



DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO BASEADO EM INTERNET DAS COISAS PARA MONITORAMENTO REMOTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO

Josean da Silva

Universidade Federal da Paraíba

Clenilson Protório de Souza

Universidade Federal da Paraíba

RESUMO

Esta pesquisa experimental consistiu na aplicação de um sistema de monitoramento contínuo da qualidade da água, utilizando tecnologias de transmissão de dados em tempo real, com foco na redução de custos e minimização de erros operacionais. Foram instalados dispositivos de monitoramento em quatro escolas municipais de educação infantil e ensino fundamental no município de Itabaiana, Paraíba, permitindo a análise horária de parâmetros como pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade, salinidade, cor e turbidez, entre julho e dezembro de 2024. Os dados, transmitidos automaticamente para um banco de dados centralizado, foram posteriormente analisados com ferramentas em linguagem Python, possibilitando a identificação de tendências e padrões, conforme apresentado na seção de resultados. A avaliação da qualidade da água seguiu os limites estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde. O sistema de monitoramento foi desenvolvido com base na plataforma Arduino IDE e módulo ESP32, destacando-se pela simplicidade, eficiência e potencial de escalabilidade. A pesquisa contou com apoio técnico e financeiro da empresa CONSTA SERVIÇO DE ANÁLISE DE ÁGUA LTDA. Por fim, o desempenho e os custos do dispositivo desenvolvido foram comparados a soluções similares disponíveis no mercado brasileiro, como a Sonda Multiparâmetro Aquaread AP 7000, comercializada pela AgSolve Monitoramento Ambiental LTDA.

Palavras-chave: IoT (Internet das Coisas); monitoramento e controle remoto; qualidade de água; sustentabilidade.

Low-cost internet of things-based device for remote monitoring of water quality for human consumption

ABSTRACT

This experimental research consisted of the application of a continuous water quality monitoring system, using real-time data transmission technologies, with a focus on cost reduction and minimizing operational errors. Monitoring devices were installed in four municipal early childhood and elementary schools in the municipality of Itabaiana, Paraíba, allowing the hourly analysis of parameters such as pH, temperature, total dissolved solids (TDS), conductivity, salinity, color, and turbidity, between July and December 2024. The data, automatically transmitted to a centralized database, were subsequently analyzed with Python language tools, enabling the identification of trends and patterns, as presented in the results section. The water quality assessment followed the limits established by Ordinance No. 888/2021 of the Ministry of Health. The monitoring system was developed based on the Arduino IDE platform and ESP32 module, standing out for its simplicity, efficiency, and scalability potential. The research received technical and financial support from the company CONSTA SERVIÇO DE ANÁLISE DE ÁGUA LTDA. Finally, the performance and costs of the developed device were compared to similar solutions available in the Brazilian market, such as the Aquaread AP 7000 Multiparameter Probe, sold by AgSolve Monitoramento Ambiental LTDA.

Keywords: IoT (Internet of Things); remote monitoring and control; water quality; sustainability.

INTRODUÇÃO

A água é um elemento indispensável para o ser humano, sendo um recurso essencial para sua existência. No Nordeste do Brasil, onde a escassez de recursos hídricos é uma realidade em decorrência dos longos períodos de seca com pouca incidência pluviométrica, a disponibilidade qualitativa e quantitativa deste recurso é um desafio diário para o abastecimento; o que evidencia a necessidade de alternativas que permitam o atendimento das suas múltiplas demandas (Vardhane et al., 2019).

De acordo com a Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (2020), “pelo menos 7 milhões de pessoas no Brasil residem em locais que não estão ligados à rede de abastecimento de água e, ainda, muitas pessoas utilizam soluções alternativas individuais que, muitas vezes, não dispõem de tratamento da água antes do consumo” (BRASIL/SVS/MS, 2020), situação compartilhada por grande parte das pessoas que vivem no semiárido paraibano.

A problemática é acentuada pela recorrente escassez hídrica e os elevados custos para aquisição de água potável que tornam a universalização da distribuição de água um obstáculo a ser vencido na região do semiárido (Lopes, et. al, 2021)

Nesta direção, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), entidade pública que realiza ações que objetivam a melhoria das condições de vida das populações mais carentes do Brasil, por meio do Edital de Chamamento Públicos Nº 03/2021 (FUNASA, 2021), já sinaliza a importância do desenvolvimento de mecanismos sustentáveis que promovam a melhoria da qualidade de vida da população, preconizada pelos ODS, deste modo, uma alternativa automatizada e de baixo custo; para o monitoramento qualitativo da água para consumo humano torna-se uma estratégia para obtenção de fonte de informação para o gerenciamento e tomada de decisões e gestão estratégica.

No contexto das tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e com o advento da Indústria 4.0, a tendência atual para o controle de qualidade da água aponta para o uso de tecnologias de monitoramento remoto a partir das quais objetos podem interagir e se comunicar por meio da internet permitindo que os processos sejam monitorados em tempo real, mesmo à distância (Souza Filho, 2018).

Nesse sentido, a implementação e teste em campo de um dispositivo de baixo custo, voltado para monitorar aspectos relacionados à segurança e qualidade da água com o uso de tecnologias IoT, com possível aplicação de Inteligência Artificial (IA), apresenta-se como uma solução promissora, podendo reduzir os custos operacionais e garantir um fornecimento contínuo de água com potabilidade aceitável, permitindo uma gestão mais eficaz desse recurso no semiárido paraibano.

A unidade de análise escolhida para esta pesquisa foi a rede pública de ensino do município de Itabaiana, localizado no semiárido paraibano, e demonstrou caráter interdisciplinar a partir da epistemologia envolvida na construção das diretrizes metodológicas utilizadas para a resolução do problema e para a comprovação da hipótese apresentada; demonstrando articulação integrada de múltiplas áreas do conhecimento correlacionando-se aos seguintes objetivos: ODS6 (manejo sustentável da água e saneamento para todos) ODS3 (saúde e bem-estar), ODS9 (Indústria, inovação e infraestrutura), ODS10 (redução das desigualdades), ODS11 (cidades e comunidades sustentáveis), ODS13 (ação contra a mudança global do clima) e ODS13 (vida na água).

