



UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
CURSO DE MESTRADO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

Klaus Dieter Kupper

Redes de Sensores Sem Fio para Monitoramento Ambiental

Itajaí
2025

Klaus Dieter Kupper

Redes de Sensores Sem Fio para Monitoramento Ambiental

Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado em
Computação Aplicada da Universidade do Vale do
Itajaí como requisito para a obtenção do título de Mas-
ters in Applied Computing.

Orientador: Prof. Dr. Jordan Sausen

Itajaí
2025

RESUMO

Accurate and timely river water level data is crucial for flood prediction, water resource management, and ecological monitoring. This Master's project focuses on the development and comparative assessment of a LoRa-based Wireless Sensor Network (WSN) for robust river stage monitoring. The research critically evaluates the performance of four non-contact sensor technologies: two LiDAR sensors (TF-Luna, TF-Nova) and two ultrasonic sensors (JSN-SR04T, HC-SR04), integrated with a microcontroller-based node. The study methodology includes rigorous laboratory testing to determine sensor accuracy, precision, range limitations, and susceptibility to common interferences, reflecting findings often highlighted in foundational sensor studies [e.g., observations related to sensor physics from your list]. Subsequently, field trials will be conducted in a representative riverine environment to assess sensor reliability, power efficiency, and data transmission success via a LoRa network covering an extensive regional area. This research aims to address challenges noted in literature, such as optimizing sensor choice for specific environmental conditions and communication robustness in LPWANs [e.g., observations on LoRa performance or sensor limitations from your list]. The outcomes will provide empirical evidence to guide the selection of cost-effective and dependable sensor solutions for scalable hydrological monitoring networks, contributing to improved water management strategies.

Palavras-chave: Ultrasonic; Sensors; LiDAR; Cameras; Hydrological Monitoring; Remote Sensing.

ABSTRACT

Dados precisos e oportunos sobre o nível da água dos rios são cruciais para a previsão de cheias, gestão de recursos hídricos e monitoramento ecológico. Este projeto de Mestrado foca no desenvolvimento e avaliação comparativa de uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) baseada em LoRa para o monitoramento robusto do nível de rios. A pesquisa avalia criticamente o desempenho de quatro tecnologias de sensores sem contato: dois sensores LiDAR (TF-Luna, TF-Nova) e dois sensores ultrassônicos (JSN-SR04T, HC-SR04), integrados a um nó baseado em microcontrolador. A metodologia do estudo inclui rigorosos testes em laboratório para determinar a exatidão, precisão, limitações de alcance e suscetibilidade dos sensores a interferências comuns, refletindo achados frequentemente destacados em estudos fundamentais de sensores [ex.: observações relacionadas à física dos sensores da sua lista]. Subsequentemente, testes de campo serão conduzidos em um ambiente fluvial representativo para avaliar a confiabilidade dos sensores, eficiência energética e sucesso na transmissão de dados através de uma rede LoRa cobrindo uma extensa área regional. Esta pesquisa visa abordar desafios observados na literatura, como a otimização da escolha do sensor para condições ambientais específicas e a robustez da comunicação em LPWANs [ex.: observações sobre o desempenho do LoRa ou limitações dos sensores da sua lista]. Os resultados fornecerão evidências empíricas para orientar a seleção de soluções de sensores econômicas e confiáveis para redes de monitoramento hidrológico escaláveis, contribuindo para melhores estratégias de gestão da água.

Keywords: Ultrasonic; Sensors; LiDAR; Cameras; Hydrological Monitoring; Remote Sensing.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização e as mudanças climáticas causam impactos diversos em diferentes camadas da sociedade, ameaçando indivíduos em situações de risco em catástrofes como enchentes, ou causando impactos na produção agrícola com mudanças climáticas (Jonkman, 2005; Hall et al., 2014; Bragança, 2024; Borga et al., 2014). Esses fenômenos demonstram a necessidade de sistemas eficazes de monitoramento que possam fornecer mais dados sobre as condições ambientais, e nos ajudem a monitorar, analisar e prever esses fenômenos (Hall et al., 2014; Lin et al., 2020; Lo et al., 2015; Iqbal et al., 2021).

Quando falamos de monitoramento do ambiente, falamos de uma ampla gama de aplicações e dispositivos, especialmente em regiões remotas e de difícil acesso, representa um desafio técnico significativo. A extensão territorial dessas áreas, aliada a condições ambientais adversas e à crescente demanda por dados em tempo real, exige soluções tecnológicas que sejam robustas, econômicas e escaláveis (Chen et al., 2013; Yellampalli, 2021; Pule; Yahya; Chuma, 2017).

Nesse contexto, as Redes de Sensores Sem Fio (WSNs) têm se consolidado como uma ferramenta promissora, oferecendo vantagens significativas em termos de flexibilidade de implantação, capacidade de resposta rápida e custo-benefício em comparação com infraestruturas tradicionais de monitoramento. As WSNs permitem amostragem espacial densa e coleta contínua de dados, aspectos críticos para o acompanhamento de fenômenos naturais (Chen et al., 2013; Ferreira; Silvério; Viana, 2023; Pule; Yahya; Chuma, 2017).

A necessidade de monitoramento ambiental em tempo real têm ampliado a demanda por dados, ressaltando a importância de tecnologias de baixo consumo energético e longo alcance, como o LoRa. Essas tecnologias são especialmente adequadas para aplicações em áreas remotas, onde a infraestrutura de comunicação é limitada ou inexistente (Pule; Yahya; Chuma, 2017; Chen et al., 2013; Ferreira; Silvério; Viana, 2023).

Além disso, vemos uma tendência crescente na demanda de dados para integração com sistemas de inteligência artificial, que podem extrair análises e tendências valiosas e auxiliar na tomada de decisões em tempo real. Essa integração potencializa a capacidade preditiva dos sistemas de monitoramento ambiental e abre oportunidades para novas aplicações (N.R et al., 2025; Mukhopadhyay et al., 2021; Ferreira; Silvério; Viana, 2023; Chen et al., 2013; Lin et al., 2020). Em 2021 foi sugerida uma nova definição para este conceito, unindo AI e IoT como AIIoT, que se refere à integração de inteligência artificial com a Internet das Coisas (IoT) para criar sistemas mais inteligentes e autônomos (Mukhopadhyay et al., 2021).

Esta revisão da literatura está estruturada em cinco seções principais. Primeiramente, serão abordados os sensores e as tecnologias utilizadas no monitoramento ambiental, categorizando-os conforme os domínios de aplicação (hidrológico, solo e qualidade do ar). Em seguida, será discutido o papel das Redes de Sensores Sem Fio e das tecnologias de

comunicação associadas. Posteriormente, serão apresentados os principais desafios e tendências atuais no campo do monitoramento ambiental, com foco em inovações tecnológicas. Por fim, serão expostas as conclusões e perspectivas futuras.

Embora revisões anteriores tenham abordado de forma aprofundada sensores para o monitoramento do solo como as realizadas por Yin et al. (2021), Teng et al. (2014) e Queiroz et al. (2020) ou técnicas de medição de nível de água como as feitas por Mohindru (2023), N.R et al. (2025) e Wu et al. (2023), observa-se uma lacuna de estudos recentes que integrem, de maneira abrangente, tanto as tecnologias de sensores quanto as infraestruturas de comunicação, trazendo conceitos emergentes no monitoramento ambiental e não se limitando a aplicações específicas.

Esta revisão busca preencher essa lacuna ao oferecer uma visão que contemple as tecnologias de sensores aplicadas ao monitoramento de solo, água e/ou ar/compostos químicos, acompanhada de uma análise das tecnologias de comunicação sem fio, estratégias de eficiência energética e desafios de segurança em implantações de WSNs para o monitoramento ambiental. A principal contribuição deste trabalho consiste em consolidar avanços multidisciplinares, destacar tecnologias ainda pouco exploradas e fornecer uma análise comparativa que possa orientar futuras pesquisas e aplicações no desenvolvimento de projetos para monitoramento ambiental.

