

INSTITUTO DOM BARRETO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO EM TEMPO
REAL PARA DETECÇÃO PRECOCE DE CIANOBACTÉRIAS - FASE I**

Teresina, PI

2025



Davi Ferreira Valente
João Pedro Viana Cardoso
João Vitor Pádua Oliveira Rodrigues

Abraão Lima Sousa
Victor Eduardo Alves da Silva Carvalho

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO EM TEMPO
REAL PARA DETECÇÃO PRECOCE DE CIANOBACTÉRIAS - FASE I**

Relatório apresentado à 9ª FEMIC - Feira
Mineira de Iniciação Científica.

Orientação do Prof. Abraão Lima Sousa e
coorientação de Victor Carvalho.

Teresina, PI

2025



RESUMO

A proliferação de cianobactérias em corpos d'água urbanos é um grave problema ambiental e de saúde pública. Em Teresina, Piauí, a Lagoa do Parque da Cidadania foi interditada devido à contaminação por estes microrganismos, que podem produzir cianotoxinas nocivas a humanos e animais, além de causar alterações na biodiversidade, afetar a qualidade da água, se tornando um grave problema de saúde pública. Este cenário evidencia a necessidade urgente de ferramentas de vigilância contínua. Por isso este projeto tem como objetivo desenvolver um protótipo de estação de monitoramento da qualidade da água de baixo custo, capaz de detectar em tempo real as condições favoráveis à proliferação de cianobactérias nas lagoas e rios, visando a criação de um sistema de alerta precoce. A metodologia consiste no levantamento dos parâmetros-chave para o monitoramento; na construção de um protótipo com sensores integrados a um ESP 32; na implementação de um sistema para a transmissão das informações a um servidor *off-line* criado com o ESP 32 e na validação dos dados em campo. Como resultados, o protótipo da estação de monitoramento está concluído e sua primeira versão está em fase de testes. O sistema é capaz de coletar e transmitir dados relacionados à qualidade da água em tempo real, armazenar essas informações em um SD card e criar um servidor local que se conecta através do Wi-Fi. Essa conectividade permite que os resultados sejam visualizados em um dashboard e que as funcionalidades do sistema sejam controladas remotamente a partir de qualquer smartphone com conexão Wi-Fi e navegador web. Conclui-se que este projeto apresenta uma solução tecnológica viável e de grande relevância, com potencial para se tornar uma ferramenta de gestão ambiental para as autoridades, contribuindo para a proteção da saúde da população, ao garantir a qualidade da água em rios e lagos de todo o Brasil.

Palavras-chave: Monitoramento, Qualidade da Água, Cianobactérias



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 JUSTIFICATIVA	9
3 OBJETIVO GERAL	12
4 METODOLOGIA	13
5 RESULTADOS OBTIDOS	29
6 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34
ANEXO	39

1. INTRODUÇÃO

As cianobactérias estão presentes em ecossistemas naturais desde a Era Pré-Cambriana, há cerca de 2 bilhões de anos (Wilmotte, 1994), e a produção de cianotoxinas é provavelmente uma característica igualmente antiga (Rantala et al., 2004). A contaminação ambiental das águas é uma das maiores preocupações da sociedade nos últimos anos. A expansão das cidades devido ao aumento da população mundial, o despejo irregular de efluentes sem tratamento e mudanças climáticas são uma das principais causas. (Cianobactérias de água doce e saúde pública: uma revisão, Danilo Barbosa Siqueira, 2005).

Um fenômeno natural impactado por esses eventos é a eutrofização, que consiste no enriquecimento excessivo da água por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, provenientes da poluição oriundas do esgoto e efluentes sem tratamento. Essa abundância de nutrientes cria as condições ideais para a proliferação descontrolada de microrganismos, com especial destaque para as cianobactérias. A eutrofização é um dos principais fatores responsáveis pela redução da qualidade das águas naturais; trata-se de fenômeno de grande repercussão e debate pelo fato de ser gerado, em grande parte, por resíduos oriundos de atividades humanas.

Figura 1 – Rio Poty infestado de aguapés(*Eichhornia crassipes*) em Teresina-PI



Fonte: CIDADEVERDE (2023).

Cianobactérias são micro-organismos procarióticos fotossintéticos (bactérias Gram-negativas) amplamente distribuídos em ambientes aquáticos e terrestres, capazes de formar florações sob condições favoráveis. Embora a presença de cianobactérias seja normal na natureza e comum no ecossistema aquático, o enriquecimento excessivo de nutrientes causado pela eutrofização cria condições que favorecem o crescimento descontrolado. (SCHMELLING, 2024).

Figura 2 – Lagoa do Parque da Cidadania em Teresina-PI contaminada por cianobactérias.



Fonte: CIDADEVERDE (2023).

Essas florações são frequentemente episódicas e podem evoluir muito rápido, tornando o monitoramento esporádico insuficiente. Por isso, é necessária vigilância contínua e integrada de dados que permitem a detecção precoce, para soluções preditivas e uma resposta rápida, complementando ferramentas espaciais e modelos regionais. (ALMUHTARAM et al, 2021).

Os desafios práticos mais significativos no monitoramento das cianobactérias e suas cianotoxinas estão ligados à dinâmica limnológica dos corpos d'água. A limnologia, ciência que estuda as características físicas, químicas e biológicas de ambientes aquáticos interiores, revela que a distribuição e a abundância desses micro-organismos são altamente variáveis e dependem de complexas interações ambientais. Essa natureza dinâmica e heterogênea torna os métodos de monitoramento tradicionais, embora fundamentais, insuficientes para garantir uma resposta rápida e eficaz. Alguns dos principais desafios são:



1. Atraso na Detecção: As análises laboratoriais padrão, como a contagem microscópica ou a quantificação de clorofila- α por espectrofotometria, são cruciais, mas inerentemente lentas. Elas fornecem resultados com um atraso de horas ou dias após a coleta, um tempo que pode ser crítico, visto que as florações de cianobactérias podem evoluir muito rapidamente.
2. Heterogeneidade Espacial: A distribuição das cianobactérias na maioria dos corpos d'água é altamente heterogênea, com a abundância variando substancialmente em escalas espaciais estreitas, tanto horizontal quanto verticalmente. Por exemplo, as concentrações de cianotoxinas em espumas superficiais (o 'bloom' ou floração) podem atingir a faixa de mg/L, mas podem não ser detectadas em amostras médias integradas, subestimando o risco real.
3. Barreiras de Custo e Capacidade: O monitoramento contínuo das cianotoxinas exige investimento significativo em equipamentos avançados (como LC-MS/MS para análise detalhada), pessoal treinado e reagentes caros. Essa necessidade representa uma barreira econômica e de capacidade para muitos sistemas de abastecimento e órgãos ambientais, especialmente aqueles com recursos limitados.

Portanto, a relevância deste estudo reside na urgência de transicionar de uma abordagem reativa para uma preditiva. É imperativo desenvolver e implementar sistemas de vigilância que permitam a detecção precoce, complementando as ferramentas espaciais e os modelos regionais com dados contínuos e em tempo real. Isso permitirá uma gestão mais eficiente da qualidade da água e uma resposta mais rápida para mitigar os riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

No tocante aos rios, é possível exemplificar a cidade de Teresina no Estado do Piauí (Brasil) que é circundada por dois rios, Parnaíba e o Poti, estes são alvo de descarte irregular de efluentes, com destaque para esgotos lançados diretamente no leito do rio sem tratamento prévio, em especial o rio Poti. Diante do cenário atual com elevados níveis de poluição em corpos d'água de nossa região, é possível observar uma drástica alteração no rio.

