 primeiros MCUs. Os numerais ficaram com um tamanho de 16 pixels de largura por 25 pixels de altura e o espaço entre eles, estimado em 6 pixels. Desta forma as próximas 48 linhas foram lidas e armazenadas em *buffers* correspondentes à cada linha, e sendo descartadas as demais linhas abaixo. Assim, a imagem armazenada, corresponde à Figura 28:

Figura 28 - Imagem bufferizada



Fonte: Autoria própria (2022).

O próximo passo se concentrou em determinar a posição inicial dos numerais. O modelo de hidrômetro utilizado possui um contorno na cor preta em torno dos numerais. Este contorno, na negativa da imagem, aparece como uma parte mais clara. Assim, trabalhou-se no sentido de encontrar a coordenada do ponto de transição entre a cor escura e a cor clara, conforme demonstrado na Figura 29:

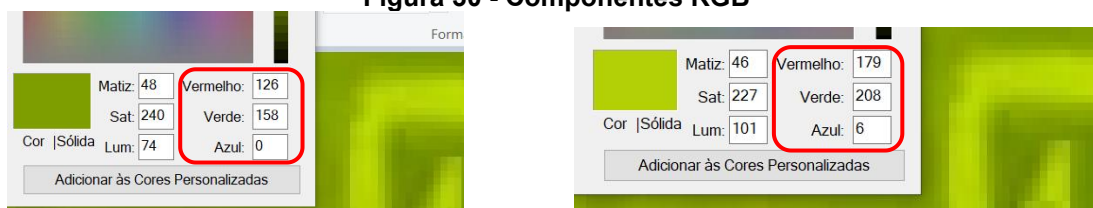
Figura 29 - Coordenada inicial



Fonte: Aatoria própria (2022).

É importante salientar que cada pixel da imagem é composta por três componentes que definem a cor do pixel, componentes chamados de RGB (*Red Green Blue* - Vermelho Verde Azul). Cada um variando sua intensidade de 0 à 255 na escala decimal. Para estimar os limites da intensidade, utilizou-se o programa *Paint* do sistema operacional *Windows*. O melhor processo encontrado para localização da coordenada e otimização do uso da memória foi retirar os componentes vermelho e azul da imagem, deixando apenas o componente verde (Figura 30).

Figura 30 - Componentes RGB



Fonte: Aatoria própria (2022).

Pode-se notar uma diferença considerável no valor da componente verde. Esta diferença será um forte auxílio da binarização dos numerais da imagem para posterior interpretação.

De posse da coordenada inicial e do tamanho dos numerais foi possível o armazenamento dos pixels representativos de cada dígito apresentado pelo hidrômetro. Para melhorar o contraste e melhorar as análises no processo de interpretação dos dígitos foi efetuado a binarização dos pixels armazenados para cada dígito. Esta binarização foi realizada substituindo os pixels mais escuros da imagem por zero e os mais claros por 1, resultando nas Figura 31:

Figura 31 - Dígitos binários



Fonte: Autoria própria (2022).

Finalizado o procedimento de trato da imagem, foi pensado para a etapa de interpretação das imagens um algoritmo que fizesse a identificação do dígito com base em um conjunto específico de amostras da imagem. A análise foi mapeada através do uso de uma grade de 16x18 pixels na qual era verificada a matriz definidora de cada dígito (Figura 32).

Figura 32 - Quadro para mapeamento

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																

Fonte: Autoria própria (2022).

Solução semelhante foi pensada pelo pesquisador Keiilin Bickar, em seu trabalho *Integrating my Neptune Water Meter with HomeAssistant*. Este trabalho procurou adaptar a estrutura de interpretação utilizada no referido trabalho de forma a contemplar a solução aqui desenvolvida. Basicamente, a estrutura de comparação computacional se utiliza de uma sequência de “Ses” (IFs) para determinação da leitura. A Figura 33 apresenta esta estrutura:

Figura 33 - Estrutura de identificação

```

// Checagem dos segmentos:
byte bin_val = 0;
// superior esquerdo
if (buffer[6+dy][3] + buffer[6+dy][4] + buffer[7+dy][3] + buffer[7+dy][4] > 0) bin_val |= 1; // 1

// inferior esquerdo
if (buffer[12+dy][3] + buffer[12+dy][3] + buffer[13+dy][4] + buffer[13+dy][4] > 0) bin_val |= 2; // 2

// superior direito
if (buffer[4+dy][11] + buffer[4+dy][12] + buffer[5+dy][11] + buffer[5+dy][12] > 0) bin_val |= 4; // 3

// inferior direito
if (buffer[12+dy][10] + buffer[12+dy][11] + buffer[13+dy][10] + buffer[13+dy][11] > 0) bin_val |= 8; // 4

// superior
if (buffer[0+dy][8] + buffer[0+dy][9] + buffer[1+dy][8] + buffer[1+dy][9] > 0) bin_val |= 16; // 5

// meio
if (buffer[11+dy][6] + buffer[12+dy][6] >= 1) bin_val |= 32; // 6

// inferior
if (buffer[18+dy][8] + buffer[18+dy][9] + buffer[19+dy][8] + buffer[19+dy][9] >= 1) bin_val |= 64; // 7

```

Fonte: Autoria própria (2022).

