



## PROPOSTA DE SISTEMA REMOTO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO CUBATÃO COM TECNOLOGIAS IOT E LORA

DOS SANTOS, Atthur J. C.<sup>1</sup>

NEVES, Sarah S. B.<sup>2</sup>

CARVALHO JUNIOR, Arnaldo De<sup>3</sup>

LUNA, Flavia D. T. De<sup>4</sup>

VARELLA, Walter A.<sup>5</sup>

### Resumo

A água desempenha papel essencial na sustentação da vida e do ecossistema no planeta. A qualidade da água é um fator crítico que afeta a saúde humana, a biodiversidade e a economia. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento da qualidade da água (WQM) baseado em tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e comunicação de longo alcance LoRa, utilizando sensores de pH, turbidez, temperatura e oxigênio dissolvido (OD). O sistema é composto por um microcontrolador ESP32 integrado à rede **LoRa**, com transmissão para a plataforma **ThingSpeak**, permitindo análise em tempo real dos parâmetros monitorados. Os testes de campo foram realizados no rio Cubatão (SP), em quatro pontos de medição. No ponto 0 (próximo à nascente), a água apresentou pH médio de 7,2, turbidez de 5 NTU e OD de 7,8 mg/L, valores próximos às condições naturais. No ponto 1, próximo a áreas residenciais, observou-se pH 6,8, turbidez 18 NTU e OD 6,3 mg/L. No ponto 2, em região urbana central, a turbidez aumentou para 42 NTU, o OD caiu para 4,9 mg/L e o pH manteve-se em 6,7. Já no ponto 3, próximo a áreas industriais, a turbidez alcançou 65 NTU, o OD reduziu-se a 3,8 mg/L e o pH atingiu 6,5, indicando maior degradação da qualidade da água. A temperatura da água variou entre 24 °C e 27 °C entre os pontos. Os resultados confirmam a eficiência do sistema em identificar variações espaciais na qualidade da água e demonstram seu potencial para apoiar o gerenciamento de recursos hídricos em áreas impactadas pela urbanização e atividades industriais. Além disso, o sistema proposto contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 e 14, ao possibilitar o monitoramento contínuo e auxiliar na preservação da biodiversidade aquática.

Palavras-chave: IoT; LoRa, Sensoriamento Remoto, Qualidade de Água Fluvial, WQM.

### 1. Introdução

<sup>1</sup>Bacharelando em Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal de São Paulo (IFSP), campus Cubatão. E-mail: arthur.cardoso@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup>Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, IFSP Campus Cubatão. Email: baeta.neves@aluno.ifsp.edu.br

<sup>3</sup>Professora do IFSP, Campus Cubatão. Email: flavia.daylane@ifsp.edu.br

<sup>4</sup>Professor do IFSP, Campus Cubatão. Email: adecarvalhojr@ifsp.edu.br

<sup>5</sup>Professor do Instituto Federal Sul de Minas Gerais Campus Poços de Caldas. Email: walter.varella@ifsuldeminas.edu.br

Realização:



INSTITUTO FEDERAL  
Sul de Minas Gerais  
Campus Muzambinho



INSTITUTO FEDERAL  
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
Sul de Minas Gerais



A água desempenha um papel essencial na sustentação da vida e do ecossistema no planeta Terra. A qualidade da água é um fator crítico que afeta a saúde humana, a biodiversidade e a economia (Budiarti et al, 2019; Ali; Ling; Elmouazen, 2023). Em ambientes como rios e riachos, a qualidade da água é fundamental para o equilíbrio ecológico, o fornecimento de água potável e a agricultura (Liloja *et al*, 2020). No entanto, o aumento da urbanização, da agricultura intensiva e das atividades industriais representa desafios significativos para a preservação da qualidade da água nesses ecossistemas (Rao et al, 2021).

O projeto de monitoramento da qualidade da água (*water quality monitoring* - WQM) dos ambientes dos rios surge da necessidade de entender e enfrentar os desafios associados à degradação da qualidade desse recurso hídrico (Liang *et al*, 2025). A urbanização desordenada, a remoção da poluição, a mudança climática e outras pressões antropogênicas afetam diretamente a qualidade da água dos rios (Strokal *et al*, 2021). Para abordar efetivamente esses desafios e garantir a preservação da qualidade da água em ambientes fluviais, a implementação de um sistema WQM, que forneça dados precisos e em tempo real sobre parâmetros críticos da água, se torna imperativo. Este sistema envolve a coleta sistemática de dados relevantes, análise precisa e resposta adequada a quaisquer alterações ou contaminação identificadas (Maciel, 2020).

De acordo com a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) da Agência de Água do Estado de São Paulo (SP Águas, Plano de Bacia UGRHI 07), o rio Cubatão é classificado como classe 2 de água doce, nível que abrange águas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰, conforme Resolução 274/2000 do CONAMA.

