

EMEQ - Estação de Monitoramento de Ecossistemas Aquáticos

Leonardo Y. F. Kamiji * Lucas M. Ferreira ** Samuel S. Yokoyama ***

* Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR (e-mail: leonardokamiji@alunos.utfpr.edu.br)

** Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR (e-mail: lucasmacielferreira@alunos.utfpr.edu.br)

*** Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR (e-mail: samuelyokoyama@alunos.utfpr.edu.br)

Abstract: This article presents the design, creation and operation of the EMEQ, a floating environmental monitoring station for freshwater aquatic ecosystems. The main objective, which oriented the development of this project, was to create a low-cost and easy-to-use environmental monitoring station for research in freshwater environments, in order to evaluate water and air quality. The station was assembled after an ESP32 microcontroller, which controls water temperature, air temperature, humidity, carbon monoxide, pH, turbidity and water TDS sensors. The final structure, assembled over a base made of polystyrene and PS sheets, was put under testing at Barigui's park lake, Curitiba-PR, Brazil. The final set of collected data is available at the end of this article.

Resumo: O presente artigo aborda o projeto, criação e funcionamento da EMEQ, uma estação flutuante de monitoramento ambiental para ecossistemas aquáticos de água doce. O objetivo que orientou o desenvolvimento do projeto foi estruturar e montar uma estação de monitoramento ambiental de baixo custo para realização de pesquisas em ecossistemas de água doce, avaliando a qualidade da água e do ar. A estação foi confeccionada utilizando como base um microcontrolador ESP32, que controla sensores de temperatura e umidade do ar, nível de monóxido de carbono na atmosfera, temperatura, pH e turbidez da água, bem como a quantidade de partículas dissolvidas. A estrutura final, construída sobre uma base de isopor e chapas de plástico PS, foi colocada para testes no lago do Parque Barigui (Curitiba - PR). O conjunto de dados coletados encontra-se ao final deste artigo.

Keywords: EMEQ, environmental monitoring; Aquatic ecosystems; environmental research; sensoring; water quality; air quality

Palavras-chaves: EMEQ, Monitoramento ambiental; ecossistemas aquáticos; pesquisa ambiental; sensoriamento; qualidade da água; qualidade do ar

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com uma enorme biodiversidade, suas dimensões continentais possibilitam a coexistência de diversos biomas diferentes em solo nacional. Em meio a essa grande diversidade, destaca-se sua extensa rede fluvial que se configura como a maior do mundo. Suas ricas bacias hidrográficas são na maioria das vezes o alicerce de grandes ecossistemas aquáticos, sendo estes dependentes da qualidade da água e ar para perpetuar seu devido equilíbrio ecológico.

Diante disso, é visível a necessidade de manter um monitoramento contínuo dos parâmetros que determinam a estabilidade desses ecossistemas para que ações possam ser tomadas a fim de preservá-los. Nesse contexto surge o projeto EMEQ, uma solução de baixo custo para a coleta de dados relevantes do ambiente, disponibilizados de forma fácil e direta aos pesquisadores que a utilizem.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

2.1 Schematics Monitoring System Temperature, PH and Turbidity based on LORA (Long Range) to Improve the Quality of the Harvest, Raditya et al. (2021)

No artigo de Raditya et al. (2021), os autores descrevem a criação de uma estação de monitoramento de água para utilização em criadouros de peixe-leite. A estação descrita é capaz de monitorar temperatura, pH e turbidez da água, sendo que os sensores de pH e turbidez são tais quais os utilizados no presente projeto, servindo como referência para a equipe.

O projeto comprehende conceitos de monitoramento ambiental aplicado à aquicultura, e serve de inspiração para futuras melhorias na Estação de Monitoramento de Ecosistemas Aquáticos, uma vez que, diferente do trabalho presente, o dispositivo relatado neste artigo se utiliza de comunicação sem fio a longa distância, um recurso que se

faz ausente na EMEQ, mas que agregaria em sua funcionalidade.

2.2 Low Cost IoT Based Weather Station for Real-Time Monitoring, Alam et al. (2020)

No artigo de Alam et al. (2020), os autores descrevem a criação de uma estação meteorológica de baixo custo, capaz de monitorar o clima e fornecer dados em tempo real através de conexão Wi-Fi. Apesar de um escopo diferente, este projeto apresenta uma forte relação com a EMEQ uma vez que propõe uma solução de baixo custo para o monitoramento ambiental. De maneira oposta ao artigo citado na subseção anterior, foram utilizados neste trabalho dois microcontroladores de menor valor monetário: Um arduino UNO e um ESP8266.