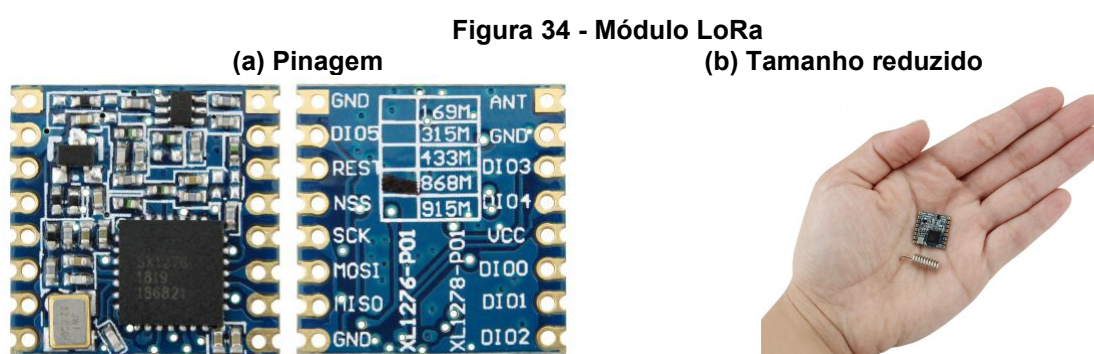
Esta estrutura se baseia em localizar o início da imagem representante do algarismo, na sequência, analisar pontos definidos da imagem para estabelecer a correlação com o número representado. Embora a solução proporcione boa assertividade, por exemplo, em 10 testes realizados obtiveram-se 100% de acerto nas identificações onde os algarismos da imagem apareciam por completo na janela de análise, porém, não foi possível a identificação dos algarismos em janelas de análise que continham imagens de transição entre os algarismos. O fato do sistema de leitura do hidrômetro ser analógica e rotacional, acaba por dificultar a determinação dos dígitos, pois as transições entre os algarismos proporcionam diversas leituras indefinidas.

Para se contornar o problema relatado, uma possível solução que pode ser desenvolvida, em projeto futuro, é o desenvolvimento de uma rede neural convolucional (CNN), técnica mais aprimorada para identificação de padrões em imagens, que pode ampliar a assertividade na leitura. Outra solução possível é o desenvolvimento de rotinas computacionais para obtenção de imagens sequenciais, dentro de um limite de tempo pré-estabelecido, buscando a obtenção de uma imagem sem transições numéricas.

3.3.2 Transmissão de dados

Após a interpretação dos dígitos, inicia-se a fase de formatação e transmissão do pacote de dados, através da rede LoRa, ao destinatário das informações para processamento, análise e controle definidos pela entidade, completando assim, o ciclo de leitura.

Para esta fase fez-se necessário conectar o microcontrolador ESP32-CAM ao módulo LoRa RFM95. O módulo RFM95 tem como componente principal o *transceiver* SW1276 da Semtech. Este *transceiver* vem equipado com modem LoRa de longo alcance com raio de cobertura de 2,5 km, em média, podendo atingir distâncias de até 4 km em locais abertos sem obstáculos. Além do alcance o *transceiver* oferece comunicação de amplo espectro e alta imunidade à interferências, o que ajuda a minimizar o consumo de energia. Operando na frequência de 915 MHz, autorizada no Brasil, a sensibilidade do módulo atinge cerca de -139 dBm que, associada a saída de potência de +20 dBm, garante uma alta confiabilidade e um longo alcance de transmissão (G-NiceRF, 2022). Além das referidas características, o módulo RFM95 possui um tamanho extremamente pequeno (Dimensões (CxLxE): 16x15,8x1,8mm) e preços muito reduzido, abaixo de R\$30,00 em lojas como ALIEXPRESS, características que potencializam sua utilização em projetos na área de IOT (Figura 34).



Fonte: USINAINFO (2021).

O módulo RFM95 se comunica com o ESP32-CAM utilizando-se da interface de comunicação serial SPI (Interface Periférica Serial). A comunicação SPI permite a comunicação de dados de forma síncrona, ou seja, existe a presença de um relógio para que haja sincronismo na comunicação entre os dispositivos mestre e escravo. A comunicação é do tipo *full duplex*, para cada bit transmitido existe um bit recebido. O

responsável por gerar o relógio é chamado de Mestre e os demais dispositivos de escravos. Os pinos básicos para a comunicação SPI são:

- MOSI (*Master Output Slave Input*): responsável por encaminhar dados do dispositivo mestre para o escravo;
- MISO (*Master Input Slave Output*): Responsável por encaminhar dados do dispositivo escravo para o mestre;
- SCK (relógio): fornece um sinal oscilante compassado para estabelecer o ritmo da comunicação dos bits entre os dispositivos conectados;
- NSS (Seletor de entrada): habilita a interface para que o dispositivo conectado a ela possa se comunicar.

A Figura 35 demonstra uma comunicação SPI típica:



Fonte: DATASHEET SX1276/77/78 (2022).

A transferência é iniciada quando o sinal no pino NSS está em nível baixo. Neste nível, de acordo com o *clock* estabelecido pelo pino SCK, o dispositivo mestre pode enviar ou receber dados do dispositivo escravo.

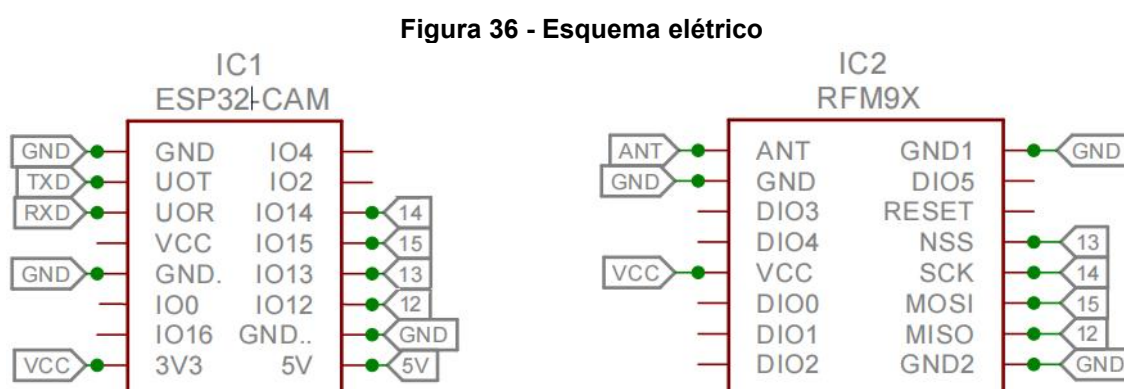
Para início da comunicação, o dispositivo mestre envia um byte para o escravo composto dos seguintes bits:

- 01 bit indicando o tipo de comunicação que será efetuado naquele acesso, onde 1 representa acesso de escrita e 0 acesso de leitura;
- 07 bits de endereço.