O pH na água é um indicador essencial da acidez ou alcalinidade do corpo d'água. Deve estar entre 6,0 e 9,0 para garantir a qualidade ambiental e a potabilidade da água. Valores fora desse intervalo ideal podem afetar negativamente os ecossistemas e a qualidade da água para o consumo humano. A temperatura da água deve ser monitorada para detectar variações que possam indicar a presença de poluição térmica, prejudicial aos organismos aquáticos. O **oxigênio dissolvido** OD é essencial para a respiração dos organismos aquáticos, devendo ser mantido em níveis não inferiores a 5 mg/L (miligramas por litro), pois concentrações mais baixas podem indicar a presença de poluentes orgânicos. A turbidez, por sua vez, é uma medida de clareza da água e deve permanecer abaixo de 100 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) para preservar a saúde dos ecossistemas aquáticos e garantir a qualidade do recurso hídrico (Conama, 2000; Gorde; Jadhav, 2013).

Realização:



O uso de tecnologias de ponta, como a Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) e o protocolo de comunicação sem fio de longo alcance (Long Range - LoRa), abre novas perspectivas para um monitoramento mais eficaz e abrangente, permitindo o controle contínuo e remoto da qualidade da água em tempo real (Promput; Maithomklang; Panya-Isara, 2023).

O LoRa é um protocolo de comunicação sem fio de longo alcance e de baixa potência, ideal para dispositivos que transmitem pequenos volumes de dados e para aplicações em áreas remotas (Leonardi; Battaglia; Bello, 2019). O LoRa fornece uma transmissão de dados eficiente entre dispositivos IoT. O LoRaWAN (Long Range Wide Area Network - WAN), por sua vez, é um protocolo de rede que gerencia a comunicação entre os dispositivos LoRa e um gateway, garantindo a segurança e a integridade dos dados (Leonardi; Battaglia; Bello, 2019; Haxhibeqiri, 2018).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema WQM fluvial usando tecnologias de IoT e LoRa. O projeto faz uso de sensores de pH, turbidez, temperatura e oxigênio dissolvido (OD) para medir a qualidade da água de um rio. Os dados dos sensores são coletados e enviados para armazenamento e processamento na plataforma em nuvem ThingSpeak. Um painel visual é proposto para apresentar as informações monitoradas por meio de gráficos (dashboard). Testes de campo foram realizados no rio Cubatão, em São Paulo, Brasil, para validar o sistema proposto. O rio Cubatão suporta a biodiversidade e o equilíbrio ecológico da região, sendo fundamental para a qualidade de vida dos cidadãos locais. Por vários anos, o descarte de resíduos das indústrias do polo industrial de Cubatão foi lançado neste rio (Da Silva Martins; Nogueira, 2020).

Um WQM no rio Cubatão, com tecnologias IoT e LoRa, contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Sustainable Development Goals - SDG) 13 e 14 da Organização das Nações Unidas (ONU). Para o Objetivo 13 - Ação contra as mudanças climáticas globais (Fu et al, 2019), o sistema permite identificar alterações da qualidade da água em tempo real, facilitando respostas rápidas para a proteção do ecossistema do rio e mitigando os efeitos de eventos climáticos extremos, como inundações e estiagens. Além disso, de acordo com o Objetivo 14 - Vida na Água, o monitoramento contínuo e eficiente ajuda a preservar a qualidade da água para a saúde dos ecossistemas aquáticos e costeiros. A detecção precoce de poluentes e ações corretivas garante a sustentabilidade dos recursos hídricos e da biodiversidade.

Realização:



## 2. Metodologia

O rio Cubatão localiza-se em latitude  $23^{\circ}56'1''S$  e  $46^{\circ}57'20''O$ , sendo de relevância estratégica para a região metropolitana da Baixada Santista, tanto do ponto de vista socioeconômico quanto ambiental. Os pontos de medição utilizados neste estudo estão representados na Fig. 1 e descritos na Tabela 2.

Figura 1 – Vista do Google Earth do rio Cubatão (em vermelho) e pontos de medição da qualidade da água.



Fonte: Os autores (2024).

A Tabela 1 apresenta os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 274/2000 para os principais parâmetros de qualidade da água considerados neste trabalho: potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez.

Tabela 1 – Parâmetros de Qualidade da Água

| Parâmetro           | Valores Ideais |
|---------------------|----------------|
| pH                  | 6,0 to 9,0     |
| Temperatura         | -              |
| Oxigênio Dissolvido | > 5 mg/l       |
| Turbidez            | < 100 TNU      |

Fonte: Os autores (2024).