REFERENCIAL TEÓRICO

Água: importância, necessidade e uso

A água não apenas sacia a sede humana, mas sustenta todas as formas de vida conhecidas. É comum entender que sua disponibilidade se destina a atender às necessidades básicas da humanidade; como suportar atividades residenciais, domésticas, agrícolas e industriais, mas, o fato é que sua existência com qualidade é essencial para Desenvolvimento.

O crescimento das cidades tem levado a um aumento no descarte de esgoto doméstico e industrial diretamente nos ecossistemas hídricos urbanos. Esse cenário é agravado pelo uso descontrolado dos recursos naturais, o que intensifica o impacto negativo sobre a qualidade da água (Vardhan et al., 2019). Estudos indicam que a poluição resultante dessas práticas tem consequências severas para os ecossistemas aquáticos. Os contaminantes provenientes do esgoto doméstico e industrial não apenas comprometem a pureza da água, mas também afetam a saúde das populações que dependem desses recursos para consumo direto e para suas atividades diárias (McGrane, 2016; Miller; Hutchins, 2017).

O acesso à água limpa e segura e ao saneamento básico é um direito humano fundamental e é uma perspectiva reconhecida pela Organização das Nações Unidas (ONU) desde 2010. Neste sentido, a água é um importante quesito na Agenda 2030 e, de maneira específica, no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável N° 6 (ODS6) que desafia a humanidade a garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos (ANA, 2019).

Este fato se reafirma na transversalidade e na indivisibilidade, estampadas nos 17 ODS e podem ser identificadas no ODS6 que, como os demais objetivos, não abre mão do caráter da sustentabilidade no processo de desenvolvimento que se otimiza nas dimensões ambiental, econômica e social que o debate aderiu. A afirmação supracitada apresenta estratégias que podem ajudar na caracterização do problema aqui apreciado: primeiro, a organização de debates internacionais; segundo o estabelecimento de condições para uma governança global do setor; e terceiro, a repercussão nas políticas nacionais.

Inovação na automação no monitoramento de água

A análise dos parâmetros que definem a qualidade da água e os impactos em seu consumo, tais como cor, turbidez, sabor, odor, temperatura, pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro, manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica; além de indicadores como algas, bactérias, tem se beneficiado significativamente de avanços tecnológicos recentes (Yaroshenko et al., 2020). Segundo Yaroshenko et al. (2020), é possível extrair indicadores cruciais através desses parâmetros, fornecendo *insights* importantes para a gestão e conservação dos recursos hídricos, além de subsidiar desenvolvimento econômico.

Uma abordagem inovadora para monitorar esses parâmetros é o uso de dispositivos inteligentes, que coletam dados de forma contínua, registram e transmitem informações em tempo real (Targino et al., 2022). Essa tecnologia é definida no contexto da Internet das Coisas (IoT), que revolucionou a pesquisa de campo ao permitir a obtenção de medições físicas e químicas sem a necessidade da presença física constante no local da amostra ou no laboratório, conforme destacado por Santos et al. (2024).

A IoT facilita o monitoramento remoto e em tempo real de variáveis como pH, temperatura, níveis de oxigênio dissolvido, entre outros, que são essenciais para avaliar a saúde dos corpos d'água e identificar impactos decorrentes de atividades industriais. Esses dispositivos não só agilizam a coleta de dados, mas também melhoram a precisão e a frequência das medições, permitindo uma resposta mais rápida e eficiente a mudanças nas condições ambientais (Nepomuceno e Dalla, 2022). Além de otimizar a coleta de dados, a aplicação de IoT no monitoramento ambiental contribui para uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos, promovendo a conservação e a utilização eficiente dos ecossistemas aquáticos.

No controle da qualidade da água, como citado acima, diversos parâmetros são essenciais para avaliar a saúde e a viabilidade dos ecossistemas aquáticos. Segundo Miller et al. (2023), os principais parâmetros incluem pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), turbidez, condutividade, clorofila, demanda química de oxigênio (DQO) e nitrogênio amoniacal. Esses parâmetros fornecem informações essenciais sobre a composição físico-química da água e sua capacidade de sustentar a vida aquática e atender às necessidades humanas.

Recentemente, soluções baseadas em IoT têm sido aplicadas com sucesso no monitoramento da qualidade da água, especialmente em contextos nos quais haja dificuldade de acesso aos pontos de coleta de amostras (Petkovski et al., 2021). Neste sentido, os autores identificaram que existem 17 tipos diferentes de sensores utilizados para estimar a qualidade da água, sendo que temperatura, pH e oxigênio dissolvido são os três tipos mais comuns. Esses sensores permitem um monitoramento contínuo e em tempo real dos parâmetros essenciais para garantir segurança hídrica.

Além dos sensores, os sistemas microprocessados de placa única como Raspberry Pi e ESP32 são frequentemente empregados para processar e transmitir os dados coletados pelos sensores em IoT (Lima et al., 2018). Esses dispositivos compactos e acessíveis desempenham um papel crucial na coleta, análise e transmissão de dados ambientais, proporcionando uma plataforma eficaz para gestão ambiental sustentável (Lima et al., 2018). A combinação de sensores avançados e tecnologia de processamento de dados em tempo real oferece uma nova perspectiva na maneira como se monitora e protege recursos hídricos. Além dessas inovações melhorarem a precisão das medições, também permitem uma resposta mais célere e efetiva a eventos adversos que geram mudanças nas condições qualitativas e até quantitativa na água.

É neste sentido no qual se afirma que o uso de sensores, dispositivos eletrônicos e sistemas digitais microprocessados para monitorar a qualidade da água em tempo real tem sido objeto de estudo e aplicação em diversos contextos. Segundo Akhter et al. (2022), Ighalo et al. (2021), Madeo et al. (2020), Demetillo et al. (2019) e Silva (2022), essas tecnologias oferecem uma maneira eficiente de enfrentar desafios relacionados à gestão e conservação dos recursos hídricos.

Essas inovações tecnológicas podem ser implementadas em rios, riachos e em qualquer outro corpo d'água de interesse, bem como em residências e empresas (como no caso das escolas públicas no semiárido paraibano). A capacidade de monitorar parâmetros como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez, entre outros, em tempo real, possibilita uma resposta mais ágil a eventos que possam comprometer a qualidade da água. Um dos benefícios significativos dessas tecnologias, por exemplo, é uma operação de controle de qualidade mais eficiente. Sensores instalados ao longo da infraestrutura hídrica podem identificar variações nos níveis de substâncias indesejáveis, proporcionando alertas precoces e permitindo intervenções rápidas para mitigar impactos adversos à saúde pública e ao meio ambiente (Brum et.al, 2019).