Os autores utilizaram, dentre outros, um sensor DHT22, o mesmo aqui utilizado para medir temperatura e umidade do ar. Outra referência trazida por este artigo foi a utilização de um microcontrolador separado para conectar os sensores. Neste caso, o Arduino UNO é utilizado somente para aferir os parâmetros atmosféricos, enquanto o ESP8266 é responsável por transmitir os dados à nívem, estratégia semelhante à utilizada no presente trabalho para a medição de pH.

Por fim, uma inspiração para futuras melhorias na Estação de Monitoramento de Ambientes Aquáticos que este artigo traz é a utilização da nívem para acompanhar os dados coletados em tempo real, um recurso que enriqueceria o projeto aqui apresentado.

2.3 Solar powered water quality monitoring system using wireless sensor network. Amruta, M. Satish, M. (2013)

No artigo de Amruta and Satish (2013), os autores descrevem a criação de um sistema de sensoriamento sem fio submerso para avaliação da qualidade da água, levando em consideração parâmetros de temperatura, turbidez e oxigênio dissolvido. O sistema é alimentado por energia solar, e consegue ser auto-sustentável.

Diferente da Estação de Monitoramento de Ecossistemas Aquáticos, o projeto de Amruta e Satish (2013) atua de forma distribuída: Vários sensores enviam seus dados através de conexão sem fio a uma estação central, o que permite maior cobertura ao sistema de monitoramento.

Os autores propõem a utilização dos dados coletados e transmitidos em tempo real para análise através de ferramentas de simulação para correspondência futura, recurso que pode ser considerado futuramente para aprimorar a aplicabilidade e funcionalidade da EMEQ.

3. METODOLOGIA

Tendo como base a pesquisa exploratória realizada a partir da leitura e avaliação dos trabalhos relacionados, citados na seção anterior, foi realizado o projeto e montagem da Estação de Monitoramento de Ecossistemas Aquáticos.

A estação flutuante é capaz de realizar medições de nível de monóxido de carbono, temperatura e umidade do ar, bem como de coletar uma amostra de água do corpo d'água em

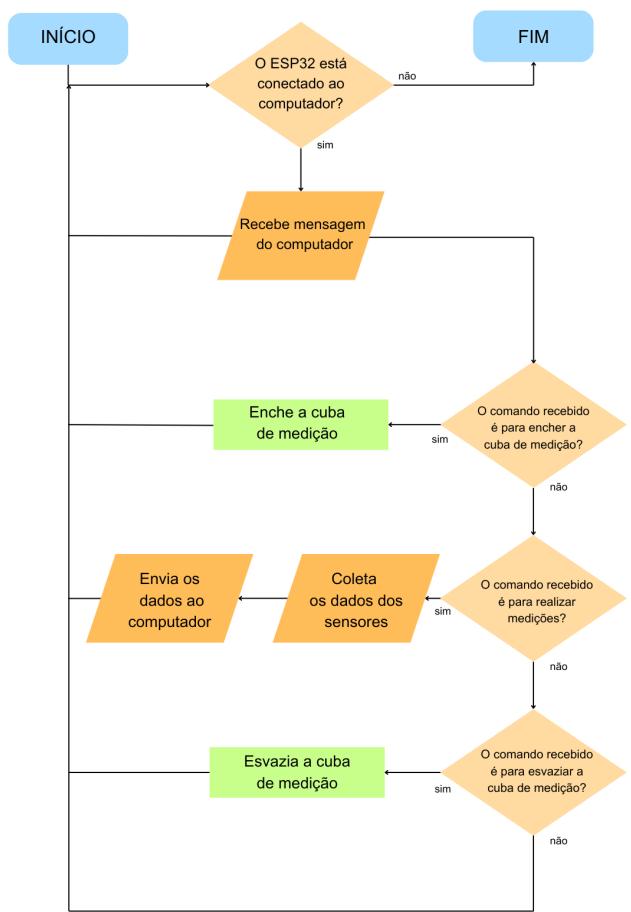


Figura 1. Fluxograma de funcionamento da EMEQ. Fonte: Os autores (2024)

que se encontra e performar aferições de pH, partículas dissolvidas, turbidez e temperatura, devolvendo a amostra colhida ao final do ciclo.