O segundo byte corresponde a um byte de dados enviado ou recebido pelo mestre de acordo com o tipo de acesso indicado pelo bit *wnr*. A comunicação se encerra quando o nível de sinal no pino NSS vai para alto.

Neste trabalho, a maior dificuldade foi encontrar uma forma de conectar o módulo RFM95 ao ESP32-CAM, pois, no ESP os pinos destinados à comunicação SPI já estão em uso para comunicação com a interface SD. Desta forma, foi necessário efetuar um compartilhamento da interface entre os dois dispositivos

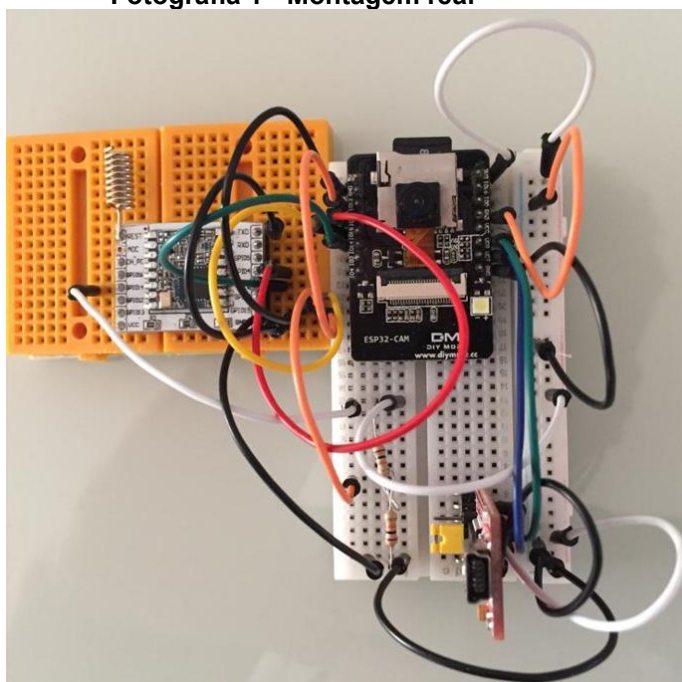
(LoRa / cartão SD), por meio de *software*. O artifício utilizado foi desligar um periférico enquanto o outro está em uso através do pino NSS, permitindo, assim, que os dois dispositivos funcionem adequadamente em tempos diferentes. Esta solução foi proposta por Stuart Robinson (2020) em seu trabalho sobre a utilização do ESP32-CAM associado ao módulo LoRa RFM95 em balões meteorológicos que enviavam fotos periódicas para uma estação terrena. A interligação dos dispositivos, no atual trabalho, foi possível com base na proposição citada e está representada na Figura 36:



Fonte: Adaptado Stuarts Projects (2020).

Na prática, a interligação da plataforma de desenvolvimento ESP32-CAM com o módulo LoRa RFM95 foi construída com o auxílio de uma *protoboard*, matriz de contatos para prototipagem, e está apresentada na Fotografia 1.

Fotografia 1 - Montagem real



Fonte: Autoria própria (2022).

Superada a questão física da comunicação entre os dispositivos, foi definida a carga de dados a serem transferidos, construindo o *payload* a ser enviado. O pacote de dados ficou assim definido (16 bytes):

PayloadID, Sequence, Matrícula, Leitura, Bateria, Temperatura, No_Foto

0 1 2 3 4 5 6

- 0 => *PayloadID*: Identificador do pacote (01 byte);
- 1 => *Sequence*: Indicação da sequência de comunicação (04 byte);
- 2 => *Matrícula*: Identificação do cliente (04 byte);
- 3 => *Leitura*: Leitura do hidrômetro com base no processamento da imagem (02 byte);
- 4 => *Bateria*: Indicação da carga da bateria (02 byte);
- 5 => *Temperatura*: Temperatura ambiente do local onde está instalado o dispositivo (01 byte);
- 6 => *No_Foto*: Número da foto tirada (02 byte).

Com estes dados, o gestor da informação tem condição de efetuar as análises desejadas, como cálculo de consumo e anomalias no consumo, visando detecção de vazamentos.

3.3.3 Alimentação e prospecção de energia

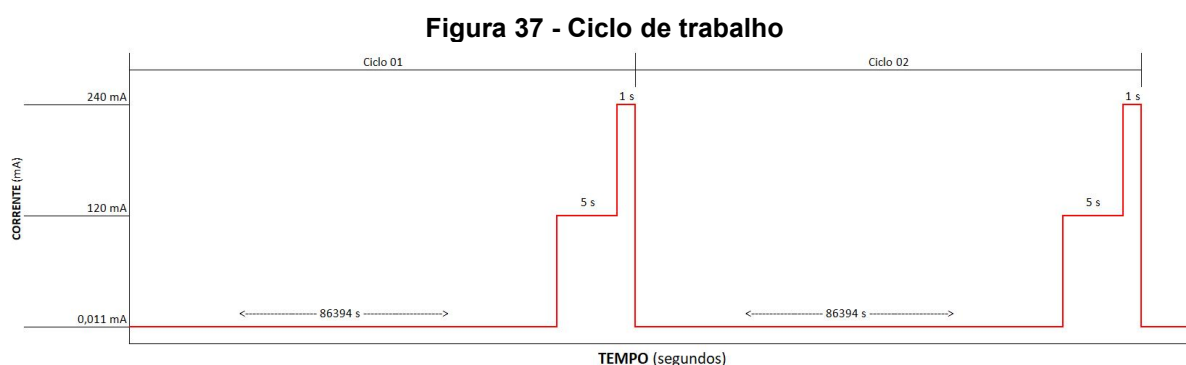
Tendo como propósito a criação de uma solução com autonomia energética, para este projeto foi previsto a utilização de uma célula solar com capacidade suficiente para garantir o carregamento da bateria do sistema.