De acordo com Damasceno et al (2008, p.1):



“observam-se impactos no manancial, tais como, acúmulo de lixo nas margens, bancos de areia, solos expostos, degradação da mata ciliar, vazantes, dragagem de minérios, erosão e assoreamento, em vários trechos. Verificaram-se valores fora do limite recomendado pelo CONAMA para o OD, NH₃ e CF, causando preocupação ao equilíbrio aquático, em função do intenso lançamento de efluentes domésticos na região“.

A proliferação de cianobactérias em corpos d'água urbanos representa um crescente problema ambiental e de saúde pública. Este cenário tornou-se uma realidade em Teresina, Piauí, com a recente interdição da Lagoa do Parque da Cidadania devido à contaminação por estes microrganismos. A principal problemática reside na capacidade das cianobactérias de produzir cianotoxinas, substâncias com potencial de causar graves danos à saúde de humanos e animais expostos à água. Este fenômeno, frequentemente impulsionado pela eutrofização e altas temperaturas (CRUZ et al., 2019), evidencia a necessidade urgente de ferramentas de vigilância contínua. A falta de sistemas de monitoramento acessíveis e em tempo real dificulta a prevenção e a tomada de decisões rápidas pelas autoridades (CRUZ et al., 2019). Assim, este projeto é motivado pela necessidade de criar uma solução tecnológica para este problema local.

2. JUSTIFICATIVA

A água é um recurso natural essencial para a existência da vida, bem como para o desenvolvimento da sociedade e do acondicionamento dos diferentes ecossistemas (Alves, 2018). Tendo em vista os desastres ambientais ocorridos e a crescente poluição de corpos d'água, se faz necessário a implementação de um sistema que possibilite o monitoramento de rios e lagos. Muitas das problemáticas ambientais estão relacionadas a contaminação de ambientes aquáticos, afetando toda cadeia alimentar.

A cidade de Teresina no estado do Piauí(Brasil) é circundada por dois rios, Parnaíba e o Poti, estes são alvo de descarte irregular de efluentes, com destaque para esgotos lançados diretamente no leito do rio sem tratamento prévio, em especial o rio Poti. Diante do cenário atual com elevados níveis de poluição em corpos d'água de nossa região, é possível observar uma drástica alteração no rio.

Não apenas as águas do rio Poti estão poluídas, mas do Nordeste todo, segundo Silva (2019) as pesquisas realizadas evidenciam a influência antrópica na qualidade da água dos rios e reservatórios avaliados, e servem como subsídio para o desenvolvimento de pesquisas na gestão dos ecossistemas hídricos do nordeste brasileiro.

Figura 3 – Aguapés do Rio Poti em Teresina-PI sendo removidos .



Aguapés são retirados do rio Poti

Fonte: (LUCAS, 2023).



.Os fatos apresentados motivaram o desenvolvimento deste projeto, um dispositivo/equipamento capaz de efetuar análises físico-químicas em diferentes pontos de corpos d'água. O pH (Potencial Hidrogeniônico), a turbidez, TDS(Total Dissolved Solids) e a temperatura são parâmetros de suma importância para qualificar se a água é segura para consumo humano, essas variáveis também compõe o cálculo do IQA (Índice de Qualidade da Água) de Horton. O IQA de de Horton se caracteriza por ser uma metodologia para avaliar a qualidade da água, a partir da medição de suas características físicas, químicas e biológicas, classificando-as a partir de parâmetros de qualidade estabelecidos (SILVA et all, 1998).

Considerando as variáveis propostas pelo projeto, tem-se por definição que, o pH "consiste na medida da concentração de íons H^+ na água, sendo na prática mensurado através de kits colorimétricos ou peagômetros digitais. A sua medida se dá em uma escala que varia de 0 a 14, de modo que o pH igual a 7 corresponde ao neutro"(Santos, 2018, p.2). No tocante ao Teor de Sólidos dissolvidos (TDS), é possível definir esse parâmetro como sendo a quantidade de resíduos sólidos presentes na água, que muitas vezes são substâncias orgânicas provenientes de fontes naturais do próprio curso do rio e de suas margens(DE ALMEIDA, 2019).

No que diz respeito ao oxigênio dissolvido temos que " O_2 oxigênio na água, cuja unidade é mg/L, pode provir de duas fontes: endógena e exógena."(Vieira, 2019, p.1). Além de reduzir a necessidade de equipes de monitoramento nos rios, visto que o protótipo realiza essa tarefa de uma forma autônoma, barata e com monitoramento 24h, possibilitando uma identificação mais rápida de contaminações.

A eutrofização é um dos principais fatores responsáveis pela redução da qualidade das águas naturais; trata-se do fenômeno de aumento exacerbado de nutrientes nos corpos d'água, desencadeando um rápido crescimento de algas e plantas aquáticas. Essa eutrofização artificial produz mudanças nas qualidades da água, incluindo: a redução de oxigênio dissolvido, perda das qualidades cênicas, aumento do custo de tratamento, morte extensiva de peixes e aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias (AZEVEDO,1998).

Em ambientes eutrofizados, as cianobactérias podem proliferar de maneira exacerbada devido ao aumento dos níveis de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo (CHORUS et al., 2000). Portanto, é razoável afirmar que analisando a



eutrofização de corpos d'água estaremos estudando também a aparição de cianobactérias. Essas bactérias são capazes de realizar fotossíntese e podem formar grandes colônias, muitas vezes visíveis na superfície da água (LIMA,2024). Tendo em vista as características das cianobactérias é possível observar como resultado de sua proliferação desordenada, a produção de cianotoxinas, como produto de sua fotossíntese, se dividendo em:

- anatoxinas: Atuam nas vendas simpática musculares inibindo o relaxamento gerando paralisia
- microcistinas: Interferem na ação enzimática de células do fígado (problemas hepáticos)

1) Causam problemas econômicos: Altos custo de tratamento de água, de saúde pública; perdas na produção agrícola e piscicultura dentre outros

2) Problemas sociais: calamidade de saúde pública, falta de segurança hídrica na falta de acesso de água potável, aumento de mortes

Portanto, é necessário analisar se é possível detectar a aparição deste tipo de bactéria(ou de suas toxinas) através de alterações nos parâmetros da água. Além de outras questões a respeito da má qualidade da água, ou que possam favorecer a transmissão de doenças.



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste projeto está direcionado à detecção da proliferação de cianobactérias e outras questões relacionadas à qualidade da água. Visto que não existem sistemas constantes e periódicos responsáveis por fiscalizar os corpos d'água, além disso, são seres de proliferação rápida, produzem compostos altamente tóxicos aos seres vivos (como as cianotoxinas) além de poderem gerar consequências altamente danosas à sociedade.

Portanto, pretendemos produzir uma estação de tratamento de água de baixo custo com eficiência semelhante às de nível comercial. Com a finalidade de ser acessível atingindo públicos variados, possibilitando o amplo estudo de corpos hídricos e prevenção de situações de risco público.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um estudo a respeito de análise de parâmetros da água e sua correlação com a qualidade da água.
- Desenvolver um modelo didático com foco na replicação deste protótipo em outras pesquisas científicas posteriores.
- Construir um protótipo de baixo custo de uma estação de monitoramento de parâmetros físico-químicos da água.
- Validar a precisão e a eficácia do protótipo por meio de testes de calibração em tempo real, permitindo a análise remota e a criação de um sistema de alerta.
- Implementar testes da versão final do protótipo para a transmissão dos dados coletados.

