



UMA EXPERIÊNCIA INTERDISCIPLINAR NA ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE PISCINAS

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4213

Guilherme Valdo Veiga - viva-guilherme@hotmail.com
IFES CAMPUS LINHARES

Anderson Rosa Sales dos Anjos - andersonrosa39@gmail.com
Instituto Federal do Espírito Santo

Milena Tesch Ferrari - mitferrari98@gmail.com
Instituto Federal do Espírito Santo

Lucas Vago Santana - lucas@ifes.edu.br
Instituto Federal do Espírito Santo

LUCIANO LEONARDO SAMPAIO FORTES - lucleofortes@gmail.com
Instituto Federal do Espírito Santo

Resumo: Neste artigo, apresenta-se o relato de uma experiência bem sucedida desenvolvida como atividade interdisciplinar e avaliativa das disciplinas de Instrumentação Industrial e Microcontroladores de um curso de Engenharia de Controle e Automação. Visando aplicar os conteúdos dessas disciplinas, foi proposto aos estudantes a prospecção e resolução de um problema de engenharia que resultasse em um protótipo. A equipe de estudantes, agora também autores deste artigo, foi capaz de identificar que há relevância no monitoramento de parâmetros físico-químicos da qualidade da água de piscinas. A solução desse problema trouxe à realidade um protótipo que extrapolou o escopo curricular inicialmente previsto, aplicando também conhecimentos de áreas como programação, desenho assistido por computador e Internet das Coisas. O resultado foi um dispositivo para monitoramento em tempo real, via aplicativo telefônico conectado à Internet, dos parâmetros de pH e temperatura da água de piscinas. Resultados experimentais de campo demonstraram o funcionamento do protótipo e a reflexão sobre a atividade fez perceber que o processo contribuiu para um aprendizado mais significativo dos estudantes envolvidos.

"ABENGE 50 ANOS: DESAFIOS DE ENSINO, PESQUISA E
EXTENSÃO NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA"

18 a 20 de setembro
Rio de Janeiro-RJ



COBENGE
2023

51º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia
VI Simpósio Internacional de Educação em Engenharia

Palavras-chave: Atividade interdisciplinar; Instrumentação Industrial;
Microcontrolador; Qualidade da água; Piscina.

Realização:



Organização:



UMA EXPERIÊNCIA INTERDISCIPLINAR NA ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE PISCINAS

1 INTRODUÇÃO

Em cursos de Engenharia, a utilização de projetos interdisciplinares fortalece o aprendizado teórico e prático dos estudantes, desafiando-os a aplicar seus conhecimentos em favor da solução de um problema real. Philippi (2021) expressa que o uso de projetos integradores melhora a conexão entre o aprendizado teórico e prático durante a formação profissional.

Neste artigo, apresenta-se o relato de uma experiência bem sucedida desenvolvida entre as disciplinas de Instrumentação Industrial e Microcontroladores da Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal do Espírito Santo, *campus* Linhares. O projeto nasceu de uma atividade avaliativa interdisciplinar, na qual os autores deste artigo, que na época eram estudantes matriculados nas disciplinas, deveriam encontrar um problema de engenharia no eixo temático das disciplinas e a partir dele prototipar uma solução.

Durante o levantamento de problemas, essa equipe de estudantes identificou que conhecer a qualidade da água de piscinas residenciais e de condomínios era algo relevante e viável de se estudar.

Em sua fundamentação, perceberam no trabalho de Oliveira et al. (2014) que os primeiros relatos sobre Índices de Qualidade de Água (IQA), surgiram após meados dos anos 1960, em trabalhos como os de Horton (1965) e Brown et al. (1970). Nesses índices, diversos parâmetros físico-químicos são usados para análise, a saber: oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, turbidez do fluido e outros. Dentre esses parâmetros, observou-se que caberia como proposta de solução da atividade interdisciplinar a construção de um protótipo para monitoramento do pH e da temperatura da água de piscinas.

Trazendo essa fundamentação para o âmbito da qualidade da água de piscinas, encontrou-se na Norma Brasileira NBR 10818/2016 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que o pH das piscinas deve ser mantido entre 7,2 e 7,8 para balneabilidade (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016). Embora a norma não se preocupe com a temperatura, entende-se que este é um parâmetro relacionado ao conforto humano durante o uso da piscina e, portanto, decidiu-se por monitorá-la também.