Além disso, a aplicação dessas tecnologias não se limita apenas à detecção de anomalias. Elas também facilitam a coleta de dados em larga escala, o que é fundamental para a pesquisa científica e para a formulação de políticas públicas voltadas à gestão sustentável dos recursos hídricos (Brum et.al, 2019). A análise contínua e em tempo real dos dados coletados possibilita uma compreensão mais profunda dos padrões de qualidade da água ao longo do tempo e em diferentes condições ambientais (Brum et.al, 2019).

Portanto, o uso de sensores e sistemas de monitoramento eletrônico representa um avanço significativo no manejo integrado da água, promovendo não apenas a eficiência operacional, mas também a preservação dos ecossistemas aquáticos e a proteção da saúde humana. Essas tecnologias são fundamentais para enfrentar os desafios crescentes relacionados à escassez de água e à qualidade dos recursos hídricos em um mundo cada vez mais urbanizado e industrializado.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida de maneira experimental, com foco em estudo aplicado de campo. A abordagem adotou ferramentas e tecnologias de transmissão de dados, permitindo o monitoramento rápido e eficiente das amostras, sem a necessidade de coleta, transporte e armazenamento convencional, reduzindo custos e minimizando erros de manipulação. Desta maneira, foram instalados dispositivos de monitoramento em quatro escolas municipais de educação infantil e ensino fundamental do município de Itabaiana, região do semiárido da Paraíba. A cada hora foram analisados parâmetros de pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos, condutividade, salinidade, cor e turbidez. Os pontos de amostragem foram as seguintes unidades escolares: (a) Unidade Escolar Sebastião Rodrigues de Melo (E.M.E.I.F-1), (b) Unidade Escolar José Pedro Araújo (E.M.E.I.F-2), (c) Unidade Escolar Joana Trindade (E.M.E.I.F-3), e (d) Unidade Escolar Miguel Ângelo (E.M.E.I.F-4).

Após desenvolvimento e instalação do dispositivo, a coleta de dados foi realizada de forma contínua em campo, sendo interrompida apenas uma vez por mês para manutenção programada. O início do levantamento foi considerado no dia 01 de julho de 2024 e sua conclusão em 30 de dezembro de 2024, perfazendo um total

de 182 dias de operação, embora apenas 176 dias tenham sido considerados válidos dada às paradas para manutenção supracitada. Os parâmetros da qualidade da água foram medidos em tempo real, e os dados foram transmitidos automaticamente para um banco de dados com frequência horária. Após esta etapa, foram submetidos à análise em linguagem Python de maneira que fosse possível identificar tendências e padrões nas amostras estudadas e apresentados neste trabalho, de maneira preliminar, na seção de resultados e discussão.

A avaliação qualitativa das amostras tomou como referência os limites estabelecidos pela legislação vigente para qualidade da água, especialmente os valores máximos permitidos pela Portaria Nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde do Brasil. A pesquisa recebeu apoio técnico e financeiro da empresa CONSTA SERVIÇO DE ANÁLISE DE ÁGUA LTDA no desenvolvimento do dispositivo, instalação e realização de análises *in vitro*.

Descrição dos parâmetros analisados

O parâmetro conhecido como pH está relacionado ao potencial hidrogeniônico de uma solução; isto é, está relacionado à concentração de cátions H^+ em diferentes situações do analito (Marchesan, et.al. 2021), exercendo forte influência no tratamento da água; de maneira que o resultado do pH de uma amostra quando combinado à outras informações, pode subsidiar tomadas de decisão de maneira assertiva no tratamento da água (Ozturk et al., 2025).

Assim como o pH, a temperatura, por sua vez, modula várias características da amostra interferindo diretamente nos processos físico-químicos e microbiológicos da água (Marchesan, et.al. 2021). Quando acima de 40º C, por exemplo, gera não conformidade com o estabelecido pela Portaria Nº 888/21 do Ministério da Saúde por alterar características da potabilidade e dificultar o tratamento da água (Barcellos, 2021).

Os Sólidos Totais Dissolvidos, STD, formam um parâmetro que está relacionado com a quantidade total de sólidos que, uma vez dissolvidos em uma amostra de água, exerce influência nas condições de salinidade e condutividade (Barcellos, 2021). Sendo a salinidade, a medida de sais dissolvidos na água e a condutividade a capacidade que a amostra terá de conduzir energia elétrica através de si (Ozturk et al., 2025).

Assim como a turbidez, a cor da água desempenha o papel de apontar características organolépticas da água, ou seja, influenciam na qualidade da amostra a ponto de garantir aceitação ou rejeição por parte de seus consumidores; sendo a cor o resultado de substâncias dissolvidas na amostra ao passo em que a turbidez, relaciona-se com substância em suspensão na alíquota (Ozturk et al., 2025).

Desenvolvimento e custos

Em relação ao desenvolvimento e aplicação do dispositivo IoT de monitoramento da qualidade de água, o software do sistema proposto foi desenvolvido na plataforma de programação Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) e o referido *software* foi embarcado em um módulo micro programado ESP32, que já conta com módulos Wi-Fi embarcado, facilitando o desenvolvimento do dispositivo proposto, além da simplicidade de programação que facilita a implementação e customização do sistema. Ainda, contudo, outras alternativas poderão ser consideradas, no futuro, visando maior redução de custos.

Um banco de dados centralizado foi implementado para armazenar e gerenciar todos os dados coletados pelo dispositivo proposto. Este banco de dados permite o armazenamento seguro e o acesso eficiente aos dados para análise posterior. O dispositivo foi avaliado quanto a fatores como precisão e consistência das medições, potencial de redução de custos, escalabilidade e adaptabilidade para outros negócios, sua relação no que se refere ao impacto na segurança hídrica no semiárido paraibano.

Os sensores necessários e utilizados no dispositivo vieram acompanhados de soluções padrão para calibração contínua durante o uso. Tanto os sensores quanto o sistema de comunicação foram testados para garantir precisão e confiabilidade. Isso incluiu a calibração dos sensores, testes de comunicação dos dados em tempo real e a integração com o sistema de gerenciamento centralizado. Na Tabela 1 são descritos os componentes, custos e seus respectivos fornecedores.