O sistema de monitoramento proposto foi estruturado em dois microcontroladores ESP32 LoRa. O primeiro ( $\mu C1$ ) foi conectado diretamente aos sensores de campo, atuando como unidade de aquisição de dados. O segundo ( $\mu C2$ ) funcionou como gateway, responsável

Realização:



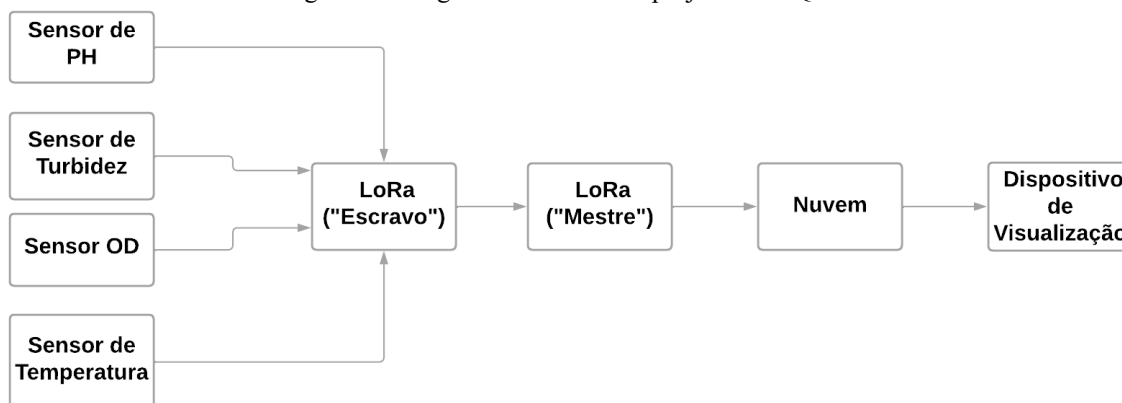
pela recepção e retransmissão dos dados via protocolo LoRaWAN para a nuvem. A rede LoRa foi configurada para 915 MHz, em conformidade com as normas da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). O diagrama de blocos do sistema é apresentado na Fig. 2.

Tabela 2 – Pontos de medição e coordenadas.

| Pontos de Medição | Coordenadas               |
|-------------------|---------------------------|
| Ponto 0           | 23°55'18.4"S 46°30'04.3"O |
| Ponto 1           | 23°52'51.1"S 46°26'47.3"O |
| Ponto 2           | 23°52'48.0"S 46°25'18.6"O |
| Ponto 3           | 23°52'49.8"S 46°24'43.4"O |

Fonte: Os autores (2024).

Figura 2 – Diagrama de blocos do projeto do WQM.



Fonte: Os autores (2024).

O  $\mu$ C2 foi configurado como unidade remota, conectado a um computador com acesso à internet móvel 4G/5G. A partir deste ponto, os dados coletados são transmitidos para a nuvem, permitindo que qualquer dispositivo com acesso à internet visualize em tempo real um painel das medições. Esse painel possibilita a análise gráfica dos parâmetros monitorados e a geração de relatórios detalhados sobre a qualidade da água.

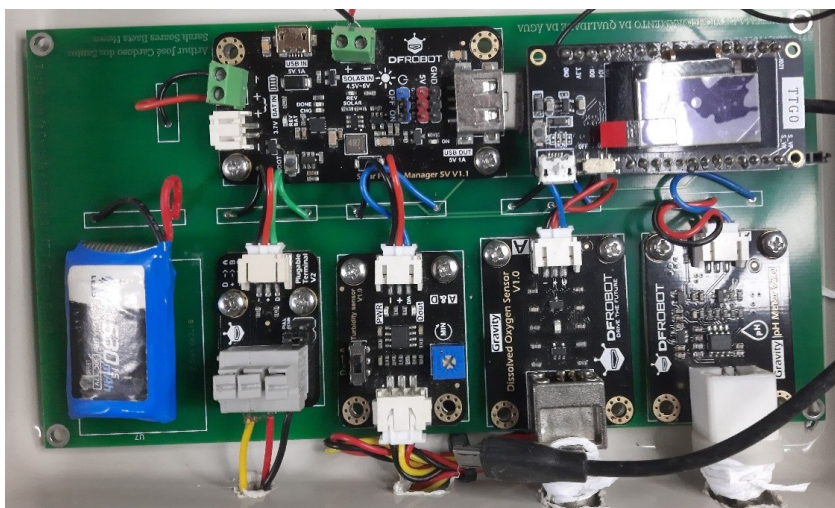
Para a medição da temperatura da água, utilizou-se o sensor integrado DS18B20, com precisão de  $\pm 0,5$  °C na faixa de -10 °C a +85 °C e resolução programável de 9 a 12 bits, conectado ao  $\mu$ C1 pelo pino 2. Para o pH, foi empregado o sensor PH-4502C, amplamente usado em aplicações de monitoramento ambiental e aquicultura, com faixa de 0–14 pH, resolução de 0,01 pH e precisão de  $\pm 0,1$  pH (a 25 °C). Esse sensor foi conectado ao  $\mu$ C1 via pino 32 e calibrado conforme as instruções do fabricante DFroBot, utilizando o método de



dois pontos (soluções tampão de pH 4,0 e 7,0) com ajuste da tensão de saída para garantir a precisão da leitura.