Os dados coletados são enviados por conexão wi-fi para um computador próximo, que guarda as informações em uma planilha eletrônica e os representa graficamente, incluindo a data e hora de cada coleta de dados para posterior controle do pesquisador. O funcionamento da estação de monitoramento é descrito no fluxograma da figura 1.

3.1 Componentes eletrônicos

O microcontrolador ESP32 DEVKIT V1 (figura 2) foi utilizado como base para o projeto, realizando a leitura dos dados de todos os sensores, com exceção do sensor de pH. O componente conecta-se ao computador por meio de conexão wi-fi e envia os dados coletados, bem como recebe as instruções de encher ou esvaziar a cuba de medição ou de efetuar medições. Este microcontrolador é alimentado por um *power bank*, via cabo USB.

Um Arduino Nano (figura 3) foi utilizado exclusivamente para realizar a leitura dos parâmetros de pH através do sensor pH4502c, enviando estes dados para o microcontrolador principal via comunicação serial.

O sensor de pH pH4502c (figura 4), anteriormente citado, foi utilizado para medir o potencial hidrogeniônico (pH)



Figura 2. ESP32 DEVKIT V1. Fonte: RoboCore (2024)



Figura 5. Sensor DS18B20. Fonte: RoboCore (2024)

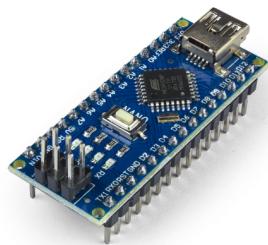


Figura 3. Arduino Nano. Fonte: RoboCore (2024)



Figura 6. Sensor Gravity TDS-Meter V1. Fonte: Saravati (2024)



Figura 4. Sensor pH4502c. Fonte: Saravati (2024)

da amostra de água coletada. É capaz de cobrir a faixa de pH de 0 a 14 com erro alcalino de 0.2, de acordo com o distribuidor.

Para aferir a temperatura da água, foi utilizado um sensor de temperatura DS18B20 (figura 5), encapsulado em um compartimento metálico à prova d'água. De acordo com o fabricante (Semiconductor), o sensor é capaz de medir de -55 °C a 125 °C, com precisão de ± 0.5 °C para medições entre -10 °C e 85 °C.

Para determinar a quantidade de partículas dissolvidas em água (TDS), foi utilizado o sensor Gravity TDS-meter V1 (figura 6). De acordo com o fabricante (DFRobot, a), o dispositivo pode medir valores de 0 a 1000 ppm, com precisão de $\pm 10\%$ a 25°C.

Para determinar a turbidez da amostra coletada, utilizou-se um sensor de turbidez SEN 0189 (figura 7), que mede a taxa de dispersão da luz entre seus terminais, convertendo o valor medido a uma porcentagem entre 0% e 100%, sendo



Figura 7. Sensor SEN 0189. Fonte: Fermarc (2024)

esta última a indicar que os terminais estão totalmente obstruídos.

Para aferir temperatura e umidade do ar, foi utilizado o DHT22 (figura 8), que, de acordo com o fabricante (Electronics, a), pode realizar medições de temperatura entre -40°C e 80°C, com precisão de ± 0.5 °C. Em termos de umidade relativa do ar, realiza medições de 0 a 100% RH, com erro máximo de 5%. Em termos de repetibilidade, o sensor apresenta parâmetros de $\pm 1\%$ RH e 0.2 °C.

Por fim, para determinar a concentração de monóxido de carbono na atmosfera, foi utilizado um sensor MQ-7 (Figura 9), que, de acordo com seu fabricante (Electronics, b), utiliza tubos cerâmicos com óxido de alumínio e uma camada de dióxido de estanho para detecção do gás. Sua faixa de medição está entre 20 e 2000 ppm.