2 SENSORES E TECNOLOGIAS PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Nosso dia a dia é repleto de sensores, sempre coletando dados sobre o ambiente ao nosso redor. Esses sensores podem ser classificados de muitas formas diferentes, alguns exemplos de categorização relevantes para entendimento são: sensores ativos e passivos, onde os sensores ativos emitem algum tipo de sinal para medir uma grandeza física, enquanto os sensores passivos apenas captam sinais já existentes no ambiente (Javaid et al., 2021). Outra forma de classificar os sensores é a forma com que interagem com o ambiente, onde sensores de contato medem grandezas físicas diretamente em contato com o meio, enquanto sensores de não contato medem grandezas físicas sem necessidade de contato direto (Javaid et al., 2021; Mohindru, 2023; Wu et al., 2023). Por fim, existem ainda muitas outras formas de classificar sensores, mas nesse trabalho optou-se pela classificação de sensores de acordo com o tipo de aplicação, como sensores de nível de água, sensores de qualidade do ar, sensores de temperatura, de forma a melhor guiar pesquisas nesses ambientes.

2.1 MONITORAMENTO DE ÁGUA

Quando falamos de monitoramento de água, podemos dividir os sensores em dois tipos principais: sensores de nível de água e sensores de qualidade da água. Os sensores de nível de água são utilizados para medir a altura da coluna d'água em corpos hídricos, como rios, lagos e reservatórios ou em ambientes controlados como tanques e poços. Já os sensores de qualidade da água são usados para medir parâmetros como pH, turbidez, condutividade elétrica (EC) e outros compostos químicos presentes na água.

2.1.1 Sensores de Nível de Água

Para o monitoramento de nível de água em ambientes naturais como rios e lagos, podemos destacar os tradicionais sensores de contato, como os sensores de pressão ou linigráficos, que medem a pressão exercida pela coluna d'água sobre o sensor, um destes foi testado por Santana, Salustiano e Tiezzi (2024), destacando que o mesmo faz boas leituras, sendo indiferente a parâmetros como turbidez da água, porém o mesmo trabalho destaca o ponto fraco desta tecnologia que é a sua aplicação em ambientes hostis, visto que em situações como a cheia do rio, onde há uma grande quantidade de entulhos e forte correnteza, esses sensores podem ser comprometidos. Além disso sensores de contato para monitoramento em ambientes naturais podem envolver conjuntos de boias, que detectam a altura da água em relação a um ponto fixo, ou sensores de flutuação, que utilizam um flutuador conectado a um cabo ou corda para medir a altura da água. Esses sensores são simples e eficazes, mas podem ser afetados por fatores como detritos flutuantes, variações

de temperatura e corrosão (MasoudiMoghaddam; Yazdi; Shahsavandi, 2024; Santana; Salustiano; Tiezzi, 2024; Paul; Buytaert; Sah, 2020; Yukawa et al., 2025) .

Quando buscamos sensores para monitoramento de nível em ambientes controlados como tanques e poços, e não estamos preocupados em sensores de longo alcance, não precisamos nos preocupar tanto com fatores como detritos flutuantes, e podemos utilizar os sensores já mencionados anteriormente para aplicações em rios e lagos, além de outros métodos mais simples como os sensores de nível de água resistivos, que medem a resistência elétrica entre dois eletrodos submersos na água. Esses sensores são econômicos e fáceis de instalar, mas podem ser afetados por corrosão e depósitos minerais (Santana; Salustiano; Tiezzi, 2024; Mohindru, 2023).

Para essa categoria monitoramento de nível em ambientes controlados existem ainda tecnologias emergentes que demonstram potencial, como os sensores passivos de nível de água baseados em ondas acústicas, o sensor SAW mede variações de deformação ou pressão na parede do tanque causadas pela mudança no nível da água, convertendo essas alterações em sinais de resposta, como os desenvolvidos por Sayyed Faizan Ali et al. (2020) e Sreejith e Zhang (2024). Outra tecnologia que aparece como promissora são os sensores de nível com fibra óptica, se baseiam no princípio de Arquimedes da hidrostática e utilizam a variação da luz transmitida através de uma fibra óptica e um elemento flutuante para medir a altura da coluna d'água, o princípio é demonstrado com avanços desenvolvidos por Ramos et al. (2025). Esses sensores são altamente precisos, mas ainda são complexos de instalar e operar.

Para aplicações de monitoramento sem contato, esta revisão apresenta três destaques, sensores ultrassônicos, sensores lidar, e monitoramento remoto através de imagens geradas por aplicações aeroespaciais.

Os sensores de nível de água baseados em ultrassom, emitem ondas sonoras e medem o tempo que essas ondas levam para retornar ao sensor. Esses sensores são amplamente utilizados devido à sua precisão e capacidade de operar em ambientes com variações de temperatura e pressão (MasoudiMoghaddam; Yazdi; Shahsavandi, 2024; Pereira et al., 2022). Por exemplo, o modelo de sensor ultrassônico GY-US42 foi testado com resultados indicando que o erro médio do dispositivo é inferior a 3% (MasoudiMoghaddam; Yazdi; Shahsavandi, 2024). Outro modelo, o HC-SR04, também foi avaliado como uma alternativa técnica e econômica viável para monitoramento de níveis de água (Pereira et al., 2022), além de ser uma boa opção para educação, ciência cidadã e pesquisa devido ao seu baixo custo (Bresnahan et al., 2023).

Os sensores LiDAR fazem uso de ondas ópticas para medir distâncias e velocidades, sendo amplamente utilizados em metrologia, monitoramento ambiental, arqueologia e robótica (Behroozpour et al., 2017; Li et al., 2022). O princípio de medição do LiDAR baseia-se na rugosidade da superfície refletora para gerar reflexão não especular (ou seja, dispersão) do feixe laser emitido. A faixa de luz próxima do infravermelho (NIR) é a

mais comumente utilizada para esse fim, geralmente em comprimentos de onda entre 900 e 1100 nm (270-330 THz), devido ao baixo custo dos lasers operando nessa faixa e à menor densidade de energia em comparação com o espectro visível (Li et al., 2022; Fernandez-Diaz et al., 2014; Smart; Bind; Duncan, 2009; Behroozpour et al., 2017). Assim como nos sensores ultrassônicos, a medição do LiDAR é feita pelo tempo de voo (TOF), mas existem dois métodos principais de medição, o TOF pulsado e o AMCW TOF, que diferem na forma como o sinal é emitido e recebido. No TOF pulsado, um pulso óptico é emitido e o tempo que leva para retornar ao sensor é medido, enquanto no AMCW TOF, uma onda contínua modulada em amplitude é utilizada, e a diferença de fase entre os sinais transmitidos e recebidos é medida para determinar a distância (Li et al., 2022).

Esses sensores foram explorados como uma alternativa de baixo custo para medir níveis de água a partir de pontes, com testes em laboratório e campo indicando uma boa precisão com erro de 0.1%, mas com variações significativas causadas pela temperatura do sensor e pela rugosidade da água (Paul; Buytaert; Sah, 2020). Sensores LiDAR instalados em margens de rios para monitoramento de enchentes também foram testados com bons resultados, o estudo indicou que partículas suspensas na água impactam positivamente a precisão das leituras, e que o sensor poderia também ser usado para detectar a concentração dessas partículas suspensas na água (Tamari; Guerrero-Meza, 2016). Outro estudo comparou o modelo de sensor LiDAR TF-mini com sensores de pressão linigráficos, mostrando os benefícios do método de medição sem contato do LiDAR em comparação com o método de contato do linigráfico e validando o LiDAR como uma excelente escolha entre as tecnologias de medição de nível de fluido comparadas (Santana; Salustiano; Tiezzi, 2024).

Outro método de monitoramento de nível de água em ambientes abertos, e a utilização de monitoramento remoto usando dados obtidos via satélite, como o trabalho realizado por Jiang e Hong (2024), que utiliza imagens e outros dados obtidos via satélite para estimar os níveis de uma bacia hidrográfica ou os de Tauqeer Ali et al. (2024) que também usam uma técnica similar e comparam estimativas feitas com dados obtidos via satélite com medições feitas em vários pontos ao longo do rio com métodos mais tradicionais, ambos os trabalhos apresentam resultados positivos para esta técnica.