Para o correto dimensionamento fez-se necessário a obtenção do consumo energético da solução que foi possível com base nos valores de consumo apresentados nos manuais dos respectivos módulos e no ciclo de trabalho da solução.

O ciclo de trabalho do projeto contempla as seguintes etapas:

- Inicialização do ESP32-CAM para leitura;
- Obtenção de uma foto a cada 24 horas armazenando-a no cartão SD;
- Processamento da imagem para encontrar o valor do consumo;
- Construção do pacote de dados com as informações a serem transmitidas;
- Inicialização do dispositivo LoRa;
- Transmissão o pacote com LoRa;
- Hibernação do sistema para dormir.

A Figura 37 apresenta o ciclo de trabalho da solução. As primeiras 04 etapas compreendem um tempo de 5 segundos. As duas etapas seguintes, mais 01 segundo cada. Após estas etapas o sistema entra em hibernação por um período de 86.394 segundos.



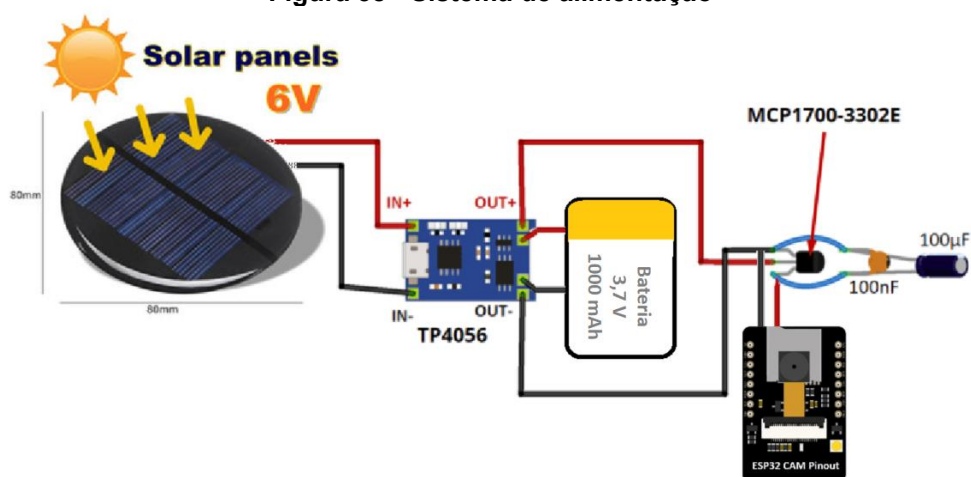
Fonte: Autoria própria (2022).

Depreende-se do gráfico que o consumo em mAh do ciclo de trabalho totaliza 0,497 mAh. Tendo por base a bateria adotada para a solução ser de 3,7 V e 1000 mAh, podemos considerar que a carga poderia suprir 2.012 ciclos do sistema.

Como, cada ciclo corresponde a 01 dia, concluí-se que a bateria possa sustentar o sistema por um período de, aproximadamente, 5 anos e 6 meses.

O sistema de alimentação adotado é apresentado na Figura 38 e teve como base o trabalho *Power ESP32/ESP8266 with Solar Panels* (SANTOS, 2019).

Figura 38 - Sistema de alimentação



Fonte: Adaptado SANTOS (2022).

As características elétricas da placa de geração fotovoltaica estão apresentadas abaixo e são suficientes para garantir a contínua carga da bateria proporcionando autonomia ao sistema pelo período de vida da bateria (ALIEXPRESS, 2022).

Especificações:

- Dimensões (diâmetro): 85 mm;
- Tipo da placa: painéis solares laminados;
- Potência máxima: 2 W;
- Corrente de trabalho: 0,35 A;
- Tensão de operação: 6 V;
- Eficiência de conversão: 18(%)

Compõe a solução um módulo de carga de bateria (TP 4056), 01 regulador de tensão (MCP1700) para fornecer uma saída estável de 3,3 V e os capacitores utilizados para suavizar os picos de tensão (SANTOS, 2022).

4 TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os testes realizados nas diversas etapas do projeto para verificar o cumprimento das premissas, as dificuldades e adequações necessárias e as falhas e limitações encontradas na solução proposta.

