



PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO REMOTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA REGIÃO NORTE: UMA ABORDAGEM SUSTENTÁVEL E EDUCACIONAL

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6184

Autores: JOELITON DE SOUSA SILVA, RENATO SANTOS SOUSA, MATHEUS FERNANDES DA SILVA LOPES, THAMYRIS DA SILVA EVANGELISTA

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo para monitoramento remoto da qualidade da água, baseado na plataforma ESP32 e sensores de pH, turbidez, condutividade e temperatura. Os dados são coletados in loco e transmitidos em tempo real via Arduino Cloud. Foram analisadas amostras de água potável, solução salina, água com impurezas, suco de limão diluído e amostras dos rios Tocantins e Itacaiúnas, localizados em Marabá-PA. Os resultados demonstram a eficiência do sistema na detecção de variações físico-químicas, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos, a conscientização sobre impactos antrópicos e o fortalecimento de ações de educação ambiental e cidadania científica na região.

Palavras-chave: Monitoramento remoto; Qualidade da água; Região Norte

PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO REMOTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA REGIÃO NORTE: UMA ABORDAGEM SUSTENTÁVEL E EDUCACIONAL

INTRODUÇÃO

O Brasil é banhado por uma extensa rede de rios distribuídos por diferentes regiões, totalizando 12 bacias hidrográficas, conforme dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Entre elas, destaca-se a bacia do rio Tocantins, com uma área superior a 900 mil km², cujos principais cursos d'água — os rios Tocantins e Araguaia — formam uma fronteira natural entre mais de quatro estados brasileiros. Inserida nesse contexto, a cidade de Marabá localiza-se na região sudeste do estado do Pará, na Região Norte do país, e possui uma população superior a 250 mil habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O município é fortemente dependente dos recursos hídricos dessa bacia, sendo atravessado por dois rios de grande relevância: o Tocantins e o Itacaiúnas.

Diante dessa forte dependência dos recursos hídricos, torna-se fundamental garantir que a água disponível atenda aos padrões de qualidade exigidos para o consumo e uso sustentável. Por ser um recurso essencial à sociedade, a água possui parâmetros específicos que devem ser analisados para determinar sua qualidade e adequação ao uso. O Índice de Sustentabilidade de Tratamento de Água (ISTO) classifica essa qualidade com base em parâmetros estabelecidos, atribuindo valores que variam de 0 a 1 para cada indicador adotado conforme as normas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Além disso, a Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004, estabelece os procedimentos e responsabilidades relacionados ao controle e à vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano, bem como os critérios para seu padrão de potabilidade. Essa regulamentação é garantida por lei, sendo de responsabilidade do Ministério da Saúde e dos órgãos competentes.

Portanto, é fundamental contar com tecnologias avançadas para o monitoramento remoto dos recursos hídricos, trazendo benefícios tanto para os setores econômicos locais quanto para a saúde da população (OLIVEIRA, 2021). A utilização de dispositivos baseados na Internet das Coisas (IoT) permite a coleta e transmissão de dados em tempo real sobre a qualidade da água, facilitando a tomada de decisões e a implementação de soluções mais eficientes. Equipamentos como o Horiba U-50, cujo custo ultrapassa R\$ 15.000,00, segundo informações do site da Log Nature (2025), são amplamente utilizados; entretanto, sua elevada complexidade e alto custo restringem o acesso a esse tipo de monitoramento, especialmente de forma remota. Esse sensor é capaz de medir parâmetros como turbidez, temperatura, pH, condutividade, entre outros.

A realização deste trabalho é motivada pela necessidade de desenvolver soluções tecnológicas acessíveis para o monitoramento remoto e de baixo custo da qualidade da água, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos. A escolha pelo uso do ESP32 justifica-se por seu excelente custo-benefício. Trata-se de uma plataforma de prototipagem de código aberto oferecem flexibilidade, simplicidade de uso e ampla compatibilidade com diversos sensores e módulos, tanto da própria plataforma quanto da plataforma Arduino. Essa versatilidade permite a personalização dos projetos de acordo com as necessidades específicas de cada ambiente, sem demandar altos investimentos em equipamentos ou licenças de software. Dessa forma, este trabalho busca explorar as potencialidades do ESP32 no desenvolvimento de sistemas de monitoramento hídrico eficientes, econômicos e acessíveis, promovendo o avanço na gestão e preservação dos recursos aquáticos de forma

remota. Além disso, pretende-se fornecer conhecimentos práticos a estudantes interessados na área.