Tabela 1. Componentes e respectivos custos.

Componente	Fornecedor	Custo (R\$)
Esp32	https://www.amazon.com.br	52,00
Real Time Clock (RTC) DS3231	https://www.robocore.net	37,90
SD Card Interfacing Board	https://www.mercadolivre.com.br	31,00
Placa de Fenolite 20×10 mm	http://www.wbcomponentes.com.br	11,07
Display	https://www.amazon.com.br	100,00
Fonte de alimentação	https://www.lojaeletrica.com.br	50,00
Sensores (temperatura, pH, condutividade, cor e turbidez)	https://www.usinainfo.com.br	1.000,00
Cabos e conexões elétricas	https://www.casadoeletricitastasc.com.br	120,00
Tubos e conexões hidráulicas	https://www.riberfluid.com.br	R\$ 80,00
Válvula solenoide	https://indfiltros.com.br	R\$ 50,00

Gabinetes e peças estruturais	https://www.mercadolivre.com.br/	700,00
Total		2.231,97

A seguir serão apresentadas algumas plataformas similares disponíveis no mercado brasileiro, para fins de comparação com o dispositivo desenvolvido nesta pesquisa. A AgSolve Monitoramento Ambiental LTDA (<https://www.agsolve.com.br/>) está localizada em Indaiatuba/SP e é uma empresa especializada em soluções tecnológicas nas áreas de hidrologia, meteorologia, remediação e investigação e detecção de gases. De acordo com o site, desde 1999 no mercado de instrumentação ambiental, a empresa busca oferecer projetos, equipamentos, instalação e softwares de qualidade para o monitoramento de curto, médio e longo prazo, propondo o desenvolvimento de projetos personalizados para atender às características e necessidades específicas de cada um de seus clientes. O equipamento similar ao desta pesquisa, comercializado pela AgSolve, é a Sonda Multiparâmetro Aquaread AP 7000 e tem características técnicas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações da Sonda Multiparâmetro Aquaread AP 7000.

Parâmetro	Faixa de Medição	Precisão
pH	0 – 14 pH / ± 625 mV	± 0.1 pH
Temperatura	-5°C – +50°C (23°F – 122°F)	± 0.5 °C
STD	0 – 100.000 mg/L (ppm)	$\pm 1\%$
Condutividade	0 – 200 mS/cm (0 – 200.000 μ S/cm)	$\pm 1\%$
Salinidade	0 – 70 PSU / 0 – 70.00 ppt (g/Kg)	$\pm 1\%$
Cor	Indisponível	Indisponível
Turbidez	0 – 3000 NTU	$\pm 5\%$

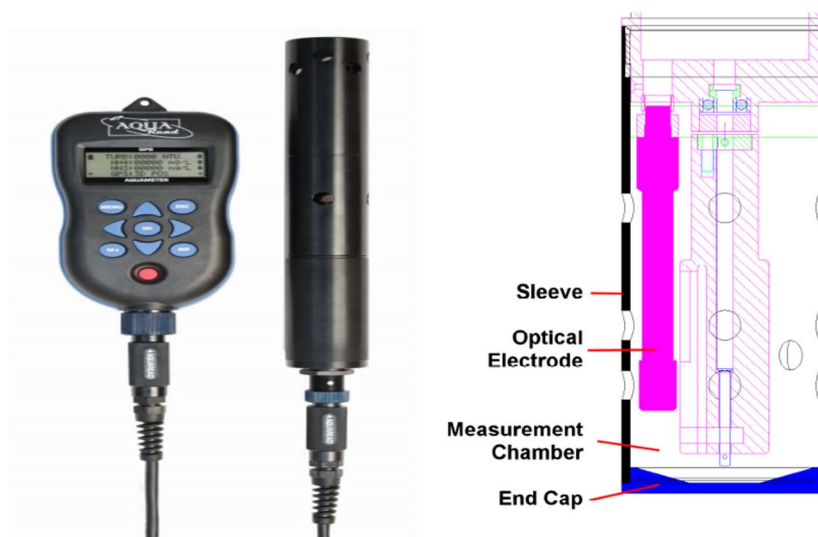
Fonte: <https://www.agsolve.com.br>

A Sonda Multiparâmetro Aquaread AP 7000, com ticket médio de R\$ 87.000,00 é uma sonda de monitoramento de qualidade de água que inclui condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e turbidez como padrão, 6 portas auxiliares para sensores ISE (Eletrodos Íon-Seletoivos) ou ópticos, e é considerado adequada para medição contínua da qualidade da água (Figura 1). Das desvantagens deste equipamento frente ao proposto aqui estão: preço elevado, dificuldade de assistência técnica local e custo adicional com armazenamento dos dados.

A empresa IN-SITU (<https://in-situdobrasil.com.br/>) está localizada em São José dos Campos/SP é representada no Brasil pela Sigma Sensors. A IN-SITU é uma empresa que fornece e desenvolve tecnologia focada em soluções para coleta, transmissão e visualização de dados. Desde de sua fundação em 2009, obteve a exclusividade na representação comercial no Brasil de importantes empresas do mercado internacional. Entre elas estão Onset Computer, Hukseflux Thermal Sensors e In-Situ Water Monitoring. Através de sua equipe de engenharia, vem

criando soluções completas que cuidam desde a coleta até a visualização dos dados para seus clientes. Como equipamento similar, a IN-SITU fornece a Vulink com as seguintes características técnicas apresentadas na Tabela 3.

Figura 1. Sonda Multiparâmetro Aquaread AP 7000.



Fonte: <https://www.agsolve.com.br>

Tabela 3. Especificações da Sonda Multiparâmetro Vulink.