De acordo com Lavor (2019), há consequências indesejáveis para os banhistas, caso o pH se encontre fora da faixa especificada pela norma. Corrosão dos equipamentos metálicos ($\text{pH} < 7,0$), formações de crostas nos equipamentos e nas superfícies internas das piscinas ($\text{pH} > 8,0$) e irritação nos olhos e pele das pessoas são exemplos de complicações provenientes da falta de calibração do pH da água. Por essa razão, o potencial hidrogeniônico da água deve ser medido diariamente e corrigido, se necessário.

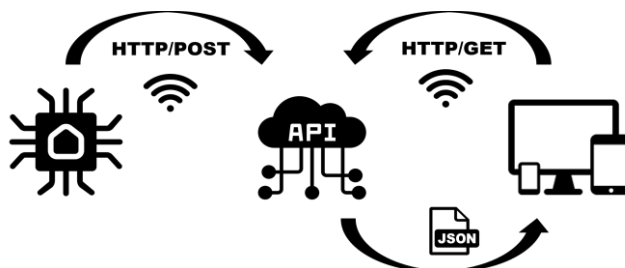
Neste sentido, a fim de facilitar o monitoramento e a inspeção dos parâmetros de pH e temperatura da água de piscinas, visualizou-se a possibilidade de construir um protótipo que atenderia conteúdos das disciplinas de Instrumentação Industrial e Microcontroladores, mas que iria além aplicando também outros conceitos de ramos ligados à Indústria 4.0, como o de Internet das Coisas (IoT) (SANTOS et al., 2018).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do protótipo de captura e transmissão de parâmetros da água pela Internet, elaborou-se uma placa de circuito impresso que acomodou além de outras partes eletrônicas, um microcontrolador com conectividade WiFi e módulos com sensores específicos para aquisição de dados sobre o pH e temperatura da água. O circuito foi acomodado em uma caixa isolada de intempéries externas.

O projeto foi estruturado no entorno de uma arquitetura de comunicação ilustrada pela Figura 1. O dispositivo físico é conectado à Internet via WiFi e transmite as suas informações para um banco de dados em nuvem usando uma *API REST*. Para transmissão, utiliza-se o protocolo de comunicação *HTTP* com o verbo *POST*. Por outro lado, um sistema supervisor cliente da aplicação, solicita as informações à nuvem pelo verbo *GET*, retornando as estruturas formatadas em um *JSON*.

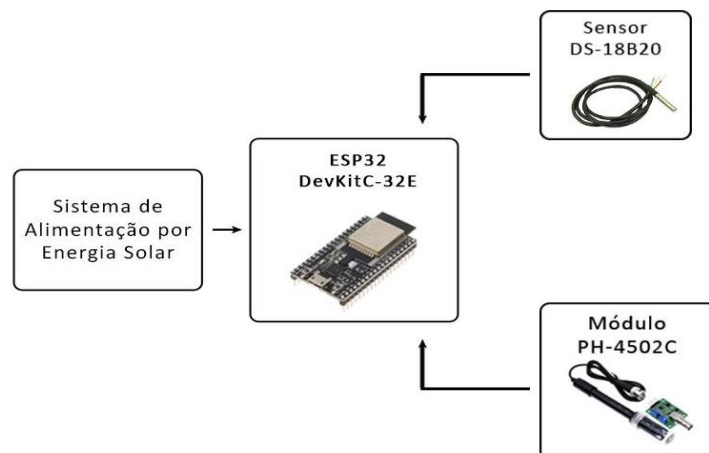
Figura 1 - Estrutura de comunicação do projeto.



Fonte: Autores.

O elemento eletrônico central adotado na construção do dispositivo foi a placa de desenvolvimento ESP32, por ser um aparelho que possui microcontrolador com recurso de conectividade WiFi integrado. Além dele, o módulo sensor de temperatura DS-18B20 e módulo sensor de potencial de hidrogênio PH-4502C. Além disso, o sistema conta com um arranjo de alimentação baseado em baterias e energia solar. Na Figura 2, é possível visualizar esse arranjo físico.

Figura 2 - Arquitetura física do dispositivo.



Fonte: Autores.

2.1 Microcontrolador

A placa de desenvolvimento escolhida é denominada ESP32 que contém em sua construção um microcontrolador com funcionalidades interessantes para conectividade do protótipo em desenvolvimento. Destaca-se a conectividade WiFi e a presença de um conversor analógico digital com resolução de 12 bits. As principais funções deste dispositivo são a de coleta de dados dos sensores e disponibilização pela Internet via WiFi. Para maiores informações técnicas a respeito desse dispositivo, recomenda-se a leitura de Murta (2018).