Diante da necessidade de soluções acessíveis para o monitoramento remoto da qualidade da água, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo utilizando a plataforma Arduino Cloud, capaz de realizar a coleta e análise de dados em tempo real. De acordo com Silva et al. (2024), a utilização de sensores aplicados à medição de parâmetros da água, associada à validação por meio de testes práticos e desenvolvimento de uma interface, visa fornecer uma ferramenta eficiente e prática para auxiliar na preservação dos recursos hídricos. Como aprimoramento tecnológico, este trabalho incorpora a integração com plataformas baseadas em Internet das Coisas (IoT), possibilitando o monitoramento remoto, a transmissão contínua dos dados e maior acessibilidade às informações em tempo real.

A integração entre o monitoramento remoto dos recursos hídricos e o ensino amplia as possibilidades de aplicar, na prática, os conhecimentos adquiridos. Com isso, torna-se possível promover a preservação do ambiente em que vivemos, enquanto os estudantes desenvolvem uma visão crítica e reflexiva sobre o uso da tecnologia IoT na conservação ambiental. Nesse contexto, é essencial que o ensino acompanhe os avanços tecnológicos, especialmente nas áreas de engenharia, permitindo uma atuação mais eficiente, abrangente e com processos de coleta de dados mais práticos e acessíveis. Além disso, os alunos passam a compreender a importância da preservação da água e reconhecem como suas próprias ações podem impactar diretamente a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida de suas comunidades (Anjos, 2023).

Este artigo está organizado em cinco seções. Na segunda seção, são abordados os conceitos relacionados ao ESP32, aos sensores utilizados no desenvolvimento do projeto e à ferramenta IoT. A terceira seção descreve o processo de simulação realizado e o protótipo desenvolvido. Na quarta seção, apresentam-se e discutem-se os resultados experimentais obtidos. Por fim, a quinta seção é dedicada às considerações finais deste trabalho.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A busca por formas econômicas é crucial para a viabilidade e análise da conservação dos recursos hídricos de maneira mais eficiente. Neste contexto, a execução desse trabalho traz uma abordagem do monitoramento da qualidade da água de forma remota e de baixo custo, aliada a sensores específicos e tecnologias de comunicação com o uso do ESP32.

1.1 Plataforma ESP32

O ESP32 é um microcontrolador de alto desempenho, desenvolvido para aplicações de Internet das Coisas (IoT), que combina conectividade Wi-Fi e Bluetooth com baixo consumo de energia. Seu design altamente integrado permite a incorporação de diversos periféricos, como conversores analógico-digitais, interfaces de comunicação (SPI, I2C, UART, entre outras) e sensores internos, oferecendo flexibilidade para diferentes tipos de projetos. Além disso, conta com um processador dual-core de até 240 MHz, capaz de executar tarefas complexas e simultâneas, o que o torna ideal para soluções embarcadas modernas (ESPRESSIF SYSTEMS, 2025). O ESP32 está ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - ESP32.



Fonte: Eletrogate, 2025.

1.2 Sensores

A eficiência do sistema de monitoramento da qualidade de água depende do tipo, calibração e interpretação dos dados fornecidos pelos sensores. Eles atuam como dispositivos sensíveis que podem interpretar parâmetros que podem ser mensurados e traduzidos para sinais elétricos que o microcontrolador pode processar. A integração cuidadosa de sensores em tempo real garante maior confiabilidade do sistema (CUAMBE, 2023, p. 4).

O sensor de pH, ilustrado na Figura 2, fornece uma faixa de valores relacionados aos níveis de pH da amostra analisada. Sensores de pH geralmente fornecem uma saída analógica que pode ser lida por uma porta analógica do microcontrolador, assim será interpretado os valores de tensão e convertida em uma escala de digital (Wang, 2020).

Figura 2 - Sensor de pH.



Fonte: Usinainfo, 2025.

A turbidez, que indica a presença de partículas suspensas na água, é medida através do dispositivo ilustrado na Figura 3. O sensor de turbidez é crucial para o monitoramento da qualidade da água, pois pode indicar se há presença de sedimentos, microrganismos ou outros corpos. O sensor de turbidez emite um feixe de luz e mede a quantidade de luz dispersa pelas partículas (Chagas, 2015). Quanto maior a dispersão, maior a turbidez, o que indica possível sedimentos que podem inclusive não serem recomendados para consumo e indica má qualidade da água.

Figura 3 - Sensor de turbidez.



Fonte: Usinainfo, 2025.

O sensor DS18B20 é um dispositivo digital ideal para monitor o equilíbrio térmico da água, sendo compatível com o ESP32. Este sensor oferece boa precisão ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) em uma faixa de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$, resolução configurável e geralmente vem calibrado de fábrica. Ele é adequado para quase todas as aplicações, uma vez que opera em uma vasta faixa de tensão (Martinazzo, 2016).