O sensor de turbidez SEN0189 foi utilizado para quantificar partículas suspensas na água por meio de feixe luminoso, apresentando saída analógica e digital. Sua calibração seguiu as especificações do fabricante DFroBot, considerando a relação entre turbidez e faixa de tensão. Valores de turbidez são expressos em unidades nefelométricas de turbidez (NTU), com limite máximo de 3000 NTU. Para ajuste do ponto nulo (NULL NTU), o sensor foi imerso em água limpa sob ambiente controlado de iluminação. O dispositivo foi conectado ao  $\mu C1$  pelo pino digital 38.

Figura 3 – Protótipo do WQM montado em PCB.



Fonte: Os autores (2024).

Para a determinação do oxigênio dissolvido (OD), foi utilizado o sensor SEN0237, baseado na medição da diferença de potencial elétrico entre um eletrodo de referência e um eletrodo de trabalho em contato com a amostra. A calibração foi conduzida conforme especificações do fabricante DFroBot, por meio de procedimento de dois pontos. Inicialmente, uma solução de 0,5 mol/L de NaOH foi aplicada na extremidade da sonda, seguida de medições de tensão e temperatura em duas amostras de água limpa em diferentes temperaturas (resfriada e aquecida, sem exceder 40 °C).

O fornecimento de energia do WQM foi realizado por uma bateria de 3,7 V/530 mAh, associada a um painel fotovoltaico de 6 V/0,96 W instalado na parte superior do gabinete. Os componentes eletrônicos foram integrados em uma placa de circuito impresso (PCB), acondicionada em caixa à prova d'água com flutuador externo. A plataforma ThingSpeak foi

Realização:

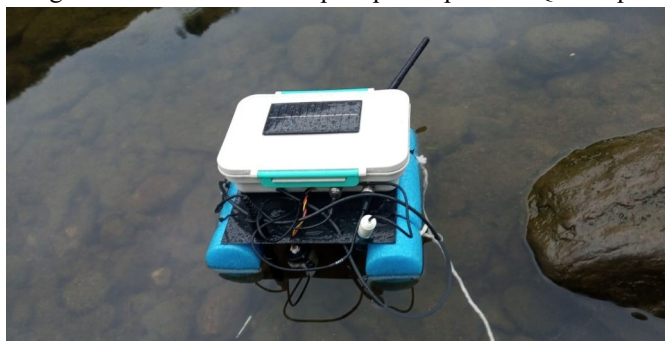


utilizada para armazenamento em nuvem e visualização gráfica das medições de temperatura, pH, turbidez e OD, permitindo acompanhamento em tempo real no painel principal.

### 3. Resultados e Discussão

A Fig. 4 apresenta o protótipo do sistema WQM em operação no **ponto 1**, evidenciando o painel fotovoltaico posicionado na parte superior, o gabinete protegido contra infiltrações e os sensores submersos acoplados na base flutuante.

Figura 4 – Coleta de dados pelo protótipo de WQM no ponto 1



Fonte: Os autores (2024).

Os testes de validação foram conduzidos ao longo de um único dia, em dezembro de 2024, entre **15:00 e 19:00 h**, sob condições climáticas estáveis e céu nublado. O **gateway (μC2)** foi conectado a um notebook com acesso **4G/5G**, posicionado a distâncias entre **100 e 500 metros** do WQM, garantindo a transmissão de dados em tempo real. A coleta de amostras variou conforme o ponto de monitoramento: **80 amostras no ponto 0 (20 min)**, **41 amostras no ponto 1 (10 min)**, **16 amostras no ponto 2 (5 min)** e **56 amostras no ponto 3 (15 min)**.