4 METODOLOGIA

4.1 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO

Para criar uma solução que atinja os objetivos propostos, realizou-se o levantamento dos principais meios de monitoramento da qualidade da água. Cada metodologia investigada foi descrita, apontando as vantagens e desvantagens de cada um.

4.1.1 ANÁLISES LABORATORIAIS TRADICIONAIS

Este método se baseia na coleta de amostras de água e no posterior exame em laboratório. Através dele, é possível identificar na amostra pré-disposição a cianobactérias e proliferação. Algumas das métricas da análise de cianobactérias são contagem celular ou medição da clorofila A, dentre outros pigmentos, como a ficocianina. O ponto forte deste método é a confiabilidade e a precisão dos resultados. Porém, como desvantagens, o processo da análise é lento e caro, exigindo equipamentos profissionais e mão de obra qualificada para extração das amostras.

Figura 4 – Coleta da água para análise laboratorial



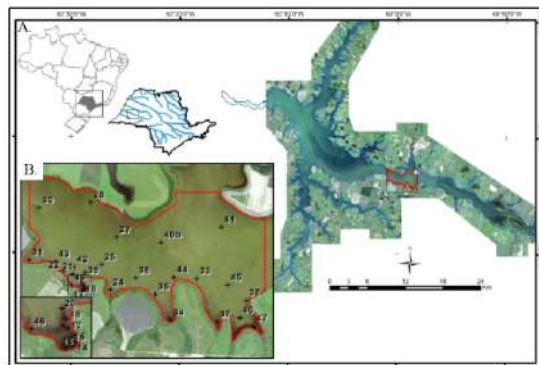
Fonte: Análise de Água RJ(2025).

4.1.2 SENSORIAMENTO REMOTO POR SATÉLITE

O método utiliza a tecnologia de satélites para coletar imagens da superfície da água. Ele se baseia na resposta espectral da água, ou seja, na forma como a água reflete a luz em diferentes comprimentos de onda, a qual é modificada pela presença de organismos fotossintetizantes. O ponto forte deste método é o seu alcance, com ele é

possível analisar grandes áreas com um custo baixo. Porém, como desvantagens, o método tem dependência do clima para a obtenção de uma boa qualidade de imagem por satélite, e quase sempre é necessária uma análise presencial para confirmação.

Figura 5 – Composição colorida de imagem de satélite para análise



Fonte: Cicerelli(2025).

4.1.3 EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO COMERCIAIS

Este método envolve o uso de sondas e boias com sensores instalados diretamente na água. Os sensores monitoram parâmetros físico-químicos da água como temperatura, pH e oxigênio dissolvido, que influenciam diretamente no crescimento de cianobactérias. Eles são projetados para realizar medições contínuas e autônomas. A maior vantagem desse método é a velocidade dos resultados. Os sensores fornecem dados em tempo real, permitindo acompanhar mudanças rápidas. Já as desvantagens, o método exige um investimento inicial alto e custos de manutenção constantes.

Figura 6 – Sonda de monitoramento aquático



Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA(2025).

Das soluções já existentes, destaca-se a Boia YARA, desenvolvido no âmbito do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL. Ele consistiu no desenvolvimento de uma boia instrumentada e autônoma para monitoramento da qualidade da água e parâmetros meteorológicos em reservatórios. O sistema se destaca por sua inovação, incorporando sensores inteligentes e alimentado por energia solar, permitindo medições contínuas de parâmetros físico-químicos em tempo real. Ele foi a solução que demonstrou mais eficiência para monitoramento ambiental contínuo e preciso.

Figura 7 – Estação de monitoramento flutuante – YARA



Fonte: CERTI(2025).

4.1.4 CONCLUSÃO DA ANÁLISE DAS SOLUÇÕES ATUAIS

Ao comparar os pontos positivos e negativos das alternativas existentes, observou que as análises laboratoriais são lentas, o monitoramento por satélite é limitado, por outro lado, as soluções comerciais para monitoramento remoto dos parâmetros físico-químicos com sensores possuem um custo elevado. A conclusão da análise indica que o projeto deve seguir a metodologia similar ao da Boia YARA, pois assim é possível atingir os objetivos de monitoramento contínuo, operação autônoma, com foco em baixo custo e portabilidade.

4.2 REQUISITOS DA SOLUÇÃO

Os requisitos funcionais e não funcionais são:

1. Possuir um baixo custo para desenvolver e fácil manutenção.
2. Permitir monitoramento contínuo por determinado período de tempo.
3. Permitir monitoramento instantâneo.
4. Ser autônomo, operacional e energeticamente.
5. Ser Compacto para facilitar o transporte.
6. Versátil para possibilitar uso em diferentes corpos d'água.

4.3 DESENVOLVIMENTO DA INFRA ESTRUTURA ELETRÔNICA

Optou-se por sensores de baixo custo que têm importância para analisar as características da água e, através de seus parâmetros, detectar a presença de cianobactérias de forma direta e indiretamente:

- Temperatura: DS18B20 à prova d'água;

Figura 8 – Sensor temperatura DS18B20.



Fonte: Eletrogate(2025).

Justificativa: A temperatura é um fator crítico para a proliferação de cianobactérias, que se desenvolvem melhor em temperaturas mais altas (Fonseca, 2012). A temperatura ideal para o crescimento de cianobactérias está em torno de 30-35 °C, faixa térmica que ocorre comumente em Teresina durante o ano todo.

- TDS: TDS Meter V1.0;

Figura 9 – Sensor TDS Meter V1.0



Fonte: Keyestudio

Justificativa: O sensor mede a concentração total de substâncias inorgânicas e orgânicas dissolvidas na água. Um aumento no nível de TDS pode indicar aumento de nutrientes, matéria orgânica e condutividade elétrica. Indicando indiretamente um ambiente mais propício à presença de cianobactérias. (SANTOS, 2022).

- Sensor de turbidez ST100+Módulo de leitura;

Figura 10 – Sensor de turbidez.



Fonte: Hperobotica(2025)

Justificativa: O sensor de turbidez tem como princípio de funcionamento a medição de um feixe de radiação infravermelha, ele funciona como um fotointerruptor, com um diodo emissor de infravermelho (luz) e um fototransistor (receptor) dispostos lado a lado. Ele detecta a interrupção (parcial ou completa) do feixe de luz infravermelha por um objeto, fazendo o fototransistor deixar de receber a luz e mudar seu estado elétrico. Este módulo consiste em um sensor ITR9606 disposto dentro de uma case de plástico transparente, é equipado com um módulo eletrônico que permite ajustes na saída. A floração de cianobactérias aumenta a quantidade de material biológico na água, reduz a penetração da luz solar, fazendo com que a turbidez aumente significativamente. (Rosa, 2010). Neste caso foi realizado uma calibração no sensor para obter maior precisão nas medições.

- Sensor de Ph: PH-4502C;

Figura 11 – Sensor de pH modelo PH-4502.



Fonte: Usinainfo(2025).

Justificativa: O pH da água, que indica seu nível de acidez ou alcalinidade, influencia diretamente o crescimento e o comportamento das cianobactérias. Durante uma floração intensa, o próprio processo de fotossíntese dos organismos causa uma elevação ainda maior do pH (BRITO, 2017).