Para o enchimento e esvaziamento da cuba de medição, foram utilizadas duas bombas d'água de 5V (figura 10), acionadas pelo microcontrolador ESP32 através de dois relés de mesma tensão. Estas bombas são alimentadas por



Figura 8. Sensor DHT22. Fonte: RoboCore (2024)



Figura 9. Sensor MQ-7. Fonte: RoboCore (2024)



Figura 10. Bomba d'água 5V. Fonte: Eletrogate (2024)

4 pilhas de 1.5V, sendo sua alimentação independente do microcontrolador.

O diagrama de blocos representando a montagem eletrônica do projeto pode ser observado na figura 11. A tabela 1 detalha precisamente todos os componentes eletrônicos utilizados

3.2 Componentes estruturais

A estrutura da Estação de Monitoramento de Ambientes Aquáticos foi montada sobre uma base flutuante quadrada de poliestireno expandido, revestida em suas faces superior e inferior por placas de plástico PS e em suas laterais com fita *Silver Tape*. Bóias de piscina do tipo "macarrão" foram acopladas nos quatro lados da base para maior estabilidade e flutuabilidade, como mostra a figura 12.

A cuba de medição, onde foram acoplados os sensores que aferem parâmetros da água, é um pote de sorvete reutilizado, e o compartimento que comporta os componentes eletrônicos é uma caixa em plástico transparente

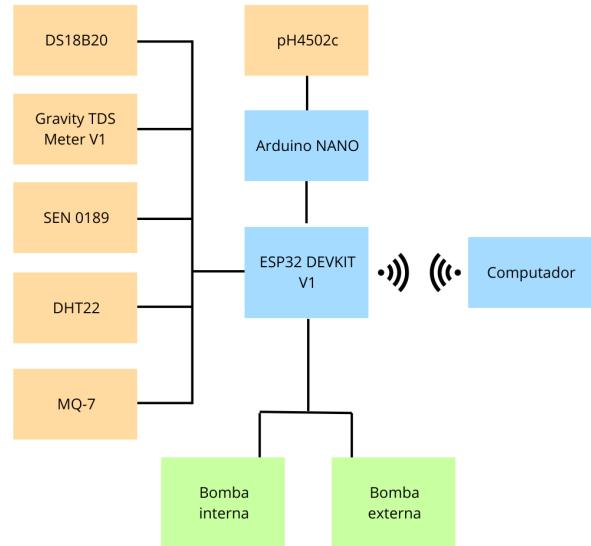


Figura 11. Diagrama de blocos. Fonte: Os autores (2024)

Tabela 1. Componentes eletrônicos utilizados.
Fonte: Os autores (2024)

Nome	Quantidade
ESP32 DEVKIT V1	1
Arduino NANO	1
pH4502c	1
DS18B20	1
Gravity TDS-meter V1	1
SEN 0189	1
DHT22	1
MQ-7	1
Mini bomba d'água 5V	2
Relé 5V	2
Transistor BC547	2
Resistor 100Ω	6
Resistor 1kΩ	2
Resistor 4.7kΩ	1
Resistor 10kΩ	1
Micro chave para PCB	1
Placa perfurada	1
Jumpers	alguns
Suporte para pilhas AA	1
Pilha AA 1.5V	4
Power bank	1
Cabo USB mini	1



Figura 12. Base da EMEQ. Fonte: Os autores (2024)

com tampa e trava. Para unir os componentes foi utilizada cola de isopor, cola quente e *Silver Tape*. Para isolar os componentes eletrônicos da água, foi utilizado silicone.

3.3 Software

Os microcontroladores foram programados através da ferramenta Arduino IDE. O código utilizado para ler as medições de pH através do Arduino Nano foi retirado do blog Simpleo (Simpleo, 2020), uma vez que, mesmo após uma busca extensiva, o datasheet do sensor pH4502c não foi encontrado. Os códigos que realizam a leitura dos demais sensores foram retirados de seus respectivos datasheets, citados individualmente na subseção seguinte.

O ciclo de funcionamento do software embarcado no microcontrolador principal é descrito pelo fluxograma da figura 1, citado anteriormente nessa seção.

A comunicação entre o ESP32 e o computador foi estabelecida por meio de *Wi-Fi socket*, através da biblioteca *WifiCommunicator* (Sghaier). O computador conectado executa um programa em *Python*, responsável por mostrar ao usuário uma interface com um cronômetro, um botão para iniciar os ciclos de monitramento, um botão para interromper a conexão com o microcontrolador e um visor com o estado atual da estação, como é possível observar na imagem 13. Na representação dada, a interface mostra que a EMEQ está enchendo sua cuba de medição.