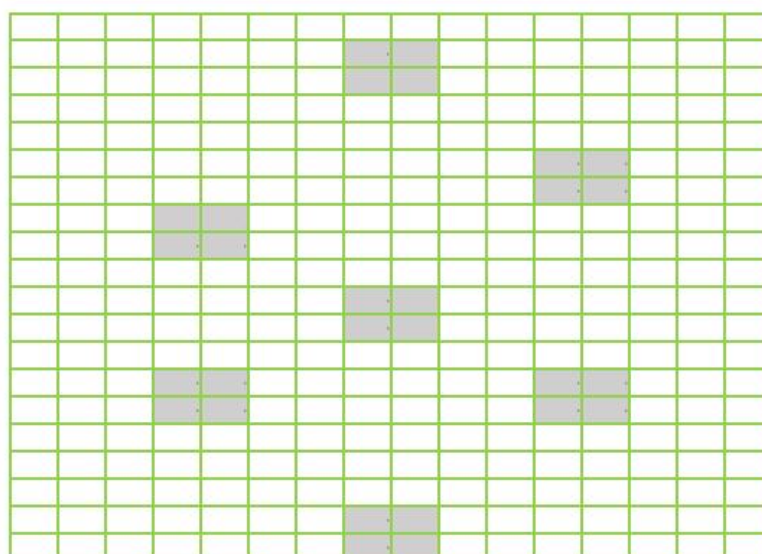
Em primeiro lugar foram realizados testes para verificação da assertividade do procedimento de aquisição de imagem. A assertividade do protocolo de identificação dos algarismos é de fundamental importância, pois o sucesso da solução depende do grau de confiança alcançado neste processo, pois trata-se da identificação do consumo do apresentado no hidrômetro, ou seja, a base do faturamento da companhia de água e saneamento. Na sequência verificou-se a capacidade transmissão e cobertura da rede LoRa para determinar se esta é a solução ideal para este tipo de aplicação. Neste teste foi possível comprovar informações apresentadas pelo fabricante no datasheet e verificar quais as dificuldades e possibilidades de melhoria em teste de campo.

4.1 Aquisição e interpretação da imagem

O objetivo deste teste foi verificar a capacidade de sucesso das rotinas computacionais em carregar imagens do hidrômetro gravadas no cartão de memória, efetuar as manipulações da imagem, identificar o início da área de interesse, encontrar as janelas específicas para cada algarismo, analisar o início da imagem em cada uma delas, ler os campos ou pontos específicos da imagem, efetuar a correta identificação dos algarismos apresentados, e concatenar os valores de cada janela para formar o valor numérico correspondente a leitura.

A identificação se baseou na comparação de pontos pré definidos na imagem com um padrão pré-definido. Este padrão pré-definido estabelece uma correlação entre o algarismo e uma sequência de bits (0 ou 1). A Figura 39 ilustra esta correlação apresentando, onde, na tabela, a última linha representa o valor decimal encontrado quando se converte o valor binário da coluna, sendo o bit menos significativo o bit da linha topo esquerdo e o mais significativo o valor apresentado na linha baixo:

Figura 39 - Padrão pré-definido



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Topp esquerdo	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1
Baixo esquerdo	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
Topo direito	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
Baixo direito	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
Topo direito	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Meio	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
baixo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	113	164	124	90	121	123	112	127	125	95

Fonte: Autoria própria (2022).

Os pontos de análise foram ajustados durante os testes até obtermos o mapa de distribuição que permitiu sucesso na identificação.

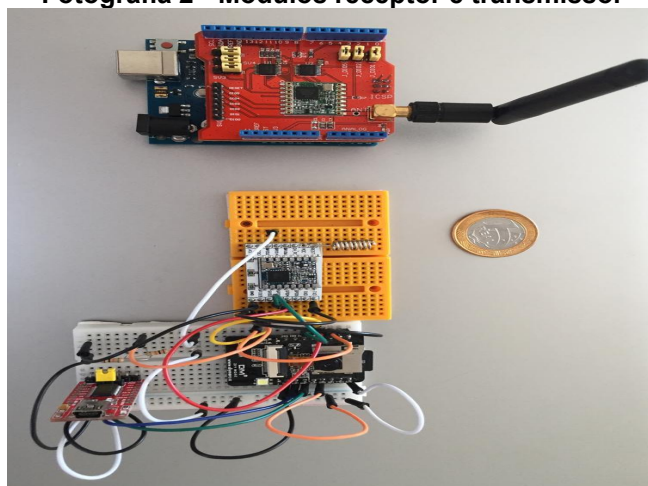
Foi possível a criação de um método computacional que possibilitava a análise mesmo que o dígito estivesse deslocado verticalmente. Analisando a soma dos bits de cada linha, pode-se determinar em qual linha o algarismo começava a ser apresentado. Com isto, foi possível programar a rotina de análise do padrão com o deslocamento necessário. Não foi possível, no entanto, a identificação de números que estivessem em meio à transição numérica, ou seja, janelas de análise onde tinha-se parte de um número na área superior e parte de outro número na área inferior.

Desta forma, o modelo adotado proporcionou uma assertividade moderada na identificação, porém, com inconsistências frequentes pela situação apresentada acima.

4.2 Teste de cobertura da comunicação LoRa

Visando comprovar as informações apresentadas pelos fabricantes referentes à cobertura, foram necessários executar testes em campo que evidenciassem a realidade da cobertura em meio a área urbana de forma a estabelecer os limites para comunicação dos leitores e a estação receptora das informações. Utilizou-se como módulo receptor o microcontrolador Arduino UNO associado ao *shield* LoRa Dragino, demonstrado na Fotografia 2.

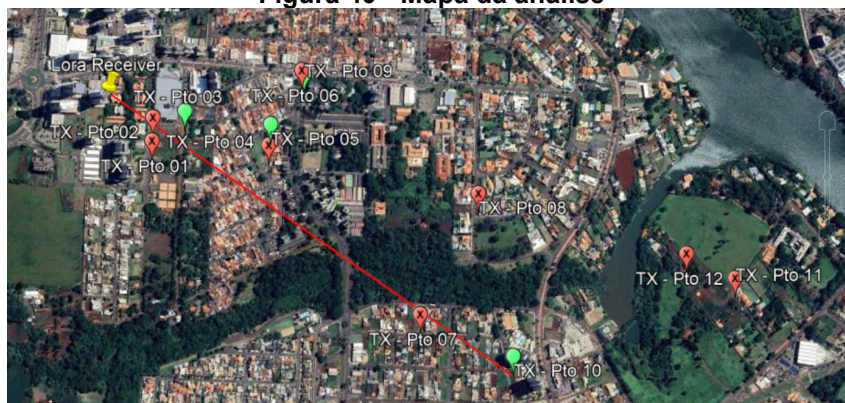
Fotografia 2 - Módulos receptor e transmissor



Fonte: Autoria própria (2022).