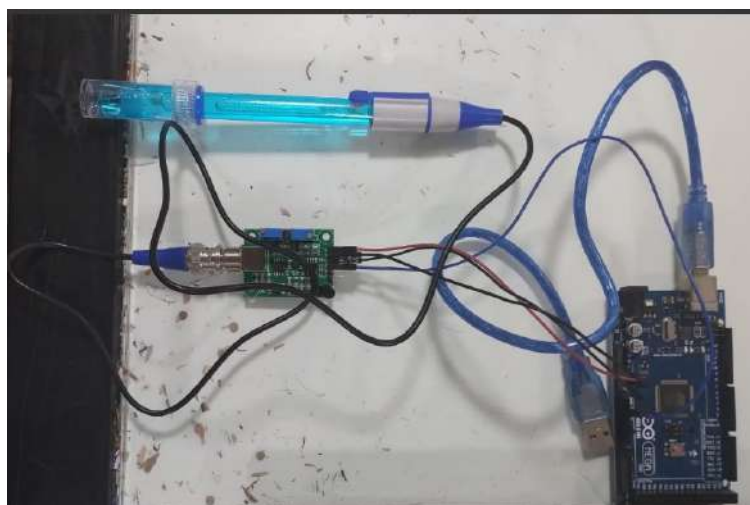
Após a definição e aquisição dos sensores, o processo de desenvolvimento do sistema foi dividido em duas fases. A fase inicial consistiu no uso do Arduino Uno e Arduino Mega para testes e calibração dos sensores em linguagem Arduino, garantindo a verificação e o ajuste necessários dos módulos.

Figura 12 – Programação dos sensores no Arduino



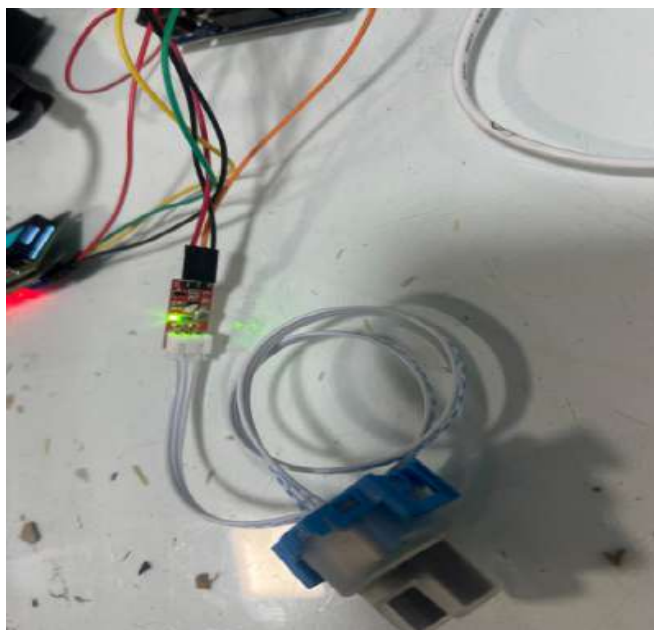
Fonte: Próprio Autor(2025).

Figura 13 – Testes do sensor de Ph no Arduino Mega



Fonte: Próprio Autor(2025).

Figura 14 – Testes do sensor de turbidez no Arduino Uno.



Fonte: Próprio Autor(2025).

Logo abaixo é possível verificar a Tabela 1, trazendo informações a respeito dos preços dos sensores utilizados na construção do protótipo.

Tabela 1 – Preço comercial dos sensores utilizados no projeto.

Dispositivo	Quantidade	Custo
Sensor Turbidez ST100 + módulo	1	~R\$ 104,12
Sensor pH modelo PH-4502c + Módulo ADS1115	1	~R\$ 251,41
Sensor de Temperatura a prova de água DS18B20	1	~R\$ 13,90
Sensor TDS Meter v 1.0 + módulo	1	~R\$ 92,46
Placa Fenolite Perfurada 7x9cm	1	~R\$ 4,90
Barra de pinos fêmea 1x40 - 180°	1	~R\$ 2,90
Microcontrolador ESP32	1	~R\$ 20,00
VALOR TOTAL		~R\$ 499,69

Fonte: Próprio Autor(2025).



Todos os sensores foram testados e calibrados, em seguida, procedeu-se à seleção do microcontrolador usado no projeto, foram analisados a melhor relação custo–desempenho entre Arduino Mega, NodeMCU e ESP32:

Tabela 2 – Comparação entre microcontroladores.

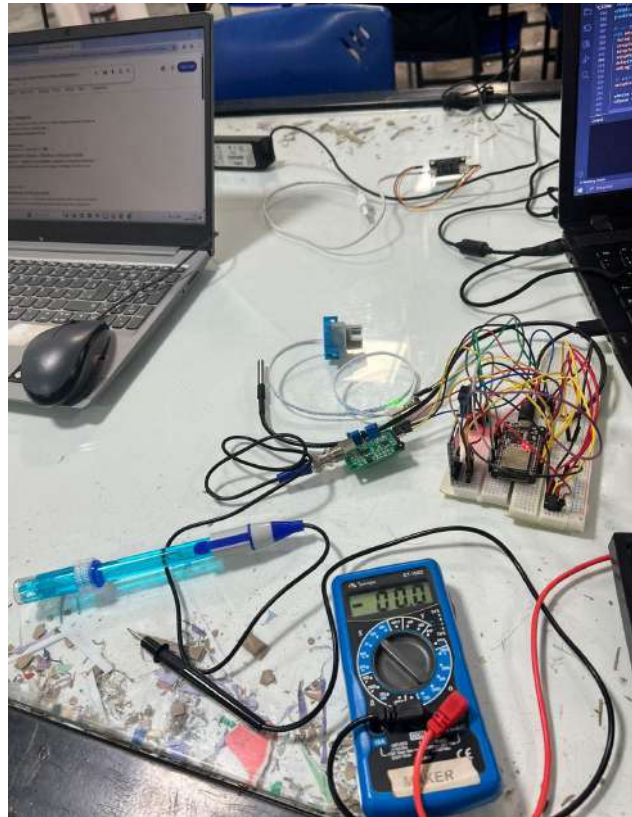
Placa	CPU	Conectividade	Portas	Memória	Custo
Arduino Mega	AVR 8-bit @ 16 MHz	Necessário módulo Wi-Fi	ADC 10-bit; muitos GPIOs	8 KB SRAM	~R\$90,00
NodeMCU (ESP8266)	32-bit @ 80–160 MHz	Wi-Fi	1 ADC; poucos GPIOs	50 KB	~R\$20,00
ESP32	Dual-core 32-bit @ 240 MHz	Wi-Fi + BLE	Vários ADCs; mais GPIOs; SPI/I2C/UART	300 KB	~R\$20,00

Fonte: Próprio Autor(2025).

O ESP 32, quando comparado ao Arduino Mega e ao NodeMCU, mostrou-se superior em todos os requisitos técnicos, apresentando conectividade Wi-Fi nativa e maior poder de processamento. Além disso, revelou ser o microcontrolador com o melhor custo-benefício. Por isso, optou-se pelo uso do ESP 32 mantendo a programação na IDE Arduino. Em seguida, os sensores pH (PH-4502C), turbidez, temperatura (DS18B20) e TDS (TDS Meter V1.0) foram validados em testes simultâneos, além de calibrados.