Figura 4 - Sensor DS18B20.



Fonte: Eletrogate, 2025.

A condutividade elétrica e o Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) são parâmetros importantes de substância dissolvidas. Sensores de Condutividade TDS, ilustrado na Figura 5, usam eletrodos para medir a condutividade elétrica da água, que aumenta à medida que aumenta a presença de sólidos dissolvidos. Este sensor é extremamente relevante em processos de tratamento de água, uma vez que é necessário monitorar a eficiência das etapas de purificação (Landim, 2018).

Figura 5 - Sensor de condutividade TDS.

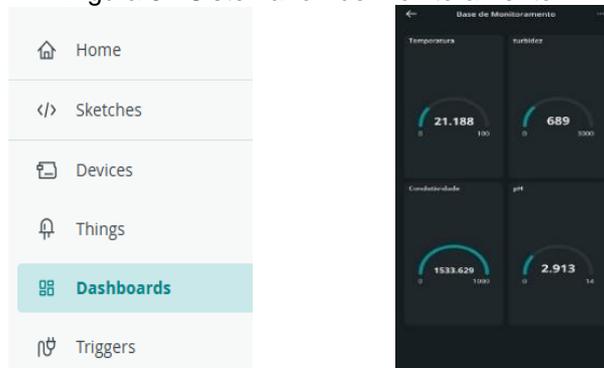


Fonte: Usinainfo, 2025.

1.3 Aplicativo IOT Remote

O desenvolvimento do aplicativo teve início com a escolha de uma plataforma IoT adequada e a definição da estrutura do sistema de monitoramento remoto. Para viabilizar o acesso aos dados, foi implementada a conexão à rede Wi-Fi, permitindo o acompanhamento em tempo real das medições realizadas pelos sensores. Optou-se pela utilização da Arduino Cloud, uma plataforma online que simplifica o desenvolvimento e o monitoramento de projetos IoT, eliminando a necessidade de servidores dedicados e configurações complexas (Arduino, 2025). A Figura 6 apresenta: (a) a interface de edição da aplicação acessada via computador e (b) a visualização do aplicativo em um dispositivo Android, com os dados dos sensores sendo exibidos em tempo real.

Figura 6 - Sistema IoT de monitoramento.



a) Página de edição (PC). b) App Aberto (Android).

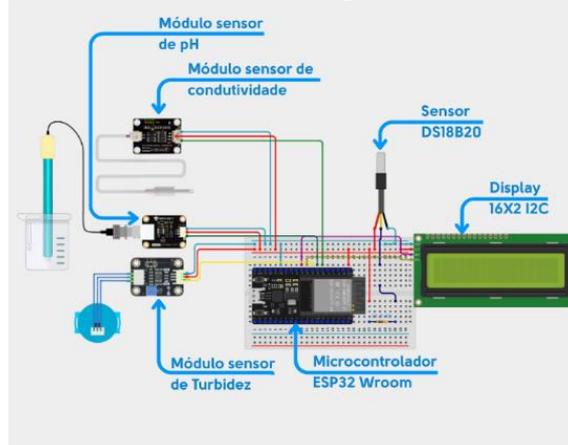
Fonte: Imagem autoral.

2 PROTOTIPO DESENVOLVIDO

O protótipo desenvolvido teve como base a adaptação de um modelo previamente implementado, o qual já utilizava sensores para medição de parâmetros como turbidez, pH, condutividade e temperatura. Nesta nova versão, o principal diferencial foi a substituição do microcontrolador anterior pelo ESP32, que possui conectividade Wi-Fi integrada, permitindo o envio dos dados de forma remota. A integração desses sensores em um único sistema proporciona uma coleta mais abrangente e contínua de informações sobre a qualidade da água, favorecendo uma análise mais eficiente e em tempo real.

Para a montagem do sistema, foram realizados testes iniciais por meio de simulações na plataforma online Cirkuit Designer, que permite a criação de esquemas eletrônicos, layouts em protoboard e geração de listas de materiais diretamente no navegador (Cirkuit Designer, 2025). A Figura 7 apresenta o circuito desenvolvido durante a fase de simulação no software.

Figura 7 – Circuito de monitoramento da qualidade da água desenvolvido na plataforma Cirkuit Designer.