Ao receber as leituras, o programa envia os dados em formato de *dataframe*, com apoio da biblioteca *Pandas*, para uma aplicação no *EXCEL* desenvolvida pela equipe, que dispõe a data e hora das medições, bem como os parâmetros medidos e representações gráficas comparativas.

O tempo de duração de cada estado foi definido no código. A execução dos estados de "encher", "esvaziar" e "medir" foi definida empiricamente com base na observação dos ciclos de funcionamento da estação, de modo a permitir tempo suficiente para encher, esvaziar e efetuar medições. O tempo entre medições é definido pelo usuário através de um *input* via terminal. Caso este não deseje fornecer o tempo de espera ou forneça um valor acima de 60 minutos, um tempo padrão de 5 minutos é tomado.

O programa funciona com múltiplas threads: Uma para envio de mensagens, uma para recebimento de mensagens e uma para atualizar e ler os *inputs* da interface do usuário. Estas threads são executadas de forma cíclica e concorrente, até que o input recebido da interface do usuário seja "desligar". A partir daí, uma mensagem para interromper as medições e as bombas da estação (caso estas estejam em funcionamento) é transmitida ao microcontrolador conectado.

3.4 Calibração dos sensores

Cada sensor utilizado teve de ser calibrado para que pudesse ser utilizado com alguma margem de confiança.

Para calibração do sensor pH4502c, foram necessárias duas soluções tampão com valores de pH determinados. A equipe utilizou uma solução de pH 4 e uma de pH 10, como mostra a imagem 14. Em primeiro lugar, os terminais da conexão BNC da placa do sensor foram curto-circuitados,

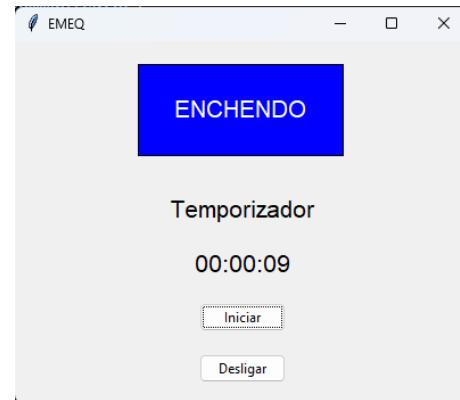


Figura 13. Interface do usuário. Fonte: Os autores (2024)



Figura 14. Soluções tampão de pH 4 e 10 utilizadas para calibração do pHmetro. Fonte: Os autores (2024)

e a tensão de saída medida. Esta foi ajustada, através do potenciômetro de *offset* da placa, até que medisse 2.5V, a metade da tensão fornecida pelo Arduino NANO. Este valor de tensão refere-se, teoricamente, a uma solução de pH 7. Após isso, os eletrodos do pHmetro foram imersos na solução de pH 4 e de pH 10, e uma constante de calibração foi adicionada ao código do microcontrolador até que pudessem ser medidos exatamente os valores de pH nominados na embalagem dessas soluções.

Para utilização do sensor DS18B20, foi utilizada a biblioteca DallasTemperature. No *datasheet* do componente é possível ler que "A saída de temperatura do DS18B20 é calibrada em graus celsius. Para aplicações em Fahrenheit, uma tabela ou rotina de conversão deve ser utilizada"(traduzido de Semiconductor). Assim sendo, com o componente já calibrado de fábrica para operação em graus celsius, coube à equipe conferir se as medições estavam concisas. Para isso, foi utilizado um termômetro hospitalar da marca CareTech, modelo TS-101, imerso na mesma água em que o sensor em questão. Os mesmos valores de medição foram verificados.