Após a validação dos quatro sensores, procedeu-se ao desenvolvimento de uma aplicação web no próprio microcontrolador, operando em modo offline via ponto de acesso Wi-Fi local. O servidor web tem como objetivo prover visualização em tempo real, dessa forma o ESP 32 é usado para hospedar um dashboard responsivo acessível a partir de dispositivos móveis. Ele pode ser acessado através do endereço IP pré-definido “192.168.4.1”.

Figura 15 – Testes dos quatro sensores no ESP 32.



Fonte: Próprio Autor(2025).

Figura 16 – Dashboard do ESP 32 exibindo valores dos sensores.

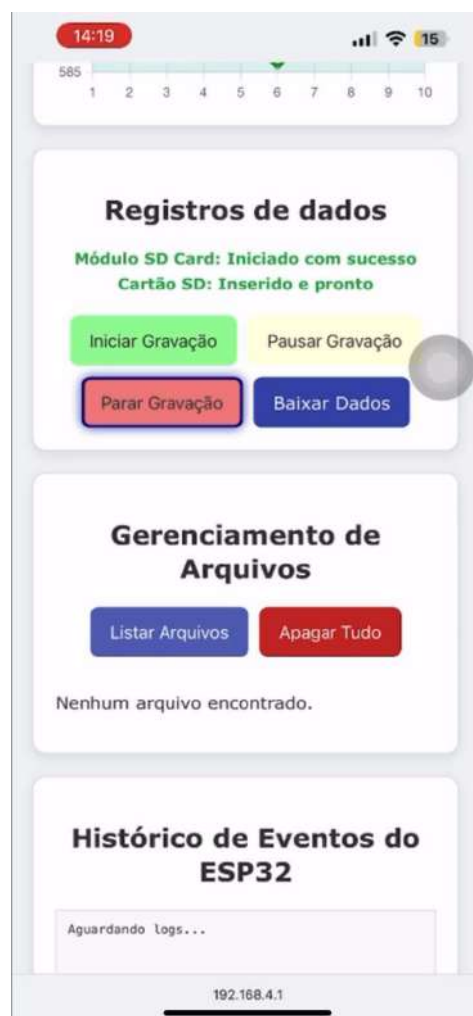


Fonte: Próprio Autor(2025).



O próximo passo foi integrar uma importante funcionalidade: gravar os dados para análise. Para isso utilizamos um módulo SD card para ser a memória do sistema, enquanto o módulo RTC foi responsável de garantir o registro confiável de data e hora das leituras. O código do ESP 32 foi ajustado para essa nova melhoria, e ele é capaz de gravar os dados dos quatro sensores localmente no SD card em formato CSV com timestamp com data e hora fornecidos pelo RTC.

Figura 17 – Dashboard do ESP 32 exibindo a funcionalidade de gravar dados.



Fonte: Próprio Autor(2025).

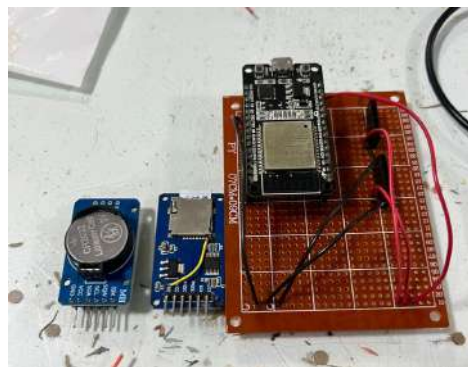
Após testes e validações, o circuito foi consolidado em placa ilhada, visando maior robustez mecânica.

Figura 18– Início da soldagem do ESP 32, RTC e Módulo SD card.



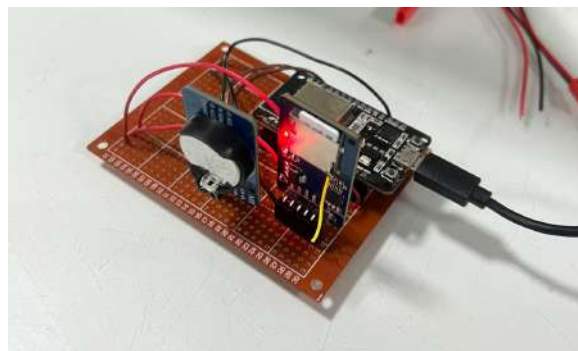
Fonte: Próprio Autor(2025).

Figura 19 – Soldagem do ESP 32 na placa perfurada.



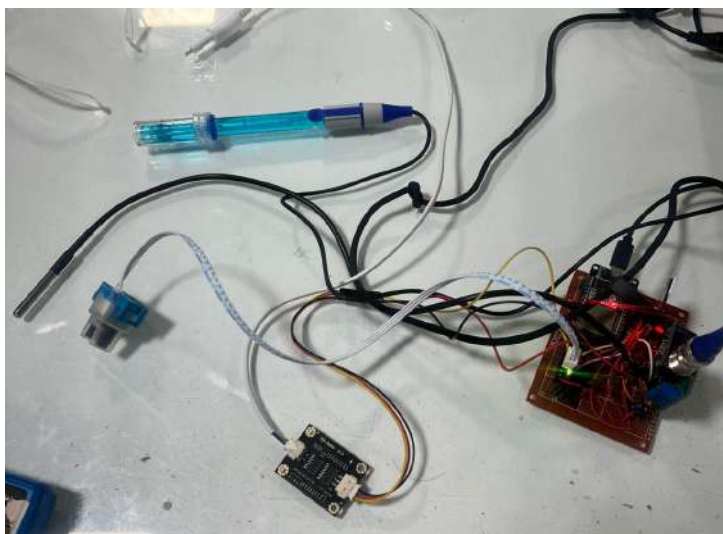
Fonte: Próprio Autor(2025).

Figura 20 – Módulos RTC, SD card e ESP 32 devidamente soldados na placa perfurada.



Fonte: Próprio Autor(2025).

Figura 21 – Protótipo com todos os módulos e sensores soldado na placa ilhada.

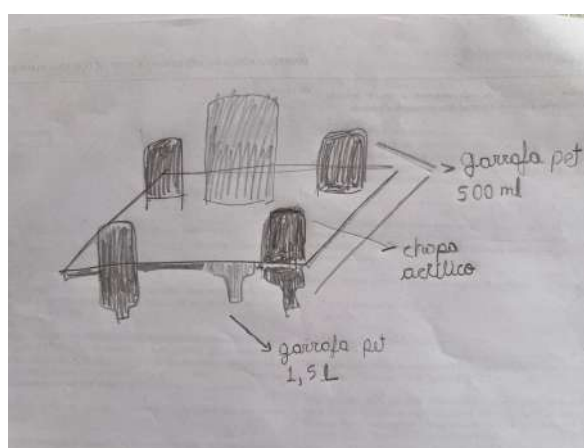


Fonte: Próprio Autor(2025).

4.4 DESENVOLVIMENTO DO FLUTUADOR BOIA

Para a idealização do protótipo do flutuador, foi realizado um esboço à mão de baixa fidelidade. Este desenho simples foca na modelagem estrutural do protótipo físico e tem como objetivo principal viabilizar os testes internos dos sensores.