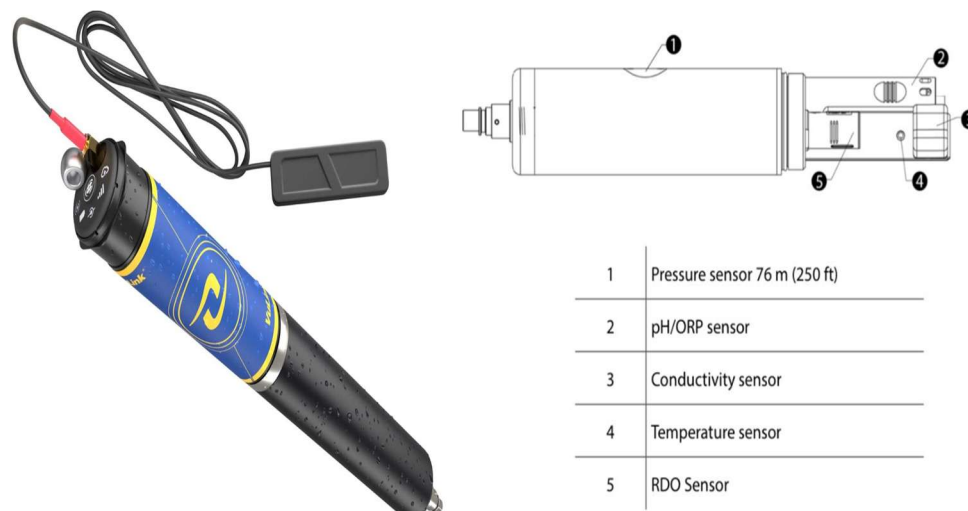
Parâmetro	Faixa de Medição	Precisão
pH	0 – 14 pH / ± 625 mV	$\pm 0,002$ pH
Temperatura	$-126^{\circ}\text{C} - 1254^{\circ}\text{C}$ ($23^{\circ}\text{F} - 122^{\circ}\text{F}$)	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
STD	0,01 – 32.000 mg/L (ppm)	$\pm 2\%$
Condutividade	0,07 – 500 mS/cm (0 – 500.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)	$\pm 2\%$
Salinidade	0,01 – 42 PSU / 0 – 42,00 ppt (g/Kg)	$\pm 2\%$
Cor	Indisponível	Indisponível
Turbidez	0,1 – 1000 NTU	$\pm 2\%$

Fonte: <https://in-situdobrasil.com.br>.

A Vulink, que é um sistema de telemetria por satélite e celular que obtém dados automaticamente ou emitem relatório programado. A Vulink indica a duração da bateria, conexão do instrumento, conexão de rede e conexão HydroVu podendo ser instalado até dentro de um poço de 2 polegadas/50 mm com tampas e invólucros padrão para mantê-lo seguro e oculto (Figura 2). De acordo com o site da IN-SITU (<https://in-situdobrasil.com.br/>), dependendo da quantidade de parâmetros adicionados à plataforma, de monitoramento, o equipamento multiparâmetro pode chegar ao valor de R\$ 55.000,00. Das desvantagens deste

equipamento frente àquele proposto aqui estão: preço elevado e dificuldade de assistência técnica local.

Figura 2. Sonda Multiparâmetro VuLink CI.



Fonte: <https://in-situdobrasil.com.br>

A Veolia Water Technologies Brasil (1999) (<https://www.watertechnologies.com/>) está localizada em Sorocaba/SP, embora originalmente seja do Canadá. É uma empresa que fornece e desenvolve tecnologia em soluções para coleta, transmissão e visualização de dados. Tem uma equipe de engenharia que oferece inovação na área de telemetria, porém, com custos ainda muito altos, se comparados com o dispositivo desta pesquisa. A plataforma similar (Figura 3) da Veolia é a AcquaMeter – AP3 com preço médio de R\$ 38.500,00. Trata-se de um sistema de telemetria que detecta automaticamente dados físico-químicos. As especificações técnicas da AcquaMeter – AP3 podem são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Especificações da Sonda Multiparâmetro AcquaMeter – AP3.

Parâmetro	Faixa de Medição	Precisão
pH	0 – 14 pH / ± 625 mV	$\pm 0,002$ pH
Temperatura	-126°C – 1254°C (23°F – 122°F)	± 0.1 °C
STD	0,01 – 32.000 mg/L (ppm)	$\pm 2\%$
Condutividade	0,07 – 500 mS/cm (0 – 500.000 μ S/cm)	$\pm 2\%$
Salinidade	0,01 – 42 PSU / 0 – 42,00 ppt (g/Kg)	$\pm 2\%$
Cor	Indisponível	Indisponível
Turbidez	0,1 – 1000 NTU	$\pm 2\%$

Fonte: <https://www.watertechnologies.com>

De acordo com o site da Veolia, o dispositivo AcquaMeter – AP3 é construído em polímero e por esta razão apresenta resistência à corrosão e ao impacto. Por possuir um sistema que garante vedação pode ser utilizado diretamente em soluções aquosas. A Veolia destaca também que a parte eletrônica é isolada para que não haja ruídos no momento da operação e que o equipamento é compatível com outros medidores e plataformas desenvolvidos por sua equipe.

Figura 3. Sonda Multiparâmetro AcquaMeter – AP3.



Fonte: <https://www.watertechnologies.com>

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concluída a manufatura do dispositivo proposto (Figura 4), houve a instalação de seu protótipo no dia 04/06/2024 na E.M.E.I.F-1. Em seguida, foram instaladas outras unidades do equipamento nos demais pontos escolares, a saber, E.M.E.I.F-2 no dia 25/06/2024, E.M.E.I.F-3 e E.M.E.I.F-4 no dia 26/06/2024. Embora a seleção das escolas tenha sido arbitrárias, levou-se em consideração que todas fossem no município de Itabaiana/PB para que a pesquisa fosse realizada no semiárido paraibano por se tratar de uma região com dificuldade de abastecimento de água em quantidade e qualidade aceitáveis (Lopes, et. al, 2021).

O dispositivo apresentou um custo total de R\$ 2.231,97 e foi constituído por uma central de controle confinada em uma caixa plástica (30x10x20cm), compreendendo um sistema embarcado projetado especificamente para esse fim, constituído por uma unidade de controle microprocessado (MC), um módulo wireless (WI-FI), um módulo bluetooth (BT), uma interface serial RX/TX para atualização de firmwares/acoplamento de um display, um módulo externo SD

card para backup de dados, um arranjo de reguladores de tensão (RT), destinados ao fornecimento de energia DC regulada em 24V, 12V, 5V e 3V, uma interface de comunicação I2C, destinada ao acoplamento dos sensores e, por fim, uma sonda sensora (S) submersível destinada ao monitoramento dos parâmetros descritos na metodologia deste trabalho, como mostrado na Figura 4.