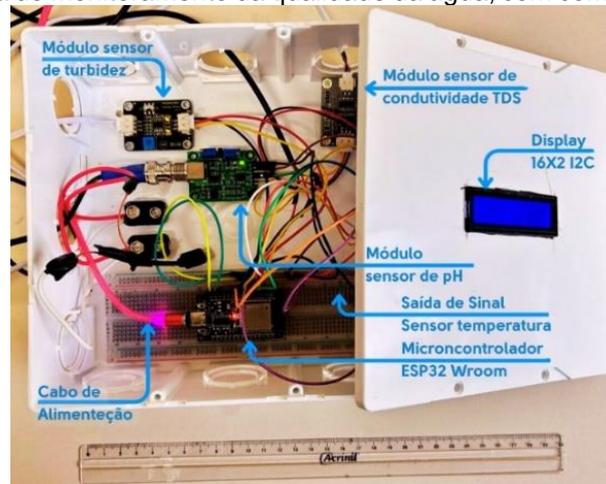


Fonte: Imagem autoral.

Outro aspecto importante a ser considerado no projeto foi a necessidade de instalação em um local seguro. Para isso, optou-se pela utilização de uma caixa de passagem fabricada em poliestireno, com dimensões de 200 mm de altura, 200 mm de largura e 87 mm de profundidade, da marca Astra (Mr. Home, 2025). Esse modelo foi escolhido para abrigar tanto o microcontrolador quanto os módulos dos sensores, oferecendo proteção adequada e organização dos componentes eletrônicos. O microcontrolador, responsável por alimentar todos os sensores do sistema, é, por sua vez, alimentado por uma tomada de 127 V, por meio de uma conexão USB tipo C.

A Figura 8 apresenta o circuito interno do protótipo, no qual todos os módulos estão fixados com cola EVA (Etileno Acetato de Vinila), garantindo maior estabilidade e organização dos componentes. O microcontrolador ESP32 está instalado sobre uma protoboard, utilizando seus contatos superiores. As portas GPIO 25 e 26 são utilizadas para comunicação com o display I2C 16x2, que permite a visualização local das informações em tempo real, auxiliando no monitoramento do funcionamento do sistema. Já as portas GPIO 33, 35, 34 e 32 são responsáveis pela leitura dos sinais provenientes dos sensores conectados.

Figura 8 - Protótipo do sistema de monitoramento da qualidade da água, com componentes fixados internamente.



Fonte: Imagem autoral.

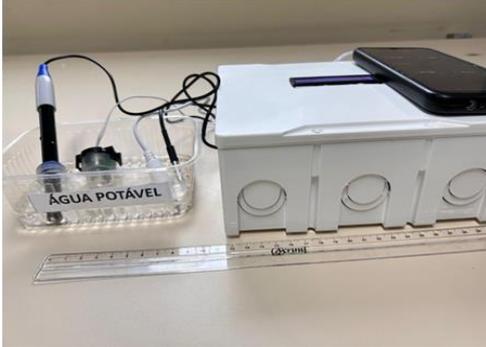
A montagem do sistema demandou atenção a diversos detalhes, uma vez que foram identificadas algumas dificuldades durante o processo, como falhas na fixação dos componentes — devido à baixa aderência da cola utilizada — e pequenos problemas nas conexões. Durante o processo, foi necessário realizar ajustes em alguns sensores, especialmente em relação à compatibilidade das faixas de saída de tensão com o microcontrolador ESP32, que opera com tensão máxima de 3,3 V. Os sensores de TDS e turbidez foram devidamente adaptados para operar dentro dessa faixa (0 a 3,3 V). No entanto, o sensor de pH apresentou uma limitação, pois seu módulo possui uma faixa de saída entre 0 V e 4,2 V, excedendo o limite suportado pelo ESP32. Como resultado, a leitura foi limitada a valores em torno de 2,0 pH, embora o sensor tenha funcionado satisfatoriamente dentro desse intervalo. Por outro lado, o sensor de temperatura não exigiu ajustes adicionais, apresentando desempenho adequado desde sua integração ao sistema. Os testes de validação e desempenho foram realizados posteriormente, conforme apresentado na seção seguinte.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa experimental, foram realizados testes com o sistema integrado, no qual todos os sensores (pH, turbidez, condutividade e temperatura) foram imersos simultaneamente em diferentes amostras de água. A coleta de dados ocorreu de forma simultânea em dois níveis: localmente, por meio do display LCD acoplado ao protótipo, e remotamente, por meio da interface da plataforma Arduino Cloud. A seguir, apresentam-se os resultados obtidos para cada amostra, acompanhados de uma análise descritiva dos parâmetros monitorados.