2.2 Sensores de temperatura e pH

Foi escolhido como sensor de temperatura o DS-18B20 por ele realizar leituras na faixa de -55° a 125°C em ambientes úmido e seco, além de funcionar submerso em líquidos. Para efetuar a leitura dos valores em graus Celsius no ESP32, foram empregadas bibliotecas apropriadas no código que auxiliam o microcontrolador a se comunicar de forma digital com este sensor. Como referência de uso deste sensor, sugere-se a leitura de Locatelli (2021).

O módulo PH-4502C possui saída analógica de tensão e é por meio dela que se executa a leitura dos valores do pH de algum fluido. Para manuseá-lo é preciso realizar uma calibração com a finalidade de ajustar uma curva que relacione adequadamente a saída de tensão do módulo com referências de pH, conforme explica Straub (2022).

Para calibração, utilizou-se um conjunto de amostras de soluções-tampão presentes no laboratório de química do Ifes *campus* Linhares, com valor de pH fixo à temperatura ambiente (25°C). Na Figura 3, ilustra-se os frascos utilizados.

Figura 3 - Soluções-tampão para amostragem dos pHs.



Fonte: Autores.

Para coleta de dados, a sonda do sensor foi higienizada e inserida na solução-tampão e a saída de tensão do sensor foi conectada ao conversor analógico digital (A/D) do microcontrolador. Para cada solução, coletaram-se quinhentos valores de conversão dos quais foi extraída a média.

Para levantamento da curva de resposta, os valores médios dos resultados de conversão A/D (ADC) foram correlacionados ao pH indicado na embalagem do frasco de solução tampão. Dessa forma, foi possível construir a Tabela 1, que exhibe a relação entre o pH de referência oriundo de uma solução tampão com o resultado médio da conversão A/D obtida do conversor A/D do microcontrolador.

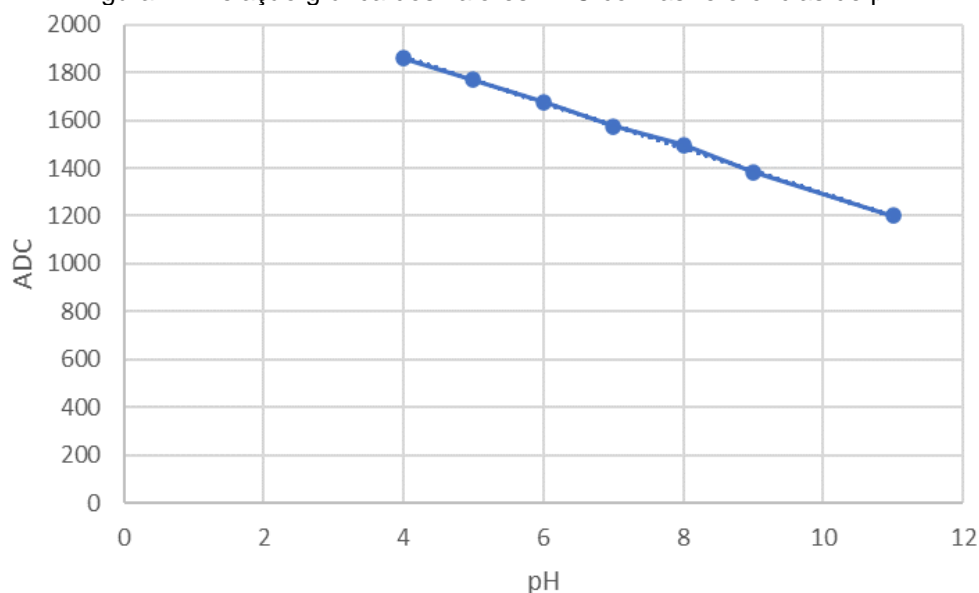
Tabela 1 - Relação entre pH e ADC.

pH	Valores médios de conversão A/D resultante (ADC)
11	1201
9	1383
8	1496
7	1575
6	1677
5	1768
4	1859

Fonte: Autores.

Alimentando os dados em um processador de planilhas eletrônicas, foi possível criar uma regressão e obter a linha de tendência evidenciada pelo gráfico na Figura 4.

Figura 4 - Relação gráfica dos valores ADC com as referências de pH.



Fonte: Autores.