2.2 QUALIDADE DA ÁGUA

Paragrafo sobre qualidade da agua ferreira2023_{conception}

2.3 MONITORAMENTO DO SOLO

O monitoramento do solo é uma ferramenta essencial para otimizar o crescimento das culturas, melhorar a eficiência produtiva e promover práticas agrícolas mais sustentáveis. Os sensores de solo permitem a medição contínua de parâmetros físicos e químicos,

como umidade e concentração de nutrientes, fornecendo dados em tempo real para apoiar a tomada de decisão no campo. A demanda por essas tecnologias vem crescendo, impulsionada pelo aumento populacional, pela necessidade de ampliar a produção de alimentos e pela pressão por práticas agrícolas mais eficientes e conscientes em relação ao meio ambiente. Um exemplo representativo é o mercado de sensores de umidade do solo, que movimentou cerca de US\$ 147,5 milhões em 2020, com expectativa de atingir US\$ 360,9 milhões até 2027, refletindo o interesse global em tecnologias de agricultura digital (Yin et al., 2021) .

Historicamente, as recomendações de manejo agrícola foram desenvolvidas seguindo uma lógica de zonas agroecológicas amplas, como ocorreu durante a Revolução Verde, quando o foco estava apenas no aumento da produtividade por meio de fertilizantes sintéticos, sem considerar adequadamente as condições locais de solo e água, nem os impactos ambientais associados. Grande parte desse legado ainda persiste, com práticas baseadas em procedimentos centralizados e relações empíricas genéricas entre nutrientes, doses de fertilizantes e produtividade. Nesse contexto, os sensores de solo surgem como uma ferramenta fundamental para romper com esse modelo “top-down” e viabilizar uma abordagem “bottom-up”, em que as decisões de manejo passam a ser orientadas por dados reais, específicos de cada microambiente agrícola, no espaço e no tempo (Viscarra Rossel; Bouma, 2016).

2.3.1 SAW sensors, RFID-based systems, and nanotechnology

Como sabemos a agricultura pode cobrir vastas áreas e nestes casos WSNs e tradicionalmente LoRaWAN são muito aplicáveis pois permitem cobrir estas áreas de forma remota Deng et al. (2020). Dito isso, outras alternativas de cobertura para grandes áreas tem sido exploradas além do mais tradicional LoRaWAN, o trabalho de Deng et al. (2020) apresenta um sistema de monitoramento que consiste em sensores RFID no solo, um veículo que se movimenta pela área monitorada coletando dados, e um centro de coleta e tratamento de dados, capaz de cobrir amplas áreas. Outro trabalho desenvolvido por ESSE CARA Akhilesh, Reddy e Naidu (2022), apresenta a utilização de drones de maneira similar a citada, para captar dados em áreas remotas.

O monitoramento do solo com sensores RFID é explorado por BLABLA BLA Akhilesh, Reddy e Naidu (2022) onde se determina que são alternativas viáveis para monitoramento passivo. Com um princípio de funcionamento similar ao RFID, sensores passivos do tipo SAW também são apresentados como alternativas para monitoramento de características do solo, como explorado por BLABLABLA Akhilesh, Reddy e Naidu (2022). Uma forma inovadora de detecção de umidade do solo foi explorada por BLABLABLA Akhilesh, Reddy e Naidu (2022) utilizando fibras ópticas instaladas em vastas áreas para verificar a concentração de água no solo.

AQUI UM PARAGRAFO SOBRE PLANTAS E NUTRIENTES, EXPLICAR SAW

SENSOR E RFID?

2.4 MONITORAMENTO DO AR E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AR

Quando pensamos em ambientes urbanos integrados com IoT, seguindo o conceito de smart cities, um parâmetro relevante é a qualidade do ar. Além disso, o monitoramento da qualidade do ar é importante para ambientes onde os seres humanos têm o risco de estar em contato com componentes tóxicos.

2.4.1 Detecção de Elementos Químicos

O estudo de BLABLABLA Akhilesh, Reddy e Naidu (2022), aprofunda-se na utilização de sensores SAW para detecção de elementos químicos no ar, baseado na reação destes com a antena que modifica o sinal emitido pela antena. Este estudo determina como viável a utilização destes sensores passivos para a detecção dos elementos químicos estudados, COLOCAR AQUI OS ELEMENTOS QUÍMICOS.

FALAR DE OUTROS SENSORES MAIS COMUNS PARA ESTA APL

2.4.2 Poluição e Qualidade do Ar

O trabalho desenvolvido por blablabla estuda a melhor forma de se distribuir sensores para monitoramento de cidades, comparando a utilização de sensores em pontos fixos instalados pela, sensores distribuídos em veículos de transporte público da cidade e sensores do tipo wearable, no caso mochilas tecnológicas. O resultado mostrou que ...

3 THEORETICAL FRAMEWORK

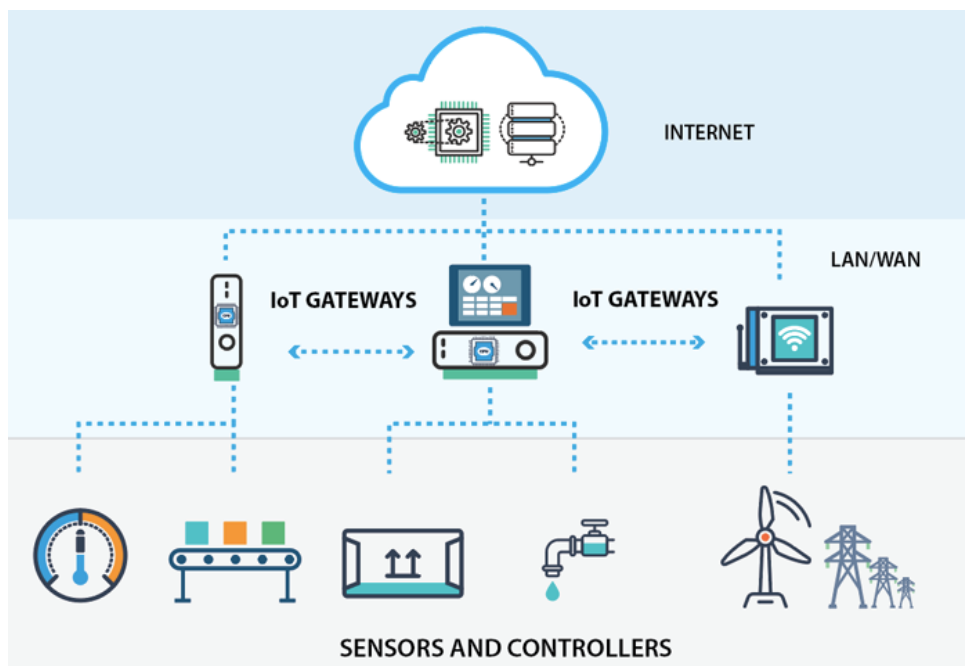
This chapter presents the theoretical foundation underpinning the development of the proposed water level monitoring system. It discusses the essential technologies and concepts, including the IoT (Internet of Things), long-range wireless communication (LoRa (Long Range)/LoRaWAN), distance measurement methods such as LiDAR (Light Detection and Ranging) and ultrasonic sensors, and embedded systems. These topics establish the context and technical justification for the architecture adopted in this work.

3.1 IOT

The IoT encompasses a network of interconnected physical objects that are equipped with sensors, processors, and communication interfaces, allowing them to collect, process, and transmit data without human intervention. The proliferation of IoT has enabled the deployment of intelligent systems in areas such as agriculture, industrial monitoring, and environmental surveillance. (Madakam; Ramaswamy; Tripathi, 2015; Javaid et al., 2021)

In this project, IoT concepts are applied to create an autonomous and distributed sensor network capable of collecting hydrological data and transmitting it remotely for analysis and visualization. The figure ?? illustrates how various devices connect to the internet through IoT, enabling data exchange and interaction between the physical and digital worlds. (Javaid et al., 2021)

Figura 1 – Internet of Things.