A primeira amostra analisada corresponde à água potável, conforme ilustrado na Figura 9(a). Os dados registrados tanto no display LCD do protótipo quanto na interface móvel da plataforma Arduino Cloud são apresentados na Figura 9(b). O valor de pH obtido foi de 7,11, compatível com uma solução neutra, como era esperado para esse tipo de amostra. A condutividade elétrica foi relativamente baixa, em torno de 77,6 ppm, indicando uma reduzida concentração de íons dissolvidos. A turbidez apresentou valor aproximado de 689 NTU, o que é característico de líquidos transparentes, com baixa presença de partículas em suspensão. Já a temperatura da amostra foi de 18,4 °C, situando-se dentro da faixa típica de temperatura ambiente.

Figura 9 - Sistema de monitoramento aplicado à análise da amostra de água potável.



a) Amostra de água potável com sensores imersos.

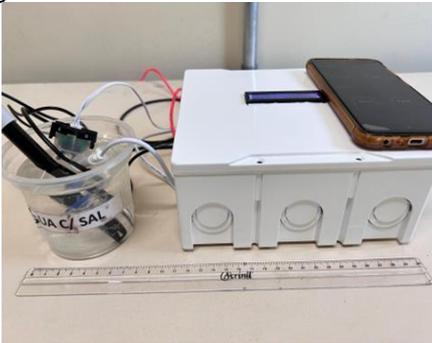


b) Informações no display e no app.

Fonte: Imagem autoral.

A segunda amostra analisada corresponde à solução de água com cloreto de sódio (NaCl), conforme ilustrado na Figura 10(a). Os dados registrados pelo sistema são apresentados na Figura 10(b). Observou-se um aumento significativo na condutividade elétrica, que atingiu 2605,1 ppm, indicando uma elevada concentração de íons dissolvidos. O valor de pH permaneceu próximo da neutralidade, com leitura de 7,1. A turbidez manteve-se baixa, uma vez que a adição de sal não comprometeu a transparência da solução. Já a temperatura aferida foi de 33,1 °C, compatível com as condições ambientais observadas no momento do experimento.

Figura 10 - Sistema de monitoramento aplicado à análise da amostra de água com sal.



a) Amostra de água com sal com sensores imerso.

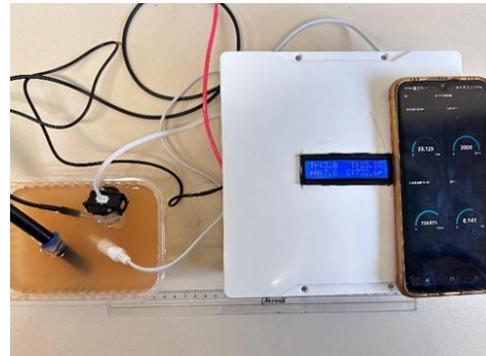
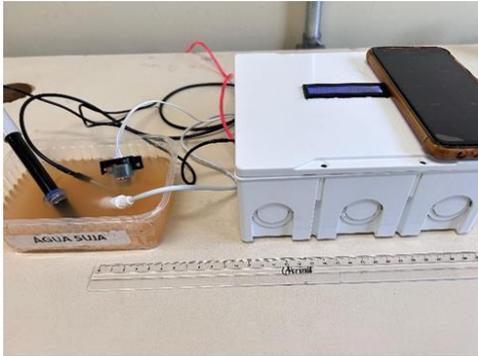


b) Informações no display e no app.

Fonte: Imagem autoral.

A terceira amostra analisada corresponde à água com alta concentração de sedimentos (suja), conforme ilustrado na Figura 11(a). Os dados registrados pelo sistema são apresentados na Figura 11(b). A turbidez atingiu o valor máximo de 3000 NTU, indicando saturação do sensor devido à elevada quantidade de partículas em suspensão. A condutividade elétrica apresentou-se aumentada, com valor de 733,5 ppm, evidenciando a presença de impurezas dissolvidas. O pH foi de 8,1, levemente básico, possivelmente decorrente da presença de resíduos orgânicos e minerais. Já a temperatura aferida foi de 23,1 °C, condizente com as condições do ambiente experimental.

Figura 11 - Sistema de monitoramento aplicado à análise da amostra de água com alta concentração de sedimentos.