Essa reta apresentou um coeficiente de determinação (R^2) superior a 99%, destacando uma relação linear do pH com a saída de tensão do sensor. A partir desta linha gerou-se a Equação (1) que foi inserida no código do dispositivo para cálculo de pH dada como:

$$pH = -0,0106 * ADC + 23,74 \quad (1)$$

2.3 Alimentação do protótipo

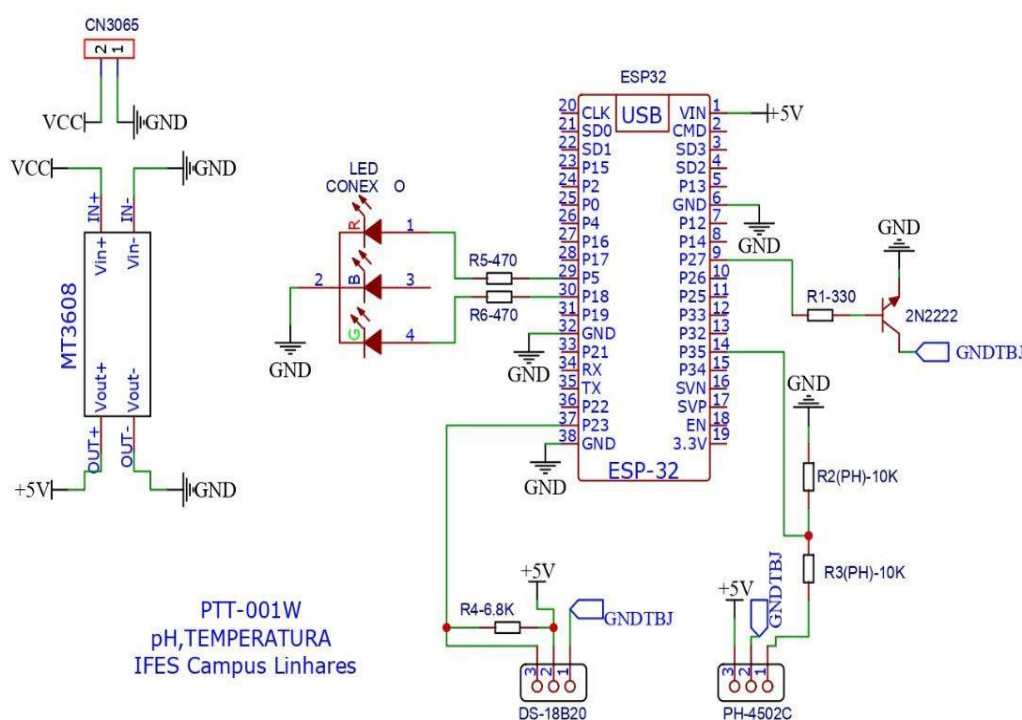
Para possibilitar o uso do protótipo em ambientes externos, decidiu-se efetuar a ligação de uma bateria ao dispositivo e, ao mesmo tempo, uma célula fotovoltaica para carregá-la. Para este fim, módulos comerciais foram empregados, a saber CN3065. Além disso, um módulo *step-up* de corrente contínua (DC-DC) modelo MT3608 se

responsabilizou por elevar a tensão da bateria para aquela requerida pelos dispositivos de 5V.

2.4 Esquema eletrônico do protótipo

Na Figura 5 está ilustrado o circuito eletrônico usado no projeto. Percebe-se ali a conexão entre os módulos dos sensores e o microcontrolador, valores e nomes de componentes utilizados nessas conexões.

Figura 5 - Esquemático elétrico do protótipo.



Fonte: Autores.

2.5 Servidor do aplicativo e sistema supervisorio

No armazenamento dos valores coletados pelo dispositivo, foi usado um servidor provido pela empresa ThingSpeak¹. O serviço oferecido permitiu o envio e a requisição de dados por uma *API REST*. Ao ser solicitado, o banco de dados na nuvem retorna uma estrutura no formato *JSON*, contendo os valores obtidos bem como, a hora exata em que foram captados.

O sistema supervisorio para monitorar os dados coletados pela estrutura física foi criado com a linguagem de programação Dart, empregando o *framework* Flutter, da Google. Como o Flutter possibilita utilizar um mesmo código fonte para geração de *builds* em diferentes plataformas, o mesmo sistema supervisorio pode ser acessado via *web* ou instalado em *smartphones* (Android ou IOS) e, também, em *desktop* com sistema operacional Windows ou Linux.