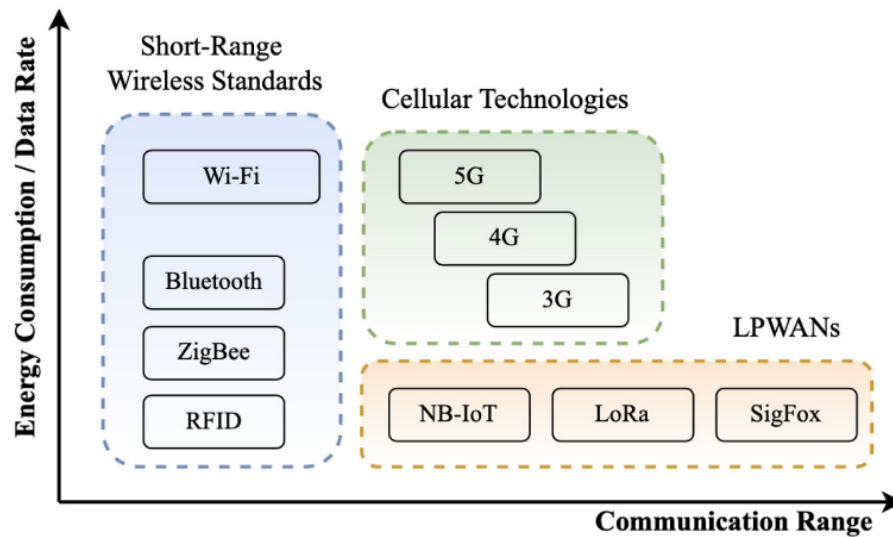
Fonte: (IOT..., 2023).

3.2 LORA AND LORAWAN

LoRa (Long Range) is a proprietary spread spectrum modulation technique on the basis of CSS (Chirp Spread Spectrum), which is resilient and robust against interference and noise, it also provides a solution for long-range and ultra-low power-consumption transmission, using unlicensed radio bands such as 868 MHz (Europe) and 915 MHz (Americas) (Sun et al., 2022).

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) is the MAC (Medium Access Control) protocol built on top of LoRa, specifying how end-devices communicate with central gateways and application servers, defining a typical star-topology network architecture and its bi-directional communication protocol. The technology has been designed for applications that need to send small amounts of data over long distances a few times per day. Its low power features offers the capability to achieve autonomy of up to 10 years. (Pule; Yahya; Chuma, 2017; Sun et al., 2022). Such long-range and energy-efficient communication demands have inspired the emergence of Low Power Wide Area Networks (LPWANs) as a new IoT paradigm, which fills the gap of legacy wireless communication technologies shown in Figure ??.

Figura 2 – Comparison with legacy wireless communication technologies.



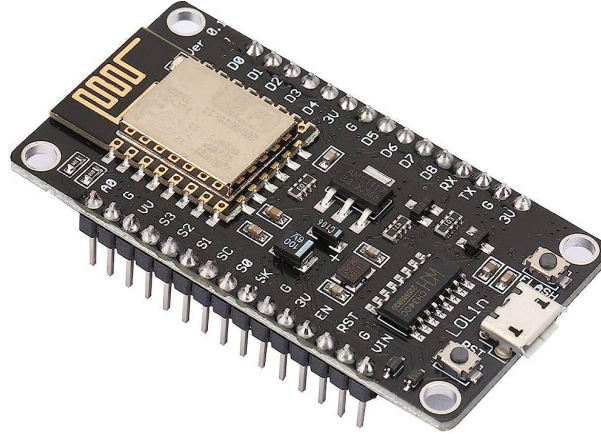
Fonte: (Sun et al., 2022).

3.3 MICROCONTROLLER ESP8266

Embedded systems are specialized computing systems designed to perform dedicated functions within larger systems, often under real-time constraints. The NodeMCU ESP8266 is a microcontroller based on the ESP8266 platform, which features integrated Wi-Fi connectivity. It is widely used in IoT projects due to its ease of programming, low

cost, and advanced features. The ESP8266, shown in Figure ??, is particularly suitable for such applications due to its ability to operate at low power, which is crucial for battery-powered devices, and its capability to connect to Wi-Fi networks, enabling communication with the internet and other devices on the network (Kolban, 2016).(ESP, 2023)

Figura 3 – ESP8266 NodeMcu.



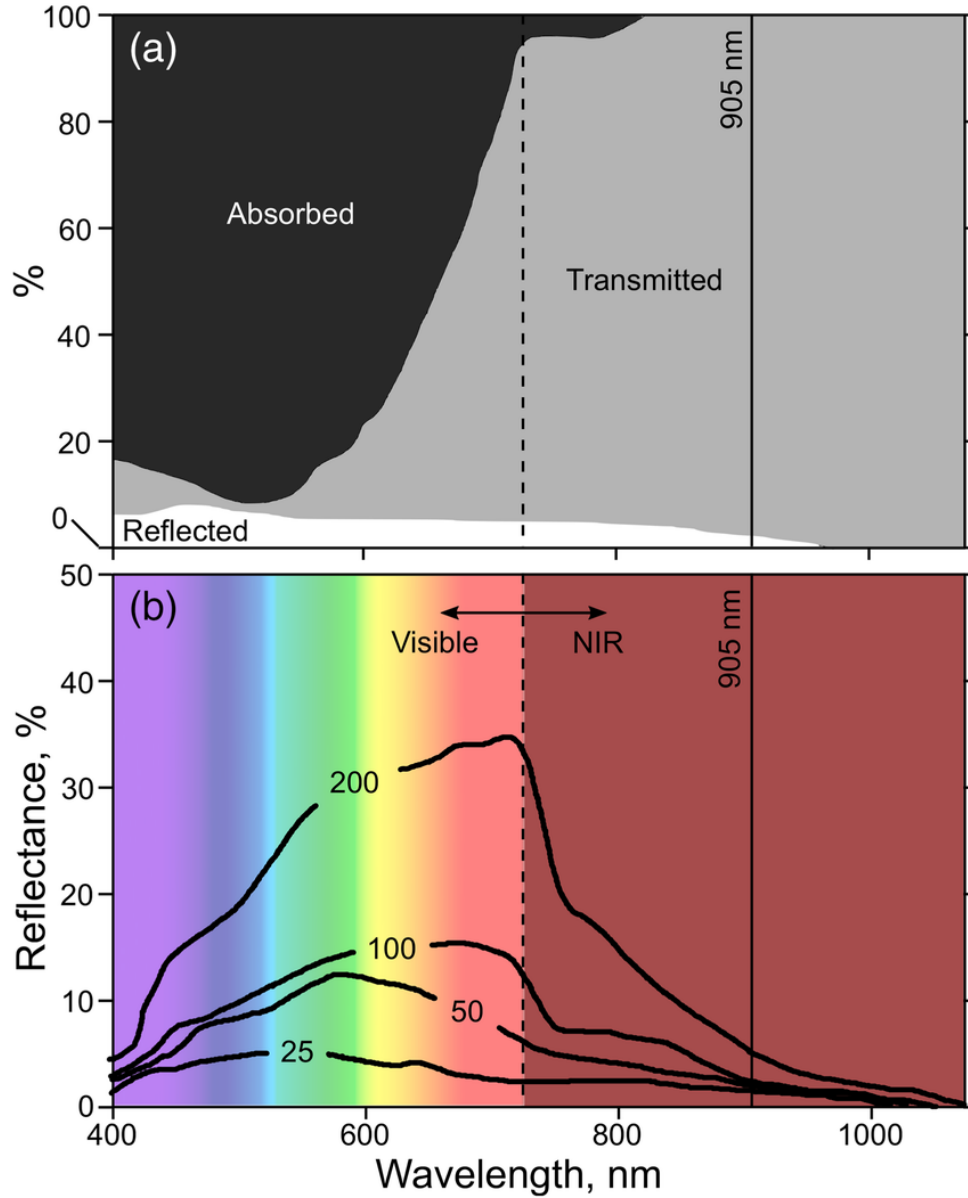
Fonte: (NODE..., 2023).

3.4 LIDAR

LiDAR (Light Detection and Ranging) technology enables the accurate determination of an object's distance (and velocity) information. LiDAR technology is widely used in metrology, environment monitoring, archaeology, and robotics. Compared with more mature RADAR (Radio Detection and Ranging) technology, LiDAR makes use of optical wave, which is at shorter wavelength regime compared with radio wave, and hence has potential to achieve higher precision in 3D sensing.(Li et al., 2022; Lednev et al., 2013; Behroozpour et al., 2017; Javaid et al., 2021).