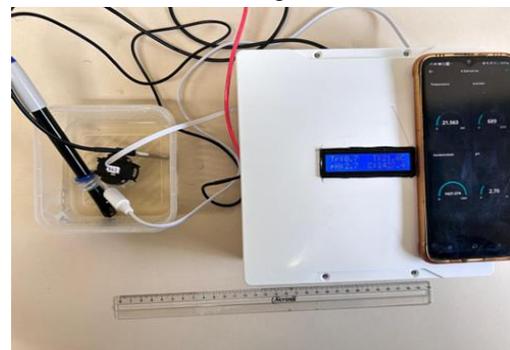
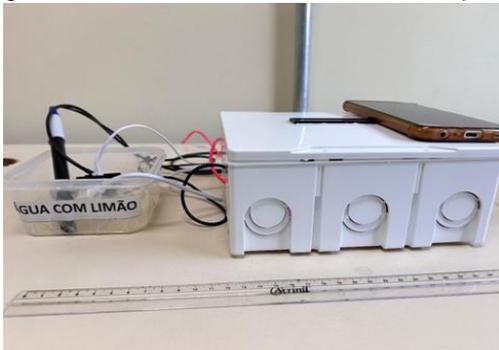
a) Amostra de água com suja com sensores imerso

b) Informações no display e no app.

Fonte: Imagem autoral.

A quarta amostra analisada corresponde à água com suco de limão diluído, conforme ilustrado na Figura 12(a). Os dados registrados pelo sistema são apresentados na Figura 12(b). O valor de pH foi de 2,7, evidenciando o forte caráter ácido da solução. A condutividade elétrica apresentou valor de 1427,3 ppm, decorrente da presença de ácidos orgânicos e outros compostos ionizáveis. A turbidez manteve-se baixa, com leitura aproximada de 0,7 NTU/1000, indicando a transparência da amostra e a ausência de partículas em suspensão visíveis. Já a temperatura aferida foi de 21,5 °C, compatível com as condições ambientais durante o ensaio.

Figura 12 - Sistema de monitoramento aplicado à análise da amostra de água com limão diluído.



a) Amostra de água com limão com sensores imersos.

b) Informações no display e no app.

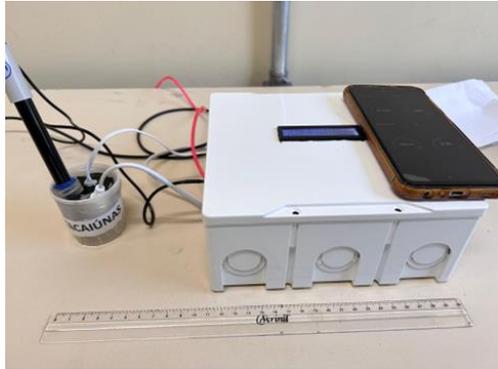
Fonte: Imagem autoral.

Na sequência do estudo, foram analisadas amostras de água dos rios Itacaiúnas e Tocantins, que desempenham um papel fundamental para o município de Marabá. Esses dois rios atravessam a região e são de grande importância ambiental, social e econômica. As análises realizadas a seguir visam avaliar a qualidade da água desses corpos hídricos a partir dos parâmetros monitorados pelo sistema desenvolvido.

A quinta amostra analisada corresponde à água do rio Itacaiúnas, conforme ilustrado na Figura 13(a). Os dados registrados pelo sistema são apresentados na Figura 13(b). A turbidez manteve-se baixa, com valor aproximado de 0,7 NTU/1000, indicando uma reduzida presença de partículas em suspensão. A condutividade elétrica foi relativamente alta, atingindo 2123,8 ppm, o que pode estar relacionado à presença de resíduos industriais, esgoto doméstico, lixiviação de solos ricos em minerais e à atividade mineradora na região. O rio Itacaiúnas atravessa áreas com intensa ocupação urbana e exploração mineral, fatores que contribuem para o aumento da concentração de íons dissolvidos na água. O valor de pH foi

de 6,7, levemente ácido, possivelmente em decorrência da decomposição de matéria orgânica presente no leito do rio. Já a temperatura aferida foi de 24,3 °C, compatível com as condições ambientais observadas no momento da coleta.

Figura 13 - Sistema de monitoramento aplicado à análise da amostra do Rio Itacaiúnas.



a) Amostra de água do Rio Itacaiunas.

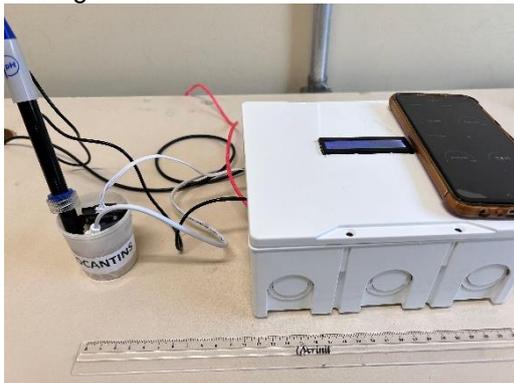


b) Informações no display e no app.

Fonte: Imagem autoral.