O teste foi realizado deslocando o módulo de leitura do hidrômetro para diversos pontos geográficos, dentro da região urbana do município de Londrina, de forma a observar se a comunicação se mostrava possível. A Figura 40, retirada do programa *Google Earth*, apresenta os pontos de análise.

Figura 40 - Mapa da análise



Fonte: GOOGLE (2022).

O ponto receptor das informações foi alocado a uma altura aproximada de 50 m, correspondente ao 15º andar de um edifício. A tabela 2 apresenta as coordenadas geográficas de cada ponto analisado, a distância entre o emissor e receptor e o resultado dos testes executados.

Tabela 2 - Teste de cobertura LoRa

Nº	POT. TX (dBm)	DIST (m)	LAT	LONG	VISADA	STATUS
1	10	190	23°20'13.41"S	51°10'28.69"O	não	falha
2	10	155	23°20'11.53"S	51°10'28.55"O	não	falha
3	10	220	23°20'10.92"S	51°10'25.54"O	sim	ok
4	10	456	23°20'13.62"S	51°10'17.75"O	não	falha
5	10	446	23°20'11.85"S	51°10'17.62"O	sim	ok
6	10	512	23°20'7.50"S	51°10'14.63"O	sim	falha
7	10	1020	23°20'27.74"S	51°10'3.27"O	sim	falha
8	10	1030	23°20'17.28"S	51° 9'58.09"O	sim	falha
9	20	512	23°20'7.50"S	51°10'14.63"O	sim	ok
10	20	1290	23°20'31.13"S	51° 9'54.48"O	sim	ok
11	20	1730	23°20'24.02"S	51° 9'33.77"O	sim	falha
12	20	1590	23°20'22.01"S	51° 9'38.36"O	sim	falha

Fonte: Autoria própria (2022).

Analisando a Tabela 2, constata-se ser de fundamental importância a análise do local de instalação da antena do módulo de leitura e a configuração da potência de saída do módulo. O teste evidenciou forte influência da visada sobre o sucesso da comunicação, bem como, da potência de saída. Mesmo a distâncias pequenas, a visada limpa entre transmissor e receptor foi fundamental para o envio dos dados. Para o alcance de maiores distâncias, foi fator de sucesso a configuração da potência de saída para o máximo oferecido pelo módulo, neste caso, 20 dBm. Este ajuste permitiu obter sucesso até a distância de 1.590 m.

4.3 Teste do sistema

Para demonstração do funcionamento do sistema, rotinas computacionais imprimiam, no monitor serial do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), as

diversas etapas do sistema. Etapas de inicialização, checagem do sistema, captura de imagem, tratamento da imagem e envio dos dados. As Figuras 41 a e 41 b apresentam as informações enviadas e recebidas em seus respectivos módulos. Em uma situação real, estas informações são suficientes para identificação do usuário, em uma base cadastral referenciada pelo número da matrícula do cliente, e cálculo do valor consumido com o fim de geração de fatura. O sistema também informa o nível da bateria, para controle e previsão de de autonomia, a temperatura ambiente do local e a quantidade de fotos armazenadas.

Figura 41 - Monitor serial da IDE Arduino

(a) Módulo de leitura	(b) Módulo receptor
Dados Enviados	Listening in Tracker mode
=====	
Pacote ID : HIDROMETRO	=====
Sequencial : 2	Dados Recebidos
Matricula clt : 12345678	=====
Leitura Hid : 4545	Pacote ID : HIDROMETRO
Bateria : 366	Sequencial : 2
Temperatura : 27	MAtrricula clt : 12345678
Foto Num : 2	Leitura Hid : 4545
=====	Bateria : 366
IRQ_TX_DONE 309mS 42bytes	Temperatura : 27
Desligando modulo LoRa	Foto Num : 2
Iniciar modo sono 10s	=====

Fonte: Autoria própria (2022).

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi a elaboração de um dispositivo capaz de efetuar leituras de consumo de água em hidrômetro analógico, transmiti-las a um destinatário de interesse e manter-se funcionando pelo maior tempo possível com uma fonte de energia alternativa.

A leitura dos hidrômetros ainda é efetuada de forma presencial, o que gera elevados custos operacionais para as empresas de água e saneamento. Embora existam soluções modernas disponíveis no mercado, com a capacidade de registrar e transmitir uma série de informações, o custo das mesmas ainda se mostra um fator impeditivo para uma substituição em escala.

A solução desenvolvida, por este trabalho, demonstrou ser possível atender à necessidade com uma alternativa de baixo custo que oferece o suficiente para a minimização dos custos operacionais e a racionalização no consumo de água. Com o sistema foi possível capturar o consumo do hidrômetro e enviá-lo a um receptor instalado remotamente.

5.1 Pontos fortes da solução

O primeiro ponto forte da solução a se destacar é sua autonomia energética. A solução pode ser ativada mesmo sem presença de fonte de energia convencional no local devido ao baixo consumo dos componentes e ao ciclo de trabalho diário ser bastante simplificado.

Outro ponto importante é quanto ao baixo custo da solução se comparado aos dispositivos modernos disponíveis no mercado. O valor de um dispositivo moderno, com capacidade de envio de diversas informações, alcança valores em torno de R\$ 1.300,00 no mercado europeu. O custo da solução aqui desenvolvida, no entanto, ficou bem abaixo e está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Custo da solução

Detalhamento	Preço (R\$)
Microcontrolador (ESP32-CAM)	69,26
Módulo LoRa 915 MHz 100 mW	72,90
Bateria 3,7 V / 1000 mAh	29,00
Lente de aumento	15,39
Módulo carregador de bateria	3,47
Regulador de tensão	2,50
Capacitor eletrolítico 100 uF	0,50
Capacitor de cerâmica 100 nF	0,10
02 resistores de 10 kΩ	0,70
Placa Solar 6 V	8,10
TOTAL GERAL	193,82

Fonte: Autoria própria (2022).