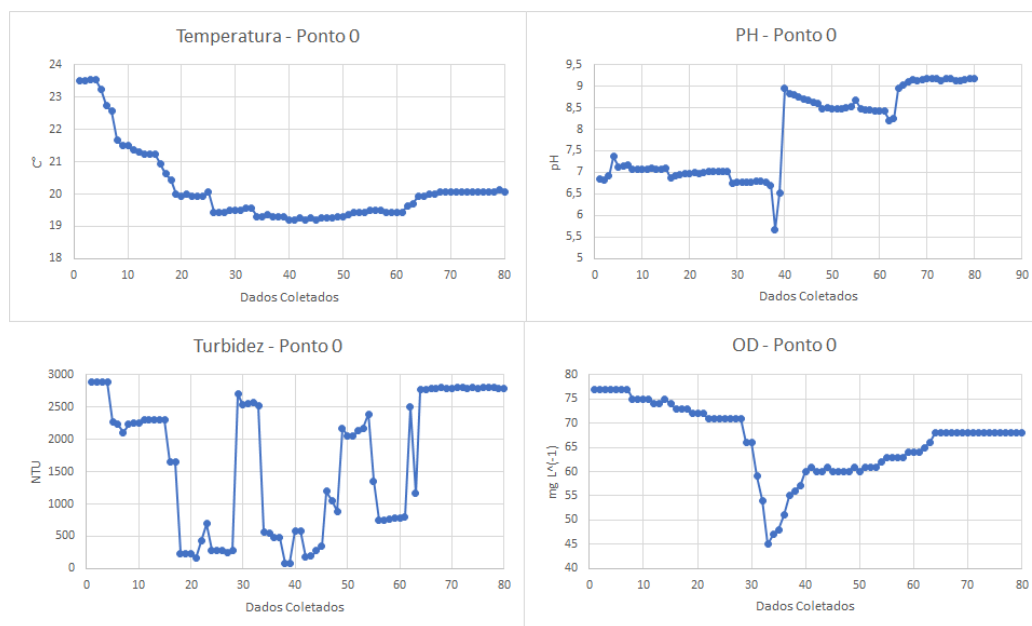
No **ponto 0**, situado em área preservada de Mata Atlântica, os parâmetros apresentaram condições próximas ao estado natural da água, com **temperatura média de 19,9 °C**, **pH de 7,85**, **OD de 63 mg L<sup>-1</sup>** e **turbidez de 748 NTU** (Tabela 3). Contudo, oscilações foram registradas (Fig. 5), especialmente na turbidez, sugerindo a presença de partículas em suspensão ocasionais.

No **ponto 1**, próximo a áreas residenciais e à estação de tratamento de água, observou-se **redução do OD para valores entre 35–56 mg L<sup>-1</sup>**, acompanhada de **pH mais ácido (4,18–5,50)** e **picos de turbidez superiores a 2700 NTU** (Fig. 6). Esses resultados refletem impactos antrópicos localizados e indícios de aporte de matéria orgânica e sólidos suspensos.

Realização:

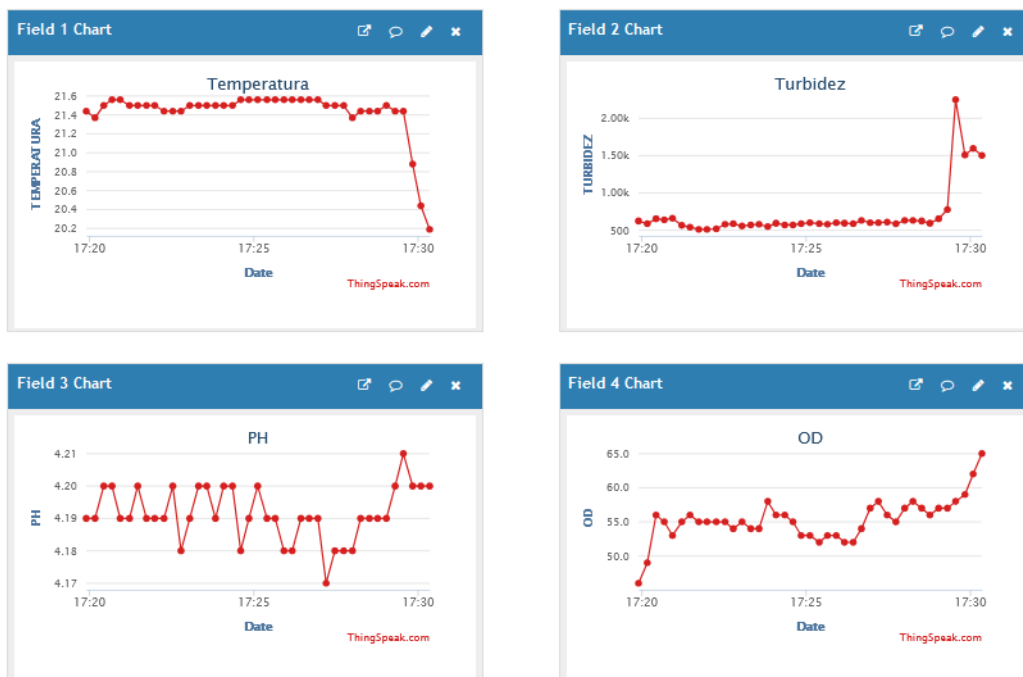


Figura 5 – Resultado das análises químicas no ponto 0 (23°55'18.4"S 46°30'04.3"O)



Fonte: Os autores (2024).