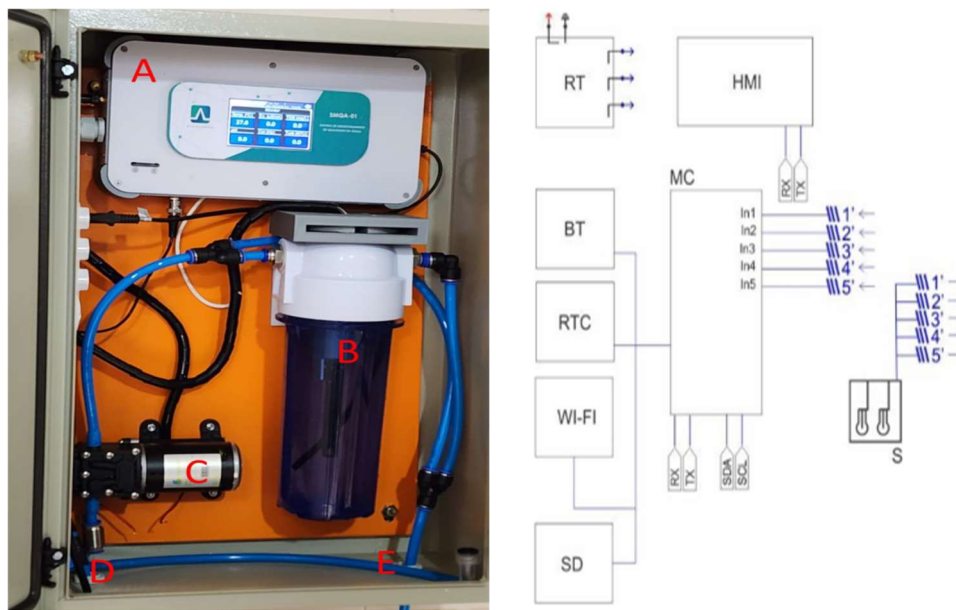


Figura 4. Sonda Multiparâmetro Desenvolvida pela pesquisa

Na Figura 4 é possível verificar a disposição geral dos componentes do dispositivo, em que “A” indica o gabinete eletrônico construído em manufatura aditiva híbrida; “B” indica o compartimento em que, em seu interior, estão localizados os sensores paramétricos; “C” indica a bomba propulsora da água a ser analisada quando se tratar de uma escola abastecida pelo sistema de cisternas de placa, ou uma válvula solenoide quando se tratar de uma escola abastecida com água encanada; “D” indica a entrada de água em fluxo na sonda e “E” indica a saída da água da sonda após as análises.

Desta maneira, a sonda contém os sensores, sendo acomodada numa peça confeccionada em impressão 3D e posteriormente impermeabilizada. Uma vez montada, a sonda entra em contato com a água a ser analisada por meio de um sistema em fluxo.

Ao empregar o dispositivo de forma experimental e aplicado, com foco em estudo de campo e, utilizando-se das tecnologias de conexão da Internet das Coisas (IoT), foi constatado ser possível ter controle mais preciso e eficientes da qualidade da água em tempo real garantindo maior segurança hídrica na região, o que corrobora com a defesa de Targino e seus colaboradores (Targino et al., 2022).

O teste do dispositivo se confirmou como uma solução promissora, já que, em ambiente operacional, demonstrou contribuir com uma gestão mais eficaz desse recurso no semiárido paraibano ao gerar dados necessários à vigilância à saúde de maneira segura, prática e econômica. A seguir, na Tabela 5, pode-se observar o contraste entre os preços praticados no mercado brasileiro para equipamentos similares e o custo para desenvolvimento e instalação do dispositivo utilizado nesta pesquisa.

Tabela 5. Comparação entre preços dos dispositivos

Dispositivo	Preço
Aquaread AP 7000	R\$ 84.100,00
Vulink CI	R\$ 55.000,00
AcquaMeter AP3	R\$ 38.500,00
Dispositivo estudado	R\$ 2.231,97

No que pese haver custos adicionais com impostos, registros, logística e operações próprios do mundo dos negócios, o dispositivo desenvolvido e testado em campo apresenta uma distância considerável entre os custos de sua aquisição e daqueles disponíveis no mercado brasileiro, tomados como referência neste estudo.

Em se comparando ao valor de mercado do AcquaMeter-AP3, o dispositivo de baixo custo foi desenvolvido e posto em operação por cerca de 6% do valor daquele comercializado pela Veolia. Se comparado ao Vulink, poder-se-ia realizar o monitoramento com 4,5% do valor cobrado pela IN-SITU para realizar a mesma tarefa e, quando se compara ao Aquaread AP 7000 vendido pela AgSolve, o baixo custo do dispositivo exigiria apenas 2,7% do desembolso necessário para utilizar-se dos serviços ofertados pelo Aquaread AP 7000.

É importante que se diga que, como demonstram as Tabelas 3, 4 e 5 as faixas de precisão e medição dos equipamentos comercializados são compatível com o dispositivo de baixo custo aqui apresentado; pelo contrário, o dispositivo instalado realiza a leitura do parâmetro COR que nenhum dos demais equipamentos de telemetria apresentados neste estudo o fazem.

Destaque deve ser dado ao fato de que os modelos matemáticos de referência para determinação de cor e turbidez no dispositivo de baixo custo foram obtidos a partir dos métodos padrão (APHA, 2017). A determinação de cor mede a absorção de padrões de platinalto de cobalto em 465 nm. Esse comprimento de onda é compatível com o sensor que equipa o instrumento desenvolvido. Ademais, a determinação de turbidez ou sólidos suspensos pode ser realizada com fonte LED ou laser na região do vermelho (600nm), que também é compatível com o sistema óptico do instrumento.

Dados coletados pelo dispositivo

A coleta de dados obteve sucesso sem apresentar dificuldades limitantes. Após 25 semanas de monitoramento, foram realizadas 4.224 coletas automáticas gerando 29.568 dados válidos para cada ponto onde foi instalado o dispositivo, totalizando o número de 118.272 leituras de pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos, condutividade, salinidade, cor e turbidez, sendo possível caracterizar a qualidade da água nos pontos EMEIF 1, EMEIF 2, EMEIF 3 e EMEIF 4 acima relacionadas e, por conseguinte, validar o funcionamento do dispositivo em campo. A Tabela 6 representa os valores máximos e mínimos encontrados para cada parâmetro nas unidades de análises.