Não foi computado no valor acima o custo para a fabricação de um dispositivo para acondicionar os componentes e acoplar ao hidrômetro. No entanto, mesmo adicionando este valor a solução se apresenta muito atraente em comparação com os valores de hidrômetros digitais oferecidos no mercado.

Por ser um custo único ou poder ser sub-contratado, não foram computados os valores referentes ao módulo receptor.

5.2 Limitações da solução

A diversidade de modelos de hidrômetros dificultou a elaboração de um padrão definitivo para a solução. Embora a maioria das informações apresentadas seja normatizada, os fabricantes utilizam diferentes *layouts* o que implica uma análise personalizada para cada modelo. O projeto utilizou modelo amplamente utilizado, porém, não o único. Aliado a diversidade de modelos, o fato do mostrador ser rotativo dificulta muito na elaboração de uma rotina computacional antifalhas para identificação dos dígitos apresentados. Muitas leituras registram números que estão em fase de transição, o que geram uma grande dificuldade na identificação do consumo apresentado no leitor.

Outro ponto que despertou cuidado é quanto a utilização da rede LoRa na comunicação. Percebeu-se uma influência muito grande da visada entre os

dispositivos para o correto funcionamento da solução. Este fator exige que seja feito todo esforço para favorecer a visada entre o módulo de leitura e o receptor.

Em muitos casos, deve-se desacoplar a antena do módulo de leitura para instalá-la em local mais favorável a visada e, na sequência, efetuar a conexão da mesma com o módulo de leitura através de cabo apropriado.

5.3 Trabalhos futuros

Com a análise dos pontos fortes e limitações encontradas durante a elaboração deste trabalho, a solução pode evoluir com a aplicação de rotinas computacionais mais poderosas na análise de padrões de imagem como a aplicação de redes neurais convolucionais, rotinas de repetição para obtenção de imagens sem transações numéricas que possam ser processada sem erros ou através do envio da imagem para uma interpretação humana no centro de recepção de dados.

Outra proposição para ser tratada futuramente é a utilização de uma estação receptora móvel que efetue a leitura conforme se desloque pelas ruas da cidade, além da melhoria da antena do módulo leitor para que se amplie o alcance da unidade receptora. Com estas ações, a questão da visada e do alcance podem ser minimizados e o sucesso na leitura possa ser ampliado.

REFERÊNCIAS

ALIEXPRESS. **Site do Aliexpress**. DIY Painel Solar 6 V 2 W 0.35A 80 MM Círculo Redondo Epóxi Placa de Energia Solar de Silício Policristalino de Células Solares módulo Mini. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/33027793758.html?gatewayAdapt=glo2bra>. Acesso em: 02 ago 2022.

ALVES, P. **Geladeira *smart* que avisa quando comida está acabando é destaque na CES 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2020/01/geladeira-smart-que-avisa-quando-comida-esta-acabando-e-destaque-na-ces-2020-ces2020.ghtml>. Acesso em: 23 jul 2022.

AVEIRO, T. G.; PASSOS, I.; QUADROS, M. A. C. **Sistemas de Telemetria de Hidrômetro Residencial**. 2015. 102f. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento Acadêmico de Informática, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2015.

BARBOSA, R. M. R. **Sistema de monitorização do consumo de água utilizando tecnologia Sigfox**. 2017. 94f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.

BICKAR, K. **Integrating my Neptune Water Meter with HomeAssistant**. 2019. Disponível em: <https://medium.com/@trumpetgod/integrating-my-neptune-water-meter-with-home-assistant-896712a8c893>. Acesso em: 02 nov 2021.

Disco oscilante 2012. Disponível em: <http://www.chipkin.com/articles/wp-content/uploads/2012/05/nutating.jpg>. Acesso em: 25 abr.2020.

Êmbolo rotativo. 2011. Disponível em: <https://trimec-fp.com.au/full-width/multi-pulse-rotary-piston-meters/>. Acesso em: 25 abr.2020.

ESPRESSIF. **ESP32 Series Datasheet**. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 01 mai 2022.

FAE TECHNOLOGY COMPANY. **Solução em Telemetria**. Disponível em: <http://www.fae.com.br/solucao-em-telemetria/>. Acesso em: 02 nov 2021.

GOOGLE. **Google Earth**. Version 7.3.4.8642. 2022. Nota (Londrina- PR). Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em 06 de julho de 2022.

G-NiceRF. **LoRa127X-C1 100mW LoRa Wireless Transceiver Module V3.0.**

Disponível em: <https://www.nicerf.com/products/detail/sx1276-lora-module-lora1276-c1.html>. Acesso em: 01 mai 2022.

Hidrômetro Com Saída Pulsada. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1559022151-hidmetro-com-saida-pulsada-12-qmax-3mh-elster-12x-_JM. Acesso em: 02 nov 2021.

Hidrômetro típico. 2012. Disponível em:

<https://www.tribunapr.com.br/noticias/parana/usuarios-de-drogas-dao-prejuizo-atronomico-a-sanepar/>. Acesso em: 25 abr.2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Portaria nº 246 de 17 de outubro de 2000: Medidores de água.** Duque de Caxias (RJ). (modelo de referência com autoria coletiva)

SILVA JUNIOR, V. P. **Conheça a tecnologia LoRa® e o protocolo LoRaWAN.**

2021. Disponível em: <https://newtonbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/11992-conheca-a-tecnologia-lora-e-o-protocolo-lorawan-lor001>. Acesso em: 23 jul 2022.