Figura 6 – Resultado das análises químicas no ponto 1 (23°52'51.1"S 46°26'47.3"O)



Fonte: Os autores (2024).

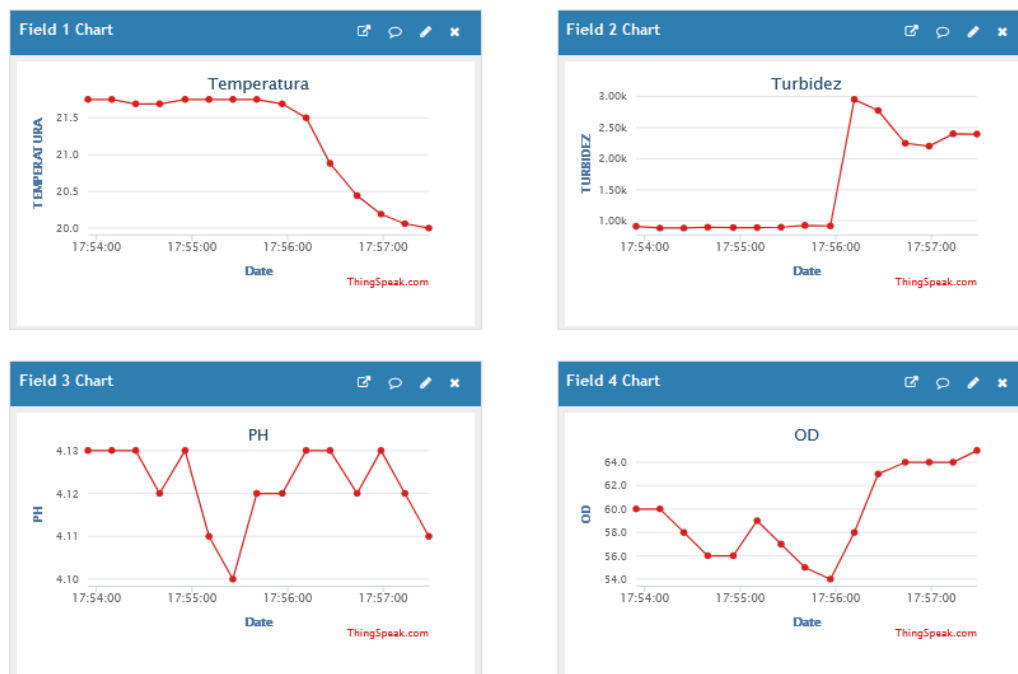
No **ponto 2**, situado em região central de Cubatão, a qualidade da água mostrou sinais de maior degradação (Fig. 7). O **pH** variou entre **4,0** e **4,5**, indicando acidez elevada, enquanto a turbidez permaneceu acima de **2000 NTU** na maior parte das medições. O **OD**

Realização:



caiu para valores próximos de  $41 \text{ mg L}^{-1}$ , o que compromete significativamente a respiração de organismos aquáticos.

Figura 7 – Resultado das análises químicas no ponto 2 ( $23^{\circ}52'48.0''\text{S } 46^{\circ}25'18.6''\text{O}$ )



Fonte: Os autores (2024).

No **ponto 3**, próximo ao polo industrial, verificou-se o cenário mais crítico (Fig. 8). A turbidez atingiu o limite máximo do sensor (**3000 NTU**), o **pH manteve-se em torno de 4,0**, e o **OD variou entre 41–44  $\text{mg L}^{-1}$** , confirmando forte interferência de atividades industriais no corpo hídrico.