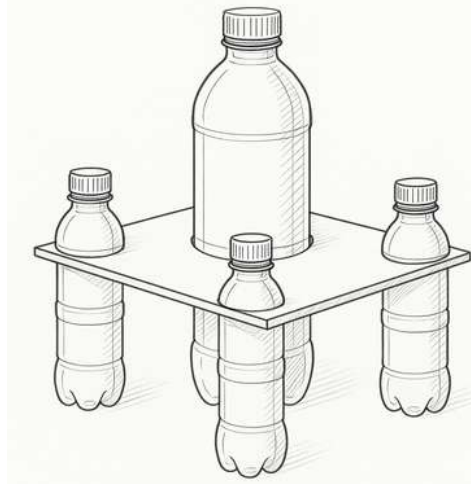
Figura 22 – Desenho de baixa fidelidade do flutuador com boias.



Fonte: Próprio Autor(2025).

Em seguida, o desenho foi enviado a uma inteligência artificial “lovart AI” para melhor design e desenvolvimento da ideia da boia.

Figura 23 – Protótipo de baixa fidelidade melhorado pelo Lovart AI.



Fonte: Próprio Autor(2025).

Com base no modelo melhorado a partir do rascunho do desenho, iniciou-se a construção desse primeiro protótipo. Recortou a placa acrílica em círculos nos quatro cantos para as garrafas de 500ml responsáveis por flutuar a boia e no centro a garrafa de 1,5L responsável por armazenar a parte eletrônica.

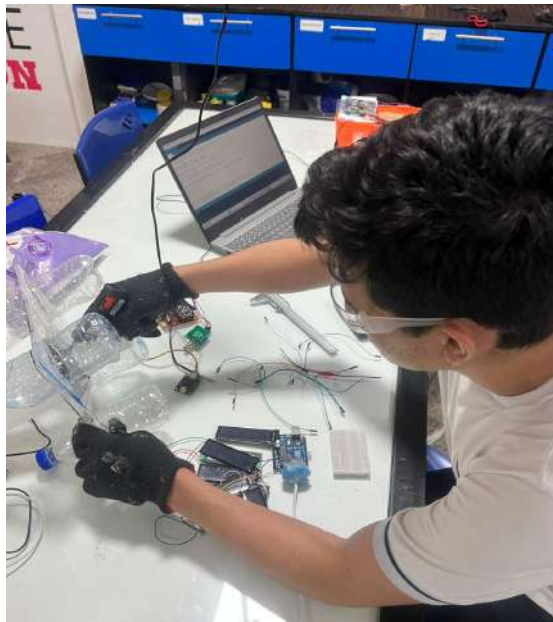
Figura 24 – Placa de acrílico recortada sendo colada a garrafa central de 1,5L.



Fonte: Próprio Autor(2025).

As garrafas PET de 1,5L e 500ml foram coladas na placa de acrílico com cola quente e silicone.

Figura 25 – Colagem das quatro garrafas de 500ml nas extremidades da estrutura.



Fonte: Próprio Autor(2025).

A garrafa central foi cortada para inserir a parte eletrônica, de modo que o ESP 32 e módulos fiquem na parte interna e sensores na parte externa.

Figura 26 – Ajustes da parte eletrônica dentro da garrafa central.



Fonte: Próprio Autor(2025).

Os sensores foram posicionados no fundo da garrafa central que têm contato com a água e isolador para proteger a parte eletrônica.

Figura 27 – Isolamento da parte eletrônica na garrafa central.



Fonte: Próprio Autor(2025).

Para a alimentação do circuito foi utilizado um power bank de 10.000mAh completamente carregado, o que nos proporciona um funcionamento de 4h ininterruptas.

A primeira versão do protótipo físico foi concluída, ela visa somente testes internos dos sensores e das funcionalidades programadas no ESP 32 como gravar os dados. A segunda versão mais robusta com canos PVC está em desenvolvimento para os testes em lagos e rios.



5 RESULTADOS OBTIDOS

A fase de pesquisa bibliográfica foi finalizada com sucesso. Nela, foram definidos os parâmetros a serem monitorados (pH, temperatura, TDS e turbidez) e todos os componentes eletrônicos foram selecionados de acordo com as características relevantes de cada um.

Atualmente, o protótipo da estação de monitoramento está em sua primeira versão. O sistema é capaz de coletar e transmitir dados relacionados a qualidade da água em tempo real, armazenar essas informações em um SD card e criar um servidor local que se conecta através do Wi-Fi. Essa conectividade permite que os resultados sejam visualizados em um dashboard e que as funcionalidades do sistema sejam controladas remotamente a partir de qualquer smartphone com conexão Wi-Fi e navegador web.

Antes dos testes fizemos a calibração dos sensores através dos seguintes métodos:

- pH: O sensor de pH foi calibrado utilizando-se soluções padrão aquosas (Soluções tampão) de pH conhecido, sendo o valor de pH de cada solução: 4,0, 7,0 e 10,00, em um ambiente com temperatura controlada em 25 °C.

Figura 28 – Soluções tampão de pH 4,0, 7,0 e 10,00.



Fonte: Próprio Autor(2025).

- Temperatura: A calibração do sensor de temperatura foi realizada por comparação direta com um termômetro de referência.
- Sensores de TDS e TSS (Turbidez): Estes sensores já foram calibrados de fábrica e fornecem valores dentro da faixa de expectativa para as amostras testadas.

Durante o processo de calibração do sensor de pH, o ESP 32 revelou uma limitação na leitura simultânea dos quatro sensores. O sensor de TDS influenciou os valores medidos pelo sensor de pH e vice e versa. A solução encontrada, foi aplicar um atraso de 20 segundos entre as leituras dos sensores de pH e TDS, ligando e desligando esses sensores alternadamente(quando o sensor de pH estava ligado o de TDS estava desligado e vice e versa). Essa abordagem apresentou o valor da medição do pH mais próximo ao valor da calibração. No entanto, ainda há uma margem de erro aproximada de 0,5 para o pH e 30ppm para o TDS.

O primeiro protótipo foi calibrado, e levado para testes em ambiente controlado(dentro da piscina da escola).

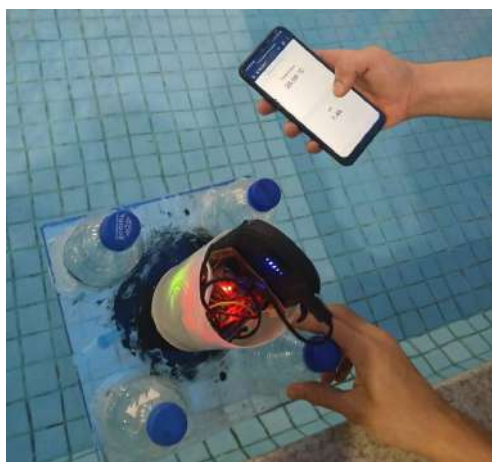
Figura 29 – Estudantes levando o primeiro protótipo para testes.



Fonte: Próprio (2025).

O ESP 32 criou com sucesso a rede Wi-Fi chamada “estação_monitoramento”, ao conectar com a senha provisória “12345678” é possível acessar o servidor criado pelo ESP 32. Os dados do dashboard são acessados no endereço IP “192.168.4.1”, onde constatou que os 4 sensores estavam enviando em tempo real os dados lidos diretamente ao celular do usuário.