The principle of lidar ranging relies on the rugosity of the reflective surface to generate nonspecular reflection (i.e., scattering) of the incipient laser beam. As with radar, lidar ranging measures time of flight, but it uses higher frequency waves for greater pulse intensities. Near-infrared (NIR) light is most commonly used for this purpose, typically over wavelengths of 900–1,100 nm (270–330 THz) due to the low cost of lasers operating in this wavelength range and lower energy density than the visible spectrum.(Li et al., 2022; Fernandez-Diaz et al., 2014; Smart; Bind; Duncan, 2009; Behroozpour et al., 2017). The laser wavelength is a critical factor in determining the sensor's performance, as it influences the interaction with water and suspended particles. Figure ?? illustrates the spectral character of clear still water as a function of laser wavelength and the influence of suspended sediment concentration on reflectance in rivers (Lednev et al., 2013; Milan et al., 2010; Paul; Buytaert; Sah, 2020).

Figura 4 – (a) Spectral character of clear still water as a function of laser wavelength (Lednev et al., 2013; Milan et al., 2010). (b) Influence of suspended sediment concentration (curves: units of mg L⁻¹) in river upon reflectance (Paul; Buytaert; Sah, 2020; Milan et al., 2010)



Fonte: (Lednev et al., 2013; Milan et al., 2010; Paul; Buytaert; Sah, 2020).

The three sensing schemes most commonly used in LiDAR sensors are: pulsed TOF (Time Of Flight), AMCW TOF, and FMCW. (Li et al., 2022; Behroozpour et al., 2017). For this work the most important ones are the pulsed TOF and AMCW TOF, which are described below.

3.4.1 Pulsed Time of Flight (TOF)

The pulsed TOF LiDAR works based on the time delay of an optical pulse emitted by the TX, reflected from the sensing object, and received by the RX. The sensing distance

can be expressed using the following equation (Li et al., 2022).

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \quad (1)$$

where d is the distance to the object in meters, c is the speed of light, and Δt is the time delay between emission and reception of the optical pulse in seconds.

3.4.2 Amplitude Modulated Continuous Wave (AMCW) Time of Flight (TOF)

AMCW TOF LiDAR uses a continuous wave laser that is modulated in amplitude. The phase difference between the transmitted and received signals is measured to determine the distance to the object. The distance can be calculated using the following equation (Li et al., 2022).

$$d = \frac{c \cdot \Delta \phi}{4\pi f} \quad (2)$$

where d is the distance to the object in meters, c is the speed of light, $\Delta \phi$ is the phase difference between the transmitted and received signals, and f is the modulation frequency in Hz.

3.5 ULTRASONIC SENSORS

Ultrasonic sensors estimate distance by transmitting high-frequency acoustic waves and measuring the echo delay. Common models like the HC-SR04 and JSN-SR04T are widely used in academic and industrial applications due to their low cost and simplicity (Bresnahan et al., 2023; Akhilesh; Reddy; Naidu, 2022; MasoudiMoghaddam; Yazdi; Shahsavandi, 2024).

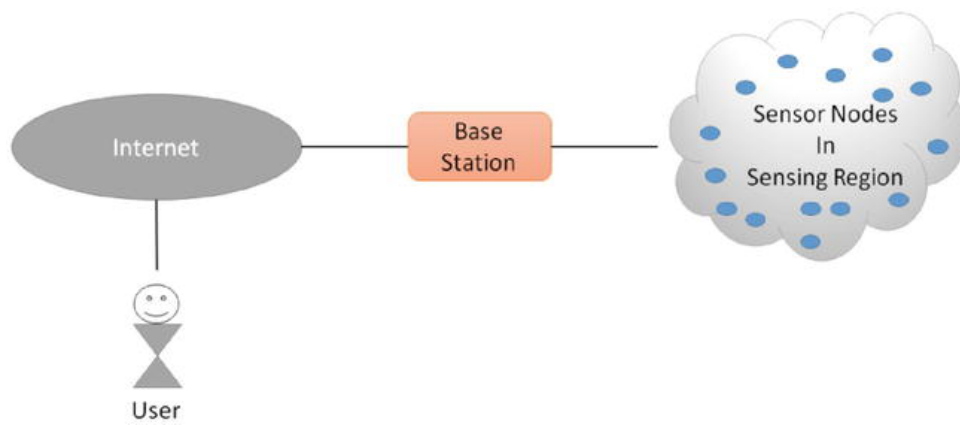
The basic principle of ultrasonic distance measurement is based on the time of flight (TOF) of sound waves. The sensor emits a high-frequency sound wave, which travels through the air, reflects off an object, and returns to the sensor.

3.6 WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN)

WSN (Wireless Sensor Network) are considered a promising alternative to complement conventional monitoring processes. These networks are relatively affordable and allow measurements to be taken remotely, in real-time and with minimal human intervention (Pule; Yahya; Chuma, 2017). A WSN is composed of spatially distributed autonomous nodes that monitor physical or environmental conditions. These nodes typically consist of a sensing unit, processing unit, communication interface, and power source. Natural disaster monitoring is very complex and imposes a number of challenges mainly due to huge scales, uncertainties, and harsh environments.

Each such sensor network node typically has many parts: a radio transceiver with an internal antenna or connection to an external antenna, a microcontroller, an electronic circuit for interfacing with the sensors and an energy source, usually a battery or an embedded form of energy harvesting (Yellampalli, 2021). An example architecture of a WSN is shown in Figure ???. The nodes are capable of collecting data from the environment, processing it, and transmitting it wirelessly to a base station or gateway for further analysis and visualization. A WSN can be single hop, where the nodes connect directly to the base station, or multi-hop, where the nodes can send information between themselves before reaching the base station (Yellampalli, 2021).

Figura 5 – Wireless Sensor Network architecture.



Fonte: (Yellampalli, 2021).

WSN-based natural disaster monitoring systems excel in terms of cost, speed of response, scalability and flexibility in contrast to conventional approaches. In general, disaster monitoring with WSN manifests a typical paradigm of data-intensive application upon low-cost scalable system (Chen et al., 2013; Pule; Yahya; Chuma, 2017; Ferreira; Silvério; Viana, 2023). In this work, the WSN architecture facilitates distributed hydrological data collection and centralized data aggregation through LoRa communication.

3.7 TIME-SERIES DATA AND ENVIRONMENTAL MONITORING

Time-series data represent sequential observations over time. In the context of water level monitoring, time-series analysis enables the detection of trends, anomalies, and correlations between environmental factors (Lozano et al., 2017). Basic statistical techniques—such as moving averages, root mean square error (RMSE (Root Mean Square Error)), and filtering—are applied to improve data reliability and reduce noise (Santana; Salustiano; Tiezzi, 2024).

4 MATERIALS AND METHODS

To achieve the proposed objectives in this project, the work is divided into a few phases. In the first phase tests will be conducted in a controlled environment to evaluate the different sensors performance, without interferences from the network connection elements or variations in environmental conditions. In this phase the sensors will be integrated into a microcontroller-based sensor node and classified to define the best sensor for the application in monitoring a large river, such as the Itajaí-Açu river, and the most cost efficient solution for a smaller channel/river. In this phase the sensors will be tested, with the goal of evaluating their performance in terms of accuracy, precision, range, resolution, and susceptibility to common interferences such as temperature shifts, target surface variations, and water conditions.

On a second phase, the sensor nodes will be connected to a LoRa / LoRaWAN network, and the data will be transmitted to a backend database for storage and visualization. The network will be designed to operate in a star topology, with one central gateway and multiple sensor nodes. The sensor nodes will be programmed to periodically make multiple readings on the distance data, process it and send to the gateway using LoRa modulation.

Finally, the system will be deployed in a real environment, such as a river or water body, to evaluate its performance in terms of data accuracy, transmission success rate, energy efficiency, and resilience against ambient environmental conditions. The collected data will be analyzed to provide insights into the performance of the sensors and the overall system.