Tabela 5. Valores mínimos e máximos encontrados.

Parâmetro	EMEIF 1		EMEIF 2		EMEIF 3		EMEIF 4	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
pH	7,95	8,9	7,85	9,62	7,68	9,15	7,8	9,56
Temperatura (°C)	28,7	29,94	25,45	28,91	25,1	29,8	26,1	30,6
STD	95,8	499,1	98,4	501,5	95,7	511,2	96,4	558,2
Condutividade (µS/cm)	49,8	125,1	48,3	215,1	48,9	131,2	47,1	369,3
Salinidade (ppt)	0,03	0,06	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,06
Cor (uH)	2,5	8,2	3,5	7,5	5,1	8,4	4,5	7,55
Turbidez (NTU)	1,2	5,35	3,1	6,15	2,9	6,1	3,5	6,3

A EMEIF 1 apresentou desacordo com os valores máximos permitidos (VMP) na vigência da Portaria N° 888/2021 do Ministério da Saúde para os parâmetros turbidez (VMP 5,00) e salinidade (VMP 0,05); além de tangenciar o limite estabelecido para STD. A EMEIF 2, apresentou não conformidade com STD (VMP 500) e turbidez (VMP 5,00); além de chegar ao limite máximo para salinidade (VMP 0,05) e pH acima de 8,0 que, embora não determinado (VMP-ND) pela norma, remete a estudos que apontam que valores acima deste número, pode comprometer o tratamento da água, lhe conferindo alterações nefelométrica com consequente descontrole da turbidez (Marchesan, et.al. 2021). Na EMEIF 3 os resultados para STD (VMP 500) e turbidez (VMP 5,00) voltam a ultrapassar os limites para potabilidade, além de alta limítrofe na concentração de salinidade (VMP 0,05) e altos valores para pH (VMP-ND). Finalmente a EMEIF 4 apresentou o pior desempenho para pH (VMP-ND), STD (VMP 500), salinidade (VMP 0,05) e turbidez (VMP 5,00) sendo considerada, qualitativamente, a pior água estudada na série.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi descrita uma demonstração concreta da viabilidade técnica e econômica da utilização de um dispositivo de baixo custo baseado em IoT para o

monitoramento em tempo real da qualidade da água em ambientes escolares no semiárido paraibano. O protótipo desenvolvido se destacou não apenas pela eficácia nas medições dos parâmetros físico-químicos essenciais (pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos, condutividade, salinidade, cor e turbidez) mas, sobretudo, pela sua capacidade de operar de forma autônoma, com transmissão remota de dados, minimizando custos operacionais e riscos associados à manipulação das amostras.

A comparação com equipamentos comerciais consolidados no mercado evidenciou a alta competitividade do dispositivo proposto, que apresentou desempenho comparável ou superior (no caso da leitura do parâmetro Cor), a uma fração dos custos de aquisição e manutenção de outros sistemas convencionais disponíveis à venda no Brasil. A robustez, precisão e adaptabilidade do sistema o tornam uma opção viável para implementação em outros lugares diferentes de onde fora instalado, especialmente em contextos em que os recursos financeiros são limitados e a garantia de segurança hídrica é um desafio cotidiano.

Para além disso, a análise dos dados demonstrou que o dispositivo é capaz de evidenciar situações críticas da qualidade da água, tal como apresentou em algumas unidades escolares estudadas; reforçando a importância da implantação de sistemas de vigilância contínua que possam subsidiar políticas públicas mais eficazes na área da saúde e do saneamento básico. Por fim, pode-se concluir que, ao combinar inovação tecnológica, acessibilidade e relevância social, este estudo pôde contribuir para o avanço das estratégias de monitoramento ambiental, sendo mais um passo em direção a ao acesso à informação e ao controle da qualidade da água no Brasil e alhures.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th ed, New York, 2017.

BARBOSA, A. Antes com a lama era difícil: as transformações da LMG-760 no âmbito socioambiental decorrentes de sua pavimentação. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S. l.], v. 12, n. 1, p. e18760, 2023. DOI: 10.59306/rgsa.v12e12023e18760. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/18760.. Acesso em: 24 jun. 2024.

BARCELLOS, L. G. (2021). Controle microbiológico da água: potencial das análises de sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica como métodos auxiliares no monitoramento da degradação da qualidade da água [Trabalho de Conclusão de

Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Repositório Institucional Pantheon.

BERGMANN, A.C. O papel do Brasil no comércio internacional de água virtual: uma análise insumo-produto. Dissertação - Mestrado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Campus Toledo), com área de concentração em Desenvolvimento Econômico Regional. 2019. 73p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). ODS 6 no Brasil: Visão da ANA sobre os indicadores. Agência Nacional de Águas, 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/publicacoes/ods6>. Acesso em: 15 jun. 2024.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Edital de Chamamento Públicos Nº 03/2021. Disponível em www.funasa.gov.br/documents/20182/324004/SEI_FUNASA+-+3265548+-+Edital.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 29 p. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. PDF. Acesso em 4 jun. 2024.

BRUM, A. K. de ., FRAINER, D. M., SOUZA, C. C., & REIS, J. F. dos . Análise do fluxo de água virtual: uma abordagem a partir da balança comercial de Mato Grosso do Sul. *Interações (campo Grande)*, 20(1), 297–313, 2019. <https://doi.org/10.20435/inter.v0i0.1587>

CAMARGO, E.T; SPANHOL, F.A; SLONGO, J.S; da SILVA, M.V.R; PAZINATO, J; de LIMA LOBO, A.V; COUTINHO, F.R; PFRIMER, F.W.D; LINDINO, C.A; OYAMADA, M.S; et al. Low-Cost Water Quality Sensors for IoT: A Systematic Review. *Sensors* 2023, 23, 4424. <https://doi.org/10.3390/s23094424>

CONNOR, R.; COATES, D.; UHLENBROOK, S.; KONCAGÜL, E. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2018: soluções baseadas na natureza para a gestão da água - resumo executivo. *Perúgia: WWAP ONU-Água*, 2018. 12 p. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261594_por. Acesso em: 07 jun. 2024.