No que diz respeito ao sensor Gravity TDS-meter V1, seu procedimento de calibração foi adaptado do documento do fabricante, onde encontra-se: "Normalmente, o valor de TDS é a metade do valor de condutividade elétrica. [...] Durante a calibração, uma substância com valor de TDS ou de condutividade é necessária, como por exemplo uma solução tampão de condutividade 1413 μ S/cm. Se convertida para TDS, resulta em aproximadamente 707 ppm."(traduzido de DFRobot (a)). Dessa forma, foi utilizada água mineral com condutividade nominal de 110.6 μ S/cm, como mostra



Figura 15. Rótulo da água mineral utilizada na calibração do sensor de TDS. Fonte: Os autores (2024)

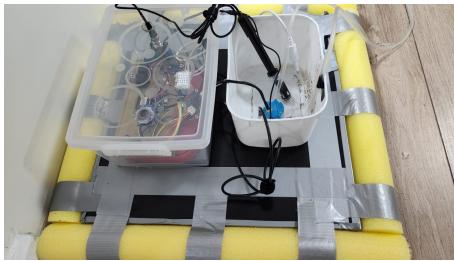


Figura 16. Estação finalizada. Fonte: Os autores (2024)

a imagem 15, o que, após ajustes nas constantes de calibração do código, resultou em uma leitura de 56 ppm.

As leituras do sensor de turbidez da água SEN 0189 foram ajustadas de maneira qualitativa e empírica. Através do ajuste de uma constante de calibração, presente no código retirado de DFRobot (b), foi definido 0% de turbidez para uma amostra da mesma água mineral utilizada para calibração do sensor de TDS (imagem 15, e 100% para os dois terminais do sensor obstruídos por um obstáculo sólido e opaco).

O sensor DHT22, assim como o sensor DS18B20, é calibrado durante sua produção, como é possível extraír do documento do fabricante: "Todos os sensores deste modelo são calibrados e compensados em termos de temperatura em uma câmara de precisão, e o coeficiente de calibração é armazenado na memória OTP."(traduzido de Electronics (a)).

Por fim, em termos do ajuste de sensibilidade do sensor MQ-7, não foi possível realizar nenhuma calibração precisa, uma vez que a equipe não dispunha de sensores calibrados de monóxido de carbono para comparação. Ainda assim, a recomendação do fabricante foi seguida, e foi colocada uma carga de resistência de $10k\Omega$, como instrui a documentação, disponível em Electronics (b). Assim sendo, as informações extraídas do sensor devem ser tomadas como qualitativas.

4. RESULTADOS

4.1 A estação finalizada

Após utilização dos materiais e realização dos procedimentos descritos na seção anterior, foi finalizada a Estação de Monitoramento de Ecossistemas Aquáticos, que resultou como mostram as imagens ?? e 17.

A estação foi colocada para testes no rio Barigui, localizado no parque Barigui, em Curitiba-PR. A estrutura foi capaz de flutuar sem qualquer problema, como se pode observar na imagem

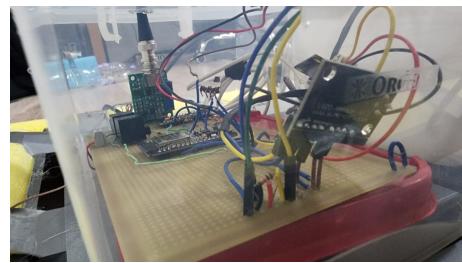


Figura 17. Estação finalizada - ênfase no compartimento que guarda os componentes eletrônicos. Fonte: Os autores (2024)



Figura 18. Estação em testes no rio Bariguí, Curitiba - PR. Fonte: Os autores (2024)

Tabela 2. Dados da água coletados em ambiente controlado. Fonte: Os autores (2024)

Temp. água (°C)	pH	TDS (ppm)	Turbidez (%)
23.5	6.76	0	7.21
23.5	6.69	0	0.86
23.56	6.58	0	5.32
23.5	6.7	0	6.12
23.44	6.58	0	2.84

Tabela 3. Dados do ar coletados em ambiente controlado. Fonte: Os autores (2024)

Temp. ar (°C)	Umidade relativa (%)	Nível CO (ppm) (%)
26.8	39.8	0
26.8	40.6	0
26.7	40.2	0
26.8	40.0	0
26.8	39.8	0

4.2 Dados coletados

Para verificar a qualidade das medições, foram realizados dois conjuntos de testes: Um em ambiente interno e controlado, com uma amostra da água do rio coletada previamente, e outro com a base flutuando no corpo d'água. É possível observar as cinco medições referentes à primeira bateria nas tabelas 2 e 3.

Através dos dados apresentados nas tabelas 2 e 3, é possível perceber que os dados de temperatura da água, pH, temperatura do ar e umidade foram bastante concisos, apresentando desvios-padrão de módulos 0.04, 0.08, 0.05 e 0.33, respectivamente.