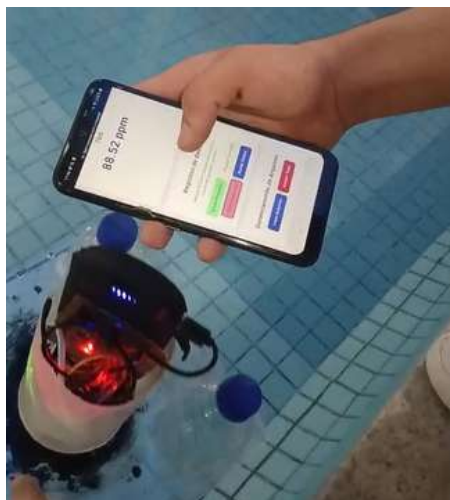
Figura 30 – Testes se os valores estavam sendo enviados ao dashboard do celular.



Fonte: Próprio Autor(2025).

Os testes também validaram a funcionalidade de “gravar”, “pausar gravação” e “para gravação”.

Figura 31 – Testes da funcionalidade de gravar dados no dashboard do celular.

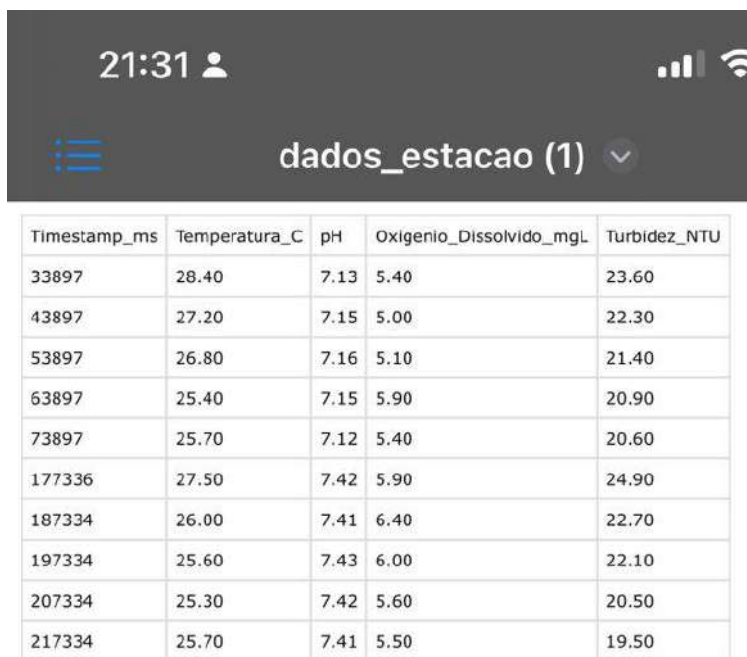


Fonte: Próprio Autor(2025).



A funcionalidade de gravação de dados foi executada com sucesso, os dados são salvos em CSV no cartão SD que está no módulo SD card, e os dados da leitura são organizados em tabelas informando os valores de todos os quatro sensores, hora e data do registro.

Figura 32 – Dados gravados tabulados em CSV.



Timestamp_ms	Temperatura_C	pH	Oxigenio_Dissolvido_mgL	Turbidez_NTU
33897	28.40	7.13	5.40	23.60
43897	27.20	7.15	5.00	22.30
53897	26.80	7.16	5.10	21.40
63897	25.40	7.15	5.90	20.90
73897	25.70	7.12	5.40	20.60
177336	27.50	7.42	5.90	24.90
187334	26.00	7.41	6.40	22.70
197334	25.60	7.43	6.00	22.10
207334	25.30	7.42	5.60	20.50
217334	25.70	7.41	5.50	19.50

Fonte: Próprio Autor(2025).

Os resultados observados validam a capacidade do projeto como uma ferramenta eficaz para a vigilância ambiental.



6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões deste projeto evidenciam a eficácia da Robótica educacional na criação de soluções acessíveis, sustentáveis e significativas para monitorar parâmetros físico-químicos da água. Na constituição do projeto, objetivou-se desenvolver um flutuador com sistema autônomo de monitoramento de água e detecção de contaminação por cianobactérias, com o propósito de contribuir para o tratamento e preservação desse recurso natural essencial. O equipamento foi projetado para mensurar 4(quatro) variáveis cruciais: o pH (potencial hidrogeniônico) o índice de turbidez em NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez), o TDS(Total Dissolved Solids) e a temperatura. A partir das medições desses parâmetros, o sistema tem como finalidade alertar sobre problemas relacionados aos recursos hídricos, como contaminações por cianobactérias, resíduos industriais, esgotos e produtos químicos, além de fornecer informações relevantes para o usuário. É válido ressaltar ainda que esta versão visa validar o teste dos sensores no ESP 32, planeja-se encapsulamento mais robusto, com alvo de proteção IP65–IP67.

Em suma, foi obtido um protótipo robusto e funcional de estação para monitoramento de corpos d'água, representando um passo significativo em direção à melhoria da gestão e preservação dos recursos hídricos, tendo em vista que obteve resultados semelhantes aos modelos comerciais de estação de monitoramento, porém com um custo financeiro menor. As soluções encontradas contribuirão para futuras iniciativas de pesquisa e desenvolvimento. No entanto, é essencial lembrar que a pesquisa científica é um processo contínuo, sujeito a aprimoramentos e refinamentos. Salienta-se que o projeto possui a capacidade de realizar contribuições para a área e, ao compartilhar os resultados e experiências, objetiva-se a contribuição de soluções ainda mais eficazes para os desafios relacionados à água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Rede Nacional - Redes de Monitoramento**. Brasília, DF: ANA, [2025]. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/portaldpnqa/rede-nacional-rede-monitoramento.aspx>. Acesso em: 25 out. 2025.

ALMUHTARAM, H.; KIBUYE, F. A.; AJJAMPUR, S.; GLOVER, C. M.; HOFMANN, R.; GAGET, V.; OWEN, C.; WERT, E. C.; ZAMYADI, A.; et al. State of knowledge on early warning tools for cyanobacteria detection. *Ecological Indicators*, v. 133, art. 108442, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.108442.

ANÁLISE DE ÁGUA RJ. *Análise de Água em Rio de Janeiro RJ*. Análise de Água RJ, [s.d.]. Disponível em: <https://analisedeaguarj.com.br/analise-de-agua-em-rio-de-janeiro-rj/>. Acesso em: 27 out. 2025.

AZEVEDO, S. M. F. O.; VASCONCELOS, V. Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública. **Medicina on line**, v. 3, n. 1, p. 1-19, 1998.

BRITO, Maiara Tábatha da Silva. **Influência do pH e carbono inorgânico na competição entre as cianobactérias *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa***. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7566>. Acesso em: 25 out. 2025.

CICERELLI, R. E.; GALO, M. de L. B. T. Sensoriamento remoto multifonte aplicado na detecção do fitoplâncton em águas interiores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 259-265, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/cyk4mBnBrGkLzbkSQkV9FXG/?lang=pt&format=pdf#>

[:~:text=R%20E%20S%20U%20M%20O.%20Flora%C3%A7%C3%B5es,sua%20ocorr%C3%Aancia.%20Neste%20contexto%20m%C3%A9todos%20tradicionais%20de..](https://www.cidadeverde.com/noticias/123385/aguapes-diminuem-mas-poluicao-nao-baixou-no-rio-poti)

Acesso em: 25 out. 2025.

CIDADEVERDE. *Aguapés diminuem, mas poluição não baixou no rio Poti*. Cidade Verde, [S.l.], 2023. Disponível em:

<https://cidadeverde.com/noticias/123385/aguapes-diminuem-mas-poluicao-nao-baixou-no-rio-poti>. Acesso em: 19 out. 2025.