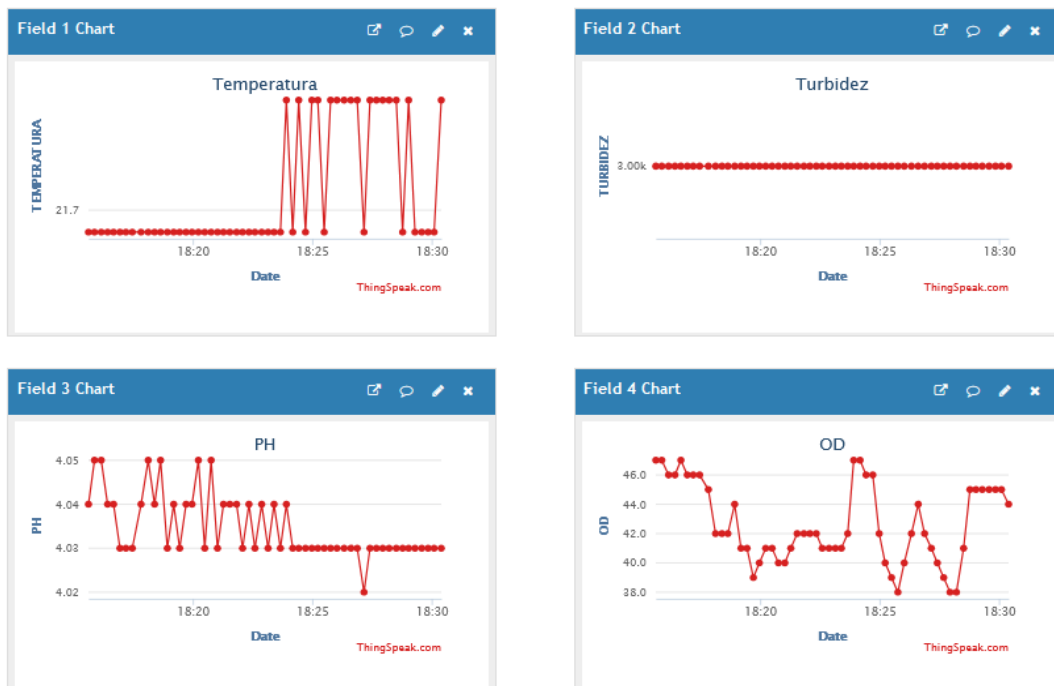
A **Tabela 3** sintetiza os resultados de cinco amostras representativas de cada ponto, confirmando as tendências observadas nos gráficos. Nota-se um gradiente claro de degradação da qualidade da água ao longo do curso do rio, especialmente em relação à **turbidez** e ao **oxigênio dissolvido**, que são indicadores diretos do impacto da urbanização e da atividade industrial.

Esses resultados demonstram a **eficiência do sistema IoT-LoRa** para detecção em tempo real de variações críticas nos parâmetros de qualidade da água. Além disso, validam o potencial do protótipo como ferramenta de apoio à gestão hídrica e à implementação de medidas de mitigação em áreas urbanizadas e industrializadas.

Realização:



Figura 8 – Resultado das análises químicas no ponto 3 (23°52'49.8"S 46°24'43.4"O)



Fonte: Os autores (2024).

Tabela 3 – Protótipo do WQM montado em PCB.

| Ponto | Amostra | Temperatura | Turbidez | pH   | OD |
|-------|---------|-------------|----------|------|----|
| 0     | 56      | 19.50       | 741.25   | 8.48 | 63 |
|       | 57      | 19.50       | 747.29   | 8.45 | 63 |
|       | 58      | 19.44       | 761.29   | 8.44 | 63 |
|       | 59      | 19.44       | 777.38   | 8.42 | 64 |
|       | 60      | 19.44       | 789.19   | 8.42 | 64 |
| 1     | 30      | 21.50       | 609.22   | 4.18 | 56 |
|       | 31      | 21.50       | 586.86   | 4.18 | 55 |
|       | 32      | 21.37       | 631.49   | 4.18 | 57 |
|       | 33      | 21.44       | 631.49   | 4.19 | 58 |
|       | 34      | 21.44       | 624.08   | 4.19 | 57 |
| 2     | 11      | 21.50       | 2951.39  | 4.13 | 58 |
|       | 12      | 20.88       | 2773.49  | 4.13 | 63 |
|       | 13      | 20.44       | 2247.59  | 4.12 | 64 |
|       | 14      | 20.19       | 2200.90  | 4.13 | 64 |
|       | 15      | 20.06       | 2398.16  | 4.12 | 64 |
| 3     | 40      | 21.75       | 3000.00  | 4.03 | 40 |
|       | 41      | 21.75       | 3000.00  | 4.03 | 42 |
|       | 42      | 21.75       | 3000.00  | 4.03 | 44 |
|       | 43      | 21.75       | 3000.00  | 4.03 | 42 |
|       | 44      | 21.69       | 3000.00  | 4.02 | 41 |

Fonte: Os autores (2024).

Realização:



#### 4. Considerações Finais

Este artigo apresentou o desenvolvimento de um sistema de monitoramento baseado em IoT para avaliar a qualidade da água de rios, contemplando os parâmetros de temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez. Os testes de campo foram realizados no rio Cubatão (Baixada Santista, SP), em áreas de Mata Atlântica e em trechos urbanos, o que permitiu validar o desempenho do protótipo em diferentes condições ambientais. Os resultados demonstraram que a rede LoRa garantiu comunicação estável e de longo alcance, assegurando a transmissão contínua dos dados em tempo real. As informações obtidas foram enviadas à plataforma ThingSpeak, possibilitando a visualização gráfica dos parâmetros monitorados e oferecendo uma ferramenta de análise acessível e de fácil interpretação. Apesar de os ensaios terem sido realizados em apenas um dia, os resultados evidenciaram a eficácia da solução proposta, tanto na detecção de variações críticas de qualidade da água quanto na viabilidade de uso do sistema em monitoramentos contínuos. Conclui-se que o WQM proposto tem potencial para auxiliar no monitoramento, gerenciamento e preservação sustentável dos recursos hídricos, sendo uma solução aplicável em regiões sujeitas a impactos urbanos e industriais.