KAMSTRUP. **General Price List / UN / ANL / 2016-01-01.** Skanderborg, Dinamarca: Kamstrup, 2016, 59 p. Disponível em:

http://www.mdcontrolymarve.com/pdfs/db/KAMSTRUP_Tarifa%20Kamstrup%20Water%202016%20-%20mdcontrolymarve.com%20-%20climarepuestos.es.pdf. Acesso em: 02 jul 2022.

KAMSTRUP. **MULTICAL® 21 / flowIQ® 210x.** Disponível em:

<https://www.kamstrup.com/en-en/water-solutions/smart-water-meters/multical-21>. Acesso em: 02 nov 2021.

K & K DO BRASIL LTDA. **Hidrômetro Digital UFM280.** Disponível em:

<http://www.fmsmarket.com.br/produtos/catalogos/UFM280.pdf>. Acesso em: 02 nov 2021.

KINSTA. **JPG vs. JPEG: Entendendo o Formato de Arquivo de Imagem mais**

Comum. Disponível em: <https://kinsta.com/pt/blog/jpg-vs-jpeg/>. Acesso em: 12 mar 2022.

LORA ALLIANCE. **What is LoRaWAN.** Disponível em: https://lora-alliance.org/resource_hub/what-is-lorawan/.

Acesso em: 02 nov 2021.

LORA DEVELOPER PORTAL. **LoRaWAN Network Fundamentals.** Disponível em:

<https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>. Acesso em: 02 nov 2021.

MEKKI, K. *et al.* **A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment.** 2019. ICT Express, Volume 5, Edição 1 - Science Direct, ELSEVIER. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953?via%3Dihub#!>. Acesso em: 02 nov 2021.

MICROCONTROLLERSLAB. **ESP32-CAM AI-Thinker Board – All about GPIO Pins.** Disponível em: <https://microcontrollerslab.com/esp32-cam-ai-thinker-pinout-gpio-pins-features-how-to-program/>. Acesso em: 02 nov 2021.

Microsoft PowerPoint - Cap3-Variaveis-c.pptx. 2016. Disponível em: <http://www2.ene.unb.br/lelio/cap3c-variaveis.pdf>. Acesso em: 28 jun.2022.

MINUCCI, A. S.; LIMA, F. A. S. **Automatização no Processo de Leitura de Hidrômetros.** 2013. 66. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Automação Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

MULLER, J. **AI-on-the-edge-device.** 2020. Disponível em: <https://github.com/jomjol/AI-on-the-edge-device>. Acesso em: 02 nov 2021.

MPJA. **OV2640FSL Color 2.0 MegaPixel Camera Module with OmniPixel2TM Technology.** Disponível em: <https://www.mpja.com/download/ov2640data%20sheet.pdf>. Acesso em: 03 jul 2022.

ROBINSON, S. **ESP32CAM as a High Altitude Balloon Tracker - Really?.** Disponível em: <https://stuartprojects.github.io/2020/08/07/ESP32CAM-as-a-Balloon-Tracker-Really!.html>. Acesso em: 02 nov 2021.

RUIZ, W. H. C.; PIMENTA, L. P. S.; CARVALHO, L. **SMART WATER METER: Medidor de Água Inteligente.** 2015. 43f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Americana, Americana (SP), 2015.

SAAE GRAJAÚ. **Mostrador típico.** 2017. Disponível em: <https://saaegrajau.com.br/servicos/seu-hidrometro/>. Acesso em: 25 abr.2020.

SAGA MEDIÇÃO. **ultrassônico SS.** Disponível em: <https://www.sagamedicao.com.br/ultrassonico/>. Acesso em: 02 nov 2021.

SAGATECH. **Hidrômetro residencial com Rádio Transmissor.** Disponível em: <https://sagatechbrasil.com.br/hidrometrocomradio/>. Acesso em: 02 nov 2021.

SANEPAR. 2020. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/sanepar-em-numeros>. Acesso em: 12 out 2020.

SANEPAR. 2022. Disponível em: <https://site.sanepar.com.br/informacoes/conheca-sua-conta-de-agua>. Acesso em: 12 mar 2022.

SANTOS, Rui. **Power ESP32/ESP8266 with Solar Panels**. Disponível em: <https://randomnerdtutorials.com/power-esp32-esp8266-solar-panels-battery-level-monitoring/>. Acesso em: 01 mai 2022.

SDB METERING. **Hidrômetros**. Disponível em: <https://www.sdbmetering.com.br/hidrometros>. Acesso em: 02 nov 2021.

SEMTECH. **Datasheet SX1276-7-8**. Disponível em: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-core/sx1276>. Acesso em: 01 mai 2022.

SEMTECH. **LoRa Fills a Technology Gap**. Disponível em: <https://www.semtech.com/lora/why-lora>. Acesso em: 02 nov 2021.

SILVA, J. **Como aplicar hidrômetros individuais em edificações**. Florianópolis: AltoQI, 2020, p. 3. E-Book. Disponível em: <http://s3eng-tecnologia-aplicada-a-engenharia.rds.land/download-mr-formulario-como-aplicar-hidrometros-individuais-em-edificacoes-10-07>. Acesso em: 25 abr.2020.

TASIC, V. *et al.* Self-powered Water Meter for Direct Feedback. **2012 3rd IEEE International Conference on the Internet of Things**, Wuxi, China, p. 24-30, Out. 2012. DOI: 10.1109/IOT.2012.6402300.

TELECO. **Guia de Conetividade de IoT: LPWA**. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/lpwa.asp>. Acesso em: 02 nov 2021.

USINAINFO. **Módulo LoRa 868Mhz SX1276 RF Wireless + Antena**. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/lora/modulo-lora-868mhz-sx1276-rf-wireless-antena-5492.html>. Acesso em: 29 mar 2021.