4.1 SYSTEM ARCHITECTURE

The proposed monitoring system is built around a modular WSN designed for remote water level monitoring. Each node in the network is equipped with non-contact distance sensors, LiDAR and/or ultrasonic, and a LoRa/LoRaWAN communication module. The architecture comprises the following subsystems:

- **Data Acquisition:** Utilizes LiDAR and/or ultrasonic sensors for distance measurement.
- **Processing Unit:** A low-power microcontroller (e.g., ESP32, ESP8266) reads sensor data and manages system logic.
- **Communication Interface:** Sends processed data via LoRa/LoRaWAN to a centralized gateway.
- **Power Management:** Employs rechargeable batteries and optional solar panels.

4.2 FIRST PHASE: SENSOR TESTING AND CALIBRATION

Sensors are mounted on adjustable rigs to test performance against fixed surfaces at various distances and materials. Environmental conditions like ambient temperature and lighting are controlled.

4.2.1 Microcontroller Unit

A low-power microcontroller such as the ESP8266 is selected for this project due to its sufficient performance, integrated Wi-Fi, and support for external LoRa modules. The MCU interfaces with sensors using UART, I2C and digital I/O.

This microcontroller will be used throughout the project, from the first phase of testing the sensors to the final deployment in the field. It will be responsible for reading sensor data, processing it, and transmitting it via LoRa. The microcontroller will also be responsible for managing power consumption, entering a low-power sleep mode when not actively collecting or transmitting data.

4.2.2 Sensors

Four distance sensors were used to capture water level data for performance comparison:

- **TF-Luna (LiDAR)**: Compact, accurate, and low-cost, with up to 8 m range.
- **TF-Nova (LiDAR)**: Offers improved range (up to 12 m) and stability over TF-Luna.
- **JSN-SR04T (Ultrasonic)**: Waterproof, outdoor-suitable sensor with 6 m range.
- **HC-SR04 (Ultrasonic)**: Basic sensor for initial prototyping, up to 4 m range.

The four sensors will be tested in the same conditions, connected to a ESP8266 microcontroller, which will read the data and send it to a connected computer for analysis. After the tests are completed the data will be analyzed to determine the best sensor for the application, considering factors such as cost, performance, and environmental conditions.

The list of tests to be performed was defined based on the sensors specifications, the project requirements and based on some findings of previous works, (Paul; Buytaert; Sah, 2020) found that the temperature can affect the readings of the LiDAR sensors, and (Tamari; Guerrero-Meza, 2016) mentions that future works should look to check if the number of suspended small particles in the water could impact the readings of LiDAR sensors. The tests will be as follows:

- **Distance Range Test**: Sensors are tested at various distances to detect soft and hard reading limits.

- **Precision Test:** Multiple readings are taken at fixed distances to evaluate precision.
- **Accuracy Test:** Comparing sensor readings with reference measurements to determine accuracy.
- **Light Interference Test:** Sensors are tested under different lighting conditions to assess sensitivity to ambient light.
- **Surface Material Test:** Sensors are tested on different surfaces (clean water, water mixed with earth, solid materials).
- **Temperature Variation Test:** Sensors are tested at different temperatures.
- **Environmental Interference Test:** Sensors are tested in simulated and controlled environmental conditions with wind, rain, and other environmental factors.

4.3 SECOND PHASE: SYSTEM INTEGRATION AND COMMUNICATION

After evaluating the sensors, the selected ones are integrated into a sensor node. Besides the sensor, the node includes the LoRa transceiver, a microcontroller, and a power management system. The node is programmed to read sensor data, process it, and transmit it via LoRa. The node is designed to operate in low-power mode, waking up at set intervals to collect and send data.

4.3.1 Communication Module

A LoRa transceiver operating at 915 MHz enables long-range data transmission with minimal energy consumption. Each node sends data to a gateway (LoRa Receiver) which forwards it to a backend database for storage and visualization. Figure ?? illustrates the integration of the LoRa nodes and the receiver.

4.4 THIRD PHASE: FIELD DEPLOYMENT AND EVALUATION

4.4.1 Field Deployment

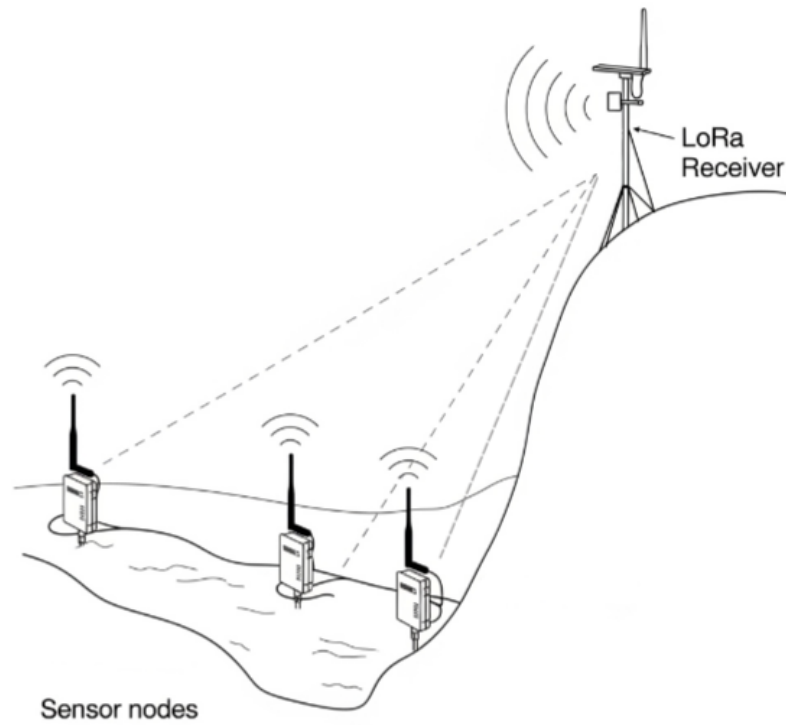
The complete system is deployed near a river or water body. Each node is securely housed and positioned above the water surface.

- Evaluation criteria: data accuracy, transmission success rate, energy efficiency, and resilience.
- Nodes report data every 15 minutes; timestamps allow trend tracking.

4.4.2 Node Software Architecture

The software architecture is designed to ensure efficient data acquisition, processing, and transmission. The main loop reads sensor data, processes it, and transmits packets

Figura 6 – LoRa Nodes and Receiver integration diagram.



Fonte: The author.

via LoRa only in set intervals to conserve energy, entering a deep sleep state otherwise. The flow of the node while it is active is described in Figure ??.

4.4.3 Data Communication and Network Topology

Each node periodically collects distance data and sends it to the gateway using LoRa modulation. The gateway relays this data to a server through Wi-Fi or cellular connection. The network is structured in a star topology with one central gateway and multiple sensor nodes.

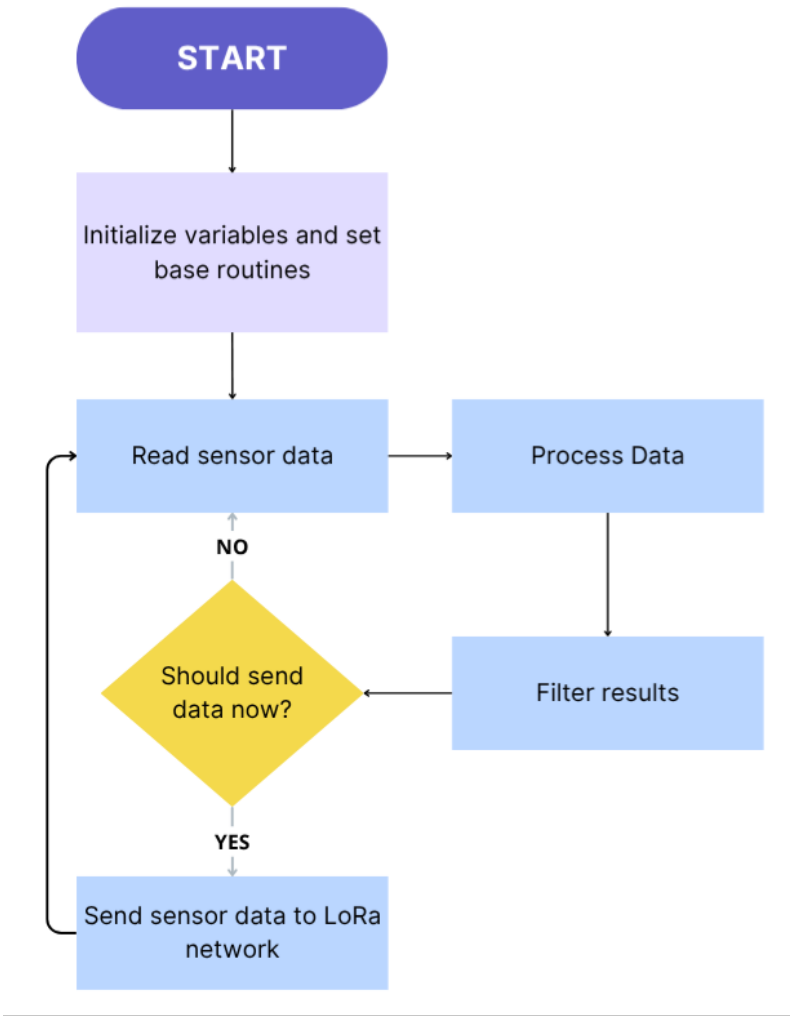
4.5 DATA PROCESSING AND STORAGE

Received sensor data is stored in a cloud database for further analysis. Time-series data is cleaned and visualized using statistical and signal processing tools. Metrics such as mean, standard deviation, and RMSE are computed.