Ao entrar na aplicação, o usuário precisa fornecer a chave de entrada da *API* permitindo, o que autoriza seu acesso às leituras dos bancos de dados. Após esses

¹ <https://thingspeak.com/>

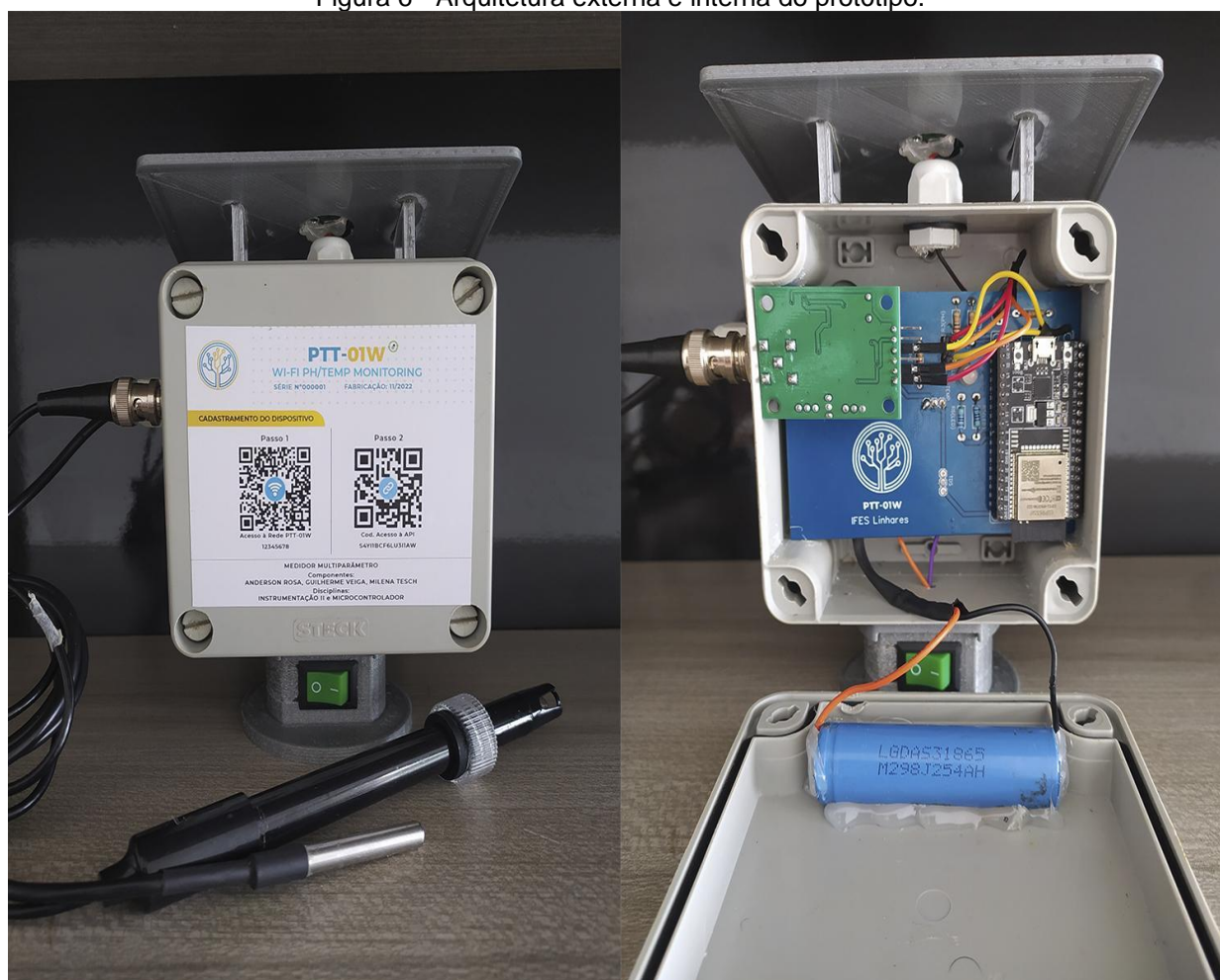
procedimentos, o sistema apresenta por meio de gráficos, tabelas e outros componentes visuais as informações coletadas. A exibição desses elementos é feita no período de um dia, ou seja, os usuários poderão ver os valores de pH e temperatura referente a um dia específico por vez.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todo código fonte do aplicativo, incluindo o do microcontrolador pode ser acessado via repositório².