A sexta e última amostra analisada refere-se à água do rio Tocantins, conforme ilustrado na Figura 14(a), com os dados obtidos pelo sistema apresentados na Figura 14(b). O pH medido foi de 7,6, indicando uma característica levemente alcalina da água. A turbidez registrada alcançou 689 NTU, sugerindo uma elevada concentração de partículas em suspensão. A condutividade elétrica foi de 2703,23 ppm, valor considerado elevado e semelhante ao observado na amostra do rio Itacaiúnas, sugerindo também a presença expressiva de íons dissolvidos — o que pode estar relacionado à atividade antrópica nas proximidades, como mineração e descarte de resíduos. A temperatura aferida foi de 19,41 °C, compatível com as condições ambientais do momento da coleta, marcadas por uma queda na temperatura ambiente.

Figura 14 - Sistema de monitoramento aplicado à análise da amostra do Rio Tocantins.



a) Amostra de água do Rio Tocantins



b) Informações no display e no app.

Fonte: Imagem autoral.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do sistema de monitoramento da qualidade da água, utilizando a plataforma ESP32 e sensores de pH, turbidez, condutividade e temperatura, demonstrou-se uma alternativa viável, acessível e eficaz para aplicações educacionais e ambientais. A integração dos sensores em um único módulo permitiu a aquisição simultânea de dados,

viabilizando o acompanhamento em tempo real das condições da água, tanto localmente quanto de forma remota, por meio da plataforma Arduino Cloud.

Os testes realizados com diferentes amostras — água potável, solução salina, água com impurezas sólidas, solução ácida com limão e amostras coletadas dos rios Itacaiúnas e Tocantins — permitiram avaliar o desempenho dos sensores em variados cenários, demonstrando a precisão e sensibilidade do sistema diante de alterações físico-químicas. A consistência nas leituras dos parâmetros reforça o potencial da solução tanto para aplicações iniciais de monitoramento em campo quanto para iniciativas de educação ambiental.

A relevância ambiental do projeto é evidenciada pelas análises realizadas com amostras dos rios Itacaiúnas e Tocantins, os quais desempenham papel fundamental na dinâmica ecológica e socioeconômica do município de Marabá. A possibilidade de realizar o monitoramento remoto e em tempo real da qualidade da água desses corpos hídricos representa um avanço significativo, ao fornecer subsídios técnicos para a implementação de ações preventivas e corretivas voltadas à preservação ambiental.

A elevada condutividade elétrica observada nas amostras analisadas sugere a influência de atividades mineradoras, urbanas e industriais, indicando a necessidade urgente de políticas públicas eficazes e de maior rigor na fiscalização ambiental. Nesse contexto, o sistema proposto contribui diretamente para a gestão sustentável dos recursos hídricos, promovendo a conscientização sobre os impactos das ações antrópicas e incentivando práticas de educação ambiental e cidadania científica na região.

A estrutura física do protótipo, montada em uma caixa de passagem com fixação dos módulos e alimentação elétrica via conexão USB, garantiu estabilidade durante os testes, além de servir como base para o desenvolvimento de versões futuras mais robustas e permanentes. Como etapa de continuidade, estão previstas melhorias na montagem do sistema, incluindo a utilização de uma placa de circuito impresso (PCI), a adoção de uma fonte de alimentação por energia solar e a expansão da conectividade com plataformas de IoT mais completas. Ademais, vislumbra-se a incorporação de novos sensores e funcionalidades, como o georreferenciamento, com o objetivo de ampliar a abrangência das análises e aumentar a aplicabilidade do sistema em cenários reais de monitoramento hídrico.

Dessa forma, o projeto reafirma seu caráter multidisciplinar ao integrar conhecimentos de eletrônica, programação, engenharia ambiental e Internet das Coisas, consolidando-se como uma solução prática, escalável e com potencial de impacto positivo na preservação dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. Edição especial. Brasília, DF: ANA, 2015. 144 p. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024_04122024.pdf . Acesso em: 24 agosto 2024.

ANJOS, M. R. dos. **A integração de tecnologias IoT no ensino de ciências ambientais: um estudo de caso em escolas públicas**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, Curitiba, v. 16, n. 2, p. 115-132, 2023.

ARDUINO. **Arduino IoT Cloud: sua plataforma para Internet das Coisas**, 2025. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/IoT/HomePage> . Acesso em: 27 abril 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 266, 26 março 2004.

CHAGAS, D. S. **Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico.** 2015. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Disponível em: <https://www1.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/DENIZE-SAMPAIO-CHAGAS.pdf> . Acesso em: 15 maio 2024.

CIRKIT DESIGNER. **Circuit Designer: Circuit Design & Documentation Platform.** 2025. Disponível em: <https://app.circuitdesigner.com> . Acesso em: 1 fevereiro 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 58-63, 18 março 2005.