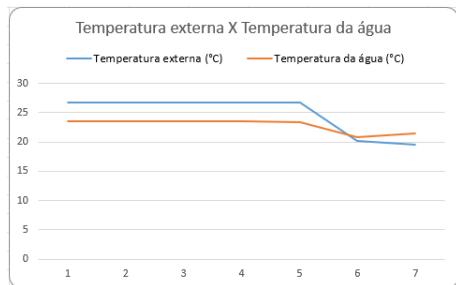


Figura 19. Gráfico da temperatura de água comparada à temperatura do ar. Fonte: Os autores (2024)

Por outro lado, o sensor de turbidez apresentou uma flutuação maior de valores, sendo o módulo de seu desvio-padrão calculado em 2.58. Apesar disso, o valor médio de 4.47% de turbidez, pode ser considerado adequado, uma vez que trata-se de uma medida qualitativa para uma amostra de água sem sedimentos.

Por fim, são apresentados nas tabelas 4 e 5 os dados coletados em campo, com a estação flutuando sobre o corpo d'água. É possível perceber que, em comparação aos valores tomados em ambiente controlado, os valores de umidade do ar, pH e turbidez se deram mais extremos, com um ambiente muito mais úmido, um pH bastante ácido e uma água bastante turva.

Com relação aos valores de TDS e o nível de CO na atmosfera, ambas as baterias apresentaram as leituras zeradas em todas as medições. Por parte do sensor MQ-7, isto se dá em virtude da necessidade, informada pela documentação (Electronics, b), de pré-aquecer o sensor por 48 horas anteriores à medição, o que se fez inviável para a realização das medições de teste.

Já em termos do sensor de TDS, a causa das medições equivocadas é desconhecida, uma vez que, durante o processo de calibração anteriormente descrito, um valor adequado foi alcançado pelo sensor. A hipótese levantada pela equipe é a de que não houve tempo suficiente para estabilizar as medições.

4.3 Gráficos plotados

Uma das partes mais relevantes do projeto é sua capacidade de mostrar os gráficos das medições tomadas, como alternativa visual para análise do comportamento dos dados. Para as medições descritas acima, faz-se relevante dispor os gráficos de Temperatura da água e do ar (figura 19), Umidade relativa do ar (figura 20), pH (figura 21) e turbidez (figura 22), onde é possível perceber graficamente a maior flutuação de valores.

Tabela 4. Dados da água coletados em campo.
Fonte: Os autores (2024)

Temp. água (°C)	pH	TDS (ppm)	Turbidez (%)
20.81	2.24	0	34.7
21.44	2.09	0	30.03

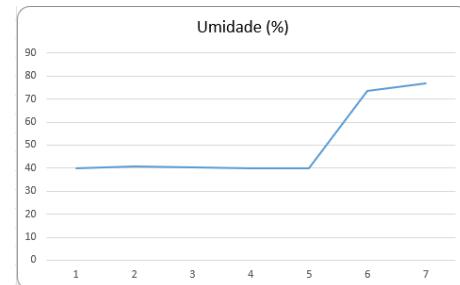


Figura 20. Gráfico da umidade relativa do ar medida.
Fonte: Os autores (2024)

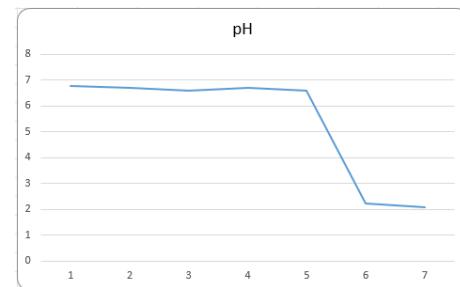


Figura 21. Gráfico do pH medido das amostras de água.
Fonte: Os autores (2024)

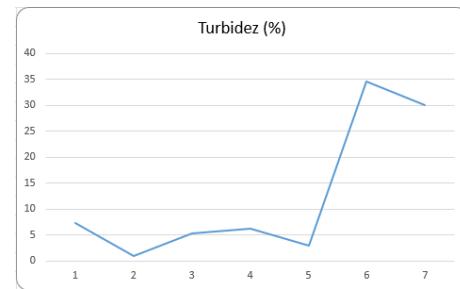


Figura 22. Gráfico da turbidez medida das amostras de água. Fonte: Os autores (2024)

Tabela 5. Dados do ar coletados em campo.
Fonte: Os autores (2024)

Temp. ar (°C)	Umidade relativa (%)	Nível CO (ppm) (%)
20.1	73.6	0
19.6	76.9	0

5. CONCLUSÃO

Tomando como base o principal objetivo proposto: Criar uma solução de baixo custo para o monitoramento ambiental de ecossistemas aquáticos de água doce, é possível dizer que a equipe logrou êxito em realizar o projeto proposto.