CHORUS, I., FALCONER, I. R., SALAS, H. J., & BARTRAM, J. Health risks caused by freshwater cyanobacteria in recreational waters. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical Reviews*, 3(4), 323–347, 2000.
<https://doi.org/10.1080/109374000436364>

CRUZ, Patrícia Silva; VIANA, Leandro Gomes; DE CEBALLOS, Beatriz Susana Ovruski. Reservatórios tropicais: Eutrofização e florações de cianobactérias. **Semiárido Brasileiro Volume 3**, p. 32, 2019.

DAMASCENO, Lisânea Mycheline Oliveira et al. Qualidade da água do Rio Poty para consumo humano, na região de Teresina, PI. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, v. 3, n. 3, p. 16, 2008.

DE ALMEIDA, Wadson Rodrigo Ferreira; DE SOUZA, Flavio Mendes. Análise físico-química da qualidade da água do rio Pardo no município de Cândido Sales–BA. **ID on line. Revista de psicologia**, v. 13, n. 43, p. 353-378, 2019.

ELETROGATE. **Guia completo sobre sensor de temperatura DS18B20 a prova d'água**. Eletrogate, 28 out. 2020. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-completo-sobre-sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prov-a-dagua/>. Acesso em: 25 out. 2025.



ESPRESSIF SYSTEMS. ESP-IDF Programming Guide. Disponível em:
<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

FUNDAÇÃO CERTI. **Estação de monitoramento flutuante – YARA**. [Florianópolis]:
Fundação CERTI, [2013]. Disponível em:
<https://certi.org.br/estacao-de-monitoramento-flutuante-yara/>. Acesso em: 25 out. 2025.

FONSECA, B. M. Impactos de mudanças climáticas globais sobre algas e cianobactérias. Heringeriana, Juiz de Fora, v. 6, n. 1, p. 49-51, nov. 2014. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/350237177_Impactos_de_mudancas_climaticas_globais_sobre_algas_e_cianobacterias. Acesso em: 25 out. 2025.

HPE ROBÓTICA. **Sensor de turbidez**. [S. l.]: HPE Robótica, [2025]. Disponível em:
<https://www.hperobotica.com.br/arduino/sensores-modulos-e-shield/sensor-de-turbidez>. Acesso em: 25 out. 2025.

JACINAVICIUS, F. R. Aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos e suas relações com produção de microcistinas em cepas de *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria). 2015. 329 p. Tese (Doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2015.

KEYESTUDIO. **Keyestudio TDS Meter V1.0 Board Module Water Meter Filter Measuring Water Quality for Arduino Uno R3**. [S. l.]: Keyestudio, [2025]. Disponível em:
<https://www.keyestudio.com/products/keyestudio-tds-meter-v10-board-module-water-meter-filter-measuring-water-quality-for-arduino-unor3>. Acesso em: 25 out. 2025.

LEITE, M. Y. F. Plataforma de monitoramento da qualidade da água utilizando sistemas embarcados. 2020. 47 f. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2020. Random Nerd



Tutorials. ESP32 Web Server – Arduino IDE. Disponível em:

<https://randomnerdtutorials.com/esp32-web-server-arduino-ide/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

LIMA, Maira Rodrigues; DE FRANÇA ROQUE, Beatriz; DE OLIVEIRA, Ana Cláudia Pimentel. DENSIDADE FITOPLANCTÔNICA E O IMPACTO DAS CIANOBACTÉRIAS NA QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA DE MARAPENDI, RIO DE JANEIRO, BRASIL. *Revista Contemporânea*, v. 4, n. 3, p. e3632-e3632, 2024.

LUCAS, Cintia. Poluição faz surgir aguapés no rio Poti; operação arrasta plantas para Parnaíba. *Verbo – Piauí Hoje*, Teresina, 03 out. 2023. Disponível em: <https://piauihoje.com/blogs/verbo/poluicao-faz-surgir-aguapes-no-rio-poti-operacao-arrasta-plantas-para-parnaiba-418105.html>. Acesso em: 28 out. 2025.

Rantala A, Fewer D, Hisbergues M, Rouhiainen L, Vaitomaa J, Börner T et al. (2004). Evidências filogenéticas para a evolução inicial da síntese de microcistina. *Proc Natl Acad Sci USA* . 101:568–573.

RODRIGUES, Renato. Lagoa do Parque da Cidadania é interditada após contaminação por cianobactérias. *Portal O Dia*, Teresina, 27 dez. 2024. Disponível em: <https://portalodia.com/noticias/teresina/lagoa-do-parque-da-cidadania-e-interditada-apos-bacterias-nocivas-serem-encontradas-426198.html>. Acesso em: 19 out. 2025.

ROSA, Roberto. **Controle de florações de cianobactérias através do uso de uma argila modificada para restauração de sistemas aquáticos rasos subtropicais**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Imbé, 2010. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/248640/001148904.pdf>. Acesso em: 25 out. 2025.



SANTOS, G. L. de M. et al. Capítulo 11 - Aspectos da ecotoxicidade de cianobactérias. In: POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; LÓPEZ-DOVAL, J. C. (Org.). **Aspectos da ecotoxicidade em ambientes aquáticos**. São Paulo: Instituto de Biociências, 2022. p. 164-185. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/359019547_Capitulo_11_-_Aspectos_da_ecotoxicidade_de_cianobacterias. Acesso em: 25 out. 2025.

SCHMELLING, N. M.; BROSS, M. **What is holding back cyanobacterial research and applications? A survey of the cyanobacterial research community**. *Nature Communications*, [S. l.], v. 15, n. 1, art. 6758, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-024-50828-6>. Acesso em: 25 out. 2025.

SIQUEIRA, Danilo Barbosa; OLIVEIRA-FILHO, Eduardo Cyrino. Cianobactérias de água doce e saúde pública: uma revisão. **Universitas: Ciências da Saúde (encerrada)**, v. 3, n. 1, p. 109-127, 2005.

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 out. 2025.

Wilmotte A (1994). Evolução molecular e taxonomia das cianobactérias. Em: Bryant DA, editor: *A biologia molecular das cianobactérias*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers: 1–25.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Toxic cyanobacteria in water – second edition: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. Geneva: WHO, 2021. 859 p. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/toxic-cyanobacteria-in-water---second-edition>. Acesso em: 19 out. 2025.



ANEXO 1

Anexo 1: Data Sheet do sensor de infravermelho utilizado no módulo de turbidez.



Technical Data Sheet

Opto Interrupter

ITR9606

■ Features

- Fast response time
- High analytic
- Cut-off visible wavelength $\lambda_p=940\text{nm}$
- High sensitivity
- Pb free
- The product itself will remain within RoHS compliant version.



■ Descriptions

The **ITR9606** consist of an infrared emitting diode and an NPN silicon phototransistor, encased side-by-side on converging optical axis in a black Thermoplastic

Housing The phototransistor receives radiation from the IRED only .This is the normal Situation. But when an object is in between , phototransistor could not receives the radiation. For additional component information , please refer to IR928-6C and PT928-6C

■ Applications

- Mouse Copier
- Switch Scanner
- Floppy disk driver
- Non-contact Switching
- For Direct Board

■ Device Selection Guide

Device No.	Chip Material	LENS COLOR
IR928-6C	GaAlAs	Water clear
PT928-6C	Silicon	Water clear