DE SOUZA, DA; SILVA, F. B; PEREIRA, Í; GOMES, J.B.S; DAMAZIO, M.R; MOURA, T. de B; PEREIRA, W.G; TEIXEIRA, A.I.P. A importância da água dentro do conceito de saúde única: A importância da água no conceito de saúde única. *Revista Brasileira de Revisão de Saúde, [S. l.]*, v. 6, pág. 24012–24029, 2022. DOI:

10.34119/bjhrv5n6-172. Disponível em:
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/55210>.
Acesso em: 29 jul. 2024.

DEMETILLO, A.T; JAPITANA, M.V; TABOADA, E.B. Um sistema para monitorar a qualidade da água em uma grande área aquática usando tecnologia de rede de sensores sem fio. *Pesquisa Ambiental Sustentável*, v. 29, pág. 1-9, 2019. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0009-4>.

FERREIRA, G; GOMES, F. B; FIGUEREDO, de S; XAVIER, de S. Água, semiárido e sustentabilidade: Aplicando o ODS 6 aos municípios do rio grande do norte: Water, semi-aribe and sustainability: applying SDS 6 to the municipalities of rio grande do norte. *MIX Sustentável*, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 75–90, 2023. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n2.75-90. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/5210>. Acesso em: 5 out. 2023.

IGHALO, J. O; ADENIYI, A. G; MARQUES, G. Internet of things for water quality monitoring and assessment: a comprehensive review. In: HASSANIEN, A. E.; BHATNAGAR, R.; DARWISH, A. (Eds.). *Artificial intelligence for sustainable development: theory, practice and future applications*. Singapore: Springer, p. 245-259, 2021.

LIMA, E. L. (2018). Módulos de sensores para monitoramento da qualidade da água com transmissão sem fio utilizando plataforma de prototipagem. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada.

LOPES, Wilza da S., LAMBAIS, George R. NERY, Gleydson K. M., MELLO., Salomão, A. de S. Qualidade das águas de fontes alternativas para usos múltiplos no semiárido paraibano *Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, 7(2): 28-38, Agosto2021, online version ISSN: 2447-0740

MADEO, D; POZZEBON, A; MOCENNI, C; BERTONI, D. A. Low-cost unmanned surface vehicle for pervasive water quality monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 69, n. 4, p. 1433-1444, 2020. <https://doi.org/10.1109/TIM.2019.2963515>.

Marchesan, L. s Carissimi,E. Graepin, C. Bracher, G. INFLUÊNCIA DO PH INICIAL NO TRATAMENTO DE ÁGUA POR ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO. *Rev. Bras. de Iniciação Científica (RBIC), IFSP Itapetininga*, v.8, e21046, p. 1-11, 2021.

MCGRANE, S. J. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: A review. *Hydrological Sciences Journal*, v. 61, n. 13, p. 2295-2311, 2016. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.112808>.

MILLER, J. D; HUTCHINS, M. (2017). The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. *Journal of Hydrology Regional Studies*, v. 12, p. 345-362. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.06.006>.

MILLER, M. et al. IoT in water quality monitoring: Are we really here? *Sensors*, v. 23, n. 2, p. 960, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23020960>.

NEPOMOCENO, T. A. R; & DALLA VALLE, A. C. água virtual à luz da produção científica brasileira: uma análise bibliométrica. *Revista Augustus*, 30(57), 140-155, 2022. <https://doi.org/https://doi.org/10.15202/19811896.2022v30n57p140>

ÖZTÜRK, MA, ÜNSAL, E., & YELKUVAN, AF. Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Qualidade da Água Ultrapura Baseado na Internet das Coisas. *Sensores*, 2025 (4), 1186. <https://doi.org/10.3390/s25041186>

PETKOVSKI, A; AJDARI, J; ZENUNI, X. IoT baseadas em aquicultura: uma literatura sistemática revisão. *Anais da 44ª Convenção Internacional de 2021 sobre Informação, Comunicação e Tecnologia Eletrônica (MIPRO)*, Opatija, Croácia, 27 de setembro – 1 de outubro de 2021; pp. 1358 – 1363.

PINTO, M.C.F. Medição manual in loco : temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Belo Horizonte: CPRM, 2007.[23] RAMOS, JLS Sistema IoT de monitoramento para fazer o nível da água de rios para cidades inteligentes . 2021. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.

SANTOS, P.F.A; SPOLADOR, H. F.S. Valoração econômica da água na suplementação hídrica da agricultura brasileira em um modelo multissetorial de crescimento, *Revista de economia e sociologia rural*, p. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.238057> Acesso em 28/07/2024.

SANTOS, RAISSA & SOARES, CRISTIANE & NEVES, FABRÍCIA & DA FROTA, VITOR & NASCIMENTO-E-SILVA, DANIEL. (2024). Sistema de monitoramento da qualidade da água usando internet das coisas. 10.36229/978-65-5866-364-5.CAP.04.

SCHUH, G; ANDERL, R; & GAUSEMEIER, J. (Eds.). (2017). *Handbuch Industrie 4.0: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik* (Vol. 1). Springer-Verlag.

SILVA, A; OLIVEIRA, B; & SANTOS, C. (2023). Automação do Tratamento de Água: Benefícios, Desafios e Perspectivas. *Revista de Engenharia de Controle e Automação*, 10(2), 45-58.

SILVA, L.D. Monitoramento de qualidade de água através de sensores robóticos arduino .2022. 137f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia

Elétrica). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2022.

SOUZA FILHO, E. A. Diagnóstico da qualidade das águas do igarapé do Mindu e criação de protótipo de aplicativo para disponibilização de dados em Manaus AM. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos). Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018.

TARGINO, I. F; FEITOSA, P. H. C; BARBOSA, D. L; BRANDÃO, I. A. P. Sistema de baixo custo para monitoramento remoto da qualidade da água. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.6, p.665-680, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0055>

VARDHAN, K. H; KUMAR, P. S; PANDA, R. C. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. Journal of Molecular Liquids, v. 290, p. 111197, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111197>.

YAROSHENKO, I. et al. Real-time water quality monitoring with chemical sensors. Sensors, v. 20, n. 12, p. 3432, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20123432>.

ZHOU, K; LIU, S; & ZHOU, L. (2017). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In 2017 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP) (pp. 1-6). IEEE.

Contato com o autor: josean@ctagua.com

Recebido em: 04/04/2024

Aprovado em: 25/06/2025