4.6 EXPECTED OUTCOMES

This integrated system aims to evaluate the accuracy, stability, and cost-effectiveness of multiple distance sensors in real-world hydrological monitoring. The LoRa-based archi-

Figura 7 – Sensor node diagram.



Fonte: The author.

Tabela 1 – Table comparing sensors.

Sensor	Type	Range	Precision	Accuracy
JNS SR04T	Ultrasonic	20 cm a 4 m	±1 cm	±1 cm
HC-SR04	Ultrasonic	2 cm a 4 m	±3 mm	±3 mm
TF-Luna	LiDAR	0,2 m a 8 m	±1 cm	±1 cm
TF-Nova	LiDAR	0,1 m a 12 m	±1 cm	±1 cm

Fonte: The author.

ecture enables remote deployment and real-time water level reporting, supporting early warning and sustainability goals.

Listing 1 – Exemplo de um schema no Prisma.

```
1  generator client {
2    provider = "prisma-client-js"
3  }
4
5  datasource db {
6    provider = "postgresql"
7    url      = env("DATABASE_URL")
8  }
9
10 model User {
11   id          String          @id @unique @default(uuid())
12   email       String
13   password    String
14   cpf_cnpj    String          @unique
15   name        String
16   role        RoleEnumType?   @default(user)
17   createdAt   DateTime        @default(now())
18   updatedAt   DateTime        @updatedAt
19 }
20
21 enum RoleEnumType {
22   user
23   admin
24 }
```

Fonte: The author.

5 CONCLUSION

A proposta deste projeto foi desenvolver um sistema para automação de pedido e compras em pontos de venda, que permita integração com agentes de distribuição, de forma a automatizar todo o processo.

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que o desenvolvimento do sistema obteve sucesso. A aplicação web desenvolvida permite que os usuários possam fazer seus pedidos, enquanto os funcionários dos pontos de venda têm acesso a informações precisas sobre os pedidos realizados, podendo acompanhar o status da entrega em tempo real. Além disso, o servidor de *sockets* permite que os pontos de venda possam notificar os agentes de distribuição de qualquer atualização no status dos pedidos, de forma rápida e eficiente.

Por fim, a utilização de serviços de hospedagem em nuvem garantiu a disponibilidade e a escalabilidade do sistema, permitindo que ele possa ser usado por um grande número de usuários ao mesmo tempo.

Dessa forma, pode-se afirmar que o sistema de gerenciamento de pedidos para pontos de venda desenvolvido neste trabalho é uma solução eficiente e viável para empresas que desejam aprimorar seus processos de gerenciamento de pedidos e melhorar a experiência dos seus clientes, usando automação e tecnologias web modernas.

Para trabalhos futuros deseja-se incluir melhorias na interface, principalmente para exibir mais informações sobre os pedidos, e de forma geral torna-la mais amigável. Além disso, outro ponto que pode ser trabalhado seria o desenvolvimento de agentes de distribuição, conectando o NodeMCU com uma máquina de café, por exemplo, e distribuindo realmente os produtos.

REFERENCES

- AKHILESH, Nagpure; REDDY, Guda; NAIDU, Santosh. Water Level Controller Using Ultrasonic Sensor. **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology**, International Journal for Research in Applied Science e Engineering Technology (IJRASET), v. 10, p. 242–257, dez. 2022.
- ALI, Sayyed Faizan; MANDAL, Nirupama; MAURYA, Praveen; LATA, Anamika. SAW Sensor based a Novel Hydrostatic Liquid Level Measurement. **IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**, p. 724–729, out. 2020.
- ALI, Tauqeer; ZAIDI, Arjumand; REHMAN, Jasra; NOOR, Farkhanda; NAZ, Falak; JAMALI, Shahryar. Satellite Radar Altimetry Insights into Dam-Induced Changes and Accuracy of Water Level Estimation for the Mekong River. **IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, v. 570, p. 5063–5066, jul. 2024.
- BEHROOZPOUR, Behnam; SANDBORN, Phillip A. M.; WU, Ming C.; BOSER, Bernhard E. Lidar System Architectures and Circuits. **IEEE Communications Magazine**, v. 55, p. 135–142, out. 2017.
- BORGA, Marco; STOFFEL, Markus; MARCHI, Lorenzo; MARRA, Francesco; JAKOB, Matthias. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. **Journal of Hydrology**, v. 518, p. 194–205, out. 2014.
- BRAGANÇA, Cassiano Gustavo Juan Franco Neves. Análise da influência dos fenômenos el niño e la niña na ocorrência de eventos climáticos de seca e enchente, 2024.
- BRESNAHAN, Philip; BRIGGS, Ellen; DAVIS, Benjamin; RODRIGUEZ, Angelica; EDWARDS, Luke; PEACH, Cheryl; RENNER, Nan; HELLING, Harry; MERRIFIELD, Mark. A Low-Cost, DIY Ultrasonic Water Level Sensor for Education, Citizen Science, and Research. **Oceanography**, v. 36, 2023.
- CHEN, Dan; LIU, Zhixin; WANG, Lizhe; DOU, Minggang; CHEN, Jingying; LI, Hui. Natural Disaster Monitoring with Wireless Sensor Networks: A Case Study of Data-intensive Applications upon Low-Cost Scalable Systems. **Mobile Networks and Applications**, v. 18, p. 651–663, ago. 2013.
- DENG, Fangming; ZUO, Pengqi; WEN, Kaiyun; WU, Xiang. Novel soil environment monitoring system based on RFID sensor and LoRa. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 169, p. 105169, fev. 2020.
- ESP, Espressif. **ESP8266EX Datasheet**. [S.l.: s.n.], jun. 2023. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf.

FERNANDEZ-DIAZ, Juan Carlos; GLENNIE, Craig L.; CARTER, William E.; SHRESTHA, Ramesh L.; SARTORI, Michael P.; SINGHANIA, Abhinav; LEGLEITER, Carl J.; OVERSTREET, Brandon T. Early Results of Simultaneous Terrain and Shallow Water Bathymetry Mapping Using a Single-Wavelength Airborne LiDAR Sensor. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 7, p. 623–635, fev. 2014.

FERREIRA, Yan; SILVÉRIO, Carlos; VIANA, João. Conception and Design of WSN Sensor Nodes Based on Machine Learning, Embedded Systems and IoT Approaches for Pollutant Detection in Aquatic Environments. **IEEE access**, Institute of Electrical e Electronics Engineers, v. 11, p. 117040–117052, jan. 2023.

HALL, J. et al. Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, p. 2735–2772, jul. 2014.

IOT Architecture. [S.l.: s.n.], 2023. <https://www.zibtek.com/blog/iot-architecture>. Acessado em: 26 de junho de 2023.

IQBAL, Umair; PEREZ, Pascal; LI, Wanqing; BARTHELEMY, Johan. How computer vision can facilitate flood management: A systematic review. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 53, p. 102030, fev. 2021.

JAVAID, Mohd; HALEEM, Abid; RAB, Shanay; PRATAP SINGH, Ravi; SUMAN, Rajiv. Sensors for daily life: A review. **Sensors International**, v. 2, p. 100121, 2021.