Todo o circuito elétrico foi protegido por um recipiente de plástico. Os suportes para o módulo fotovoltaico, a placa de circuito e os sensores foram impressos em uma impressora 3D. No exterior do recipiente de plástico, existem dois códigos QR: um para a conexão do usuário no ponto de acesso criado pelo ESP32 e outro para ler a chave da API. No interior do dispositivo, há uma indicação luminosa de conexão com a Internet ou não, sendo vermelho um indicativo que o aparelho está sem conexão e o verde, que ela foi estabelecida. A Figura 6 apresenta a arquitetura externa e interna do dispositivo.

Figura 6 - Arquitetura externa e interna do protótipo.

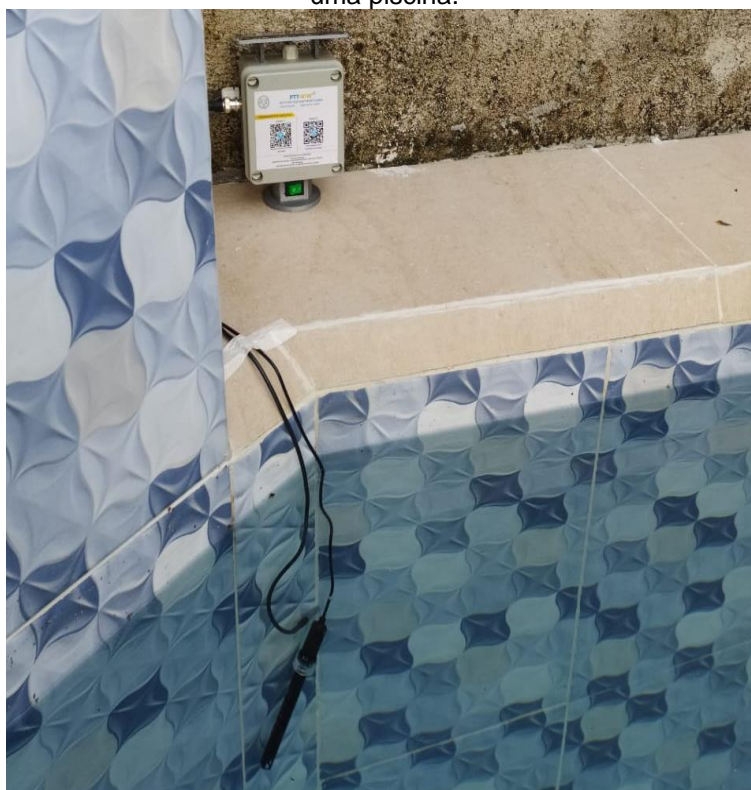


Fonte: Autores.

² <https://github.com/GuilhermeVVeiga/PTT01W>

Com o objetivo de avaliar o funcionamento do dispositivo, ele foi colocado em uma piscina por cerca de 8:30 horas, como pode ser visualizado na Figura 7, e capturou valores de pH e temperatura a cada 30 minutos. Cabe destacar que a piscina se encontrava há quinze dias sem manutenção e no momento da coleta de dados continha sulfato de alumínio e cloro.

Figura 7 - Sensores de pH e temperatura submersos na água de uma piscina.