CUAMBE, Cilicio Carlos Isaías. **Desenvolvimento de um sistema de monitoria da qualidade da água potável com base em Internet of Things (IoT): caso de estudo: Provedor Águas Nhanombe. 2023.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) — Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/390091438_DESENVOLVIMENTO_DE_UM_SISTEMA_DE_MONITORIA_DA_QUALIDADE_DA_AGUA_POTAVEL_COM_BASE_EM_INTERNET_OF_THINGS_IOT_CASO_DE_ESTUDO_Provedor_Aguas_Nhanombe . Acesso em: 29 maio 2025.

ELETROGATE. **Sensor de temperatura DS18B20 à prova d'água.** Eletrogate, 2025. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua> . Acesso em: 15 abril 2024.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32-WROOM-32 Datasheet.** Versão 3.5. 2025. Disponível em: https://www.ESPRESSIF.com/sites/default/files/documentation/ESP32-wroom-32_datasheet_en.pdf . Acesso em: 25 maio 2025.

IBGE. **Cidades e estados: Marabá - PA.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/maraba.html> . Acesso em: 28 maio 2025.

LANDIM, J. de L. **Sensor j & j para sistema de monitoramento de condutividade de osmose.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, ano 3, ed. 9, v. 6, p. 57-74, set. 2018. ISSN 2448-0959.

LOG NATURE. **Sonda multiparâmetro.** São Paulo: Log Nature, 2025. Disponível em: <https://lognature.com.br/produtos/sonda-multiparametro/>. Acesso em: 21 maio 2025.

MARTINAZZO, C. A.; ORLANDO, T. **Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com Arduino.** 2016. Disponível em: https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/151_587.pdf . Acesso em: 15 maio 2024.

MR. HOME. **Caixa de passagem 200x200x87 mm em poliestireno Astra.** Mr. Home, 2025. Disponível em: <https://www.mrhome.com.br/caixa-de-passagem-astra-200x200x87> . Acesso em: 27 abril 2025.

OLIVEIRA, R. M. **Monitoramento remoto da qualidade da água utilizando IoT: uma abordagem acessível.** Revista Tecnologia e Sociedade, Curitiba, v. 17, n. 45, p. 88-102, 2021.

SILVA, J. S.; SOUSA, R. S.; EVANGELISTA, T. S. **Protótipo de baixo custo utilizando a plataforma Arduino para monitoramento da qualidade da água.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA – COBENGE, 52., 2024, Porto Alegre. Anais eletrônicos... Porto Alegre: Abenge, 2024. DOI: <https://doi.org/10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5204> . Disponível em: https://abenge.org.br/sis_artigo_com_capa.php/?cod_trab=5204 . Acesso em: 25 agosto 2024.

USINAINFO. **Medidor de TDS Sensor de Condutividade da Água Analógico.** Usinainfo, 2025. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/medidor-de-tds-sensor-de-condutividade-da-agua-analogico-8184.html> . Acesso em: 25 maio 2025.

USINAINFO. **Sensor de pH para Arduino + Módulo de Leitura BNC PH4502C.** Usinainfo, 2025. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/sensor-de-ph-para-arduino-modulo-de-leitura-bnc-ph4502c-5316.html> . Acesso em: 25 maio 2025.

USINAINFO. **Sensor de Turbidez para Arduino ST100 + Módulo de Leitura – ORIGINAL.** Usinainfo, [s.d.]. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/sensor-de-turbidez-para-arduino-st100-modulo-de-leitura-original-4539.html> . Acesso em: 25 mai. 2025.

WANG, R. et al. **Stretchable gold fiber-based wearable electrochemical sensor toward pH monitoring.** Journal of Materials Chemistry B, 2020. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2020/tb/c9tb02477h> . Acesso em: 20 agosto 2024.

Prototype for Remote Water Quality Monitoring in Northern Brazil: A Sustainable and Educational Approach

Abstract: *This work presents the development of a low-cost prototype for remote water quality monitoring based on the ESP32 platform and equipped with pH, turbidity, conductivity, and temperature sensors. Data are collected on-site and transmitted in real time through the Arduino Cloud platform. Water samples from various sources were analyzed, including potable water, saline solution, water containing solid impurities, diluted lemon juice, and samples from the Itacaiúnas and Tocantins rivers, located in Marabá, Pará, Brazil. The results demonstrate the system's efficiency in detecting physicochemical variations, contributing to the sustainable management of water resources, raising awareness of anthropogenic impacts, and supporting environmental education and scientific citizenship initiatives in the region.*

Keywords: *Remote monitoring; Water quality; Northern Brazil*