JIANG, Zhiyu; HONG, Liang. Monitoring of Surface Water Area and Water Level Changes in Nine Plateau Lakes in Yunnan and Analysis of Influencing Factors. **2024 IEEE 6th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)**, IEEE, p. 1027–1031, maio 2024.

JONKMAN, S. N. Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods. **Natural Hazards**, v. 34, p. 151–175, fev. 2005.

KOLBAN, N. **Kolban’s book on ESP8266**. [S.l.]: Leanpub, 2016.

LEDNEV, Vasily N; PERSHIN, Sergey; YULMETOV, Renat; BUNKIN, Alexey Fedorovich. **Remote sensing of ice and snow by compact Raman LIDAR**. [S.l.]: unknown, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/289372097_Remote_sensing_of_ice_and_snow_by_compact_Raman_LIDAR. Acesso em: 9 jun. 2025.

LI, Nanxi; HO, Chong Pei; XUE, Jin; LIM, Leh Woon; CHEN, Guanyu; FU, Yuan Hsing; LEE, Lennon Yao Ting. A Progress Review on Solid-State LiDAR and Nanophotonics-Based LiDAR Sensors. **Laser and Photonics Reviews**, v. 16, p. 2100511, ago. 2022.

- LIN, Feng; YU, Zhentao; JIN, Qiannan; YOU, Aiju. Semantic Segmentation and Scale Recognition-Based Water-Level Monitoring Algorithm. **Journal of Coastal Research**, v. 105, dez. 2020.
- LO, Shi-Wei; WU, Jyh-Horng; LIN, Fang-Pang; HSU, Ching-Han. Visual Sensing for Urban Flood Monitoring. **Sensors**, v. 15, p. 20006–20029, ago. 2015.
- LOZANO, Jesús; APETREI, Constantin; GHASEMI-VARNAMKHAISTI, Mahdi; MATATAGUI, Daniel; SANTOS, José Pedro. Sensors and Systems for Environmental Monitoring and Control. **Journal of Sensors**, Hindawi Publishing Corporation, v. 2017, p. 1–2, jan. 2017.
- MADAKAM, Somayya; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, Siddharth. Internet of Things (IoT): A Literature Review. **Journal of Computer and Communications**, Scientific Research Publishing, v. 3, n. 5, p. 164–173, 2015.
- MASOUDIMOUGHADDAM, Mohammadreza; YAZDI, Jafar; SHAHSAVANDI, Mohammad. A Low-Cost Ultrasonic Sensor for Online Monitoring of Water Levels in Rivers and Channels. **Flow Measurement and Instrumentation**, Elsevier BV, v. 102, p. 102777–102777, dez. 2024.
- MILAN, D.J.; HERITAGE, G.L.; LARGE, A.R.G.; ENTWISTLE, N.S. Mapping hydraulic biotopes using terrestrial laser scan data of water surface properties. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 35, p. 918–931, jan. 2010.
- MOHINDRU, Pankaj. Development of liquid level measurement technology: A review. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 89, p. 102295, mar. 2023.
- MUKHOPADHYAY, Subhas Chandra; TYAGI, Sumarga Kumar Sah; SURYADEVARA, Nagender Kumar; PIURI, Vincenzo; SCOTTI, Fabio; ZEADALLY, Sherali. Artificial Intelligence-based Sensors for Next Generation IoT Applications: A Review. **IEEE Sensors Journal**, v. 21, p. 1–1, 2021.
- N.R, Wilfred Blessing; PALARIMATH, Suresh; GUNASEKARAN, Hemalatha; HAIDAR, Sk Wasim; G, Sutherlin Subitha; J, Sarmila. AI Modeling and Water Quality Sensing Technique Proffers Water Security: An Open Review. **2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)**, p. 1028–1034, fev. 2025.
- NODE MCU. [S.l.: s.n.], 2023. <https://www.amazon.com.br/ESP8266-CH340G-NodeMcu-desenvolvimento-Internet/dp/B08H26NY16>. Acessado em: 26 de junho de 2023.
- PAUL, Jonathan D.; BUYTAERT, Wouter; SAH, Neeraj. A Technical Evaluation of Lidar-Based Measurement of River Water Levels. **Water Resources Research**, v. 56, abr. 2020.

- PEREIRA, Tatiane Souza Rodrigues; CARVALHO, Thiago Pires de; MENDES, Thiago Augusto; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins. Evaluation of Water Level in Flowing Channels Using Ultrasonic Sensors. **Sustainability**, v. 14, p. 5512, maio 2022.
- PULE, Mompoloki; YAHYA, Abid; CHUMA, Joseph. Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 15, p. 562–570, dez. 2017.
- QUEIROZ, Daniel Marçal de; COELHO, Andre Luiz de Freitas; VALENTE, Domingos Sárvio Magalhães; SCHUELLER, John Kenneth. Sensors Applied to Digital Agriculture: A Review. **REVISTA CIÊNCIA AGRÔNOMICA**, v. 51, 2020.
- RAMOS, Cláudio C; PREIZAL, João; HU, Xuehao; CAUCHETEUR, Christophe; WOYESSA, Getinet; BANG, Ole; ROCHA, Ana M; OLIVEIRA, Ricardo. High resolution liquid level sensor based on Archimedes' law of buoyancy using polymer optical fiber Bragg gratings. **Measurement**, Elsevier BV, v. 252, p. 117368–117368, mar. 2025.
- SANTANA, Vinicius; SALUSTIANO, Rogério Esteves; TIEZZI, Rafael. Development and Calibration of a Low-Cost LIDAR Sensor for Water Level Measurements. **Flow Measurement and Instrumentation**, Elsevier BV, p. 102729–102729, out. 2024.
- SMART, G; BIND, J; DUNCAN, M. **River bathymetry from conventional LiDAR using water surface returns**. [S.l.: s.n.], 2009. Disponível em: <https://mssanz.org.au/modsim09/F13/smart.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- SREEJITH, Vattaparambil Sreedharan; ZHANG, Haifeng. Modeling and testing of a highly sensitive surface acoustic wave pressure sensor for liquid depth measurements. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 372, p. 115377, jul. 2024.
- SUN, Zehua; YANG, Huanqi; LIU, Kai; YIN, Zhimeng; LI, Zhenjiang; XU, Weitao. Recent Advances in LoRa: A Comprehensive Survey. **ACM Transactions on Sensor Networks**, v. 18, jun. 2022.
- TAMARI, Serge; GUERRERO-MEZA, Vicente. Flash Flood Monitoring with an Inclined Lidar Installed at a River Bank: Proof of Concept. **Remote Sensing**, v. 8, p. 834, out. 2016.
- TENG, Yanguo; WU, Jin; LU, Sijin; WANG, Yeyao; JIAO, Xudong; SONG, Liuting. Soil and soil environmental quality monitoring in China: A review. **Environment International**, v. 69, p. 177–199, ago. 2014.
- VISCARRA ROSSEL, Raphael A.; BOUMA, Johan. Soil sensing: A new paradigm for agriculture. **Agricultural Systems**, v. 148, p. 71–74, out. 2016.

WU, Zeheng; HUANG, Yu; HUANG, Kailin; YAN, Kang; CHEN, Hua. A Review of Non-Contact Water Level Measurement Based on Computer Vision and Radar Technology. **Water**, v. 15, p. 3233, jan. 2023.

YELLAMPALLI, Siva. **Wireless Sensor Networks - Design, Deployment and Applications**. Edição: Siva Yellampalli. [S.l.]: IntechOpen, set. 2021.

YIN, Heyu; CAO, Yunteng; MARELLI, Benedetto; ZENG, Xiangqun; MASON, Andrew J.; CAO, Changyong. Smart Agriculture Systems: Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture (Adv. Mater. 20/2021). **Advanced Materials**, v. 33, p. 2170156, maio 2021.

YUKAWA, Chihiro; ODA, Tetsuya; SATO, Takeharu; HIROTA, Masaharu; KATAYAMA, Kengo; BAROLLI, Leonard. An Intelligent Water Level Estimation System Considering Water Level Device Gauge Image Recognition and Wireless Sensor Networks. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, v. 14, p. 13, jan. 2025.