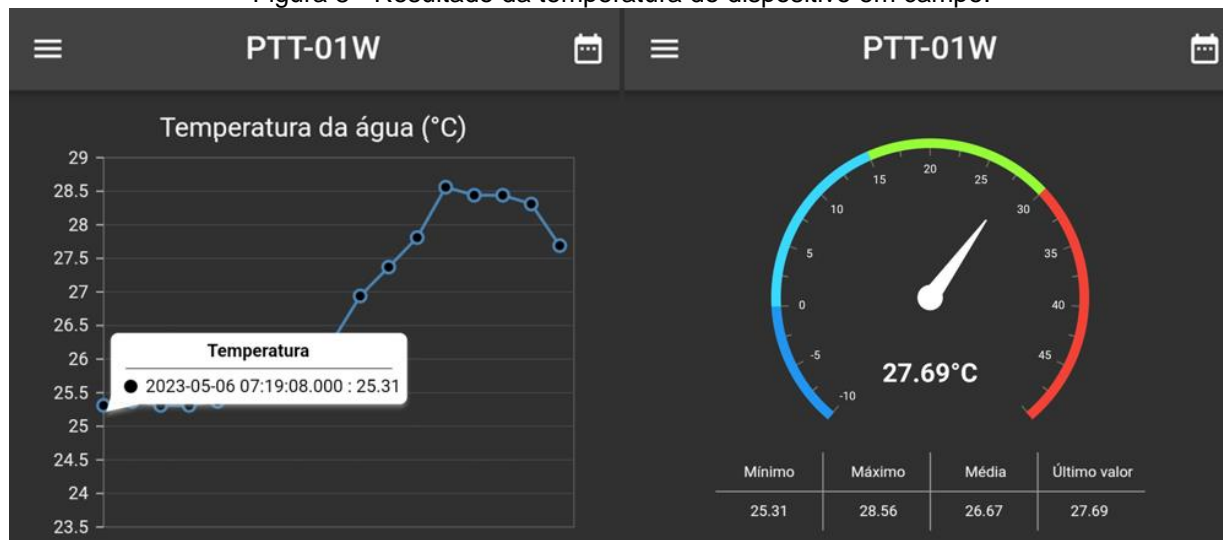


Fonte: Autores.

As imagens abaixo expõem os gráficos e as informações obtidas pelo aplicativo. A Figura 8, mostra os resultados medidos do sensor de temperatura. Ele foi colocado na piscina às 07 horas e 10 minutos do dia 06 de maio, o tempo estava com sol entre nuvens. A primeira análise realizada pelo aplicativo foi às 07 horas e 19 minutos e mostrou a temperatura igual a 25,31°C. Verifica-se na imagem que ao longo do dia a temperatura foi aumentando, a média, considerando todas as amostras, chegou a 26,67° e a maior temperatura foi 28,56°C, observada às 13h e 23min.

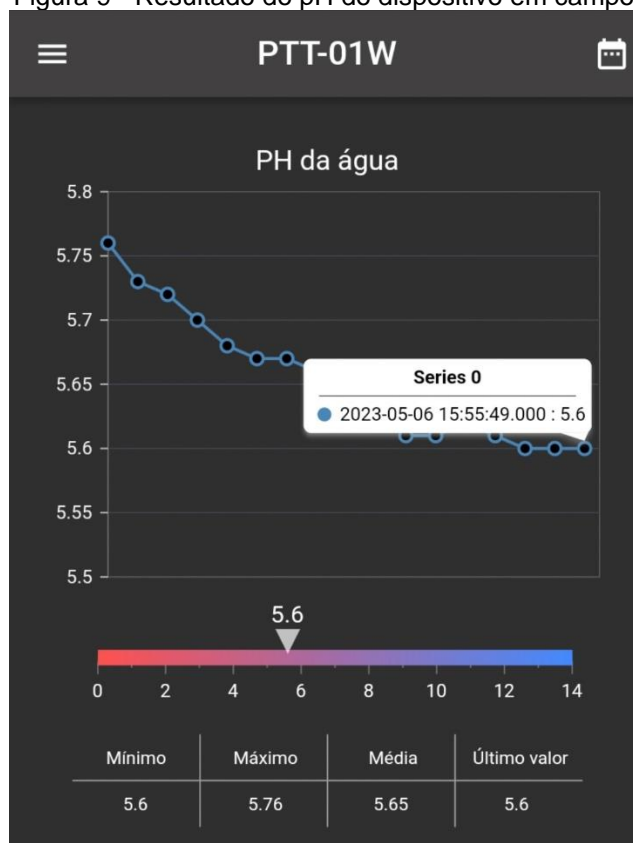
A Figura 9, representa os valores medidos para o pH no decorrer do tempo em que o dispositivo ficou submerso na água. Vale lembrar que os dois sensores (pH e temperatura) foram colocados e retirados ao mesmo tempo da piscina. A última análise no aplicativo marcou 5,60 o valor de pH, no relógio era 15h e 55min. Na figura, também é possível perceber a variação do pH durante todo o momento no qual o sensor permaneceu dentro da piscina, sendo pH igual a 5,75 o maior valor visto e 5,65 a média de todas as análises. Diante disso, pode-se dizer que a água da piscina estava ácida, com pH abaixo do ideal para banho, segundo a norma NBR 10818/2016.

Figura 8 - Resultado da temperatura do dispositivo em campo.



Fonte: Autores.

Figura 9 - Resultado do pH do dispositivo em campo.