Ainda que dois dos parâmetros inicialmente estipulados não foram corretamente medidos, é possível afirmar com segurança que, com um baixo custo de construção e custo quase zero de operação, a EMEQ pode ser tomada como inspiração para a construção de estações de monitoramento semelhantes.

Durante o desenvolvimento do projeto, alguns entraves tiveram de ser superados, como a substituição de dois sensores que queimaram durante a construção da estação: o pH4502c e o DHT22. Algumas características da

proposta inicial do projeto também tiveram de ser modificadas, como o mecanismo de saída de água, inicialmente projetado para funcionar com uma eletroválvula abaixo da cuba de medição, que foi substituída por outra bomba de 5V em virtude da falta de vazão na válvula, e a adição de um microcontrolador Arduino Nano, uma vez que o ESP32 se mostrou incompatível com a placa do sensor de pH utilizado.

Por fim, a equipe sugere algumas adaptações para projetos inspirados neste. Ao invés de um sensor MQ-7, que se faz inviável para operações curtas, é possível encaixar outro sensor que possa determinar algum parâmetro importante da qualidade do ar, como a quantidade de gás carbônico. Além disso, caso seja disponível um maior orçamento, adquirir um sensor de TDS de maior confiabilidade também é recomendado. Ainda em tempo, é possível modificar totalmente a lista de sensores com base nos parâmetros que se necessita medir, uma vez que a estrutura criada é bastante versátil, e permite adaptações como esta sem dificuldades.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Eduardo dos Santos, Juliano Vieira e Ronnier Rohrich, do Departamento Acadêmico de Eletrônica da UTFPR, pela orientação durante o desenvolvimento do projeto. Ao professor Alexsandro Zimer, do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da UTFPR pelo auxílio com a calibração do sensor de pH.

REFERÊNCIAS

- Alam, M.J., Rafi, S.A., Badhan, A.A., Islam, M.N., Shuvo, S.I., and Saleque, A.M. (2020). Low cost iot based weather station for real-time monitoring. In *2020 IEEE 2nd International Conference on Circuits and Systems (ICCS)*, 127–133. doi:10.1109/ICCS51219.2020.9336596.
- Amruta, M.K. and Satish, M.T. (2013). Solar powered water quality monitoring system using wireless sensor network. In *2013 International Mutli-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s)*, 281–285. doi:10.1109/iMac4s.2013.6526423.
- DFRobot (????a). Gravity analog tds sensor meter for arduino sku sen0244. URL <https://www.farnell.com/datasheets/3161977.pdf>.
- DFRobot (????b). Gravity analog turbidity sensor for arduino. URL <https://www.farnell.com/datasheets/2700162.pdf>.
- Electronics, A. (????a). Digital-output relative humidity and temperature sensor/module dht22. URL <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1132459/ETC2/DHT22.html>.
- Electronics, H. (????b). Technical data mq7 gas sensor. URL <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>.
- Raditya, M., Darwito, P.A., Ansori, A.S., Kalahari, B., Saputro, P.G., and Mufidah, H. (2021). Schematics monitoring system temperature, ph and turbidity based on lora (long range) to improve the quality of the harvest. In *2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS)*, 7–11. doi:10.1109/ICRACOS53680.2021.9702015.

- Semiconductor, D. (????). Ds18b20 programmable resolution 1-wire digital thermometer. URL <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/230839/DALLAS/DS18B20-SL.html>.
- Sghaier, R. (????). Esp32 and python two-way communication made easy. URL https://github.com/Rad-hi/ESP32_Python_WiFi.
- Simpleo (2020). Arduino ph-meter using ph-4502c. URL <https://cimpleo.com/blog/arduino-ph-meter-using-ph-4502c/>.