#### REFERÊNCIAS

ALI, Mozdalifah; LING, Guo; ELMOUAZEN, Hisham. Design and implementation of an embedded system for water quality monitoring (wqm) based on internet of things (iot). In: 2023 7th International Conference on Robotics, Control and Automation (ICRCA). IEEE, 2023. p. 21-25. DOI: 10.1109/ICRCA57894.2023.10087727.

BUDIARTI, Rizqi Putri Nourma et al. Development of IoT for automated water quality monitoring system. In: 2019 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE). IEEE, 2019. p. 211-216. DOI: 10.1109/ICOMITEE.2019.8920900.

CCME Water. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. User's Manual, 2001. Disponível em: <<https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>>. Acesso: Junho 20, 2025.

CETESB. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo | Apêndice D: Índices de Qualidade das Águas, CETESB, pp 1-34, 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Apêndice-D-Índices-de-Qualidade-das-Águas.pdf>>. Acesso: Junho 20, 2025.

Realização:



CONAMA. Res. nº 274/2000, Conselho Nacional de Meio Ambiente, pp 1-4, 2000. Disponível em: <[https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-274-2000\\_96898.html](https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-274-2000_96898.html)>. Acesso: Junho 20, 2025.

DA SILVA, Fábio Paiva; MARTINS, José Rodolfo Scarati; NOGUEIRA, Fábio Ferreira. Impacts of sea level rise on seawater intrusion in Cubatão River, Brazil. *Environmental Modeling & Assessment*, v. 25, n. 6, p. 831-841, 2020. DOI: 10.1007/s10666-020-09720-y.

FU, Bojie et al. Unravelling the complexity in achieving the 17 sustainable-development goals. *National Science Review*, v. 6, n. 3, p. 386-388, 2019. DOI: 10.1093/nsr/nwz038.

GORDE, S. P.; JADHAV, M. V. Assessment of water quality parameters: a review. *J. Eng. Res. Appl.*, v. 3, n. 6, p. 2029-2035, 2013. Disponível em: <[https://www.ijera.com/papers/Vol3\\_issue6/LV3620292035.pdf](https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue6/LV3620292035.pdf)>. Acesso em Junho 20, 2025.

HAXHIBEQIRI, Jetmir et al. A survey of LoRaWAN for IoT: From technology to application. *Sensors*, v. 18, n. 11, p. 3995, 2018. DOI: 10.3390/s18113995.

LEONARDI, Luca; BATTAGLIA, Filippo; BELLO, Lucia Lo. RT-LoRa: A medium access strategy to support real-time flows over LoRa-based networks for industrial IoT applications. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 6, n. 6, p. 10812-10823, 2019. DOI: 10.1109/JIOT.2019.2942776.

LIANG, Yongchun et al. Monitoring water quality parameters in urban rivers using multi-source data and machine learning approach. *Journal of Hydrology*, v. 648, p. 132394, 2025. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.132394.

LILOJA et al. IoT-based water quality monitoring system using LoRaWAN. In: *Computer Networks and Inventive Communication Technologies: Proceedings of Third ICCNCT 2020*. Springer Singapore, 2021. p. 1157-1170. DOI: 10.1007/978-981-15-9647-6\_92.

MACIEL, Nelson R. P. Autonomous River Water Quality Monitoring System Based on Sigfox Technology, Univ. do Porto, Portugal, ProQuest, 2020. Disponível em: <<https://www.proquest.com/openview/e3dfab2f3d255afb6286f0e48ba82ac7/>>. Acesso em Junho 20, 2025.

PROMPUT, Sommart; MAITHOMKLANG, Somkiat; PANYA-ISARA, Chawalit. Design and analysis performance of IoT-based water quality monitoring system using LoRa technology. *TEM journal*, v. 12, n. 1, p. 29, 2023.

RAO, T. Sandeep et al. ESP32 based implementation of water quality and quantity regulating system. In: *3rd International Conference on Integrated Intelligent Computing Communication & Security (ICIIC 2021)*. Atlantis Press, 2021. p. 122-129. DOI: 10.2991/ahis.k.210913.016.

STROKAL, Maryna et al. Urbanization: an increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century. *npj Urban sustainability*, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2021. DOI: 10.1038/s42949-021-00026-w.