Fonte: Autores.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados pelos estudantes, é possível concluir que a atividade proposta foi bem sucedida, pois possibilitou a integração dos conteúdos da

disciplina Microcontroladores em conjunto com os de Instrumentação Industrial. Porém, cabe destacar que o alcance da atividade não se limitou a este escopo. A estratégia de aplicar uma metodologia baseada em projeto nesta atividade possibilitou a criação da solução de um problema real o que proporcionou aos estudantes a oportunidade de ampliar seus conhecimentos e adquirir habilidades em outros ramos do de Controle e Automação, tais como o desenvolvimento de *software*, prototipagem *maker* e Internet das coisas. O dispositivo desenvolvido se mostrou funcional em um experimento real e demonstrou a viabilidade de monitorar via aplicativo telefônico e Internet os parâmetros pH e temperatura da água de uma piscina. Os autores deste artigo, concluem em sua reflexão que a atividade contribuiu de maneira significativa em sua formação e destacam que há possibilidade de ampliação futura na incorporação de mais sensores para coleta de outros parâmetros referentes a qualidade da água como, por exemplo, o total de sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica.

AGRADECIMENTOS

Aos professores das disciplinas de Instrumentação Industrial e Microcontroladores que despertaram a curiosidade dos alunos, disponibilizaram ferramentas e espaços para a construção do protótipo, além de acompanharem toda a evolução.

Aos responsáveis pelo laboratório de química do Instituto Federal do Espírito Santo *campus* Linhares por auxiliarem nas medições do pH das soluções-tampão.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eunice Maia de et al. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n. 2, p. 135-142, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10818**: qualidade da água de piscina – procedimento. Rio de Janeiro, 2016.

BROWN, R.M.; MCLELLAND, N.J.; DEININGER, R.A.; TOZER, R.G. (1970) A Water Quality Index Do We Dare? Water & Sewage Works, p. 339-343.

HORTON, R.K. (1965) An index-number system for rating water quality. J Water Pollution Control Federation, v. 37, n. 3, p. 300-306.

LAVOR, Catarina Ferreira Cipaubá de. **Verificação da conformidade da qualidade da água de piscinas de acordo com a norma NBR 10818/2016**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Curso de Química. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/43778/1/2019_tcc_cfclavor.pdf. Acesso em: 28 abr. 2023.

LOCATELLI, C. Como utilizar o DS18B20, 2021. Disponível em: <<https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/como-utilizar-o-ds18b20>>. Acesso em: 11 mai. 2023.

MAIA, Kelly Prado; SILVA, Gilmaré Antônia da; LIBÂNIO, Marcelo. Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 1013-1025, 2019.

MURTA, J., G., A. Conhecendo o ESP32 – Introdução (1), 2018. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/conhecendo-o-esp32-introducao-1/>>. Acesso em: 11 mai. 2023.

OLIVEIRA, Mariângela Dutra de et al. Nova abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta utilizando a Lógica Fuzzy. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 361-371, 2014.

PHILIPPI, Carolina Cechella. Manual de elaboração de projetos integradores. Limeira: Universidade Estadual de Campinas, 2021. 53 p. Disponível em: https://www.cotil.unicamp.br/wpcontent/uploads/2021/09/manual_elaboracao_projetos_integradores.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

SANTOS, B. P. et al. INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 11, p. 111-124, 2018.

STRAUB, M, G. Sensor de pH arduino: como calibrar e configurar?, 2022. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-ph-arduino-como-calibrar-e-configurar/>>. Acesso em: 11 mai. 2023.

AN INTERDISCIPLINARY EXPERIENCE IN CONTROL AND AUTOMATION ENGINEERING: BUILDING A PROTOTYPE FOR MONITORING THE WATER QUALITY OF SWIMMING POOL

Abstract: *This article presents a report on a successful interdisciplinary and evaluative experience in the disciplines of Industrial Instrumentation and Microcontrollers in a Control and Automation Engineering course. To apply the contents of these disciplines, students were proposed to prospect and solve an engineering problem resulting in a prototype. The team of students, who are also authors of this article, identified the relevance of monitoring physical-chemical parameters of pool water quality. The solution to this problem resulted in a prototype that went beyond the initially planned curriculum, also applying knowledge from areas such as programming, computer-aided design, and the Internet of Things. The result was a device for real-time monitoring of pH and temperature parameters of pool water, via a phone application connected to the Internet. Field experimental results demonstrated the prototype's functioning, and reflection on the activity revealed that the process contributed to a more meaningful learning experience for the involved students.*

Keywords: *interdisciplinary activity, Industrial Instrumentation, Microcontroller, water quality, swimming pool.*